

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΥΓΡΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ

ΑΝΤΩΝΕΛΛΟΥ ΓΕΡΑΣΙΜΟΥΛΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΔΡ ΚΑΚΑΒΑΣ-ΠΑΠΑΝΙΑΡΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

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. Κακαβά - Παπανιαρού Παναγιώτη.

Η παρούσα εργασία αφορά στη μελέτη του βιολογικού καθαρισμού υγρών αποβλήτων της πόλης του Αργοστολίου στην Κεφαλονιά.

Καταρχάς, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Παναγιώτη Κακαβά για την πολύτιμη καθοδήγησή του και την άριστη συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Μαριάνθη Βιτωράτου, χημικό μηχανικό και υπεύθυνη λειτουργίας της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Αργοστολίου, όπως επίσης και την Ελληνική Στατιστική Αρχή και συγκεκριμένα την Υπηρεσία Στατιστικής Νομού Κεφαλληνίας για την παροχή ιδιαίτερα χρήσιμων στοιχείων και πληροφοριών.

Αντωνέλλου Γερασιμούλα

Πάτρα 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη του βιολογικού καθαρισμού υγρών αποβλήτων της πόλης του Αργοστολίου. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές έννοιες του βιολογικού καθαρισμού και γίνεται περιγραφή των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τη μελέτη του πληθυσμού του Δήμου Αργοστολίου. Επίσης περιγράφονται οι μέθοδοι πρόβλεψης μελλοντικού πληθυσμού, και εφαρμόζονται οι μέθοδοι πρόβλεψης μελλοντικού πληθυσμού για το Δήμο του Αργοστολίου. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος σχεδιασμού μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων και συγκεκριμένα ο σχεδιασμός των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης και των βιολογικών φίλτρων. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των διυλιστηρίων για μια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων και γίνεται σχεδιασμών των διυλιστηρίων την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του Δήμου Αργοστολίου. Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η εξαγωγή των σημαντικότερων συμπερασμάτων που προέκυψαν από την παρούσα εργασία.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδάστριας:

Η κάτωθι υπογεγραμμένη σπουδάστρια έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου, έχω δε αναφέρει στην βιβλιογραφία όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα.

Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Η Σπουδάστρια:

ΑΝΤΩΝΕΛΛΟΥ ΓΕΡΑΣΙΜΟΥΛΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	8
1.1. Ιστορική εξέλιξη του βιολογικού καθαρισμού	9
1.2. Γενικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	9
1.3. Παροχή λυμάτων	11
1.4. Ποιότητα λύματος, ποιοτικά χαρακτηριστικά	14
1.5. Προεπεξεργασία	16
1.6. Πρωτοβάθμια επεξεργασία (Μηχανικός καθαρισμός λυμάτων).....	20
1.7. Δευτεροβάθμια επεξεργασία	21
1.8. Τριτοβάθμια επεξεργασία.....	21
1.9. Τελική Διάθεση των Επεξεργασμένων Λυμάτων	23
2. ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	28
2.1. Εισαγωγικά στοιχεία.....	28
2.2. Ιστορικά στοιχεία	29
2.3. Απογραφές πληθυσμού - Δημογραφία	32
2.4. Απογραφές πληθυσμού Νομού Κεφαλληνίας	34
2.5. Προβλέψεις πληθυσμού.....	36
2.6. Πρόβλεψη μελλοντικού πληθυσμού του Δήμου Αργοστολίου.....	40
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	43
3.1. Σχεδιασμός δεξαμενών καθίζησης	43
3.2. Τύποι δεξαμενών καθίζησης.	43
3.3. Πρωτοβάθμια καθίζηση αστικών λυμάτων.	45
3.4. Παράμετροι σχεδιασμού δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης	46
3.5. Σχεδιασμός δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης.....	47
3.6. Βιολογικά φίλτρα.....	51
3.7. Σταλαγματικά φίλτρα	56
3.8. Σχεδιασμός βιολογικών φίλτρων.....	66
4. ΔΙΥΛΙΣΗ.....	69
4.1. Τύποι δυλιστηρίων	71
4.2. Υλικά διήθησης	75

4.3.	Μονοστρωματικές και πολυστρωματικές κλίνες διήθησης.....	76
4.4.	Στραγγιστήριο πυθμένα	78
4.5.	Κριτήρια σχεδιασμού δυλιστηρίων	79
4.6.	Σχεδιασμός δυλιστηρίων για την Ε.Ε.Λ. Αργοστολίου	85
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	86
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	87
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	88
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Χειρονακτικά καθαριζόμενη εσχάρα (αριστερά στην εικόνα) και μηχανικά καθαριζόμενη εσχάρα (δεξιά στην εικόνα).	17
Εικόνα 2. Λειτουργία Αμμοσυλλεκτών. Αριστερά: Με βαρύτητα. Δεξιά: Με φυγόκεντρο δύναμη. ...	18
Εικόνα 3. Αμμοσυλλέκτης - Λιποσυλλέκτης.....	18
Εικόνα 4. Σχηματικό διάγραμμα κάθετης τομής αεριζόμενου αμμοσυλλέκτη - λιποσυλλέκτη.....	19
Εικόνα 5. Ταχύτητα καθίζησης άμμου σε σχέση με τη διάμετρο και τη θερμοκρασία.....	19
Εικόνα 6. Υποβρύχια διάθεση των υγρών αποβλήτων σε θαλάσσιο αποδέκτη.	25
Εικόνα 7. Πρόβλεψη πληθυσμού με τη μέθοδο αριθμητικής ή γραμμικής ανάπτυξης.	41
Εικόνα 8. Πρόβλεψη πληθυσμού με τη μέθοδο γεωμετρικής ανάπτυξης.	42
Εικόνα 9. Διάφοροι τύποι δεξαμενών καθίζησης όπου φαίνεται ο τρόπος τροφοδότησης καθώς και ο τρόπος παραλαβής της καθιζήμενης εκροής.....	44
Εικόνα 10. Σταλαγματικά φίλτρα.	57
Εικόνα 11. Σχηματικό διάγραμμα βιολογικού πύργου με πλαστικές μονάδες πληρωτικού υλικού.....	59
Εικόνα 12. Περιστρεφόμενος διανομέας λύματος.....	59
Εικόνα 13. Πιθανές διατάξεις ανακυκλοφορίας σε συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με ένα βιολογικό φίλτρο.....	62
Εικόνα 14. Τυπικά διάγραμματα σταλαγματικών φίλτρων ενός ή δύο σταδίων.	65
Εικόνα 15. Τυπική εγκατάσταση ταχυδιωλιστηρίου.....	74

1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Στην Ελλάδα είναι επιτακτική ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος, ειδικά των ευαίσθητων υδάτινων ενδιαιτημάτων. Κατά μέσο όρο παράγονται 180-300/L αστικών λυμάτων ανά άτομο ανά ημέρα.

ΛΥΜΑΤΑ: Τα υγρά απόβλητα κατοικιών, ιδρυμάτων, εργοστασίων και άλλων εγκαταστάσεων ή/και τα όμβρια ύδατα.

Τα εισερχόμενα λύματα υφίστανται προεπεξεργασία για την απομάκρυνση των ευμεγεθών στερεών, της άμμου και των λιπών. Περιέχουν αιωρούμενες και διαλυμένες οργανικές ουσίες. Η επεξεργασία καθαρισμού των λυμάτων αποβλέπει στην απομάκρυνση, εξουδετέρωση ή κατάλληλη τροποποίηση των επιβλαβών χαρακτηριστικών τους, ώστε να εξαλειφθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη (επιφανειακά νερά, έδαφος κλπ) συνέπειες.

Τα αστικά λύματα, αν δεν περιέχουν μεγάλο ποσοστό βιομηχανικών αποβλήτων, είναι σχετικά σταθερής ποιότητας και μπορούν να υποβληθούν σε τυποποιημένες μεθόδους επεξεργασίας καθαρισμού με δοκιμασμένα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αντιθέτως τα βιομηχανικά απόβλητα περιέχουν δύσκολα βιοαποδομήσιμες ή τοξικές ουσίες, που παρεμποδίζουν την κανονική ανάπτυξη του βιολογικού παράγοντα. Γι' αυτό είναι πολλές φορές απαραίτητο τα βιομηχανικά απόβλητα, προτού οδηγηθούν στο γενικό δίκτυο συλλογής, να υποστούν μέσα στο εργοστάσιοειδική προεπεξεργασία για την απομάκρυνση ή εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων ειδικών χαρακτηριστικών¹.

Τα λύματα περιέχουν:

- 99,9% νερό
- Ογκώδη αντικείμενα
- Άμμο
- Μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων (αιωρούμενα στερεά)
- Οργανικά-φυσικά συστατικά (πχ. Υδατάνθρακες κα.)
- Παθογόνους μικροοργανισμούς
- Θρεπτικά συστατικά (φώσφορος, άζωτο)

Η επεξεργασία λυμάτων είναι η διαδικασία που διαχωρίζει τις επικίνδυνες ουσίες από το νερό στα λύματα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον.

¹: Τζανάκης & Merkaj, 2014

Βιολογικό καθαρισμό λέμε δηλαδή την τεχνητή διαδικασία που ακολουθούμε για να εξομοιώσουμε την λειτουργία της φύσης κατά την αδρανοποίηση των λυμάτων. Η λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού στηρίζεται στη γνωστή μέθοδο της αερόβιας επεξεργασίας. Με λίγα λόγια τροφοδοτούμε το σύστημα μας (στα κέντρα επεξεργασίας λυμάτων) με λύματα και στην έξοδό του έχουμε καθαρό διαυγές νερό με ποιοτικά χαρακτηριστικά κατάλληλα για διάθεση σε φυσικό αποδέκτη.

Τα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων είναι μεγάλες εγκαταστάσεις με δεξαμενές στις οποίες συγκεντρώνονται τα λύματα των πόλεων, υποβάλλονται σε διαδικασίες καθαρισμού και τελικά διοχετεύονται στη θάλασσα αφού έχουν καθαριστεί σε ποσοστό έως και 95%. Ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού είναι μια σύνθετη εργασία που απαιτεί το συνδυασμό βιολογικών, τεχνολογικών και οικονομικών παραγόντων.

1.1. Ιστορική εξέλιξη του βιολογικού καθαρισμού

Μέθοδοι απομάκρυνσης των λυμάτων υπήρχαν από τα αρχαία χρόνια κυρίως στους ανεπτυγμένους πολιτισμούς. Υπόνομοι βρέθηκαν σε ερείπια προϊστορικών πόλεων όπως η Κρήτη, και η Συρία. Υπόνομοι οι οποίοι εξυπηρετούσαν την απομάκρυνση της βροχής στην Αρχαία Ρώμη λειτουργούν ακόμα και σήμερα. Κατά τον Μεσαίωνα άρχιζαν να χτίζονται και βόθροι. Όταν γέμιζαν οι εργάτες έπρεπε να τους αδειάζουν με χρέωση του ιδιοκτήτη. Ύστερα απομακρύνονταν σε θαλάσσιες περιοχές και σε λίμνες ή ποτάμια².

Κατά το 19^ο αιώνα άρχιζαν να χτίζονται καλύτερα αποχετευτικά συστήματα τα οποία βελτίωσαν την ποιότητα της ζωής. Τον 20^ο αιώνα πολλές πόλεις και βιομηχανίες κατάλαβαν ότι η απομάκρυνση των λυμάτων απευθείας σε ποταμιά και λίμνες προκαλούσε πολλά προβλήματα υγείας, όπως χολέρα. Αυτό οδήγησε στην κατασκευή εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Κατά το 1950 και το 1960 άρχισαν να χτίζονται οι πρώτες εγκαταστάσεις.

1.2. Γενικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

Τον τελευταίο αιώνα η ανθρωπότητα καλείται όλο και πιο έντονα να έρθει αντιμέτωπη με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκλήθηκαν από την από τη βίαιη επέμβασή της στο φυσικό περιβάλλον. Η αλλαγή του κλίματος από την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, η μείωση της βιοποικιλότητας αλλά και η συνεχής δηλητηρίαση του εδάφους, του νερού και του αέρα είναι μερικά μόνο από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την

²: Τζανάκης & Merkaj, 2014

ρύπανση που προκαλεί ο άνθρωπος³.

Πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες συνοδεύονται από την παραγωγή αποβλήτων, η έκθεση σε πολλά από τα οποία μπορεί να είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η επεξεργασία τους πριν από τη διάθεσή τους σε κάποιο αποδέκτη (αέρας, έδαφος, νερό). Τα παραγόμενα απόβλητα είναι ως προς την φύση τους αέρια, υγρά ή στερεά.

Υγρά απόβλητα είναι ύδατα, τα οποία μπορούν να προκύψουν είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως τουαλέτα και απόνερα οικιακής χρήσης, είτε από βιομηχανικές δραστηριότητες. Η ποιοτική και ποσοτική σύσταση των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από την πηγή προέλευσής τους.

Κάθε οικισμός-πόλη παράγει υγρά, στερεά και αέρια απόβλητα.. Ανάλογα με την πηγή προέλευσης, τα υγρά απόβλητα περιλαμβάνουν τις υγρές απορροές και τους ρύπους που αυτές φέρουν. Πηγές προέλευσης μπορεί να είναι κατοικίες, ιδρύματα, εμπορικά καταστήματα, εγκαταστάσεις αναψυχής, βιομηχανικές εγκαταστάσεις μαζί με τα υπόγεια, τα επιφανειακά και τα όμβρια ύδατα της κάθε περιοχής. Οι λόγοι που υγρά απόβλητα χρήζουν αρχικά απομάκρυνσης και έπειτα επεξεργασίας είναι πολλοί. Τα ανεπεξέργαστα απόβλητα αν συσσωρευτούν, υφίστανται σήψη και παραγωγή δύσοσμων αερίων. Τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα περιέχουν πολυάριθμους παθογόνους μικροοργανισμούς, που προέρχονται από τον ανθρώπινο οργανισμό. Περιέχουν επίσης θρεπτικά συστατικά, τα οποία επιταχύνουν την ανάπτυξη διάφορων οργανισμών (κυρίως φυτών), έτσι αν αφεθούν μπορεί να προκαλέσουν ανισορροπία στα οικοσυστήματα (ευτροφισμός). Πολύ σημαντικός παράγοντας είναι βέβαια και ο ραγδαία αυξανόμενος όγκος των υγρών αποβλήτων λόγω της συσσώρευσης των ανθρώπων σε μεγάλα αστικά κέντρα και την αυξημένη βιομηχανική δραστηριότητα, που καθιστά την αποτελεσματική επεξεργασία τους επιτακτική.

Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί και αναπτύσσονται ακόμα πολλές τεχνολογίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Με τον όρο επεξεργασία εννοούμε την απορρύπανση τους σε σημείο τέτοιο που να είναι δυνατή η διάθεσή τους σε κάποιο σημείο του περιβάλλοντος, χωρίς φυσικά να διαταράσσεται αυτό, τόσο μεσοπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζονται οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων (ΕΕΥΑΑ), όπου οι ανεπτυγμένες αυτές τεχνολογίες εφαρμόζονται για τον διαχωρισμό των επιβλαβών συστατικών που περιέχονται στα απόβλητα. Τα συστατικά αυτά είναι η άμμος, διάφορων μεγεθών αιωρούμενα στερεά, οργανικά συστατικά (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες,

³: Κυπριωτάκης, 2017

λίπη), παθογόνοι μικροοργανισμοί και διάφορα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο, φώσφορος κλπ). Σκοπός τελικά είναι η απόρριψη ή η επαναχρησιμοποίηση του επεξεργασμένου υγρού, απόρριψη σε φυσικό αποδέκτη και επαναχρησιμοποίηση κυρίως για άρδευση. Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η γνώση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων και ο σωστός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών που πρέπει να έχουν τα επεξεργασμένα απόβλητα μετά την επεξεργασία, ανάλογα και με το ποια θα είναι η κατάληξή τους.

Κύρια χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων είναι:

- § Παροχή των λυμάτων (όγκος/χρόνος)
- § Το φορτίο (μάζα)
- § Η συγκέντρωση (μάζα/όγκος)

Σχέση παροχής, φορτίου και συγκέντρωσης:

$$\text{Φορτίο μάζας (Kg/d)} = \text{συγκέντρωση (g/m}^3\text{)} * \text{παροχή (m}^3\text{/d)}$$

1.3. Παροχή λυμάτων

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 νερού⁴:

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

Οι πρόσθετες εισροές μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι $0,3 \cdot Q_{\max}$ σε περιοχές υψηλού υδροφόρου ορίζοντα και $0,2 \cdot Q_{\max}$ σε περιοχές χαμηλού υδροφόρου ορίζοντα.

Q_{\max} à παροχή αιχμής

⁴:<http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/index.php?course=MHXA297&download=/566994b9BEMy/56a22b84eh5s.pdf>

Η βασική επιδίωξη της επεξεργασίας λυμάτων αστικού τύπου είναι η απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα (ο οποίος βρίσκεται σε σωματιδιακή και διαλυτή μορφή) και η οξειδωση του αμμωνιακού αζώτου προς νιτρικό άζωτο. Συνήθως αρχικά αφαιρείται ένα μεγάλο μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων με την μέθοδο της καθίζησης. Η Πρωτοβάθμια επεξεργασία αφαιρεί περίπου το 60 % των αιωρούμενων στερεών από τα λύματα. Η Δευτεροβάθμια επεξεργασία συνίσταται στην οξειδωση του οργανικού άνθρακα και της αμμωνίας παρουσία οξυγόνου.

Η επεξεργασία λυμάτων είναι απαραίτητη γιατί προστατεύει το περιβάλλον από τις αρνητικές επιπτώσεις των αστικών και βιομηχανικών λυμάτων. Η συλλογή και επεξεργασία των λυμάτων παίζει ζωτικό ρόλο στην προστασία της δημόσιας υγείας, των υδατικών πόρων και την άγρια ζωή . Ένα σύστημα αποχέτευσης πρέπει να υπάρχει σε όλες τις αστικές περιοχές που υπερβαίνουν ένα συγκεκριμένο αριθμό κατοίκων και η συλλογή των λυμάτων πρέπει να υπόκειται τουλάχιστον σε δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία πριν την απόρριψή τους στο περιβάλλον.

Σε περιπτώσεις «ευαίσθητων» περιοχών, απαιτείται επιπλέον επεξεργασία πριν από την απόρριψη. Ένας τύπος ευαίσθητης περιοχής είναι αυτές με «ευτροφισμό », όπου θρεπτικά συστατικά, κυρίως άζωτο και φωσφόρος, διεγείρουν την ανάπτυξη των φυκιών και άλλων φυτών, καταστρέφοντας το φυσικό περιβάλλον. Στις περιοχές αυτές, μεγαλύτερες απορρίψεις λυμάτων πρέπει να αντιμετωπίζονται με τη μείωση του φορτίου των θρεπτικών συστατικών τους⁵.

Υγρά απόβλητα: είναι το σύνολο των υγρών απορροών και των ρύπων που μεταφέρονται με αυτές, και προέρχονται από κατοικίες, εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις και από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα υγρά απόβλητα μπορεί να περιέχουν και υπόγεια ή επιφανειακά ή όμβρια ύδατα.

Τα υγρά απόβλητα χρειάζονται επεξεργασία πριν τη διάθεσή τους στο περιβάλλον επειδή :

- Περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς,
- Περιέχουν θρεπτικά συστατικά που επιταχύνουν την ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών,
- Μπορεί να περιέχουν τοξικά ή άλλα επικίνδυνα συστατικά,
- Η αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών που περιέχουν προκαλεί δυσοσμίες.

Στην επόμενη σελίδα περιγράφεται σχηματικά μία εγκατάσταση επεξεργασίας αποβλήτων.

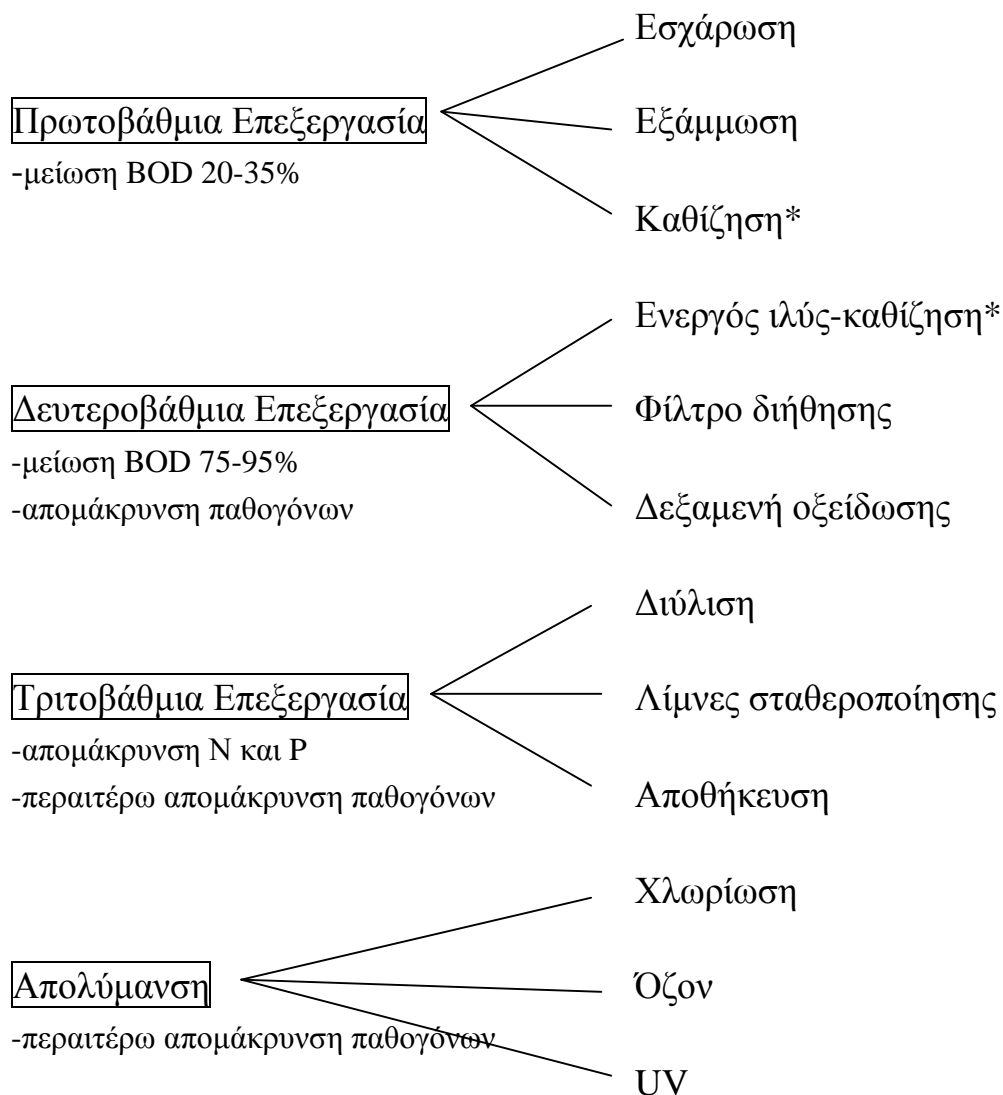
⁵: Τσώνης, 2004

Ø ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (Βιολογικός Καθαρισμός)



Σκοπός:

- § Μείωση οργανικού φορτίου
- § Μείωση αριθμού παθογόνων μικροοργανισμών
- § Ανακύκλωση επεξεργασμένων λυμάτων



*(πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια λάσπη)

1.4. Ποιότητα λύματος, ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Οι απαιτήσεις για αποχέτευση, επεξεργασία και διάθεση των αστικών υγρών αποβλήτων, καθορίζονται από την νομοθεσία. Στην χώρα μας, η ισχύουσα νομοθεσία περιλαμβάνεται στην Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 5673/400 της 14/3/1997, η οποία εναρμονίζει την ελληνική νομοθεσία με την οδηγία 91/271 της ευρωπαϊκής ένωσης για την «διαχείριση των αστικών αποβλήτων».

Σύμφωνα με την ΚΥΑ αυτή, δίκτυα αποχέτευσης όφειλαν να διαθέτουν μέχρι 31/12/2000 οι οικισμοί με ι.κ. (ισοδύναμους κατοίκους) άνω των 15000 και μέχρι 31/12/2005 οι οικισμοί με ι.κ. μεταξύ 2000 και 15000. Ένας ι.κ. ισοδυναμεί με αποικοδομήσιμο οργανικό φορτίο $BOD_5 = 60\text{gr/ημέρα}$. Τα αποχετευόμενα αστικά λύματα όφειλαν να υποβάλλονται σε τουλάχιστον δευτεροβάθμια επεξεργασία έως τις 31/12/2000 για οικισμούς άνω των 15000 ι.κ. και έως τις 31/12/2005 για οικισμούς με ι.κ. 10000-15000 και για οικισμούς με ι.κ. μεταξύ 2000-10000, των οποίων τα απόβλητα απορρίπτονται σε μη θαλάσσια νερά και εκβολές ποταμών.

Η ΚΥΑ 5673/400 προβλέπει δύο τύπους περιοχών διάθεσης, λιγότερο και περισσότερο ευαίσθητες, που κινδυνεύουν από ευτροφισμό. Οι προδιαγραφές για τις πρώτες δίνονται στον παρακάτω πίνακα, ενώ για τις δεύτερες υπάρχουν και οι πρόσθετες προδιαγραφές για άζωτο και φώσφορο. Σε κάθε περίπτωση, παρέχεται η δυνατότητα εφαρμογής είτε της συγκέντρωσης διάθεσης είτε του ποσοστού μείωσης (δίνονται στον παρακάτω πίνακα). Οι απαιτήσεις για τις συγκεντρώσεις του αζώτου και του φωσφόρου δύσκολα επιτυγχάνονται μόνο με δευτεροβάθμια επεξεργασία, έτσι συνήθως απαιτείται τριτοβάθμια επεξεργασία. Οι απαιτούμενες συγκεντρώσεις κάθε συστατικού του επεξεργασμένου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1. Προδιαγραφές εισόδου και απόρριψης - διάθεσης αποβλήτων

Παράμετρος	Συγκέντρωση (προδιαγραφές εξόδου)(mg/L)	Τυπική συγκέντρωση σε ΑΥΑ(είσοδος) (mg/L)	Ελάχιστη ποσοστιαία μείωση (%)
BOD_5	25	110 – 400	70 – 90
COD	125	250 – 1000	75
TSS (ολικά αιωρ. Στερεά)	35	100 – 350	90
Ολικός φώσφορος (P_{tot})	2 (10^4 - 10^5 ι.κ.) 1 ($>10^5$ ι.κ.)	4 – 15	80
Ολικό άζωτο (N_{tot})	15 (10^4 - 10^5 ι.κ.) 10 ($>10^5$ ι.κ.)	20 – 85	70 – 80

Τα οργανικά συστατικά των λυμάτων περιέχουν μεταξύ άλλων πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες, λιπίδια, επιφανειακά ενεργές ουσίες, φαινόλες, εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα. Τα συστατικά αυτά μπορεί να προκαλέσουν ανατροπή της ισορροπίας οικοσυστήματος του φορέα, ανοξικές συνθήκες, θάνατος ψαριών και σηπτικές συνθήκες. Τα λιπίδια μπορεί να δημιουργήσουν επιφανειακό αντιαισθητικό στρώμα το οποίο είναι ενδεικτικό της ρύπανσης, δυσκολεύει μεταφορά οξυγόνου και ηλιακού φωτός στον υδάτινο φορέα και δημιουργεί αφρούς. Τέλος οι τοξικές ουσίες είναι πιθανό να προκαλέσουν άμεσο θάνατο των οργανισμών.

Σε ότι αφορά την ποιότητα των λυμάτων, είναι ιδιαίτερα σημαντικοί οι παρακάτω ορισμοί:

BOD (Biochemical oxygen demand- Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο):

Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών ουσιών (ο.σ.) των αποβλήτων σε αερόβιες συνθήκες από μικροοργανισμούς (μ/ο).

ο.σ. + O₂ + μ/ο → νέοι μ/ο + CO₂ + NH₃ + H₂O + ενέργεια

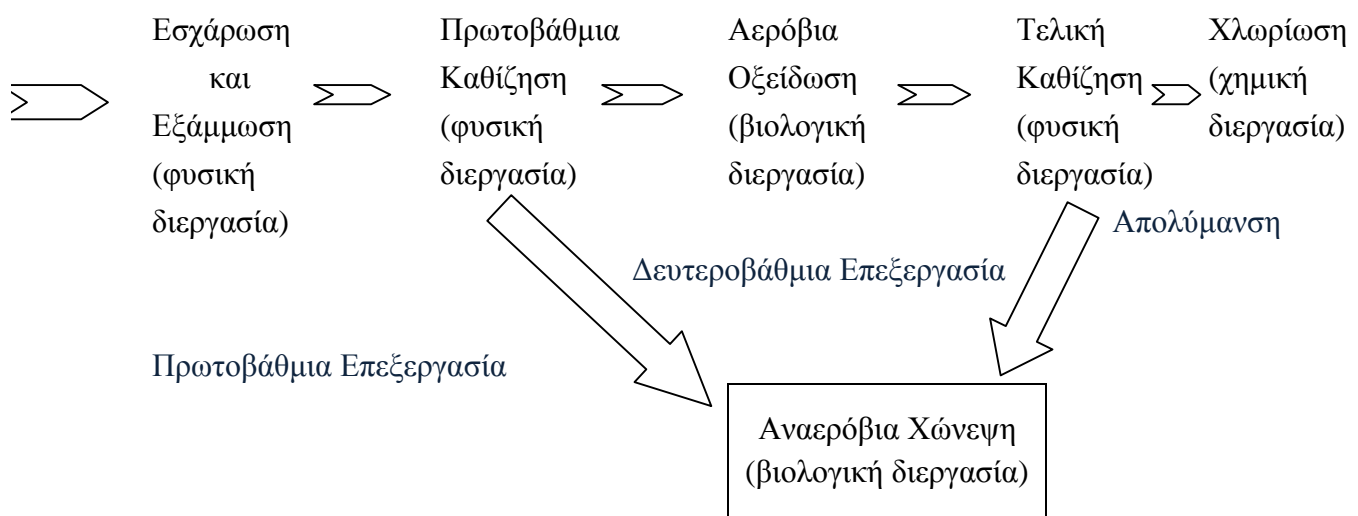
COD (Chemical oxygen demand-Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο):

Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση των ο.σ. των αποβλήτων σε CO₂ και H₂O από ισχυρό οξειδωτικό.

TOC (Συνολικός οργανικός άνθρακας):

Η ποσότητα του CO₂ που παράγεται κατά την πλήρη οξείδωση του C των οργανικών ουσιών σε υψηλή θερμοκρασία.

ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ



1.5. Προεπεξεργασία

Κατά την προεπεξεργασία απομακρύνονται υλικά όπως πανιά, χαλίκια, άμμος, μικρά τεμάχια ξύλου και πλαστικού, λάδια, λίπη κλπ. τα οποία συνήθως προκαλούν ζημιές στο μηχανολογικό εξοπλισμό και προβλήματα στη συντήρηση και τη λειτουργία της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων. Η εγκατάσταση της προεπεξεργασίας περιλαμβάνει εσχάρες (σειρά μεταλλικών ράβδων όπου συγκρατούνται τα ογκώδη στερεά), εξαμμωτές-λιποσυλλογή (δεξαμενές όπου η περιεχόμενη άμμος καθιζάνει και τα λίπη απομακρύνονται με ειδικούς υπερχειλιστές).

1.5.1. Εσχαρισμός

Η ροή των λυμάτων συμπαρασύρει και ευμεγέθη αντικείμενα (1 έως 10 cm ή και μεγαλύτερα) τα οποία είναι δυνατόν να προκαλέσουν προβλήματα σε διάφορα στάδια της επεξεργασίας⁶. Η αφαίρεση των ευμεγεθών στερεών γίνεται στην κεφαλή της εγκατάστασης επεξεργασίας με χρησιμοποίηση εσχάρων. Οι **εσχάρες** είναι διατάξεις που παρεμποδίζουν τη δίοδο, δια μέσου των ανοιγμάτων τους, υλικού με διαστάσεις μεγαλύτερες από κάποιο μέγεθος που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο τύπο εσχάρων. Το υλικό που κατακρατείται στην επιφάνεια των εσχάρων απομακρύνεται κατά διαστήματα για να αποφεύγεται η έμφραξη (βούλωμα) των ανοιγμάτων. Η απομάκρυνση αυτή είναι δυνατόν να γίνεται με το χέρι (χειρονακτικά καθαριζόμενες εσχάρες) ή με μηχανικά μέσα (μηχανικά καθαριζόμενες εσχάρες).

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

Ο χειρονακτικός καθαρισμός γίνεται με τη βοήθεια τσουγκράνας ενώ ο μηχανικός καθαρισμός γίνεται με τη βοήθεια διαφόρων μηχανικών ξεστρών ή χτενιών ή βουρτσών και σε μερικές περιπτώσεις υποβοηθείται και με ψεκασμό νερού υπό πίεση. Ο μηχανικός καθαρισμός των σταθερών εσχάρων είναι δυνατόν να γίνεται με εμπλοκή του μηχανισμού καθαρισμού είτε από το εμπρόσθιο μέτωπο της σχάρας είτε πίσω από τη σχάρα. Έτσι διακρίνουμε τις εξής δυνατότητες μηχανικού καθαρισμού για σταθερές εσχάρες:

- Καθαρισμός από μπροστά και επαναφορά από μπροστά.
- Καθαρισμός από μπροστά και επαναφορά από πίσω.

⁶: Τσώνης, 2004

Ü Καθαρισμός από πίσω και επαναφορά από πίσω.

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



Εικόνα 1. Χειρονακτικά καθαριζόμενη εσχάρα (αριστερά στην εικόνα) και μηχανικά καθαριζόμενη εσχάρα (δεξιά στην εικόνα)⁷.

1.5.2. Αμμοσυλλέκτες – Λιποσυλλέκτες

- Η διάταξη της εξάμωσης 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 μία τερματική ή οριακή ταχύτητα.
- Τότε η δύναμη βαρύτητας εξισορροπείται με την οπισθέλκουσα δύναμη με αποτέλεσμα την καθίζηση των στερεών.
- Αντίσταση ροής = Βάρος – Άνωση
- Οι αμμοσυλλέκτες είναι απολύτως απαραίτητοι σε όλα τα συστήματα αποχέτευσης. Στους αμμοσυλλέκτες γίνεται συγκράτηση μόνο των ανόργανων σωματιδίων.
- Υπερβολικά μικρές ταχύτητες ροής ευνοούν την καθίζηση των οργανικών σωματιδίων.

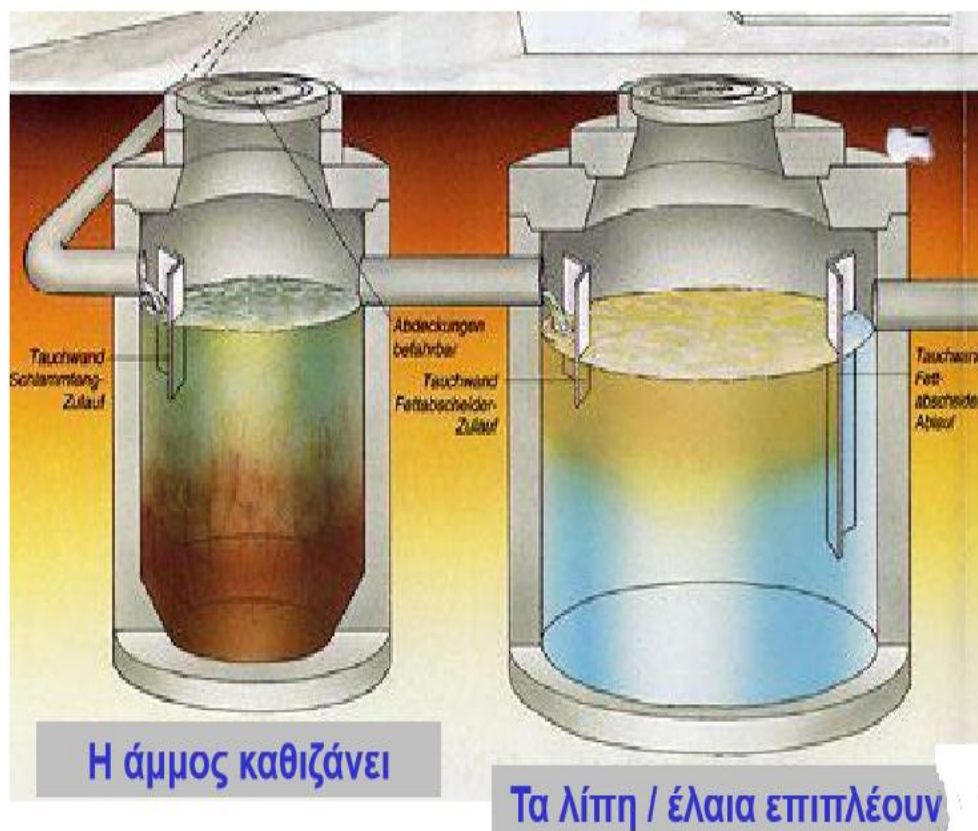
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ: Φαινόμενα σήψης και έντονων οσμών.

⁷ <http://diocles.civil.duth.gr/links/home/veltiomeno/nees/KatharismosLimaton/proepeks.pdf>

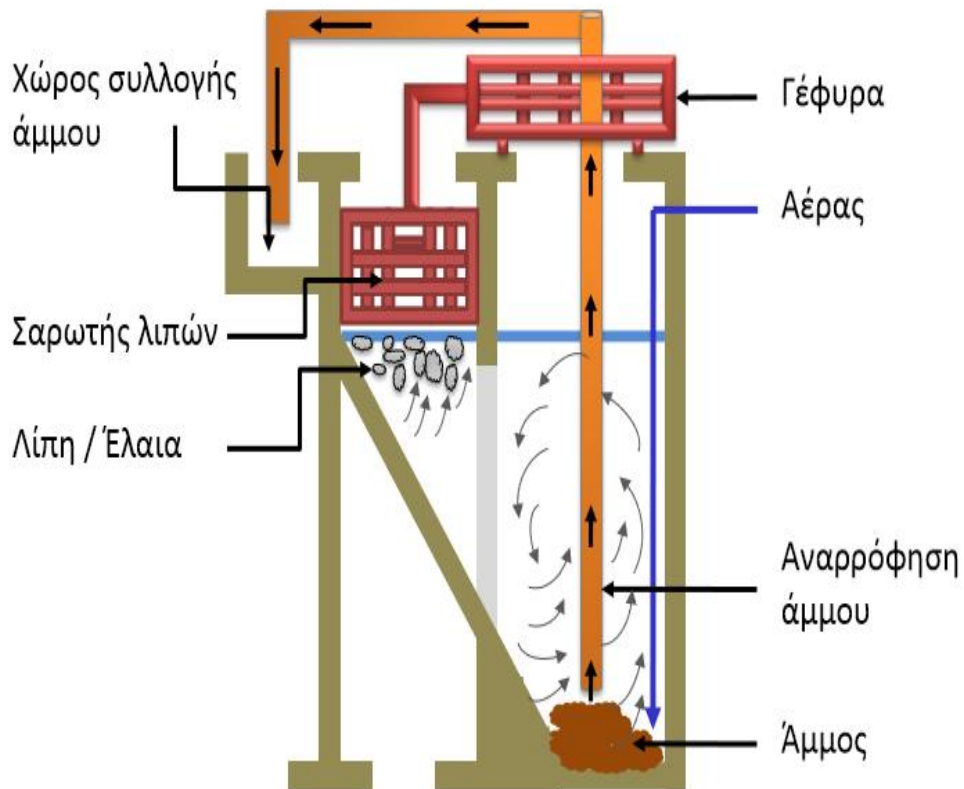
- Η ταχύτητα καθίζησης της άμμου εξαρτάται από τη διάμετρο των κόκκων της και τη θερμοκρασία. (Ισχύει για υγρό το οποίο δεν κινείται).
- Τα λύματα ρέουν συνεχώς, συνεπώς η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται από τις συνθήκες ροής των αποβλήτων (στρωτή ροή, τυρβώδης ροή κλπ.).



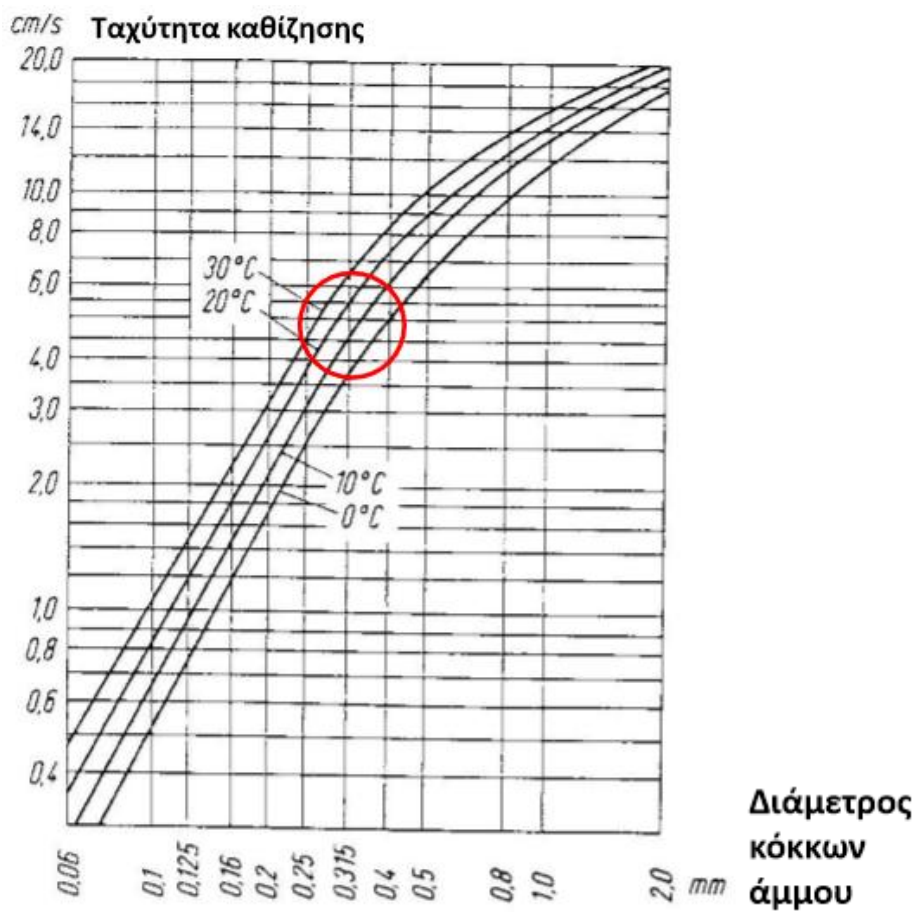
Εικόνα 2. Λειτουργία Αμμοσυλλεκτών. Αριστερά: Με βαρύτητα. Δεξιά: Με φυγόκεντρο δύναμη.



Εικόνα 3. Αμμοσυλλέκτης - Λιποσυλλέκτης.



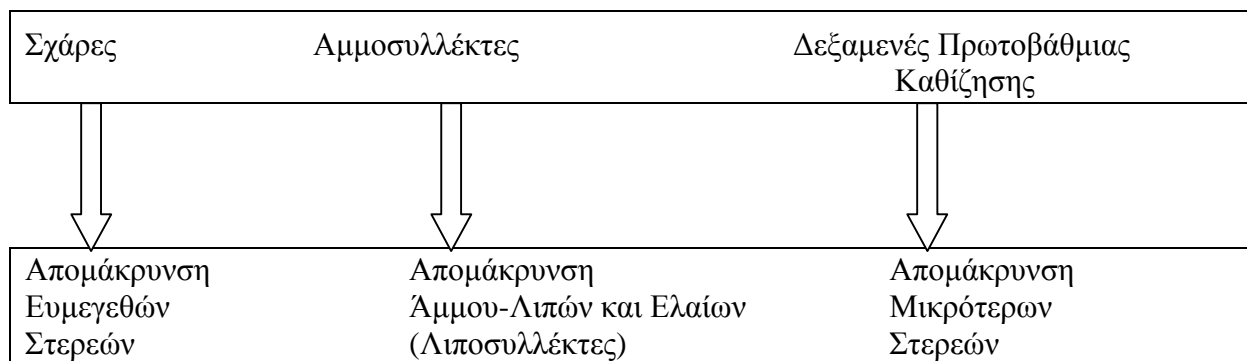
Εικόνα 4. Σχηματικό διάγραμμα κάθετης τομής αεριζόμενου αμμοσυλλέκτη - λιποσυλλέκτη.



Εικόνα 5. Ταχύτητα καθίζησης άμμου σε σχέση με τη διάμετρο και τη θερμοκρασία.

1.6. Πρωτοβάθμια επεξεργασία (Μηχανικός καθαρισμός λυμάτων)

Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία απομακρύνεται ένα μέρος των αιωρούμενων στερεών και ένα μέρος των οργανικών ουσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με το φυσικό φαινόμενο της καθίζησης (δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, όπου τα στερεά καθιζάνουν και συνήθως επιτυγχάνεται απομάκρυνση έως 70% αιωρούμενων στερεών και έως 30% οργανικών συστατικών). Τα παραπροϊόντα της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι πρωτογενή λάσπη η οποία πρέπει να παχυνθεί, να σταθεροποιηθεί και να αξιοποιηθεί ενεργειακά με διεργασίες αναερόβιας ή αερόβιας χώνευσης (βιοαέριο) και τελικά να αξιοποιηθεί (κομποστοποίηση) ή διατεθεί, αν δεν είναι τοξική, σε χώρους υγειονομικής ταφής⁸.



Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την εξάμμοση ονομάζονται αμμοσυλλέκτες και η λειτουργία τους βασίζεται είτε στην επίδραση της βαρύτητας είτε στην επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης.

1.6.1. Αερισμός – Απονιτροποίηση – Βιοεπιλογέας

Ο αερισμός-απονιτροποίηση-βιοεπιλογέας είναι το πρώτο στάδιο της βασικής διεργασίας των εγκαταστάσεων της βιολογικής επεξεργασίας. Η δε δεξαμενή αερισμού-απονιτροποίησης αποτελεί την καρδιά των εγκαταστάσεων. Παίζει τον κρίσιμο ρόλο της επιλογής κατάλληλων μικροοργανισμών, για τις βιολογικές διεργασίες που ακολουθούν. Ο χρόνος παραμονής στον βιοεπιλογέα είναι περίπου 20 λεπτά. Προκειμένου να εξασφαλίζεται η εναιώρηση και η ομογενοποίηση του μίγματος, ο κάθε βιοεπιλογέας, εξοπλίζεται με έναν αναδευτήρα, ο οποίος είναι τοποθετημένος στον πυθμένα της δεξαμενής.

ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ:

Οι τρεις δεξαμενές της απονιτροποίησης βρίσκονται από την κάτω μεριά των **δεξαμενών της βιολογικής αποφωσφόρησης**. Κάθε δεξαμενή αποτελείται από δύο ανεξάρτητα διαμερίσματα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται εμβολοειδής ροή. Η τροφοδοσία τους

⁸: Κυπριωτάκης, 2017

γίνεται από μία υποβρύχια θυρίδα που τις ενώνει με τις δεξαμενές αποφωσφόρησης. Στην ίδια είσοδο καταλήγει και ο αγωγός από το αντλιοστάσιο απονιτροποιημένου υγρού. Η κάθε δεξαμενή διαθέτει δύο αναδευτήρες και έχει ειδική κατασκευή που ευνοεί την συνεχή κίνηση του λύματος. Η απονιτροποίηση γίνεται από χημικοτροφικά και ετεροτροφικά βακτήρια που βρίσκονται στο λύμα σε συνθήκες χωρίς οξυγόνο, στις οποίες υπάρχουν νιτρικά που εξασφαλίζουν τη συνεχή ροή και ανακυκλοφορία του υγρού. Μετά την απονιτροποίηση το λύμα οδηγείται μέσω υποβρύχιας θυρίδας στις δεξαμενές αερισμού.

ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΦΩΣΦΟΡΗΣΗΣ

Αποτελείται από τρεις ισοδύναμες δεξαμενές. Η τροφοδοσία του γίνεται μέσω υποβρύχιας θυρίδας από τον βιοεπιλογέα. Τα τοιχεία των δεξαμενών έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε να υποβοηθάτε η κίνηση του λύματος. Η βιολογική απομάκρυνση γίνεται από ένα ρεύμα που φτάνει από τον βιοεπιλογέα και είναι εμπλουτισμένο από μία κατηγορία βακτηρίων που περιέχουν αποθηκευμένες ποσότητες πολυφωσφορικών. Στο τέλος της διαδικασίας παράγεται λάσπη με αυξημένα ποσοστά φωσφόρου.

1.7. Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία (βιολογική επεξεργασία) απομακρύνονται, σε ποσοστά που κυμαίνονται γύρω στο 90%, οι οργανικές ουσίες και τα αιωρούμενα στερεά με τη χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών. Ο βιολογικός καθαρισμός στηρίζεται στην πραγματοποίηση βιοχημικών διεργασιών που γίνονται στη φύση, με φυσικό τρόπο σε κατάλληλες για το σκοπό αυτό δεξαμενές (δεξαμενές αερισμού). Δημιουργούνται οι ιδανικές συνθήκες (παροχή οξυγόνου τεχνητά και ύπαρξη οργανικών συστατικών για τροφή) για τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών, το μίγμα μικροοργανισμών-τροφής αποτελεί την ενεργό ιλύ. Η ιλύς καθιζάνει στη συνέχεια στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, (δευτερογενής λάσπη) η οποία αφού παχυνθεί (από 1% σε 5% αιωρούμενα στερεά) οδηγείται είτε σε μονάδες αερόβιας σταθεροποίησης είτε σε μονάδες αναερόβιας σταθεροποίησης και ενεργειακής αξιοποίησης και αφού αφυδατωθεί με τεχνικές διήθησης (κλίνες ξήρανσης, φίλτροπρέσες, ταινιοφίλτροπρέσες) ή φυγοκέντρισης οδηγείται, εφόσον δεν είναι τοξική, σε μονάδες κομποστοποίησης ή θάβεται με υγειονομικό τρόπο με τα αστικά απορρίμματα. Συνήθως η πρωτογενής και η δευτερογενής λάσπη επεξεργάζονται μαζί⁹.

1.8. Τριτοβάθμια επεξεργασία

Κατά την τριτοβάθμια επεξεργασία τα υγρά απόβλητα υφίστανται τη διεργασία της

⁹: Κυπριωτάκης, 2017

απολύμανσης (συνήθως με χλωρίωση σε επιμήκεις δεξαμενές). Επίσης απομακρύνονται οι εναπομείνουσες από την δευτεροβάθμια επεξεργασία αιωρούμενες ουσίες. Το επεξεργασμένο απόβλητο μπορεί να διατεθεί σε υδάτινο αποδέκτη μετά την τριτοβάθμια επεξεργασία, εφόσον αυτός δεν κριθεί ευαίσθητος. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται επιπλέον επεξεργασία (απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου).

Συνήθως χρησιμοποιούνται οι εξής μέθοδοι:

- Προσθήκη κροκιδωτικών-συσσωμάτωση κροκίδωση
- Διύλιση-φιλτράρισμα
- Απολύμανση
- Απομάκρυνση φωσφόρου και αζώτου

Οργανικό άζωτο και φώσφορος, είναι δύο ουσίες ικανές να δημιουργήσουν φαινόμενα ευτροφισμού σε υδάτινους φορείς, αποδέκτες υγρών αποβλήτων. Για την απομάκρυνση του αζώτου χρησιμοποιείται η μέθοδος της βιολογικής νιτροποίησης και απονιτροποίησης του αποβλήτου. Για να υπάρχει η δυνατότητα απονιτροποίησης είναι απαραίτητο να υπάρχουν κατάλληλες συγκεντρώσεις βιοαποδομήσιμου οργανικού άνθρακα στο απόβλητο. Η απομάκρυνση του φωσφόρου βασίζεται στη βιολογική ενσωμάτωση του στη βιομάζα που αναπτύσσεται κατά τη βιολογική οξείδωση του BOD αλλά και στη χημική κατακρήμνιση του με τη χρήση ασβεστίου ή τρισθενούς σιδήρου. Επίσης ένα μέρος του οργανικού αζώτου ενσωματώνεται στη βιομάζα που παράγεται κατά τη βιολογική οξείδωση. Με την απολύμανση των αποβλήτων καταστρέφονται ή αδρανοποιούνται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που αποτελούν κίνδυνο για την δημόσια υγεία.

1.8.1. Απολύμανση

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κυρίως για την απολύμανση των λυμάτων, στο τέλος της επεξεργασίας τους, πριν την εκροή τους από την εγκατάσταση, είναι

- ο Χλωρίωση
- ο Οζόνωση
- ο Απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV)

Η απολύμανση περιλαμβάνει μεθόδους μείωσης του πιο πιθανού αριθμού μικροοργανισμών MPN/ml της ποσοτικής ανάλυσης εντός καθορισμένων ορίων. Μερικές από τις μεθόδους που είδαμε στην απομάκρυνση στερεών μπορούν να συμβάλλουν και στην απολύμανση. Όπου αυτοί δεν επαρκούν, τότε χρησιμοποιούνται απολυμαντικές ουσίες όπως το χλώριο. Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών

(μ/ο), ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών από νερά του αποδέκτη, στα οποία διοχετεύονται τα απόβλητα. Είναι το μοναδικό στάδιο στην επεξεργασία των αποβλήτων με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων μ/ο, αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας.

Η περισσότερο διαδεδομένη και δοκιμασμένη μέθοδος απολύμανσης σε μια ΕΕΑΑ με ΠΑ είναι η χλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο. Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χλωρίωση, έχει το βασικό μειονέκτημα της δυσμενούς επίδρασης του χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον που διοχετεύονται τα χλωριωμένα απόβλητα. Η επίδραση αυτή εκδηλώνεται άμεσα στις διάφορες μορφές ζωής λόγω της τοξικότητας του χλωρίου ή έμμεσα με το σχηματισμό οργανοχλωριούχων ενώσεων, από την αντίδραση του χλωρίου με τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων, που πιθανολογείται ότι είναι καρκινογόνες. Είναι λοιπόν προφανές ότι στο υδάτινο περιβάλλον δεν πρέπει να διοχετεύονται μεγάλες ποσότητες χλωρίου, που προκύπτουν από την αλόγιστη χρήση του στη διαδικασία της χλωρίωσης.

1.8.2. Σύστημα απόσμησης

Οι εγκαταστάσεις μεταφοράς και επεξεργασίας λυμάτων παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε αέριους ρύπους που εκλύονται από τα λύματα και διαχέονται στον αέρα. Οι ρύποι των λυμάτων έχουν έντονη οσμή και δημιουργούν προβλήματα στους εργαζόμενους στην εγκατάσταση και στους κατοίκους των παρακείμενων περιοχών.

Σύστημα ελέγχου οσμών (dry scrubbers) εξουδετερώνουν τα αέρια χημικών ρύπων (chemisorptions), σε εφαρμογές όπως εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, αντλιοστάσια.

Τα χημικά μέσα (καταλύτες), για την κατακράτηση αέριων ρύπων έχουν την μορφή κόκκων (pellets) και έχουν σαν υπόστρωμα μίγματα ενεργού άνθρακα και ενεργής αλουμίνας, εμποτισμένα σε κατάλληλα χημικά εξουδετέρωσης.

1.9. Τελική Διάθεση των Επεξεργασμένων Λυμάτων

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει οδηγήσει στην αύξηση των παραγόμενων λυμάτων και αποβλήτων με σημαντικές επιπτώσεις στο γεωπεριβάλλον. Η ανεξέλεγκτη διάθεσή τους, ιδιαίτερα αυτών που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία είναι επικίνδυνη για τους υδάτινους πόρους, το έδαφος και τη δημόσια υγεία.

Η τελική διάθεση των υγρών αποβλήτων μετά την επεξεργασία τους, δηλαδή την απορρύπανσή τους γίνεται με τους εξής τρόπους:

§ Σε θαλάσσιο αποδέκτη : - Με υποθαλάσσιους αγωγούς (Εικόνα 6)

- § Στο έδαφος :
- Με ελάχιστη αραίωση για εκροή από διαχυτήρα
 - Με προϋποθέσεις άρδευσης

Τα υγρά απόβλητα των παραθαλάσσιων πόλεων και των κοινοτήτων, που μεταφέρουν ένα ευρύ φάσμα ρύπων, διατίθενται μετά από κάποια επεξεργασία στη θάλασσα. Ο πρωταρχικός σκοπός ενός συστήματος διάθεσης υγρών λυμάτων είναι η επίτευξη ταχείας αρχικής ανάμιξης των λυμάτων με το ρευστό περιβάλλον στην «κοντινή» περιοχή, έτσι ώστε να διατηρηθεί η ποιότητα του υδάτινου αποδέκτη και να μην παραβιάζονται οι υγειονομικές προδιαγραφές.

Τα προβλήματα στον σχεδιασμό και την τοποθέτηση αγωγών αστικών λυμάτων είναι:

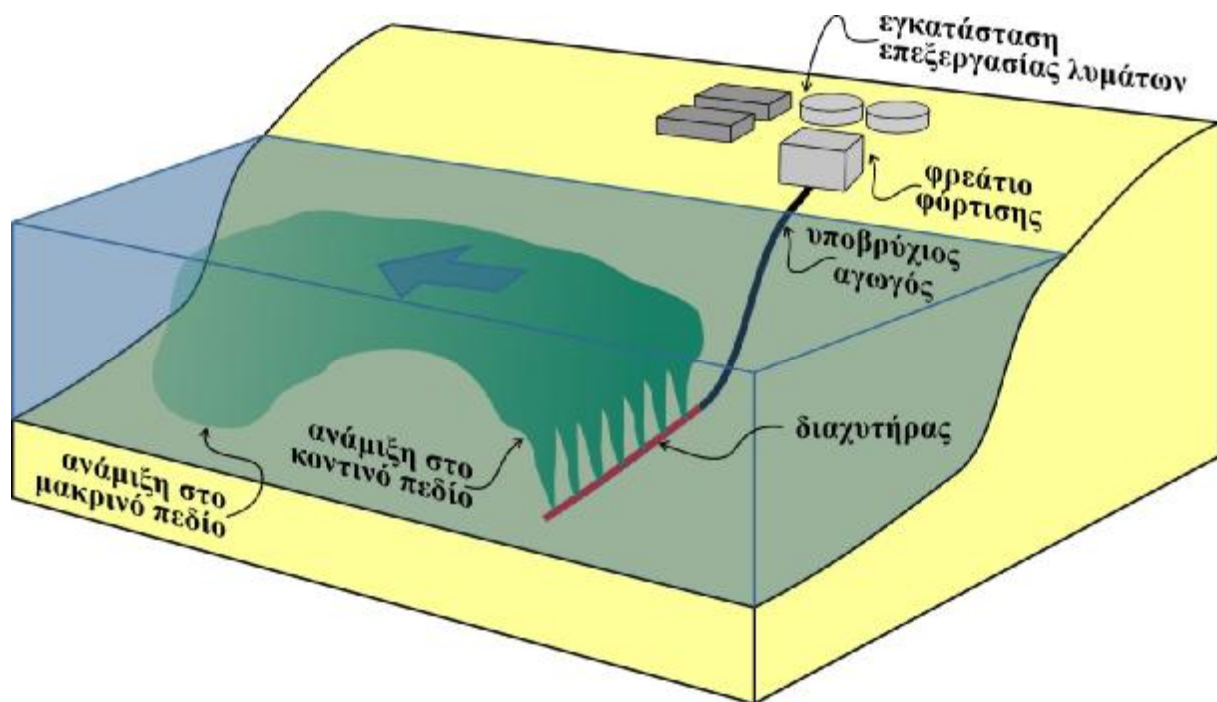
- α) η ποσότητα και η ποιότητα των λυμάτων,
- β) η θέση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και του αγωγού απόληξης και
- γ) ο σχεδιασμός του αγωγού απόληξης.

Ο ορθολογικός σχεδιασμός αγωγού διάθεσης λυμάτων συνεπάγεται επαρκή διασπορά και μίξη των ρύπων ώστε να διατηρείται η ποιότητα του αποδέκτη. Η αραίωση των λυμάτων εξαρτάται από:

- την παροχή των λυμάτων,
- τη θέση του αγωγού εκβολής,
- το βάθος απόληξης του αγωγού εκβολής,
- τα ρεύματα του θαλάσσιου αποδέκτη, και
- τη στρωμάτωση του θαλάσσιου αποδέκτη.

Η διάθεση των λυμάτων στο έδαφος είναι μία οικονομική μέθοδος όταν υπάρχει ο κατάλληλος χώρος (μεγάλες επιφάνειες γης). Προηγείται υδρογεωλογική έρευνα και μελετούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών, η δημιουργία τεχνητών υγροτόπων και η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση νερού.



Εικόνα 6. Υποβρύχια διάθεση των υγρών αποβλήτων σε θαλάσσιο αποδέκτη¹⁰.

1.9.1. Αξιοποίηση λάσπης

Με τη λειτουργία των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) παράγονται σημαντικές ποσότητες ιλύος (λάσπης), αλλά και άλλα παραπροϊόντα (εσχαρίσματα, άμμος). Τα παραπροϊόντα αυτά απαιτούν ασφαλή και περιβαλλοντικά αποδεκτή διαχείριση. Τα προϊόντα αυτά διαθέτουν μεγάλο αριθμό πολύτιμων συστατικών: θρεπτικά, οργανική ύλη κτλ., αλλά και υψηλή θερμική αξία, με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλα για ένα μεγάλο εύρος χρήσεων¹¹.

Από την άλλη μεριά, η ιλύς είναι φορέας ανεπιθύμητων ρυπαντών (βαρέα μέταλλα, συνθετικά οργανικά, παθογόνοι μικροοργανισμοί κτλ.), που απαιτούν προσεκτική διαχείριση και όχι ανεξέλεγκτη διάθεση. Συνεπώς ο τρόπος τελικής διάθεσης των προϊόντων αυτών έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις: εκπομπές στον αέρα, στο έδαφος και στα νερά (υπόγεια και επιφανειακά), με αποτέλεσμα να απαιτείται προσεκτική διαχείριση, μετά από κατάλληλη επεξεργασία.

Ορισμένα συστατικά που περιέχονται στην ιλύ, όπως π.χ. οργανικά, άζωτο, φώσφορος, κάλιο και ασβέστιο, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, ενώ άλλα συστατικά, όπως π.χ. τα βαρέα μέταλλα και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι «ρυπαντές», που απαιτούν προσεκτική διαχείριση για να εξασφαλίζεται η ασφαλής και περιβαλλοντικά αποδεκτή

¹⁰: <https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS391/>

¹¹: Μακρή, 2006

διάθεση στο περιβάλλον. Η ιλύς που παράγεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υπόκειται συνήθως σε πρόσθετη επεξεργασία, έτσι ώστε να μειωθεί η περιεκτικότητα νερού για την καλύτερη και οικονομικότερη διαχείρισή της, να σταθεροποιηθεί το τελικό προϊόν και να απομακρυνθούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί.

Ανάλογα με το στάδιο επεξεργασίας των λυμάτων διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες ιλύος:

1. Πρωτοβάθμια ιλύς: Ιλύς που παράγεται κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων.
2. Βιολογική ιλύς: Ιλύς που παράγεται κατά τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων.
3. Μικτή ιλύς: είναι μίγμα πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος.

1.9.2. Διάθεση ιλύος στο έδαφος για γεωργικούς σκοπούς

Η διάθεση της ιλύος στο έδαφος είναι μια μέθοδος ανακύκλωσης των συστατικών της ιλύος με γεωργική αξία. Όλα τα είδη της ιλύος (υγρή, ημι-στερεή, στερεή και ξηραμένη ιλύς) μπορεί να εφαρμοστούν στο έδαφος. Ωστόσο, η χρήση κάθε είδους εμπεριέχει πρακτικούς περιορισμούς στην αποθήκευση, μεταφορά και στη μέθοδο εφαρμογής.

Συνιστάται η αποφυγή διάθεσης ιλύος στο έδαφος σε απόσταση μικρότερη των 200 m από υφιστάμενες κατοικίες και οικιστικές ζώνες, ποταμούς συνεχούς ροής και δίκτυα ύδρευσης, μικρότερη των 15 m από ρυάκια ή χείμαρρους ή άλλες ανοικτές υδατοσυλλογές περιορισμένης έκτασης και μικρότερη των 1.000 m από θαλάσσιες ακτές.

1.9.3. Καύση ιλύος

Σκοπός της θερμικής επεξεργασίας είναι η ελάττωση του όγκου της ιλύος, η μετατροπή της σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου και η κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της ευρισκόμενης στην ιλύ ενέργειας ως θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα ή καύσιμο υλικό¹².

1.9.4. Αξιοποίηση στη βιομηχανία

Επαναχρησιμοποίηση της ιλύος μπορεί να γίνει με την καύση της ιλύος σε θερμικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας μαζί με ορυκτά καύσιμα, ή σε εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου υποκαθιστώντας τον ορυκτό άνθρακα. Για την χρήση της ιλύος ως καύσιμο δεν είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση της ιλύος, αφού η μη σταθεροποιημένη ιλύς έχει

¹²: Μακρή, 2006

μεγαλύτερη θερμική αξία.

Παρότι είναι εφικτό η ιλύς να έχει υποστεί μόνο αφυδάτωση, στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων είναι εξαιρετικά αμφίβολο εάν μία τέτοια λύση θα γίνει αποδεκτή από την βιομηχανία. Ο όγκος της ιλύος είναι πολύ μεγάλος, με αποτέλεσμα να επιβαρύνονται σημαντικά οι μεταφορές, η πολύ μεγάλη υγρασία είναι αρνητικό για την διαδικασία της καύσης, ενώ δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο μόλυνσης κατά τον χειρισμό του υλικού.

Για τον λόγο αυτό, η βέλτιστη επεξεργασία της ιλύος για επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία είναι η θερμική ξήρανση μη σταθεροποιημένης λάσπης, αφού έτσι εξασφαλίζεται μικρός όγκος μεταφερόμενου υλικού και υψηλή καθαρή θερμική αξία της ιλύος. Η χρήση της ιλύος στη βιομηχανία έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως:

- υποκαθιστά φυσικά διαθέσιμα ορυκτά καύσιμα και
- περιορίζει τις συνολικές εκπομπές CO₂ και CH₄ συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

1.9.5. Χρήση στην δασοπονία και δασοκομία

Η χρήση της ιλύος από την επεξεργασία λυμάτων στην δασοκομία και δασοπονία μοιάζει να είναι μία εναλλακτική της επαναχρησιμοποίησης στη γεωργία, ωστόσο υπάρχουν σημαντικές διαφορές, οι οποίες οφείλονται μεταξύ άλλων παραγόντων και στην ιδιαιτερότητα των ειδών που αναπτύσσονται σε κάθε περίπτωση.

Από οικονομική άποψη η μέθοδος αυτή είναι δελεαστική στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμες εκτάσεις πλησίον της ΕΕΛ. Επισημαίνεται πάντως ότι είναι σχετικά μικρές οι ποσότητες της ιλύος που μπορούν να εφαρμοστούν (μέσος ρυθμός εφαρμογής 3 tDS/ha/έτος).

Η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στην δασοκομία και δασοπονία δεν έχει διερευνηθεί στον ίδιο βαθμό με την επαναχρησιμοποίηση στη γεωργία και για τον λόγο αυτό λίγες βιβλιογραφικές πληροφορίες είναι διαθέσιμες. Ωστόσο μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα αναφορικά με τα πλεονεκτήματα και περιορισμούς τόσο από αγροτική όσο και από περιβαλλοντική σκοπιά.

2. ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

2.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Η δημογραφία, ως η επιστήμη της μελέτης των πληθυσμών, εκτιμάται ότι γεννήθηκε στο Λονδίνο γύρω στα μέσα του 17^{ου} αιώνα, ονοματίστηκε περίπου 200 χρόνια αργότερα από έναν Γάλλο μαθηματικό και «ενηλικιώθηκε» με την αναγνώρισή της ως επιστήμη μόλις το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα¹³. Αν και ως αυτόνομη επιστήμη η δημογραφία είναι πολύ νέα, το ενδιαφέρον γύρω από θέματα που αφορούν στο μέγεθος, τη σύνθεση, τη δομή και τη δυναμική του πληθυσμού δεν είναι πρόσφατο.

Ήδη από την αρχαιότητα, οι ηγέτες των λαών είτε επρόκειτο για μονάρχες, αυτοκράτορες, στρατηγούς, πολιτικούς ή θρησκευτικούς ηγέτες, επιθυμούσαν πάντα να γνωρίζουν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια τον αριθμό των ατόμων που ζούσαν υπό την ηγεμονία τους. Σύμφωνα με τα ιστορικά ευρήματα, πληθυσμιακές καταμετρήσεις γίνονταν στην αρχαία Αίγυπτο, τη Βαβυλωνία, την Ινδία, τη Μέση Ανατολή και την Ιαπωνία, ενώ οι πιο συστηματικές προσπάθειες απογραφής του πληθυσμού καταγράφηκαν στην Κίνα τουλάχιστον 3.000 χρόνια πριν. Φορολογικοί, στρατιωτικοί και νομικοί λόγοι επέβαλαν την εκτίμηση τόσο του συνολικού μεγέθους όσο και κάποιων ποιοτικών χαρακτηριστικών συγκεκριμένων πληθυσμιακών ομάδων.

Σε αντίθεση με τις σημερινές απογραφές, η καταμέτρηση δεν αφορούσε το συνολικό πληθυσμό, αλλά μόνο τους ενήλικες άρρενες κατοίκους, που ήταν ικανοί να συμμετέχουν στη στρατιωτική οργάνωση της χώρας, όπως επίσης τους αρχηγούς των νοικοκυριών και όσους είχαν φορολογικές υποχρεώσεις. Οι γυναίκες και τα παιδιά έμεναν συνήθως εκτός της καταγραφής. Οι καταμετρήσεις αυτές δεν γίνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα αλλά είχαν σποραδικό χαρακτήρα και, λόγω των αμιγώς διοικητικών κινήτρων, τα αποτελέσματά τους στις περισσότερες περιπτώσεις δεν καταγράφονταν αναλυτικά ούτε καταχωρούνταν σε επίσημα αρχεία. Για τους σημερινούς ερευνητές, οι απογραφές αυτές είναι μάλλον περιορισμένης αξιοπιστίας, κυρίως λόγω πολιτικών ή θρησκευτικών σκοπιμοτήτων.

Ωστόσο και παρά τις όποιες μεθοδολογικές αδυναμίες ή πολιτικές μεθοδεύσεις, οι ιστορικοί δημογράφοι έχουν καταφέρει να συλλέξουν από αυτές τις καταγραφές, πολύτιμες πληροφορίες και να εξάγουν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξη του πληθυσμού. Μέσα από τις πρακτικές αυτές καταδεικνύονται αφ' ενός, η χρησιμότητα των πληθυσμιακών εκτιμήσεων και αφ' ετέρου η σημασία που αποδίδεται αιώνες τώρα στο

¹³ Τραγάκη κ.α. 2015

μέγεθος, τη δομή και στη σύνθεση του πληθυσμού.

Η αναζήτηση δογμάτων και θεωριών περί πληθυσμού οδηγεί πολύ πίσω στο χρόνο. «Αυξάνεσθε και πληθύνεσθε» ήταν μια από τις πρώτες παροτρύνσεις του Θεού προς τον άνθρωπο, σύμφωνα με την Παλαιά Διαθήκη. Οι Αρχαίοι Έλληνες είχαν φροντίσει να αναθέσουν σε περισσότερες από μία θεότητες την ευθύνη για τη γονιμότητα των γυναικών και την ευγονία των ζευγαριών. Ανάλογες θεότητες που ευνοούν την αναπαραγωγή συναντώνται στη ρωμαϊκή και αιγυπτιακή μυθολογία. Η εξήγηση είναι εξαιρετικά απλή. Κατά το μεγαλύτερο διάστημα της ανθρώπινης παρουσίας πάνω στη Γη, η διατήρηση ή η οριακή αύξηση του πληθυσμού δεν ήταν δυνατή παρά μόνο χάρη σε υψηλά ποσοστά γονιμότητας, ικανά να αντισταθμίζουν την ιδιαίτερα υψηλή θνησιμότητα που επί αιώνες έπληττε την ανθρωπότητα σε όλες τις ηλικιακές ομάδες.

2.2. Ιστορικά στοιχεία

Ο προβληματισμός σχετικά με τις συνέπειες της πληθυσμιακής εξέλιξης, κάθε άλλο παρά πρόσφατος είναι. Πριν από όχι λιγότερα από 2.500 χρόνια, οι σημαντικότεροι από τους φιλοσόφους της αρχαιότητας ασχολήθηκαν με τη δυναμική του πληθυσμού, προβληματίστηκαν σχετικά με τις συνέπειες των πληθυσμιακών μεταβολών και έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη των πρώτων θεωριών περί πληθυσμού. Ήδη από τότε, το ενδιαφέρον έπαψε να είναι αποκλειστικά αριθμητικό και το επίκεντρο του προβληματισμού μετατοπίστηκε στην αλληλεπίδραση μεταξύ πληθυσμιακών τάσεων, διαθέσιμων πόρων, οικονομικών εξελίξεων και εύρυθμης λειτουργίας της κοινωνίας¹⁴.

Η αύξηση του πληθυσμού αποτελούσε επιδίωξη για τον Κομφούκιο (περίπου 500 π.Χ.) που θεωρούσε ότι μεγαλύτερος αριθμός ανθρώπων δημιουργεί μεγαλύτερη παραγωγή και είναι κατά συνέπεια προϋπόθεση για την ευημερία του πληθυσμού. Αντιλαμβανόμενος ότι υπάρχει μια σχέση ισορροπίας ανάμεσα στην έκταση της καλλιεργήσιμης γης και το μέγεθος του πληθυσμού που αυτή μπορεί να «αντέξει», κατέληξε στη διαπίστωση ότι κάθε σημαντική απόκλιση από το αναφερόμενο ως «σημείο ισορροπίας» αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης της φτώχειας.

Τροφή και εκπαίδευση αποτελούσαν τις βασικές προϋποθέσεις στη θεωρία του Κομφούκιου για τη διασφάλιση μιας βιώσιμης πληθυσμιακής ανάπτυξης, ενώ παράλληλα ιδιαίτερη βαρύτητα απέδωσε στη σωστή και δίκαιη διακυβέρνηση. Απέδιδε στους κυβερνώντες την ευθύνη και την υποχρέωση διασφάλισης της ισορροπίας μεταξύ πληθυσμιακών πιέσεων και πόρων και θεωρούσε θεμιτές τις μαζικές μετακινήσεις ατόμων

¹⁴ Τραγάκη κ.α. 2015

από τις περισσότερο προς τις λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η Σχολή του Κομφούκιου παρατήρησε, επίσης, ότι κάποιοι εξωτερικοί παράγοντες μπορεί να ελέγχουν τους ρυθμούς αύξησης του πληθυσμού. Για παράδειγμα παρατήρησε ότι η θνησιμότητα αυξάνει όταν η τροφή είναι ανεπαρκής, η πρόωγη γαμηλιότητα ενισχύει τη βρεφική θνησιμότητα, οι πόλεμοι επιβραδύνουν τον ρυθμό πληθυσμιακής αύξησης. Δεν επιχειρήσαν ωστόσο να ερμηνεύσουν τις επιπτώσεις από τις μεταβολές της θνησιμότητας, της γονιμότητας, της γαμηλιότητας και των μεταναστευτικών κινήσεων στην ισορροπία μεταξύ πληθυσμού και φυσικών πόρων.

Όσον αφορά στον αρχαίο ελληνικό πολιτισμό, παρατηρείται ότι αν και υπάρχουν, λεπτομερείς αναφορές σχετικά με τον τρόπο ζωής και την καθημερινότητα των αρχαίων Ελλήνων, οι πληροφορίες που σχετίζονται με τη δημογραφική κατάσταση της Αρχαίας Ελλάδας, είναι εξαιρετικά περιορισμένες. Δεν υπάρχουν στοιχεία σχετικά με πληθυσμιακές καταμετρήσεις, ενώ τα αριθμητικά μεγέθη που καταγράφονται από τους ιστορικούς της εποχής περιορίζονται στην εκτίμηση των εμπλεκόμενων σε μάχες στρατιωτών.

Εντούτοις, και παρά τις όποιες δημογραφικές αβεβαιότητες, φαίνεται ότι τα επίπεδα γονιμότητας ήταν ιδιαίτερα χαμηλά στην Αρχαία Ελλάδα του 5ου και 4ου π.Χ. αιώνα. Η διαπίστωση αυτή είναι κοινή ανεξαρτήτως πολιτεύματος: αφορά εξίσου την δημοκρατική Αθήνα, αλλά και την ολιγαρχική Σπάρτη. Σε μια ενδιαφέρουσα ανάλυση της κοινωνικής, οικονομικής και πολιτικής ζωής στην Αρχαία Ελλάδα, ο Joseph Moreau (1949) ισχυρίζεται ότι τα αίτια της χαμηλής γονιμότητας εντοπίζονται στην κοινωνική δομή και την οικονομική οργάνωση των πόλεων-κρατών. Πιο συγκεκριμένα, οι ελεύθεροι πολίτες της Αθήνας απείχαν πλήρως από κάθε παραγωγική δραστηριότητα. Η αγροτική παραγωγή, η βιοτεχνία και ο κύριος όγκος των οικιακών ασχολιών ήταν αρμοδιότητες των μετοίκων και των δούλων. Κάθε ελεύθερος Αθηναίος πολίτης, ακόμα και οι λιγότερο εύρωστοι οικονομικά, όφειλε να έχει στην υπηρεσία του τουλάχιστον δύο δούλους. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο κοινωνικής οργάνωσης, η ανατροφή και εκπαίδευση των παιδιών ήταν όχι μόνο δαπανηρή, αλλά σαφώς λιγότερο αποδοτική από την απόκτηση και συντήρηση δούλων οι οποίοι συνέβαλαν στην παραγωγική διαδικασία.

Όπως είναι φυσικό, η οικονομία αδυνατούσε να συντηρεί ένα συνεχώς αυξανόμενο αριθμό μη εργαζόμενων Αθηναίων πολιτών. Έτσι, η διατήρηση ή η οριακή αύξηση του πληθυσμού των πόλεων-κρατών οφείλονταν αποκλειστικά στη μεταναστευτική κίνηση με αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση του αριθμού των «πολιτών» και την αντίστοιχη αύξηση των «μετοίκων» και των «δούλων». Παρά την εντελώς διαφορετική κοινωνική και πολιτική οργάνωση, αντίστοιχα δύσκολη, αν όχι δυσκολότερη, ήταν η πληθυσμιακή διατήρηση της

αριστοκρατίας στην πόλη της Σπάρτης.

Ως Αθηναίος ευγενής, ο Πλάτων, έδειξε ιδιαίτερη ευαισθησία στους κινδύνους που ενέχει η υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, ενώ παράλληλα έδειχνε προβληματισμένος από την αριθμητική συρρίκνωση του πληθυσμού των Αθηναίων πολιτών. Στους Νόμους του (360 πΧ) ανέδειξε για πρώτη φορά τη σημασία ενός στάσιμου πληθυσμού. Σύμφωνα με τον Πλάτωνα, μια πόλη-κράτος έπρεπε να είναι αρκετά μεγάλη πληθυσμιακά ώστε να προασπίζει με επιτυχία την εδαφική της ακεραιότητα και να εξασφαλίζει τον απαραίτητο καταμερισμό εργασίας για το εργατικό δυναμικό της, αλλά όχι τόσο μεγάλη ώστε να αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες των κατοίκων της. Επιπλέον, το μέγεθος μιας πόλης έπρεπε να είναι τέτοιο ώστε οι πολίτες να γνωρίζονται μεταξύ τους, προϋπόθεση ιδιαίτερης σημασίας, αφού, η ανωνυμία αποτελούσε εχθρό της δημοκρατίας.

Ωστόσο, πρέπει να τονισθεί, ότι στον «πληθυσμό» ο Πλάτων προσμετρούσε μόνο τους πολίτες, αδιαφορώντας για τις άλλες κατηγορίες κατοίκων μιας πόλης-κράτους. Όρισε το ιδανικό πληθυσμιακό μέγεθος² περισσότερο με πολιτικούς παρά οικονομικούς όρους και εξέφρασε τις απόψεις του περί κοινωνικής δικαιοσύνης. Προκειμένου να διατηρείται ο πληθυσμός σταθερός στο «επιθυμητό» επίπεδο, πρότεινε πολιτικές που περιελάμβαναν μέτρα ενίσχυσης ή περιορισμού της γονιμότητας (ηλικία γάμου, έλεγχος γεννήσεων) και ελέγχου της μετανάστευσης (όπως η ίδρυση αποικιών, σε περιόδους πληθυσμιακής αύξησης ή η προσέλκυση μετοίκων, σε αντίθετη περίπτωση).

Σύμφωνα με διάφορους μελετητές (όχι απαραίτητα και υποστηρικτές του), ο Πλάτων αναγνωρίζεται ως ένας από τους πρόδρομους της δημογραφικής σκέψης, για τρεις βασικούς λόγους. Πρώτον, έχοντας στο επίκεντρο της μελέτης του τον πληθυσμό μιας καλά ορισμένης χωρικής μονάδας, ανέδειξε τη σχέση του με το περιβάλλον. Δεύτερον, εντόπισε τις δημογραφικές παραμέτρους που συμβάλλουν στην δυναμική του πληθυσμού και τρίτον διατύπωσε σαφείς πληθυσμιακές πολιτικές εστιάζοντας στον έλεγχο των γεννήσεων και των μεταναστευτικών ροών.

Ο σπουδαιότερος από τους μαθητές του Πλάτωνα, ο Αριστοτέλης (340 πΧ), εισήγαγε την έννοια του βέλτιστου πληθυσμού, υποστηρίζοντας ότι μια πυκνοκατοικημένη πόλη είναι σχεδόν αδύνατον να κυβερνηθεί σωστά. Παραλλήλιζε μάλιστα το μέγεθος μιας πόλης με αυτό οποιουδήποτε ζωντανού οργανισμού, είτε πρόκειται για ζώο ή φυτό, που χάνει τις φυσικές του ιδιότητες και δυνάμεις όταν είναι είτε πολύ μικρό είτε τεράστιο.

Κανένας βέβαια από τους προαναφερθέντες φιλοσόφους δεν υποψιαζόταν ότι μέσα από αυτές τις προτάσεις πολιτικής διατύπωνε δημογραφικές θεωρίες. Άλλωστε, την εποχή εκείνη, η λέξη δημογραφία δεν είχε καν επινοηθεί. Έπρεπε να περάσουν περίπου 25 αιώνες, ιδιαίτερα

κρίσιμων για την πορεία της ανθρωπότητας ιστορικών γεγονότων, μέχρι να αναπτυχθεί η επιστήμη. Η ακμή και η παρακμή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, η άνοδος και η πτώση του Βυζαντίου, ο Μεσαίωνας, οι Σταυροφορίες, η Αναγέννηση, η ανακάλυψη της Αμερικής, η Γαλλική Επανάσταση, η διάλυση της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας, οι δύο Παγκόσμιοι Πόλεμοι, κάθε ένα από αυτά τα ιστορικά γεγονότα είτε υποκινήθηκε είτε επιταχύνθηκε από τις διαφορετικές, αλλά σε κάθε περίπτωση καθοριστικής σημασίας δημογραφικές εξελίξεις. Αύξηση ή απότομη συρρίκνωση του πληθυσμιακού μεγέθους, λοιμοί και επιδημίες, μεταβολές στην κατά ηλικία και εθνικότητα σύνθεσή του, απότομη αύξηση της πληθυσμιακής συγκέντρωσης ή έλλειψη πόρων αποτέλεσαν σε κάθε στιγμή της ανθρωπότητας, ίσως όχι τους καθοριστικούς, αλλά σίγουρα σημαντικούς ερμηνευτικούς παράγοντες πίσω από μεγάλα γεγονότα της Παγκόσμιας ιστορίας.

Οι δημογραφικές παράμετροι θα ήταν ίσως υπερβολή να θεωρηθούν ως οι κύριες κατευθυντήριες δυνάμεις πίσω από τις οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές εξελίξεις. Έπαιξαν όμως σε κάθε στιγμή της ανθρώπινης ιστορίας ένα σιωπηλό, αλλά αποφασιστικό ρόλο στη διαμόρφωση των νέων ισορροπιών. Ελάχιστοι μελετητές έχουν αποδώσει στις πληθυσμιακές μεταβλητές την ιστορική αξία που τους αναλογεί. Οι αιτίες αυτής της παράλειψης μπορούν να αναζητηθούν στην απουσία αξιόπιστων στατιστικών στοιχείων και την έλλειψη ικανών εμπειρικών προσεγγίσεων. Σε κάθε περίπτωση, όμως, μπορεί κανείς με ασφάλεια να ισχυριστεί, ότι οι δημογραφικές παράμετροι σε μεγάλο βαθμό διαμόρφωσαν τη ροή και την ένταση των ιστορικών και πολιτικών εξελίξεων και διαμορφώθηκαν από αυτές.

2.3. Απογραφές πληθυσμού - Δημογραφία

Δημογραφία είναι ο κλάδος των κοινωνικών επιστημών που μελετά τους ανθρώπινους πληθυσμούς, τη δομή και τη σύνθεσή τους και διερευνά τη σχέση τους με τις φυσικές, κοινωνικές και οικονομικές μεταβολές¹⁵.

Ο επικρατέστερος και ίσως πληρέστερος ορισμός της δημογραφίας διατυπώθηκε από τους Hauser και Duncan το 1959. Σύμφωνα με αυτόν δημογραφία είναι «η μελέτη του μεγέθους, της χωρικής κατανομής, της σύνθεσης και της δομής ενός πληθυσμού, των μεταβολών του και των συντελεστών αυτών των μεταβολών, δηλαδή της γεννητικότητας, της θνησιμότητας, των γεωγραφικών αλλά και κοινωνικών μετακινήσεων».

Η ανάλυση ποσοτικών δεδομένων, όπως ο υπολογισμός του συνολικού μεγέθους, των

¹⁵ Τραγάκη κ.α. 2015

αναλογιών μεταξύ πληθυσμιακών υπο-ομάδων, η δημιουργία δεικτών και η εκτίμηση των ρυθμών μεταβολής τους, αποτέλεσαν αρχικά τον κορμό της δημογραφικής ανάλυσης. Σταδιακά το πεδίο της δημογραφίας διευρύνθηκε ώστε να συμπεριλαμβάνει όχι μόνο τον υπολογισμό αλλά και την ερμηνεία των πληθυσμιακών μεταβολών καθώς και την εκτίμηση των μελλοντικών τάσεων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αναδείχθηκε η έντονη διαθεματικότητα του γνωστικού πεδίου και αναπτύχθηκαν ενδιαφέρουσες συνέργειες με επιστήμες πολύ διαφορετικές μεταξύ τους. Η Δημογραφία τοποθετείται στο σημείο τομής πεδίων όπως η κοινωνιολογία, η ανθρωπολογία, η γεωγραφία, η ιστορία, οι επιστήμες υγείας, η βιολογία, τα οικονομικά, η οικολογία και η κοινωνική πολιτική.

Η Δημογραφία εντάσσεται στις κοινωνικές επιστήμες, καθώς έχει ως επίκεντρο τον άνθρωπο. Οι τεχνικές και οι μέθοδοι ανάλυσής της όμως, απαιτούν περισσότερες από τις στοιχειώδεις γνώσεις μαθηματικών και στατιστικής.

Κεντρική έννοια της δημογραφίας είναι ο **πληθυσμός**. Σε αντίθεση με τη Στατιστική όπου ως πληθυσμός περιγράφεται ένα σύνολο στοιχείων, στη δημογραφία ο όρος «πληθυσμός» χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύνολο ανθρώπων. Με τη δημογραφική του έννοια, ο πληθυσμός αναφέρεται στους ανθρώπους οι οποίοι ζουν σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Για παράδειγμα η απογραφή του 2011 που διενήργησε η ΕΛ.ΣΤΑΤ., συνέλεξε και κατέγραψε στοιχεία που αφορούσαν στο μέγεθος, τα χαρακτηριστικά και τη χωρική κατανομή του Ελληνικού πληθυσμού την 16^η Μαΐου 2011. Ως προς τα δημογραφικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά (όπως πχ. φύλο, ηλικία, εθνικότητα, φυλή, οικογενειακή ή επαγγελματική κατάσταση κλπ) τα άτομα κατανέμονται σε διαφορετικές ομάδες, υποσύνολα του πληθυσμού.

Παρά την ευρεία χρήση της, η έννοια της λέξης «πληθυσμός» δεν είναι τόσο απλή όσο ακούγεται. Συχνά, είναι απαραίτητες κάποιες επιπλέον διευκρινίσεις σχετικά με τα κριτήρια προσμέτρησης ενός ατόμου σε έναν πληθυσμό. Μιλώντας για παράδειγμα για τον «πληθυσμό της Ελλάδας την 16^η Μαΐου 2011» πρέπει να γίνει ο διαχωρισμός ανάμεσα στο «νόμιμο», το «μόνιμο» ή τον «πραγματικό» πληθυσμό της χώρας.

Ο όρος πληθυσμός χρησιμοποιείται επίσης για την περιγραφή ενός υποσυνόλου του οποίου το μέγεθος και η δομή μεταβάλλονται ανάλογα με τα άτομα που εισέρχονται σ' αυτό ή εξέρχονται από αυτό. Η σύνθεση του ελληνικού εργατικού δυναμικού, για παράδειγμα, μεταβάλλεται ανάλογα με την ηλικία και το φύλο των νεο-εισερχομένων στην αγορά εργασίας και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά εκείνων που εξέρχονται αυτής, λόγω συνταξιοδότησης ή θανάτου.

Το δημογραφικό ενδιαφέρον εστιάζεται τόσο στην περιγραφή της κατάστασης ενός

πληθυσμού όσο και στη μεταβολή του.

2.3.1. Κατηγορίες πληθυσμού

Από τις απογραφές πληθυσμού προκύπτουν τρεις πληθυσμοί:

- **Μόνιμος πληθυσμός** της χώρας, (όπως αυτός ορίζεται στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό 736/2008 για τις απογραφές πληθυσμού στις χώρες της Ε.Ε.), δηλαδή ο αριθμός των Ελλήνων και αλλοδαπών κατοίκων που έχουν τη συνήθη διαμονή τους, (διαμένουν 12 μήνες ή έχουν την πρόθεση να διαμείνουν για 12 μήνες), σε κάθε επίπεδο διοικητικής διαίρεσης της χώρας.
- **Πραγματικός Πληθυσμός**, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων που βρέθηκαν παρόντα κατά την ημέρα αναφοράς της Απογραφής, (κατά την Απογραφή Πληθυσμού 2011 ημερομηνία αναφοράς ήταν η 9^η Μαΐου 2011), σε κάθε επίπεδο διοικητικής διαίρεσης της χώρας.
- **Νόμιμος Πληθυσμός** κάθε δήμου ή κοινότητας, είναι ο αριθμός των ατόμων κάθε ηλικίας και φύλλου, τα οποία κατά τη ημέρα της Απογραφής δήλωσαν ότι είναι καταχωρημένα στα αντίστοιχα δημοτολόγια και εφόσον κατά την ημέρα της Απογραφής βρίσκονταν στη χώρα και απογράφηκαν ως παρόντα ή απουσίαζαν προσωρινώς στο εξωτερικό. Βάσει του Νόμιμου Πληθυσμού γίνεται η κατανομή των βουλευτικών εδρών στις επιμέρους εκλογικές περιφέρειες κατά τις βουλευτικές εκλογές.

Ο **Νόμιμος Πληθυσμός** της Απογραφής του 2011 στην Περιφερειακή Ενότητα Κεφαλληνίας παρουσίασε αύξηση συγκριτικά με το μόνιμο πληθυσμό της Απογραφής 2001 κατά 1257 άτομα, ποσοστό αύξησης 3,6% και στην Περιφερειακή Ενότητα Ιθάκης επίσης παρουσίασε αύξηση 19 άτομα, ποσοστό αύξησης 0,6%.

2.4. Απογραφές πληθυσμού Νομού Κεφαλληνίας

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αναλυτικά οι απογραφές πληθυσμού για το Νομό Κεφαλληνίας¹⁶

Πίνακας 2. Μόνιμος πληθυσμός για το Νομό Κεφαλληνίας

Απογραφή Πλ.	Ν. Κεφαλληνίας	Νησί Κεφαλλονιάς	Νησί Ιθάκης
1991	32400	29215	3185
2001	37756	34544	3212

¹⁶ Ελληνική Στατιστική Αρχή. Υπηρεσία Στατιστικής Ν. Κεφαλληνίας.

2011		35801	3231
------	--	-------	------

Πίνακας 3. Πραγματικός πληθυσμός για το Νομό Κεφαλληνίας

Απογραφή Πλ.	Ν. Κεφαλληνίας	Νησί Κεφαλλονιάς	Νησί Ιθάκης
1971	36742	31790	4952
1981	31297	27649	3648
1991	32474	29392	3082
2001	39488	36404	3084
2011		38082	3209

Πίνακας 4. Νόμιμος πληθυσμός για το Νομό Κεφαλληνίας

Απογραφή Πλ.	Ν. Κεφαλληνίας	Νησί Κεφαλλονιάς	Νησί Ιθάκης
1991	42774	38557	4217
2001	42397	38582	3815
2011		37766	3599

Το **Αργοστόλι** είναι πόλη της Κεφαλονιάς και πρωτεύουσα του Νομού Κεφαλληνίας. Αποτελεί την πρωτεύουσα και το κέντρο δραστηριοτήτων του νησιού από το 1757, οπότε υπήρξε σημαντική μετακίνηση πληθυσμού από την παλαιά πρωτεύουσα, τον Άγιο Γεώργιο, με σκοπό την εκμετάλλευση των εμπορικών δυνατοτήτων του κόλπου της περιοχής. Κατά την απογραφή του 2011 είχε 9.748 κατοίκους¹⁷.

Είναι επίσης πρωτεύουσα της επαρχίας Κραναίας που περιλαμβάνει το νότιο και νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού. Επίσης είναι η μεγαλύτερη πόλη του νησιού και συνδέεται με ferry με το Ληξούρι που είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη. Ο κόλπος του Αργοστολίου που το περιβάλλει είναι ένα από τα ασφαλέστερα λιμάνια του κόσμου. Η πόλη διαθέτει και μία πλούσια σε υλικό βιβλιοθήκη, την Κοργιαλένιο.

Από το 1600 περίπου φαίνεται πως άρχισε να οικίζεται η περιοχή κοντά στον Κούταβο και ιδιαίτερα από τη μεριά που σήμερα είναι η περιοχή της Γέφυρας και η Σισιώτισσα. Η λύση για μια νέα πόλη που να έχει όσο δυνατό καλύτερες προδιαγραφές με πρώτη αυτή του ασφαλή λιμένα θα προκύψει αργότερα, όταν το 1757 θα αποφασιστεί να μεταφερθεί η πρωτεύουσα από το Κάστρο του Αγίου Γεωργίου εκεί κοντά στον Κούταβο, όπου υπήρχε ένας οικισμός επί το πλείστον από ψαράδες, ένα επίνειο του Κάστρου που ονομαζόταν Tener della Scala di Cefalonia. Παλαιότερα το λιμάνι του νησιού υπήρχε εκεί στον Κούταβο, το Porto de la Zephalonia ή Porto de l' Arsenal, στον μυχό. Από το 1757 και μετά το Αργοστόλι άρχισε να μεγαλώνει σταδιακά. Όταν τα Επτάνησα πέρασαν στους Άγγλους, περίπου το 1810, η Κεφαλλονιά όπως και τα άλλα Επτάνησα είχε το δικό της Άγγλο κυβερνήτη. Ένας από αυτούς ήταν ο Ντε Μπوسέ, ο οποίος έκανε πολλά έργα στο Αργοστόλι και ήταν ο

¹⁷ <https://el.wikipedia.org/wiki>.

δημιουργός της γέφυρας του Αργοστολίου. Η γέφυρα αυτή μήκους περίπου ενός χιλιομέτρου συνέδεε το Αργοστόλι με την απέναντι πλευρά του κόλπου του Αργοστολίου. Η παλαιά πόλη του Αργοστολίου ήταν κατά πολύ γραφικότερη από τη σημερινή αφού περιείχε πολλά μεγάλα κτίρια με Ιταλικές επιρροές στην αρχιτεκτονική τους. Η προσεισμική πόλη χαρακτηριζόταν από πολλά επιβλητικά αρχοντικά και μέγαρα, με ιταλικές επιρροές στην αρχιτεκτονική των σπιτιών του με αναγεννησιακά και μπαρόκ στοιχεία. Το Αργοστόλι, επίσης ήταν η δεύτερη πόλη στην Ελλάδα που ηλεκτροφωτίστηκε. Ένα από τα «μυστήρια» του Αργοστολίου είναι οι Καταβόθρες, ένα σπάνιο γεωλογικό φαινόμενο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η απογραφή του πληθυσμού για το Δήμο Αργοστολίου¹⁸.

Πίνακας 5. Απογραφή του πληθυσμού για το Δήμο Αργοστολίου

Έτος	Πληθυσμός
1991	7164
2001	6815
2011	9522

2.5. Προβλέψεις 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 απασχόληση¹⁹. 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:

- **Η μέθοδος της αριθμητικής ή γραμμικής ανάπτυξης**
- **Η μέθοδος της γεωμετρικής ανάπτυξης**

¹⁸ <https://el.wikipedia.org/wiki>.

¹⁹ Τσώνης, 2003

- Η μέθοδος της ανάπτυξης με μειούμενο ρυθμό αύξησης
- Η μέθοδος που στηρίζεται στη σιγμοειδή καμπύλη (λογιστική)
- Η μέθοδος των λόγων
- Η μέθοδος που στηρίζεται στην εκτίμηση της απασχόλησης
- Η μέθοδος των επί μέρους ηλικιακών ομάδων.

Όλες αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν διαφορετικές υποθέσεις και δίνουν συνήθως διαφορετικά αποτελέσματα. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για τη μελετούμενη περίπτωση εξαρτάται από το πλήθος των διαθέσιμων απογραφικών στοιχείων και κυρίως από το εάν πρόκειται να γίνει βραχυχρόνια ή μακροχρόνια πρόβλεψη. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του πληθυσμού μιας περιοχής είναι: (α) ο αριθμός γεννήσεων και ο αριθμός θανάτων, (β) η μετανάστευση και ο επαναπατρισμός, (γ) η αστυφιλία, (δ) ο βαθμός εμπορικής και βιοτεχνικής ανάπτυξης, (ε) ο βαθμός βιομηχανικής ανάπτυξης και (στ) οι ιδιαιτερότητες των τοπικών συνθηκών καθώς και συνθηκών σε εθνικό επίπεδο.

2.5.1. Μέθοδος της αριθμητικής ή γραμμικής ανάπτυξης

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).

2.5.2. Μέθοδος της γεωμετρικής ανάπτυξης

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 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).

2.5.3. Μέθοδος με μειούμενο ρυθμό αύξησης

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.

2.5.4. Πρόβλεψη πληθυσμού με τη λογιστική μέθοδο

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.

Η γραφική παράσταση της αύξησης του πληθυσμού όπως περιγράφεται παραπάνω αντιστοιχεί σε μια σιγμοειδή καμπύλη ή καμπύλη τύπου S. Η διαφορική εξίσωση που αντιστοιχεί στην κλίση της σιγμοειδούς καμπύλης είναι $dY/dt = k_L \cdot Y \cdot (1 - Y/Z)$. Η δεύτερη παράγωγος του Y ως προς t είναι: $d[dY/dt]/dt = k_L - 2 \cdot Y \cdot k_L/Z = k_L \cdot (1 - 2Y/Z)$.

Όπως φαίνεται από την εξίσωση 3.2 η δεύτερη παράγωγος μηδενίζεται για $Y = Z/2$ ή όταν ο πληθυσμός φτάσει στο 50% της τιμής κορεσμού. Τη χρονική στιγμή λοιπόν που ο πληθυσμός βρίσκεται στο 50% της τιμής κορεσμού η πρώτη παράγωγος του ρυθμού αύξησης γίνεται μηδέν και αντίστοιχα ο ρυθμός αύξησης γίνεται μέγιστος.

2.5.5. Γραφική - συγκριτική μέθοδος

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).

2.5.6. Μέθοδος των λόγων.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν (επιταχύνουν ή επιβραδύνουν) την ανάπτυξη του πληθυσμού είναι διαχυτικοί 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.

2.5.7. Πρόβλεψη πληθυσμού με βάση την εκτίμηση της απασχόλησης.

Η αύξηση του πληθυσμού σε μια περιοχή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα της περιοχής να στηρίζει τον πληθυσμό με απασχόληση (θέσεις εργασίας). Έτσι, προβλέψεις για την απασχόληση σε μία περιοχή που έχουν γίνει στα πλαίσια άλλων μελετών (π.χ. μελέτες βιομηχανικής ανάπτυξης, μελέτες σχεδιασμού μεταφορών) είναι χρήσιμες για την πρόβλεψη του πληθυσμού.

Η αναγωγή της πρόβλεψης για την απασχόληση σε πρόβλεψη για τον πληθυσμό γίνεται με τη βοήθεια του λόγου των θέσεων απασχόλησης προς τον πληθυσμό της περιοχής. Η πρόβλεψη του λόγου αυτού γίνεται μετά από την ανάλυση των διαθέσιμων απογραφικών στοιχείων και των στοιχείων από την απασχόληση (στα οποία στηρίζεται η πρόβλεψη για την απασχόληση) κατά παρόμοιο τρόπο με εκείνον που αναφέρεται στην προηγούμενη μέθοδο των λόγων.

Παρόμοιες προβλέψεις μπορούν να γίνουν εάν αντί των θέσεων απασχόλησης χρησιμοποιηθούν άλλες παράμετροι όπως αριθμός συνδέσεων ηλεκτρικού ρεύματος ή τηλεφώνων, αριθμός φορολογικών δηλώσεων κ.α.

2.5.8. 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.

2.6. Πρόβλεψη μελλοντικού πληθυσμού του Δήμου Αργοστολίου.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο (Πίνακας 5) παρουσιάστηκε η απογραφή του πληθυσμού για το Δήμο του Αργοστολίου. Με τη βοήθεια των δεδομένων της απογραφής έγινε πρόβλεψη του πληθυσμού για το Δήμο Αργοστολίου για το έτος 2030. Η πρόβλεψη έγινε με τις εξής μεθόδους:

- Μέθοδος αριθμητικής ή γραμμικής ανάπτυξης
- Μέθοδος γεωμετρικής ανάπτυξης

2.6.1. Πρόβλεψη με τη μέθοδο αριθμητικής ή γραμμικής ανάπτυξης.

Κατά την αριθμητική μέθοδο αριθμητικής ή γραμμικής ανάπτυξης θεωρείται 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: $k_a = \frac{Y_1 - Y_2}{Dt}$, όπου Y_1 και Y_2 είναι οι απογραφές του πληθυσμού κατά τα έτη t_1 και t_2 , και $Dt = t_1 - t_2$

Ο μελλοντικός πληθυσμός μετά από n έτη δίνεται από τη σχέση: $Y_n = Y_o + k_a \cdot n$

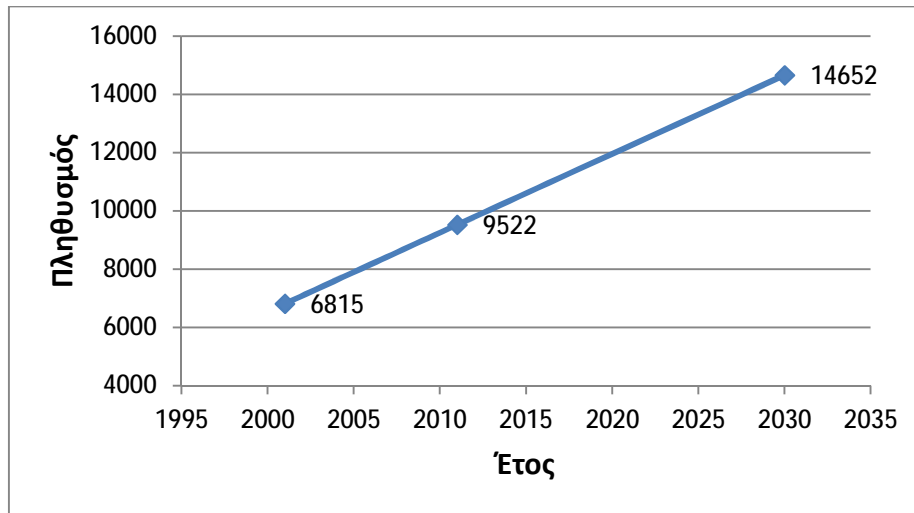
Όπου: Y_n είναι ο πληθυσμός μετά από n έτη και Y_o είναι ο σημερινός πληθυσμός.

Άρα ο υπολογισμός έγινε ως εξής:

$$Y_{2011} = Y_{2001} + k_a \cdot 10 \quad \Rightarrow \quad k_a = \frac{Y_{2011} - Y_{2001}}{10} \quad \Rightarrow \quad k_a = \frac{9522 - 6815}{10} \quad \Rightarrow \quad k_a = 270 \text{ κάτοικοι/έτος}$$

Έτος 2030:

$$Y_{2030} = Y_{2011} + k_a \cdot 19 \Rightarrow Y_{2030} = 9522 + 270 \cdot 19 \Rightarrow Y_{2030} = \mathbf{14652 \text{ κάτοικοι.}}$$



Εικόνα 7. Πρόβλεψη πληθυσμού με τη μέθοδο αριθμητικής ή γραμμικής ανάπτυξης.

2.6.2. Πρόβλεψη με τη γεωμετρικής ανάπτυξης.

Στη μέθοδο γεωμετρικής ανάπτυξης θεωρείται ότι ο ρυθμός αύξησης είναι ανάλογος του πληθυσμού, δηλαδή ισχύει ότι:

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

Όπου: k_g είναι ο συντελεστής σταθερής αύξησης που δίνεται από τη σχέση:

$$k_g = \frac{\ln Y_1 - \ln Y_2}{\Delta t}, Y_1 \text{ και } Y_2 \text{ είναι οι απογραφές του πληθυσμού κατά τα έτη } t_1 \text{ και } t_2, \Delta t = t_1 - t_2$$

Ο μελλοντικός πληθυσμός μετά από n έτη δίνεται από τη σχέση: $Y_n = Y_0 \exp(k_g \cdot n)$

Όπου: Y_n είναι ο πληθυσμός μετά από n έτη και Y_0 είναι ο σημερινός πληθυσμός.

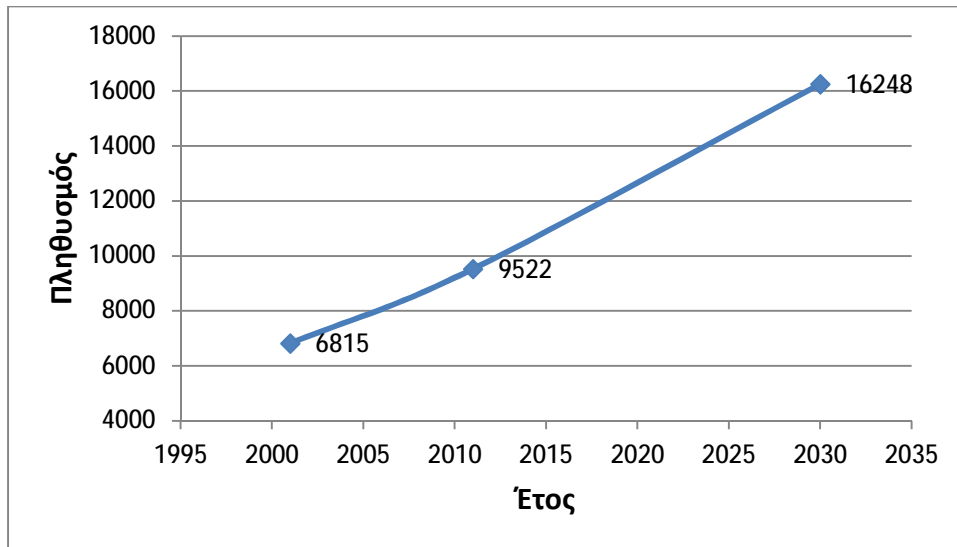
Άρα ο υπολογισμός έγινε ως εξής:

$$\frac{Y_{2011}}{Y_{2001}} = e^{k_g \cdot 10} \Rightarrow k_g = \frac{1}{10} \ln \frac{9522}{6815} \Rightarrow k_g = \frac{1}{10} \ln \frac{9522}{6815} \Rightarrow k_g = 0.0334$$

Έτος 2030:

$$\frac{Y_{2030}}{Y_{2011}} = e^{k_g \cdot 19} \Rightarrow Y_{2030} = Y_{2011} \cdot e^{k_g \cdot 19} \Rightarrow Y_{2030} = 9522 \cdot e^{0.0334 \cdot 19} \Rightarrow Y_{2030} = 16248 \text{ κάτοικοι}$$

Άρα $Y_{2030} = 16248$ κάτοικοι.



Εικόνα 8. Πρόβλεψη πληθυσμού με τη μέθοδο γεωμετρικής ανάπτυξης.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

3.1. Σχεδιασμός δεξαμενών καθίζησης

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 είναι²⁰:

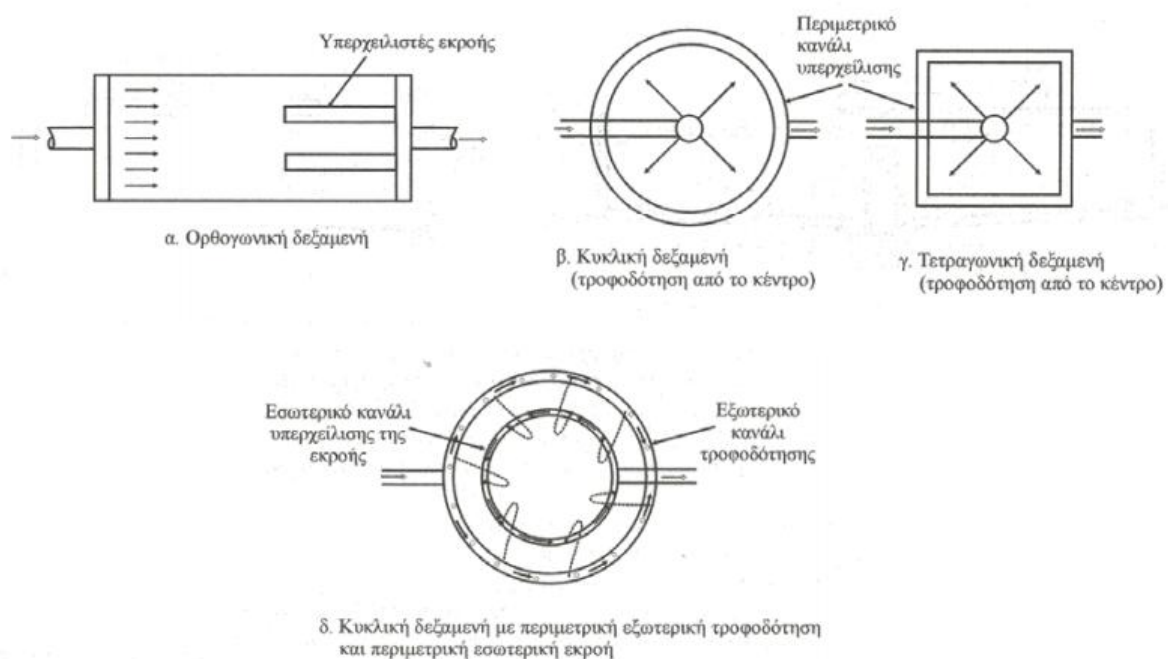
- **Ταχύτητα υπερχειλίσης (ή επιφανειακή ταχύτητα υπερχειλίσης), $m^3/m^2 \cdot d$**
Υπολογίζεται μετά από διαίρεση της παροχής του νερού που τροφοδοτείται (m^3/d) με το επιφανειακό εμβαδόν της δεξαμενής (m^2).
- **Χρόνος παραμονής, h.**
Υπολογίζεται μετά από διαίρεση του όγκου της δεξαμενής (m^3) με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

3.2. Τύποι δεξαμενών καθίζησης.

Οι δεξαμενές καθίζησης σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού είναι δυνατόν να είναι

²⁰: Τσώνης, 2004

ορθογωνικές ή τετραγωνικές ή κυκλικές. Οι ορθογωνικές δεξαμενές καθίζησης είναι συνήθως μακρόστενες με λόγο μήκος/πλάτος 2:1 έως 3:1. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος μήκος/πλάτος τόσο πιο αποτελεσματικά αποφεύγεται το βραχυκύκλωμα (τιμές 6:1 έως 7:1 επιτυγχάνουν καλό έλεγχο του βραχυκύκλωματος). Στη ζώνη εισόδου γίνεται κατά το δυνατόν ομοιόμορφη διανομή της παροχής και η έξοδος γίνεται από υπερχειλιστές που είναι τοποθετημένοι στην περιοχή της πλευράς εξόδου (κατά προτίμηση στο τελευταίο 1/3 του μήκους της δεξαμενής). Η ιλύς που καθιζάνει στη ζώνη ιλύος προωθείται με κατάλληλες διατάξεις προς το φρεάτιο ιλύος το οποίο βρίσκεται στην πλευρά εισόδου της δεξαμενής. Η ιλύς αφαιρείται από το φρεάτιο ιλύος με κατάλληλη διάταξη άντλησης.



Εικόνα 9. Διάφοροι τύποι δεξαμενών καθίζησης όπου φαίνεται ο τρόπος τροφοδότησης καθώς και ο τρόπος παραλαβής της καθιζημένης εκροής²¹.

Οι κυκλικές δεξαμενές καθίζησης ενδέχεται να τροφοδοτούνται από το κέντρο με τη βοήθεια κεντρικού φρεατίου διανομής ή από περιμετρικό κανάλι τροφοδότησης. Στις κυκλικές δεξαμενές κεντρικής τροφοδότησης ή τροφοδότηση γίνεται από κεντρικό φρεάτιο και η πορεία του νερού είναι ακτινική προς το περιμετρικό κανάλι υπερχειλίσσης.

Εκτός από τις κυκλικές δεξαμενές κεντρικής τροφοδότησης χρησιμοποιούνται σε μερικές περιπτώσεις και κυκλικές δεξαμενές που τροφοδοτούνται από περιμετρικό κανάλι. Η τροφοδοτούμενη παροχή διανέμεται ομοιόμορφα κατά την έννοια της περιμέτρου της δεξαμενής και στη συνέχεια οδεύει προς την κεντρική περιοχή για να υπερχειλίσει από

²¹ : Τσώνης, 2003

κυκλικό κανάλι υπερχειλίσης το οποίο βρίσκεται εσωτερικά του περιμετρικού καναλιού τροφοδότησης.

Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και τετραγωνικές δεξαμενές. Οι τετραγωνικές δεξαμενές συνδυάζουν μερικά από τα πλεονεκτήματα των ορθογωνικών και των κυκλικών δεξαμενών. Έτσι οι τετραγωνικές δεξαμενές είναι δυνατόν να ακολουθούν δεξαμενές θρόμβωσης από τις οποίες διαχωρίζονται με κατάλληλο διάτρητο τοίχωμα επικοινωνίας. Επίσης στις τετραγωνικές δεξαμενές η παραλαβή της ιλύος είναι δυνατόν να γίνεται από κεντρικό φρεάτιο. Η ιλύς οδηγείται στο φρεάτιο ιλύος με τη βοήθεια περιστρεφόμενου βραχίονα σάρωσης του πυθμένα.

Ο πυθμένας των δεξαμενών καθίζησης θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να έχει την κατάλληλη κλίση προς το φρεάτιο ιλύος. Η κλίση εξαρτάται τόσο από τον τύπο της δεξαμενής όσο και από τον τρόπο που γίνεται αφαίρεση της ιλύος. Συνήθεις τιμές για τις χρησιμοποιούμενες κλίσεις του πυθμένα είναι 1% για ορθογωνικές δεξαμενές και 8% για δεξαμενές με κυκλικό ή τετραγωνικό πυθμένα.

3.3. Πρωτοβάθμια καθίζηση αστικών λυμάτων.

Η πρωτοβάθμια καθίζηση των αστικών λυμάτων, όταν ακολουθείται από δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, έχει ως στόχο την αφαίρεση των καθιζανόντων στερεών καθώς και του υλικού που επιπλέει²². Ο σχεδιασμός της πρωτοβάθμιας δεξαμενής καθίζησης διαφοροποιείται ανάλογα με το στόχο που καλείται να εξυπηρετήσει. Εάν η πρωτοβάθμια επεξεργασία αποτελεί το μοναδικό στάδιο επεξεργασίας, τότε αναφερόμαστε σε δεξαμενές κράτησης των λυμάτων, σε σηπτικές δεξαμενές (σηπτικούς βόθρους), και σε δεξαμενές παράλληλης χώνευσης της ιλύος σε ξεχωριστό χώρο κάτω από το διαμέρισμα της καθίζησης. Όταν η πρωτοβάθμια καθίζηση αποτελεί το τελικό στάδιο επεξεργασίας ή προηγείται από ένα δευτεροβάθμιο μη βιολογικό στάδιο αφαίρεσης διαλυτού οργανικού υλικού και επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή αφαίρεση αιωρούμενου και κολλοειδούς υλικού, τότε περιλαμβάνει εκτός από την καθίζηση και στάδια κροκίδωσης και θρόμβωσης.

Η τυπική ή συνήθης πρωτοβάθμια καθίζηση των αστικών λυμάτων αντιστοιχεί στη δίοδο των προεπεξεργασμένων λυμάτων δια μέσου μιας δεξαμενής όπου επικρατούν συνθήκες σχετικής ηρεμίας και επιτυγχάνεται διαχωρισμός με καθίζηση και επίπλευση

²²: Τσώνης, 2004

καθιζανόντων στερεών και επιπλέοντος υλικού. Η ταχύτητα των λυμάτων διαμέσου της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης κυμαίνεται στην περιοχή 0,3 - 0,6 m/min και είναι αρκετά μικρότερη από την ταχύτητα διαμέσου του αμμοσυλλέκτη (0,3 m/s). Στόχος του αμμοσυλλέκτη είναι η κατακράτηση της άμμου και η ανεμπόδιστη διέλευση των στερεών που έχουν μικρότερο ειδικό βάρος με αντίστοιχα μικρότερες ταχύτητες καθίζησης καθώς και ταχύτητες συμπαράσυρσης.

Η αφαίρεση αιωρούμενων στερεών που επιτυγχάνει η συνήθης πρωτοβάθμια καθίζηση κυμαίνεται στην περιοχή 40-60% και τα αιωρούμενα στερεά που αφαιρούνται αντιστοιχούν στο 25-35% του ΒΑΟ₅ των λυμάτων. Η αφαίρεση των καθιζανόντων λυμάτων είναι σχεδόν ποσοτική.

Το μέγεθος και ο αριθμός των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης εξαρτάται από την παροχή των λυμάτων και από τον υδραυλικό χρόνο παραμονής για τον οποίο γίνεται ο σχεδιασμός. Γενικά υδραυλικός χρόνος παραμονής στην περιοχή από 2 έως 3 ώρες θεωρείται ικανοποιητικός για τις πρωτοβάθμιες δεξαμενές καθίζησης. Ο χρόνος που απαιτείται για την καθίζηση των στερεών που βρίσκονται στα λύματα εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα, το ειδικό βάρος τους, από τη θερμοκρασία των λυμάτων και από την κατάσταση στην οποία βρίσκονται. Η ταχύτητα καθίζησης των στερεών είναι μικρότερη σε μικρότερες θερμοκρασίες. Η αφαίρεση αιωρούμενων στερεών είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση φρέσκων λυμάτων από ότι στην περίπτωση σηπτικών λυμάτων.

3.4. Παράμετροι σχεδιασμού δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης

Οι κύριες παράμετροι υπολογισμού των διαστάσεων των ΔΠΚ είναι²³:

1. Ο χρόνος παραμονής
2. Η επιφανειακή φόρτιση
3. Η ταχύτητα ροής στον πυθμένα των ΔΠΚ
4. Η απομάκρυνση των SS και του BOD

Οι ΔΠΚ που περιγράφηκαν χρησιμοποιούνται κυρίως στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων όπου οι παροχές των λυμάτων είναι μεγάλες σε σχέση με τις παροχές των λυμάτων στις μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων των

²³ : Κούστα, 2015

ξενοδοχείων. Στις μικρές εγκαταστάσεις, όπου εξυπηρετείται μικρότερος πληθυσμός, χρησιμοποιούνται κυρίως σηπτικές δεξαμενές.

3.5. Σχεδιασμός δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης

Οι εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης σχεδιάζονται για να απομακρύνουν τα αιωρούμενα στερεά διαστάσεων 10^{-1} - 10^{-2} mm, είτε για να μειωθεί το ρυπαντικό φορτίο στα επιθυμητά όρια για απόρριψη στον αποδέκτη, είτε ως προεργασία για το επόμενο στάδιο (δευτεροβάθμιο)²⁴.

Η απομάκρυνση των αιωρούμενων ακολουθεί καθίζηση τύπου II (συσσωματωμένων σωματιδίων). Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων μεταβάλλεται (αυξάνεται) κατά την πορεία τους προς τον πυθμένα της δεξαμενής λόγω της αύξησης του μεγέθους τους. Το αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι να μην είναι δυνατός ο αναλυτικός υπολογισμός ταχυτήτων καθίζησης, αλλά να απαιτείται πειραματική μέτρησή τους. Στην περίπτωση που δεν διατίθενται πειραματικά δεδομένα για το συγκεκριμένο απόβλητο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τιμές που έχουν προκύψει από τη διεθνή εμπειρία για απόβλητα ίδιου τύπου.

Σημαντική παράμετρος σχεδιασμού είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής. Μεγάλες τιμές οδηγούν σε καθίζηση κολλοειδών στερεών, με επακόλουθο τη δημιουργία συμπαγούς μάζας στον πυθμένα, που απομακρύνεται δύσκολα. Μικρές τιμές οδηγούν σε ανεπιθύμητα μικρή απομάκρυνση στερεών. Τα οργανικά στερεά συμπυκνώνονται συνήθως στο 5-10%, ενώ τα ανόργανα στο 20-30%.

Για το σχεδιασμό της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης:

- Γίνεται η επιλογή του ποσοστού απομάκρυνσης για τα αιωρούμενα στερεά. Συνήθως, για αστικά λύματα, επιλέγονται τιμές μεταξύ 50 και 70%. Η επακόλουθη μείωση του BOD5 είναι της τάξης του 25-40%.
- Για το συγκεκριμένο απόβλητο υπολογίζονται τα συνολικά ποσοστά απομάκρυνσης για διάφορες επιφανειακές φορτίσεις, από πειραματικά δεδομένα και μόνο. Τα πειράματα αυτά, λόγω του φαινομένου της συσσωμάτωσης, θα πρέπει να έχουν εκτελεστεί σε δοχείο καθίζησης ύψους όσο και της πραγματικής δεξαμενής. Συνηθισμένο ύψος τέτοιων δεξαμενών είναι τα 3 m.

²⁴ : Βλυσίδης κ.α., 2018

- Από το ίδιο πείραμα, βάσει των διαστάσεων του δοχείου, καταστρώνονται διαγράμματα απομάκρυνσης στερεών και συγκέντρωσης της προκύπτουσας λάσπης συναρτήσει του χρόνου παραμονής. Η συγκέντρωση λάσπης μετράται πειραματικά με δειγματοληψία στον πυθμένα της στήλης καθίζησης.
- Στη συνέχεια, για το επιθυμητό ποσοστό απομάκρυνσης βρίσκεται η απαιτούμενη επιφανειακή φόρτιση. Αν δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα, επιλέγεται μια επιφανειακή φόρτιση από τη βιβλιογραφία. Συνηθισμένη τιμή σχεδιασμού είναι γύρω στα $40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$.
- Από αυτήν υπολογίζεται η επιφάνεια της δεξαμενής, βάσει της δεδομένης υδραυλικής παροχής.
- Υπολογίζεται ο χρόνος παραμονής του αποβλήτου στη δεξαμενή είτε από τα πειραματικά δεδομένα, είτε από τη βιβλιογραφία. Στην πράξη λαμβάνεται συνήθως μια τιμή κοντά στις 2 ώρες.
- Αποφασίζεται ο τύπος της δεξαμενής (κυλινδρική ή ορθογώνια) και υπολογίζονται οι διαστάσεις της.
- Υπολογίζονται τα στερεά που απομακρύνονται, από τη συγκέντρωση εισόδου, το ποσοστό απομάκρυνσης και την πυκνότητά τους.

3.5.1. Σχεδιασμός δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης για το Δήμο Αργοστολίου

Η παροχή υπολογισμού για τη δεξαμενή ή τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης θα υπολογιστεί με βάση τον πληθυσμό σχεδιασμού. Όπως προβλέφθηκε στην παράγραφο 1.6, ο μελλοντικός πληθυσμός για το Δήμο Αργοστολίου θα είναι περίπου 16.250 κάτοικοι. Ο πληθυσμός αιχμής για το σχεδιασμό λαμβάνεται ίσος με 25000 κατοίκους.

- Υπολογισμός της υδραυλικής παροχής σχεδιασμού²⁵

Η παροχή σχεδιασμού θα εκτιμηθεί με τη βοήθεια της εξίσωσης $Q_{σχ} = Y \cdot C \cdot f$, όπου:

$Q_{σχ}$ είναι η υδραυλική παροχή σχεδιασμού

Y είναι ο πληθυσμός αιχμής της πόλης του Αργοστολίου (= 25000 cap)

C είναι η ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο (= 250 l/cap/d)

²⁵ : <http://www.enve-lab.eu>

f είναι συντελεστής μετατροπής του πόσιμου νερού σε λύματα (= 80%)

Άρα η παροχή σχεδιασμού θα είναι ίση με $Q_{σχ} = Y \cdot C \cdot f = 25000 \cdot 250 \cdot 0,8 = 5000000 \text{ l/d} = 5000 \text{ m}^3/\text{d}$.

Ο αριθμός δεξαμενών για τη συγκεκριμένη εφαρμογή θα ληφθεί ίσος με δύο (2) δεξαμενές, που είναι και ο ελάχιστος αριθμός δεξαμενών σε παρόμοιες εγκαταστάσεις. Οι δεξαμενές θα είναι όμοιες.

Άρα η ροή σε κάθε δεξαμενή θα είναι ίση με $Q = Q_{σχ}/2 = 5000/2 \Rightarrow Q = 2500 \text{ m}^3/\text{d} \Rightarrow Q \approx 105 \text{ m}^3/\text{h}$.

· Υπολογισμός του όγκου της δεξαμενής

Ο όγκος υπολογίζεται με βάση το κριτήριο του χρόνου παραμονής. Όπου ο χρόνος παραμονής t λαμβάνεται ίσος με 2 ώρες (τυπική τιμή, Πίνακας 7).

$$t = V/Q \Rightarrow V = Q \cdot t \Rightarrow V = 105 \cdot 2 \Rightarrow V = 210 \text{ m}^3$$

· Υπολογισμός της επιφάνειας της δεξαμενής

Επιλέγεται χρήση κυκλικών δεξαμενών. Οι τυπικές διαστάσεις για κυκλικές δεξαμενές παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6. Διαστάσεις δεξαμενών απλής πρωτοβάθμιας καθίζησης αστικών λυμάτων.

Παράμετρος	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Κυκλική δεξαμενή		
Διάμετρος, m	3 - 60	10 - 40
Πλευρικό βάθος υγρού, m	3 - 6	4

Με βάση τον όγκο της δεξαμενής και πλευρικό βάθος υγρού $h = 3 \text{ m}$ (Πίνακας 6), η επιφάνεια της δεξαμενής θα είναι ίση με:

$$A = V/h = 210/3 = 70 \text{ m}^2$$

· Υπολογισμός της διαμέτρου των δεξαμενών:

$$A = \pi D^2/4 \Rightarrow D^2 = 4A/\pi \Rightarrow D^2 = 4 \cdot 70/\pi \Rightarrow D = 9,44 \text{ m} \Rightarrow \mathbf{D = 10 \text{ m.}}$$

Με βάση την τιμή της διαμέτρου, η επιφάνεια της δεξαμενής θα είναι ίση με :

$$A = \pi D^2/4 \Rightarrow A = 78,54 \text{ m}^2$$

και ο όγκος της δεξαμενής θα είναι ίσος με:

$$V = A \cdot h = 78,54 \cdot 3 = 235,62 \text{ m}^3$$

Έλεγχος της επιφανειακής ταχύτητας υπερχείλισης

- Υπολογισμός της επιφανειακής ταχύτητας υπερχείλισης για τη μέση παροχή:

$$V_{\text{υπ}} = Q/A = 2500/70 = 35,71 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

Η τιμή αυτή της ταχύτητας υπερχείλισης είναι μέσα στα όρια τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7) για πρωτοβάθμια καθίζηση πριν από δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία.

Πίνακας 7. Λειτουργικές παράμετροι δεξαμενών απλής πρωτοβάθμιας καθίζησης²⁶.

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

- Υπολογισμός της επιφανειακής ταχύτητας υπερχείλισης για την παροχή αιχμής:

Η παροχή αιχμής είναι η παροχή αιχμής υγρής περιόδου που συμβαίνει κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης ή μετά από βροχόπτωση και περιλαμβάνει ένα σημαντικό ποσοστό εισχωρήσεων-εισροών. Συνήθως αναφέρεται στη μέγιστη παροχή 2ώρου διάρκειας αλλά σε μερικές περιπτώσεις αναφέρεται και στη μέγιστη παροχή ωριαίας διάρκειας.

²⁶ : Τσώνης, 2004

Ο λόγος της παροχής αιχμής προς τη μέση παροχή για χωριστικά συστήματα αστικών λυμάτων μέσου μεγέθους είναι συνήθως στην περιοχή 3,5/1.

$$\text{Άρα } Q_{\text{αιχ}} = 3,5 \cdot Q = 3,5 \cdot 2500 = 8750 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V_{\text{υπ}} = Q_{\text{αιχ}} / A = 8750/70 = 125 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

Η τιμή αυτή είναι επίσης μέσα στα όρια (Πίνακας 7) για πρωτοβάθμια καθίζηση πριν από δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία.

Άρα ο σχεδιασμός των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης συνοψίζεται ως εξής:

- Αριθμός δεξαμενών : 2
- Διάμετρος : 10 m
- Πλευρικό βάθος υγρού : 3 m
- Όγκος δεξαμενής : 235,62 m³

3.6. Βιολογικά φίλτρα

Ένα επιπλέον σύστημα επεξεργασίας λυμάτων αποτελούν τα βιολογικά φίλτρα. Τα βιολογικά φίλτρα είναι συστήματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων και βασικός τους στόχος είναι η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών από τα λύματα μέσω των διαδικασιών της σύνθεσης και της οξείδωσης. Βασικό χαρακτηριστικό των βιολογικών φίλτρων είναι ότι οι μικροοργανισμοί είναι προσκολλημένοι σε ένα σταθερό υπόστρωμα²⁷.

Αναλυτικότερα τα βιολογικά φίλτρα έχουν την μορφή είτε ορθογωνικής είτε συνηθέστερα κυκλικής κλίνης, στην οποία εμπεριέχεται πορώδες υλικό. Στις μικρές εγκαταστάσεις τα βιολογικά φίλτρα γεμίζονται με πλαστικό υλικό διότι παρά την ακρίβεια του είναι πιο ανθεκτικό και επιτρέπει μεγαλύτερες φορτίσεις. Τα βιολογικά φίλτρα στο σύνολό τους αποτελούνται από πορώδες υλικό στο οποίο προσκολλούνται οι μικροοργανισμοί και διασπούν το οργανικό φορτίο των λυμάτων, από ένα περίβλημα το οποίο συγκρατεί το πορώδες αυτό υλικό, από ένα σύστημα το οποίο έχει ως στόχο να διανέμει τα λύματα στην επιφάνεια του φίλτρου και τέλος από ένα σύστημα που βασικός ρόλος του είναι η συλλογή των επεξεργασμένων λυμάτων, τα οποία βρίσκονται συνήθως στον πυθμένα του φίλτρου, και η απομάκρυνσή τους από αυτό.

Στα μικρής κλίμακας συστήματα επεξεργασίας με βιολογικά φίλτρα, συνήθως

²⁷ : Αγγελοπούλου, 2015

προηγείται μία δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Το εκρεώμενο από αυτήν υγρό διοχετεύεται στο φίλτρο όπου ακολουθεί η περαιτέρω επεξεργασία του. Ο αερισμός των βιολογικών φίλτρων γίνεται με φυσικό τρόπο, δηλαδή με απλή κυκλοφορία του ατμοσφαιρικού αέρα στο φίλτρο.

Ενώ το κόστος κατασκευής των βιολογικών φίλτρων είναι σχετικά υψηλό, η λειτουργία τους είναι σχετικά απλή και απαιτούν λιγότερη συντήρηση σχετικά με τα άλλα συστήματα παρατεταμένου αερισμού. Ωστόσο επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τους κλιματολογικούς παράγοντες και για αυτόν τον λόγο πρέπει να σκεπάζονται. Επίσης βασικό τους μειονέκτημα είναι η απαίτηση πρωτοβάθμιας επεξεργασίας και κατά συνέπεια παραγωγή μη σταθεροποιημένης ιλύος η οποία είναι αναγκαίο να αποθηκεύεται με κατάλληλο τρόπο για να αποφεύγονται οχλήσεις από παρουσία εντόμων.

Τα βιολογικά φίλτρα ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες οι οποίες έχουν ως κριτήριο κατηγοριοποίησης το υλικό από το οποίο γεμίζονται. Οι δύο κατηγορίες είναι οι εξής:

- Τα τυπικά βιολογικά φίλτρα τα οποία έχουν σαν υλικό πλήρωσης την άμμο ή τα χαλίκια.
- Τα φίλτρα με σύνθετα μέσα τα οποία έχουν σαν υλικό πλήρωσης αδρανή υλικά (πλαστικά φίλτρα, φίλτρα υφάσματος, τύρφης, κεραμικά υλικά κ.λπ.).

3.6.1. Τυπικά βιολογικά φίλτρα

Τα τυπικά βιολογικά φίλτρα διακρίνονται σε δύο κυρίως τύπους: Τα βραδύφιλτρα και τα ταχύφιλτρα²⁸.

Και οι δύο αυτοί τύποι βιολογικών φίλτρων είναι εύχρηστοι, ωστόσο διαφοροποιούνται λόγω της ανακυκλοφορίας της εκροής δια μέσου του φίλτρου στα ταχύφιλτρα. Είναι και οι δύο τύποι ικανοί να αποτελέσουν τμήμα ενός συστήματος βιολογικής επεξεργασίας πολλών βαθμίδων. Η χρήση των ταχύφιλτρων προτείνεται στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας των λυμάτων με στόχο τον μερικό καθαρισμό, ενώ η χρήση των βραδύφιλτρων προτείνεται στις τελευταίες βαθμίδες καθαρισμού που έχει ως στόχο τον περαιτέρω καθαρισμό του ήδη επεξεργασμένου λύματος.

Ανάλογα με το ρυπαντικό φορτίο του λύματος που υφίσταται επεξεργασία χρησιμοποιείται ο κατάλληλος τύπος βιολογικού φίλτρου. Λεπτομερέστερα, για σχετικά

²⁸: Αγγελοπούλου, 2015

αδύναμα λύματα χρησιμοποιούνται τα βραδύφιλτρα καθώς είναι ικανά να επιτύχουν πολύ καλή ποιότητα εκροής καθώς και νιτροποίηση. Στα λύματα με σχετικά μικρό ρυπαντικό φορτίο χρησιμοποιούνται τα ταχύφιλτρα σαν εναλλακτική λύση όταν υπάρχει περιορισμός έκτασης. Όταν τα λύματα είναι ισχυρά, η χρήση ταχύφιλτρων είναι πιο αποτελεσματική διότι λόγω της ανακυκλοφορίας αραιώνεται η ισχύς των αρχικών λυμάτων. Ωστόσο προτείνεται και η χρήση ενός βραδύφιλτρου σε σειρά για να βελτιωθεί σημαντικά η εκροή.

Όσον αφορά τα τυπικά λύματα, η επιλογή του τύπου βιολογικού φίλτρου που θα χρησιμοποιήσουμε έπεται μιας πλήρους οικονομοτεχνικής σύγκρισης για τις δεδομένες υπάρχουσες συνθήκες.

Τα βραδύφιλτρα διακρίνονται σε:

1. Χαλικόφιλτρα
2. Φίλτρα άμμου διακεκομμένης λειτουργίας (ISF)

Τα ταχύφιλτρα διακρίνονται σε:

1. Χαλικόφιλτρα με ανακυκλοφορία
2. Φίλτρα άμμου με ανακυκλοφορία (RSF)

3.6.1.1. Χαλικόφιλτρα

Τα χαλικόφιλτρα αποτελούνται από θραυστό υλικό του οποίου το σύνηθες μέγεθος είναι τα 5 cm ως προς τη διάμετρο. Η ειδική επιφάνεια του υλικού πλήρωσης είναι περίπου $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Το 50% της ειδικής επιφάνειας οφείλεται στα κενά. Το μέγεθος των χαλικιών είναι πολύ βασικός παράγοντας καθώς επηρεάζει την ειδική επιφάνεια και το ποσοστό των κενών. Πιο συγκεκριμένα όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των χαλικιών τόσο αυξάνει η ειδική επιφάνεια ενώ ταυτόχρονα μικραίνει το ποσοστό των κενών.

Το βάθος του φίλτρου κυμαίνεται από 1,0-2,5 m. Το περίβλημα είναι συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα ή άλλο ανθεκτικό υλικό το οποίο να μπορεί να συγκρατεί τα χαλίκια στη θέση τους και να μπορεί να δεχτεί την υδροστατική πίεση σε περίπτωση πλήρωσης των φίλτρων με υγρό.

Τα βραδύφιλτρα προτείνονται για την επεξεργασία λυμάτων με μικρό οργανικό φορτίο. Τόσο το οργανικό φορτίο (εκφρασμένο σε $\text{kg BOD}/\text{m}^3$ φίλτρου και ανά ημέρα), όσο και το υδραυλικό φορτίο (εκφρασμένο σε m^3 λυμάτων / m^2 επιφάνειας και ανά ημέρα), είναι οι δύο βασικοί παράγοντες επιρροής του βαθμού απόδοσης του φίλτρου. Ακόμη ένας παράγοντας που επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης είναι η επιφάνεια του φίλτρου.

Βασικό πλεονέκτημα των βραδύφιλτρων είναι η ικανοποιητική απομάκρυνση του

οργανικού φορτίου και η ταυτόχρονη νιτροποίηση χωρίς την χρήση εξωτερικών μονάδων. Επιπλέον βασικό πλεονέκτημα που απασχολεί την δική μου μελέτη για επεξεργασία λυμάτων μικρών οικισμών, είναι η απλότητα, η ευκολία και η χαμηλή δαπάνη λειτουργίας του.

Ωστόσο, μειονεκτούν ως προς το υψηλό κόστος κατασκευής, στην απαίτηση μεγάλης επιφάνειας και στις οχλήσεις από οσμές και έντομα. Επιπλέον δεν μπορούν να επεξεργαστούν λύματα με μεγάλο οργανικό φορτίο και προϋποθέτουν την ύπαρξη πρωτοβάθμιας επεξεργασίας η οποία ενώ συμβάλει στην αποτελεσματική επεξεργασία των λυμάτων, αυξάνει το λειτουργικό κόστος αλλά και την έκταση της μονάδας.

3.6.1.2. Φίλτρα άμμου διακεκομμένης λειτουργίας (ISF)

Τα φίλτρα άμμου διακεκομμένης λειτουργίας (ISF Intermitted Sand Filters) είναι ουσιαστικά μία εναλλακτική μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων. Τα ISF περιλαμβάνουν μια κλίνη φίλτρασης βάθους 0.6 m. Το υλικό φίλτρασης έχει συγκεκριμένη κοκκομετρία και τις περισσότερες φορές είναι η άμμος ή ο ανθρακίτης.

Η επεξεργασία λυμάτων με την χρήση φίλτρων άμμου ξεκινά με την προεπεξεργασία των λυμάτων σε μία σηπτική δεξαμενή. Έπειτα ψεκάζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα τα υγρά απόβλητα στην επιφάνεια της κλίνης την οποία διαπερνούν φτάνοντας έτσι στον πυθμένα του φίλτρου.

Το φίλτρο είναι συνήθως τοποθετημένο υπόγεια ενώ στον πυθμένα του τοποθετείται μια μεμβράνη στεγανοποίησης. Επιπλέον στον πυθμένα είναι τοποθετημένοι διάτρητοι σωλήνες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την συλλογή της επεξεργασμένης εκροής. Οι σωλήνες συλλογής είναι τοποθετημένοι σε στρώμα χαλικιού και το ένα τους άκρο καταλήγει στην επιφάνεια του φίλτρου.

Τα ISF είναι κατάλληλα για μικρούς οικισμούς και γενικά για περιπτώσεις όπου έχουμε μικρή παραγωγή αποβλήτων. Ιδιαίτερα σε τέτοιες περιπτώσεις μικρών οικισμών δεν απαιτείται συντήρηση και το σύστημα έχει την δυνατότητα να λειτουργεί αδιάκοπα για μεγάλο χρονικό διάστημα

Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Από την βιοαποικοδομησιμότητα των αποβλήτων
- Τους περιβαλλοντικούς παράγοντες της κλίνης
- Τα κριτήρια σχεδιασμού

Το εκρρεόμενο από τα φίλτρα άμμου υγρό είναι υψηλής ποιότητας με τυπικές συγκεντρώσεις BOD5 και SS έως και 5mg/L, ενώ νιτροποιούν το 80% της εισερχόμενης

αμμωνίας. Επιπλέον μέσω αυτής της μεθόδου επεξεργασίας λυμάτων παρατηρείται μείωση στα κολοβακτήρια.

Ωστόσο, περιορισμένη είναι η απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου. Επίσης ένα από τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η υψηλές απαιτήσεις έκτασης για την εγκατάσταση του συστήματος και η εξάρτησή της από τους κλιματολογικούς παράγοντες και πιο συγκεκριμένα από την θερμοκρασία.

3.6.1.3. Χαλικόφιλτρα με ανακυκλοφορία

Παρά την χρησιμότητα των βραδύφιλτρων σύντομα διαπιστώθηκε πως η χρήση τους δεν εξυπηρετούσε περιπτώσεις λυμάτων με μεγάλο ρυπαντικό φορτίο. Έτσι καθιερώθηκε ένας νέος τύπος βιολογικών φίλτρων τα επονομαζόμενα ταχύφιλτρα. Βασική διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους είναι η εφαρμογή της επανακυκλοφορίας της εκροής στα ταχύφιλτρα.

Τα ταχύφιλτρα λοιπόν έχουν βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό την επεξεργασία ισχυρών λυμάτων λόγω της επανακυκλοφορίας της εκροής τους. Η λειτουργία τους τελείται υπό αυξημένες υδραυλικές φορτίσεις αλλά και πολύ μεγάλα υδραυλικά φορτία. Το βάθος τους κυμαίνεται από 1-2,5 m. Η απαιτούμενη επιφάνεια μειώνεται στο 1/3 συγκριτικά με τα βραδύφιλτρα λόγω της αυξημένης φόρτισης των φίλτρων, ενώ επηρεάζει άμεσα τον βαθμό απόδοσης του φίλτρου.

Μπορεί το λειτουργικό τους κόστος να είναι σχετικά μικρό, ωστόσο είναι μεγαλύτερο από το λειτουργικό κόστος των βραδύφιλτρων. Επιπλέον έχουν δυνατότητα επεξεργασίας λυμάτων με ισχυρό οργανικό φορτίο, χρησιμοποιώντας μικρότερη επιφάνεια από εκείνη των βραδύφιλτρων. Επίσης γίνεται εύκολος διαχωρισμός βιομάζας και επεξεργασμένων λυμάτων και έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα στην επίδραση τοξικών εισροών.

Από την άλλη πλευρά παρουσιάζουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τα βραδύφιλτρα χωρίς να πραγματοποιείται ικανοποιητική νιτροποίηση. Επίσης έχουν χαμηλότερο βαθμό απόδοσης από τα βραδύφιλτρα και αδυνατούν να ελέγξουν την βιομάζα του φίλτρου καθώς και την ποσότητα του παρεχόμενου οξυγόνου. Τέλος σημαντικό μειονέκτημά τους είναι οι οχλήσεις από οσμές και έντομα.

3.6.1.4. Φίλτρα άμμου με ανακυκλοφορία

Εξέλιξη των ISF αποτελούν τα RSF (Recirculating Sand Filters) τα λεγόμενα φίλτρα άμμου με ανακυκλοφορία. Στόχος της νέας αυτής μεθόδου είναι η μείωση των δυσοσμίων

που προκαλούσαν τα ανοιχτά φίλτρα.

Κάθε σύστημα RSF αποτελείται από τρία βασικά μέρη. Αρχικά τα λύματα μεταφέρονται σε μία σηπτική δεξαμενή η οποία είναι κατασκευασμένη από σκυρόδεμα της οποίας το μέγεθος ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε οικισμού. Η σηπτική δεξαμενή αποτελεί το πρώτο από τα τρία βασικά μέρη του συστήματος και είναι ουσιαστικά η μονάδα προεπεξεργασίας. Το δεύτερο μέρος του συστήματος είναι η δεξαμενή ανακυκλοφορίας. Εκεί οδηγείται η εκροή και εκεί καταλήγει και η έξοδος από το φίλτρο άμμου το οποίο είναι το τρίτο και τελευταίο τμήμα του συστήματος. Ο όγκος της δεξαμενής είναι ισοδύναμος με τον όγκο των λυμάτων που επεξεργάζεται η μονάδα ημερησίως. Οι δύο εκροές καταλήγουν στην επιφάνεια του φίλτρου όπου επεξεργάζονται περαιτέρω. Η τεχνολογία αυτή επιτυγχάνει υψηλό βαθμό νιτροποίησης και απομάκρυνσης αζώτου τουλάχιστον κατά 50%. Επίσης η εκροή τους είναι υψηλής ποιότητας με απομάκρυνση BOD5 και SS σε ποσοστό 85-95% λόγω της ανακυκλοφορίας της εκροής. Ωστόσο, η λειτουργία των RSF επηρεάζεται από τους ίδιους παράγοντες που επηρεάζεται η λειτουργία των ISF²⁹.

3.7. Σταλαγματικά φίλτρα

Τα σταλαγματικά φίλτρα (trickling filters, Εικόνα 10) είναι αερόβιες διατάξεις μη πλημμυρισμένου πληρωτικού υλικού που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη δευτεροβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων και άλλων ασθενών υγρών αποβλήτων³⁰. Το πληρωτικό υλικό αρχικά ήταν ευμεγέθη χαλίκια (3-5 in) αλλά σήμερα χρησιμοποιείται μια μεγάλη ποικιλία άλλων κατάλληλων πληρωτικών υλικών (συνήθως από πλαστικό).

Τα κύρια μέρη του σταλαγματικού φίλτρου είναι το σύστημα στράγγισης του πυθμένα, το πληρωτικό υλικό και ο περιστρεφόμενος βραχίονας διανομής των τροφοδοτούμενων λυμάτων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αρχικά σταλαγματικά φίλτρα (χαλικοδιυλιστήρια) έφεραν χαλίκια διαστάσεων 3-5 in ως πληρωτικό υλικό. Αργότερα τα χαλίκια αντικαταστάθηκαν από πλαστικά στοιχεία των ίδιων περίπου διαστάσεων αλλά με σημαντικά μικρότερο βάρος και με μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια. Πλαστικές μονάδες μεγάλων διαστάσεων που κατασκευάζονται κυρίως από κατάλληλο συνδυασμό κατακόρυφων κυματοειδών και επίπεδων πλαστικών φύλλων, χρησιμοποιούνται σε σταλαγματικά φίλτρα που σχεδιάζονται με μεγάλο βάθος κλίνης πληρωτικού υλικού και στοχεύουν συνήθως σε μια πρώτη βιολογική επεξεργασία. Τα σταλαγματικά αυτά φίλτρα έχουν σημαντικό βάθος

²⁹: Αγγελοπούλου, 2015

³⁰: Τσώνης, 2004

(συνήθως μέχρι 12 m) και είναι γνωστά ως βιολογικοί πύργοι).



Εικόνα 10. Σταλαγματικά φίλτρα³¹.

Τα χαρακτηριστικά των διαφόρων πληρωτικών υλικών παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 8). Παρατηρούμε ότι το βάρος του πληρωτικού υλικού ανά μονάδα όγκου κλίνης είναι πολύ μεγαλύτερο όταν χρησιμοποιούνται χαλίκια. Επίσης η ειδική επιφάνεια καθώς και ο διάκενος χώρος έχουν αρκετά μεγαλύτερη τιμή σε περίπτωση που χρησιμοποιείται πλαστικό υλικό είτε με μορφή τυποποιημένων μονάδων είτε με μορφή πλαστικών στοιχείων που τοποθετούνται χύδην.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πλαστικό πληρωτικό υλικό με μεγάλη ειδική επιφάνεια, τα ανοίγματα των διακένων χώρων είναι αντίστοιχα μικρά και αύξηση του πάχους του στρώματος του βιοφίλμ πάνω από μία τιμή έχει ως συνέπεια μείωση της ειδικής αερόβιας επιφάνειας. Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στην επαφή των βιοφίλμ που αναπτύσσονται σε παρακείμενες επιφάνειες πληρωτικού υλικού. Σημειώνεται ότι μια τέτοια εξέλιξη οδηγεί στο βούλωμα των διακένων χώρων λόγω βιολογικής ανάπτυξης. Η περιοχή τιμών ειδικής επιφάνειας που θεωρείται η πιο αποτελεσματική είναι 88-105 m²/m³, όταν πρόκειται για αφαίρεση οργανικού υλικού και νιτροποίηση. Όταν πρόκειται μόνο για νιτροποίηση η παραπάνω περιοχή τιμών είναι 135-150 m²/m³.

³¹ <https://www.wiki.sanitarc.si/1892-trickling-filter-introduced-sewage-treatment-lowcock-england/>

Πίνακας 8. Χαρακτηριστικά πληρωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται σε σταλαγματικά φίλτρα και σε βιολογικούς πύργους³².

Τύπος πληρωτικού υλικού	Διαστάσεις, in	Φαινόμενοι βάρος, kg/m ³	Ειδική επιφάνεια, m ³ /m ²	Διάκενος χώρος, %	Εφαρμογές
Τυποποιημένες πλαστικές μονάδες	24x24x24 24x24x24	32-80 64-95	90-105 135-150	>95 >94	C, CN, N N
Χαλίκια	1-3	1450	62	50	CN, N
Χαλίκια	2-4	1600	46	60	C, CN, N
Πλαστικά στοιχεία (χύδη)	2-6	32-64 48-80	82-115 135-168	>95 >94	C, CN, N N
Ξύλο σε μονάδες από σανίδες	48x48x1,87	165	50		C, CN

1 in = 2,54 cm

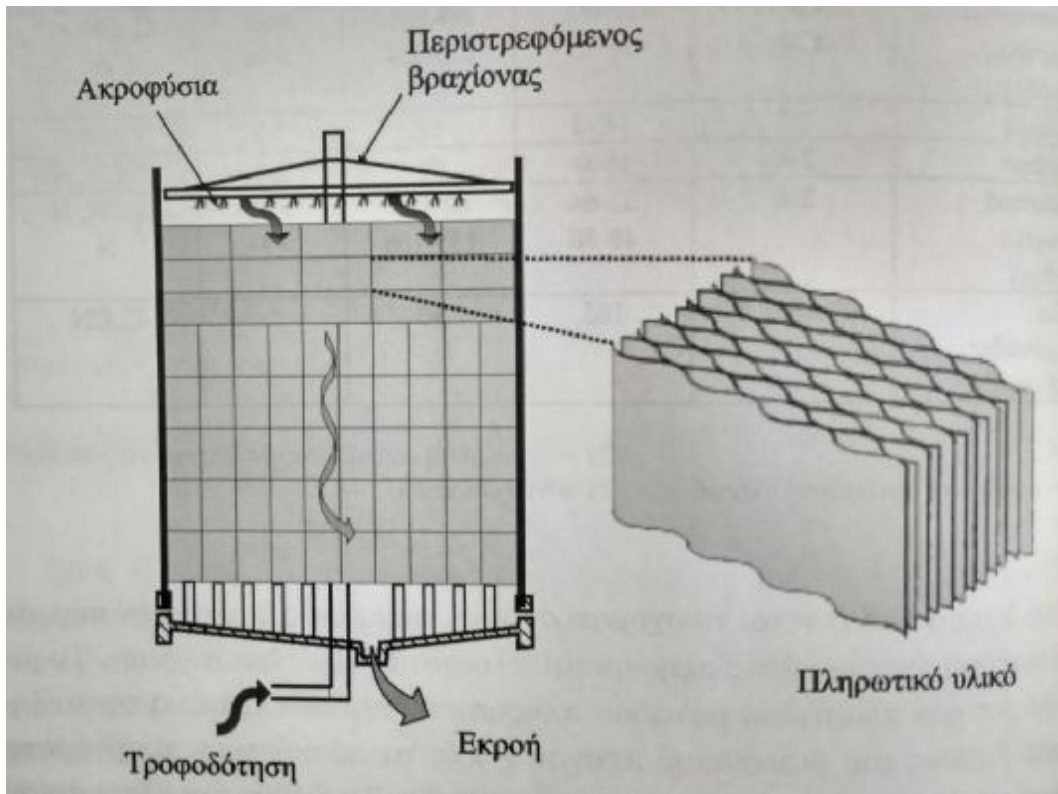
CN = αφαίρεση οργανικού υλικού και νιτροποίηση

C = αφαίρεση οργανικού υλικού

N = νιτροποίηση

Στην Εικόνα 11 δίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός βιολογικού πύργου με τυποποιημένες μονάδες πληρωτικού υλικού μεγάλων διαστάσεων. Το μικρό βάρος των πλαστικών μονάδων πληρωτικού υλικού επιτρέπει την αύξηση του βάθους του βιολογικού πύργου χωρίς να προκύπτουν προβλήματα σημαντικής φόρτισης στην περιοχή του πυθμένα. Το βάθος του πληρωτικού υλικού σε σταλαγματικά φίλτρα με χαλίκια είναι γύρω στα 2m. Όταν χρησιμοποιούνται στοιχεία από πλαστικό υλικό που τοποθετούνται χύδη τότε είναι δυνατόν να σχεδιάζονται φίλτρα με μεγαλύτερα βάθη. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται τυποποιημένες πλαστικές μονάδες πληρωτικού υλικού το βάθος του βιολογικού πύργου μπορεί να φτάνει μέχρι 12 m. Η τροφοδότηση των λυμάτων στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού γίνεται με περιστροφικό διανομέα δύο ή περισσότερων βραχιόνων (Εικόνα 14). Κάθε βραχίονας φέρει έναν αριθμό από ακροφύσια για εκροή των λυμάτων. Τα ακροφύσια αυτά είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να δείχνουν προς την ίδια κατεύθυνση που είναι οριζόντια και κάθετη προς τον φέροντα βραχίονα. Η εκροή των λυμάτων, εφ' όσον γίνεται με την κατάλληλη ορμή, προκαλεί προώθηση και περιστροφική κίνηση του βραχίονα. Το ύψος στήλης υγρού που απαιτείται για περιστροφή των βραχιόνων είναι συνήθως 0,5-0,6 m. Όταν η παροχή λυμάτων είναι μικρή (π.χ. τις νυχτερινές ώρες) η ροή δια μέσου των ακροφυσίων δεν είναι επαρκής για περιστροφική κίνηση των βραχιόνων διανομής. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση ανάντη δεξαμενής κατάλληλης χωρητικότητας που είναι εξοπλισμένη με σίφωνα εκκένωσης. Σημειώνεται ότι σε αρκετές περιπτώσεις η κίνηση των βραχιόνων του διανομέα γίνεται και με ηλεκτρικό κινητήρα (αποκλειστικά είτε εφεδρικά).

³²: Τσώνης, 2004



Εικόνα 11. Σχηματικό διάγραμμα βιολογικού πύργου με πλαστικές μονάδες πληρωτικού υλικού³³.



Εικόνα 12. Περιστρεφόμενος διανομέας λύματος³⁴

³³ Τσώνης, 2004

³⁴ : <https://www.euromarket.com.gr>

Σε μερικές περιπτώσεις η τροφοδότηση των λυμάτων γίνεται από ακροφύσια που είναι συνδεδεμένα σε σταθερό σύστημα σωληνώσεων το οποίο είναι τοποθετημένο έτσι ώστε να διαβρέχεται όσο το δυνατό μεγαλύτερο ποσοστό της επιφάνειας του πληρωτικού υλικού. Και στην περίπτωση αυτή για να μην παρατηρούνται προβλήματα με βουλώματα των ακροφυσίων προβλέπεται η τοποθέτηση ανάντη δεξαμενής κράτησης που είναι εξοπλισμένη με σίφωνα εκκένωσης ώστε τα ακροφύσια να τροφοδοτούνται κατά διαστήματα με σημαντική παροχή και έτσι να αποφεύγονται προβλήματα από βουλώματα.

Το στραγγιστήριο του πυθμένα σχεδιάζεται ώστε να επιτυγχάνονται δύο στόχοι. Ο ένας στόχος είναι η ελεύθερη εκροή των επεξεργασμένων λυμάτων τα οποία περιέχουν και τα στερεά της βιολογικής ιλύος (που αποκόπτεται από το πληρωτικό υλικό) και ο άλλος στόχος είναι η ανεμπόδιστη κυκλοφορία ατμοσφαιρικού αέρα δια μέσου των διακένων του πληρωτικού υλικού. Στην περίπτωση που το πληρωτικό υλικό είναι χαλίκια χρησιμοποιούνται προκατασκευασμένα στοιχεία τα οποία τοποθετούνται στο δάπεδο του πυθμένα και διαμορφώνουν το σύστημα στράγγισης. Τα στοιχεία αυτά φέρουν κατάλληλες οπές τόσο για τη εκροή της υγρής φάσης όσο και για την ανεμπόδιστη κυκλοφορία του ατμοσφαιρικού αέρα.

Στην περίπτωση πλαστικού πληρωτικού υλικού που είναι τοποθετημένο χύδην χρησιμοποιούνται κατάλληλα στοιχεία στήριξης-στράγγισης στον πυθμένα. Τέλος όταν χρησιμοποιούνται πλαστικές μονάδες πληρωτικού υλικού το στραγγιστήριο του πυθμένα αποτελείται από ένα δίκτυο από δοκούς και καδρόνια στήριξης.

Ο αερισμός σε φίλτρα με μικρό βάθος πληρωτικού υλικού γίνεται συνήθως με φυσική μεταφορά αέρα λόγω ρευμάτων κυκλοφορίας που επάγονται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των λυμάτων και του ατμοσφαιρικού αέρα. Όταν όμως το βάθος του φίλτρου γίνεται αρκετά μεγάλο (και αντίστοιχα το οργανικό φορτίο ανά μονάδα επιφανείας είναι μεγάλο) τότε δεν επαρκεί η φυσική κυκλοφορία και επιβάλλεται τεχνητός αερισμός είτε με εμφύσηση είτε με αναρρόφηση ατμοσφαιρικού αέρα.

Η διαφορά πίεσης που οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα που βρίσκεται στα διάκενα του πληρωτικού υλικού του φίλτρου και του εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα δίνεται από την σχέση:

$$DP = 0,0353 \frac{\rho}{\rho_{atm}} \frac{1}{T_{por}} - \frac{1}{T_{atm}} \frac{\Delta T}{\Delta T_{atm}} h$$

όπου

ΔP = η διαφορά πίεσης που αντιστοιχεί, cm στήλης H₂O

$T_{ατμ}$ = η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, K

$T_{πορ}$ = η θερμοκρασία του αέρα στους πόρους του πληρωτικού υλικού, K

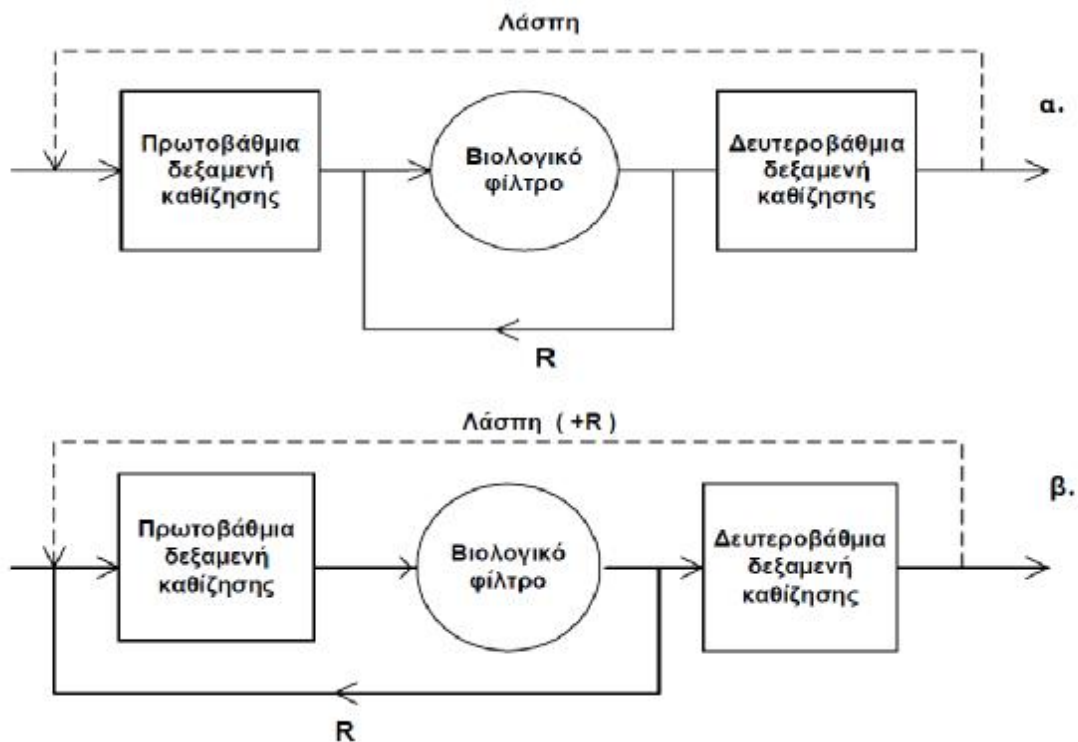
h = το βάθος του φίλτρου, m

Εάν $T_{ατμ} > T_{πορ}$ τότε $\Delta P < 0$ και η ροή του αέρα είναι προς το κάτω. Εάν $T_{ατμ} < T_{πορ}$ τότε $\Delta P > 0$ και η ροή του αέρα είναι προς τα πάνω. Εάν οι τιμές T και T είναι αρκετά γειτονικές τότε προκαλείται πολύ μικρή διαφορά πίεσης και αντίστοιχα μικρή κυκλοφορία γέρα. Σε τέτοιες περιόδους ο αερισμός είναι ανεπαρκής και παρατηρούνται προβλήματα οσμών. Σημειώνεται ότι οι οσμές είναι εντονότερες όταν η ροή του αέρα είναι ανοδική. Όταν η ροή του αέρα είναι καθοδική τα πτητικά συστατικά των λυμάτων, που προκαλούν κυρίως τις οσμές, παρασύρονται από το ρεύμα του αέρα προς τα κάτω και οξειδώνονται καθώς διέρχονται δια μέσου της κλίνης του πληρωτικού υλικού.

Κατά τις ψυχρές περιόδους του έτους παρατηρείται μείωση της βιολογικής δράσης και η απόδοση αφαίρεσης οργανικού υλικού είναι μικρή. Ακόμη σε περιόδους παν δεν γίνεται επαρκής αερισμός παρατηρείται σημαντική αποκόλληση βιομάζας και αντίστοιχη μείωση στην απόδοση επεξεργασίας. Η αποκόλληση βιομάζας οφείλεται σε αρκετές περιπτώσεις και στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η τροφοδότηση.

3.7.1.1. Κατάταξη των σταλαγματικών φίλτρων

Μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνει το σταλαγματικό φίλτρο και την αντίστοιχη δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης. Το φίλτρο τροφοδοτείται με πρωτοβάθμια καθιζήμενα λύματα για να αποφεύγονται προβλήματα εμφράξεων από ευμεγέθες υλικό (καθιζάνοντα στερεά των λυμάτων). Η ανακυκλοφορούμενη παροχή λαμβάνεται είτε πριν από τη δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης είτε μετά τη δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης (Εικόνα 7). 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.



Εικόνα 13. Πιθανές διατάξεις ανακυκλοφορίας σε συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με ένα βιολογικό φίλτρο³⁵.

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:

$$\text{ΟΟΦ} = \frac{QS}{A_\phi h}$$

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

Q = η τροφοδοτούμενη παροχή (πρωτοβάθμια καθιζημένα λύματα), m^3/d

S = η συγκέντρωση BAO_5 στα τροφοδοτούμενα λύματα, $\text{kg BAO}_5/\text{m}^3$

A_ϕ = το εμβαδόν της οριζόντιας διατομής της κλίνης, m^2

h = το βάθος της κλίνης, m

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

³⁵ Λώλη, 2006

$$UF = \frac{Q + Q_r}{A_f}$$

όπου: $Y\Phi$ = η υδραυλική φόρτιση, $m^3 / m^2 \cdot d$

Q = η τροφοδοτούμενη παροχή (πρωτοβάθμια καθιζημένα λύματα), m^3/d

Q_r = η ανακυκλοφορούμενη παροχή, m^3/d

A_ϕ = το εμβαδόν της οριζόντιας διατομής της κλίνης, 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:

$$OOF = \frac{QS}{A_f ha}$$

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

Στον Πίνακα 8 φαίνεται η κατάταξη των διαφόρων 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).

Στα φίλτρα χαμηλής φόρτισης μόνο 0,6 έως 1,2 m από το ολικό βάθος ης κλίνης (1,8 έως 2,4 m) έχουν σημαντικό πάχος στρώματος βιοφίλμ. Έτσι στο χαμηλότερο μέρος της κλίνης του πληρωτικού υλικού αναπτύσσεται ένα λεπτό στρώμα από νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς που επιτυγχάνει σημαντικό ποσοστό νιτροποίησης του αμμωνιακού αζώτου των λυμάτων. Όσο η οργανική φόρτιση γίνεται μεγαλύτερη τόσο μικρότερος εμφανίζεται ο βαθμός νιτροποίησης.

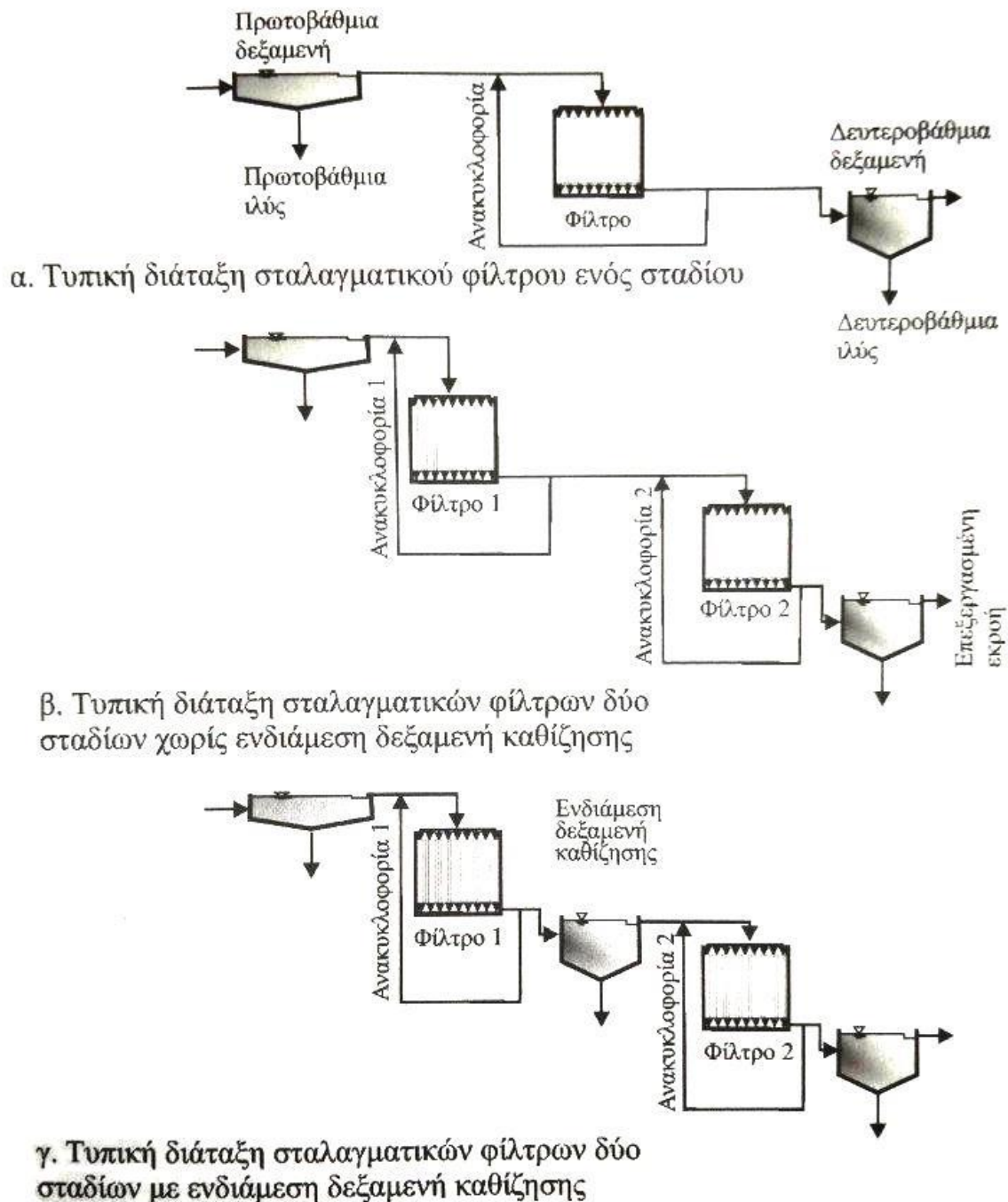
Πίνακας 9. Τυπικές παράμετροι σχεδιασμού σταλαγματικών φίλτρων³⁶.

Παράμετρος	Επιβαλλόμενη φόρτιση				Πολύ υψηλή (αρχική χονδρική προεπεξεργασία, roughing)
	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή	Υψηλή	
Πληρωτικό υλικό	Χαλίκια	Χαλίκια	Χαλίκια	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
Ύψος μυγών	παλλές	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	καλά νιτροποιημένη	μερικά νιτροποιημένα	λίγο νιτροποιημένα	λίγο νιτροποιημένα	καλά νιτροποιημένα

Τα φίλτρα υψηλής φόρτισης χρησιμοποιούν ως πληρωτικό υλικό είτε χαλίκια είτε πλαστικό υλικό. Το περίβλημα (δεξαμενή) των φίλτρων είναι συνήθως κυκλικό. Η τροφοδότηση με λύματα είναι συνεχής (οπότε συνεχής είναι επίσης η αποκοπή βιομάζας από το πληρωτικό υλικό). Η ανακυκλοφορία γίνεται είτε αμέσως μετά την έξοδο του φίλτρου είτε από το ρεύμα εξόδου της δευτεροβάθμιας δεξαμενής καθίζησης. Η ανακυκλοφορία έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη υδραυλική φόρτιση της κλίνης, πιο ομοιόμορφη κατανομή των τροφοδοτούμενων λυμάτων και καλλίτερο έλεγχο του πάχους του στρώματος του βιοφίλμ. Ακόμη η ανακυκλοφορία βελτιώνει το λόγο οργανικό υλικό προς διαλυμένο οξυγόνο στην είσοδο του φίλτρου, επαναφέρει ενεργούς μικροοργανισμούς (ιδιαίτερα όταν γίνεται αμέσως μετά την έξοδο από το φίλτρο) και δεν ευνοεί την ανάπτυξη των μυγών. Τα φίλτρα μέσης φόρτισης καθώς και τα φίλτρα υψηλής φόρτισης χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία λυμάτων τόσο σε σχεδιασμούς που περιλαμβάνουν ένα στάδιο όσο και σε σχεδιασμούς που περιλαμβάνουν δύο στάδια στη σειρά.

Στην Εικόνα 14 φαίνονται τυπικά διαγράμματα ροής σταλαγματικών φίλτρων μέσης ή υψηλής φόρτισης με ένα στάδιο ή με δύο στάδια επεξεργασίας στη σειρά. Δύο ίδια φίλτρα στη σειρά που δέχονται την ίδια υδραυλική φόρτιση έχουν την ίδια περίπου απόδοση με ένα φίλτρο το οποίο έχει διπλά βάθος πληρωτικού υλικού (το άθροισμα των βαθών του πληρωτικού υλικού των δύο φίλτρων).

³⁶ : Τσώνης, 2004



Εικόνα 14. Τυπικά διάγραμματα σταλαγματικών φίλτρων ενός ή δύο σταδίων³⁷.

Τα σταλαγματικά φίλτρα πολύ υψηλής φόρτισης ονομάζονται και βιολογικοί πύργοι και έχουν ως λειτουργικό στόχο τη γρήγορη αντιμετώπιση του εύκολα αφαιρούμενου (βιοαποδομούμενου) μέρους του οργανικού υλικού των λυμάτων. Συνήθως μετά από το βιολογικό πύργο ακολουθεί και ένα επόμενο στάδιο επεξεργασίας που μπορεί να είναι ένα σύστημα ενεργού ιλύος, ένα αερόβιο σύστημα προσκολλημένης βιομάζας με περιστρεφόμενο

³⁷ Τσώνης, 2004

μέσο επαφής ή ακόμη και ένα σταλαγματικό φίλτρο δεύτερον σταδίου που σχεδιάζεται όμως για το υπολειπόμενο οργανικό φορτίο. Το πληρωτικό υλικό των βιολογικών πύργων είναι συνήθως μονάδες από πλαστικό υλικό ή μονάδες από σανίδες σκληρού ξύλου. Η επιβαλλόμενη οργανική φόρτιση είναι στην περιοχή 1,5-8,0 kg ΒΑΟ₅/m³·d.

Για την εκτίμηση της απόδοσης αφαίρεσης οργανικού υλικού από σταλαγματικά φίλτρα έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορες εξισώσεις. Μερικές από τις εξισώσεις αυτές είναι εμπειρικές και προέρχονται από ανάλυση πειραματικών στοιχείων. Μερικές άλλες εξισώσεις έχουν προκύψει σε μια προσπάθεια για θεωρητική ανάλυση των διεργασιών προσκολλημένης βιομάζας.

3.8. Σχεδιασμός βιολογικών φίλτρων

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η μέθοδος σχεδιασμού του βιολογικού φίλτρου για ένα σύστημα που αποτελείται από μία πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης, ένα βιολογικό φίλτρο και μία δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης μπορεί να γίνει ως εξής³⁸:

- Μέσω του χρόνου παραμονής υπολογίζεται ο όγκος της δεξαμενής με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω κατά το σχεδιασμό της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης.
- Το ύψος των φίλτρων για πληρωτικό υλικό από πέτρα λαμβάνει ορισμένη τιμή (2,4 m). Από τον όγκο και το ύψος της δεξαμενής, υπολογίζονται η επιφάνεια και η διάμετρος της, όπως επίσης περιγράφηκε παραπάνω κατά το σχεδιασμό της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης.
- Από την τιμή του BOD του αποβλήτου που τροφοδοτεί το βιολογικό φίλτρο, υπολογίζεται το BOD του αποβλήτου που εισέρχεται στο σύστημα, δηλαδή στην πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης.

$$BOD_F = \frac{BOD_S}{1 - E}$$

όπου:

BOD_F : το BOD του αποβλήτου που τροφοδοτεί το φίλτρο, mg/L (g/m³)

BOD_S : το BOD του αποβλήτου που τροφοδοτεί το σύστημα, mg/L (g/m³)

E : Η απόδοση απομάκρυνσης BOD στην πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης, 0 < E < 1

³⁸ Λώλη, 2006

- Από τις τιμές BOD εισόδου στο βιολογικό φίλτρο και εξόδου από το σύστημα, δηλαδή από την δευτεροβάθμια δεξαμενή, που αποτελούν παραμέτρους εισόδου του προβλήματος, υπολογίζουμε την απόδοση του βιολογικού φίλτρου, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και η επίδραση της δευτεροβάθμιας δεξαμενής.

$$E = \frac{BOD_F - BOD_{OUT}}{BOD_F}$$

όπου:

BOD_{OUT} : το BOD του αποβλήτου που εξέρχεται από το σύστημα (από την δευτεροβάθμια δεξαμενή), mg/L (g/m³)

- Από το BOD_F υπολογίζεται το οργανικό φορτίο (BOD) του φίλτρου, μέσω της σχέσης:

$$W = 10^{-3} \times BOD_F \times Q$$

όπου:

W : το οργανικό φορτίο (BOD) του φίλτρου, kg/d

BOD_F : το BOD του αποβλήτου που τροφοδοτεί το φίλτρο χωρίς ανακύκλωση, mg/L (g/m³)

Q : η παροχή του αποβλήτου στο σύστημα, m³/d

- Η εξάρτηση του όγκου του βιολογικού φίλτρου από την τιμή του λόγου αναρροής R, μελετάται μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας που μεταβάλλει την τιμή του R με ορισμένο βήμα, από μια ελάχιστη τιμή σε μια μέγιστη. Για κάθε τιμή του R υπολογίζεται ο συντελεστής λόγου αναρροής F και εν συνεχεία ο όγκος του πληρωτικού υλικού του φίλτρου V_F , όπως προκύπτει από την επίλυση της:

$$V_F = \frac{W}{\frac{0,4432}{E} - 1} \times F$$

- Ακολουθεί ο υπολογισμός της οργανικής φόρτισης του φίλτρου, που εξαρτάται άμεσα από τον όγκο του πληρωτικού υλικού και πρέπει να κυμαίνεται μέσα σε ένα καθορισμένο εύρος τιμών, προκειμένου να είναι αποδοτική η διεργασία:

$$Org = \frac{W}{V_F}$$

όπου:

Org : η οργανική φόρτιση του φίλτρου χωρίς την ανακύκλωση, kg BOD/(m³·d)

- Από τον όγκο του φίλτρου υπολογίζεται η επιφάνεια του φίλτρου, εφόσον η τιμή του ύψους είναι δοσμένη, μέσω της σχέσης:

$$A_F = \frac{V_F}{H}$$

όπου:

A_F : η επιφάνεια (κάθετη διατομή) του φίλτρου, m²

H : το ύψος του πληρωτικού υλικού, m

- Εν συνεχεία, υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου:

$$D_F = \sqrt{\frac{4A_F}{\rho}}$$

όπου D_F: η διάμετρος του βιολογικού φίλτρου, m

- Βάσει της παροχής του αποβλήτου και της διατομής του φίλτρου υπολογίζεται η επιφανειακή φόρτιση, η οποία, όπως και η οργανική φόρτιση, αποτελεί παράμετρο ταξινόμησης της διεργασίας, και καθορίζει τα όρια μέσα στα οποία μπορεί να είναι εφικτή και αποδοτική:

$$q = \frac{Q}{A_F}$$

όπου: q: επιφανειακή φόρτιση χωρίς την ανακύκλωση, m³/(m²d)

- Η συνολική επιφανειακή φόρτιση (συμπεριλαμβανομένης και της ανακύκλωσης), υπολογίζεται από την σχέση:

$$q_{tot} = q(1+R)$$

όπου:

q_{tot} : συνολική επιφανειακή φόρτιση με την ανακύκλωση, m³/(m²d)

R : λόγος αναρροής του αποβλήτου, αδιάστατο μέγεθος

4. ΔΙΥΛΙΣΗ

Οι διεργασίες της κροκίδωσης, θρόμβωσης και καθίζησης αφαιρούν ένα σημαντικό μέρος από το κολλοειδές υλικό του νερού στο οποίο οφείλεται η θολότητα. Όμως απαιτείται παραπέρα αφαίρεση κολλοειδούς υλικού για να επιτευχθούν οι προδιαγραφές για την ποιότητα του πόσιμου νερού.

Η διήθηση (ή διύλιση όπως συχνά αναφέρεται) αποτελεί μια από τις πιο παλιές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία του νερού. Στην πραγματικότητα η διήθηση είναι η μέθοδος με την οποία γίνεται ο καθαρισμός του νερού στη φύση. Τα επιφανειακά νερά διηθούνται δια μέσου εδαφικών στρωμάτων καθώς οδεύουν προς τους υπόγειους υδροφορείς με αποτέλεσμα να κατακρατείται το κολλοειδές υλικό που προκαλεί τη θολότητα και να προκύπτουν διαυγή (χωρίς θολότητα) υπόγεια υδατικά αποθέματα.

Η διεργασία της διήθησης όπως χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του νερού γίνεται με ροή νερού δια μέσου κλινών από πορώδη υλικά όπως πυριτική άμμος, ανθρακίτης, άμμος γρανάτη (garnet), κοκκώδης ενεργός άνθρακας κ.ά. Καθώς το νερό διέρχεται από τα πορώδη μέσα γίνεται κατακράτηση των σωματιδίων που προκαλούν θολότητα και προκύπτει ένα διαυγασμένο νερό το οποίο έχει πολύ μικρότερες τιμές θολότητας³⁹.

Η διήθηση δια μέσου στρωμάτων από πληρωτικά υλικά διαφέρει από τη διήθηση που γίνεται δια μέσου επιφανειακών φίλτρων κυρίως κατά το ότι το αιωρούμενο υλικό δεν κατακρατείται μόνο στην επιφάνεια αλλά και σε χαμηλότερες περιοχές κατά την έννοια του βάθους.

Οι μηχανισμοί με τους οποίους αφαιρούνται αιωρούμενα και κολλοειδή σωματίδια σε φίλτρα με κοκκώδη πληρωτικά υλικά είναι πολύπλοκοι. Έχουν διατυπωθεί αρκετές θεωρίες που βασίζονται σε μηχανισμούς μηχανικής παρεμπόδισης ή στράγγισης (straining), καθίζησης (sedimentation), προσρόφησης (interception) και διάχυσης καθώς και σε επιδράσεις δυνάμεων τύπου Van der Waals.

Μερικά σωματίδια έχουν αρκετά μεγάλο μέγεθος και δεν περνούν από τα ανοίγματα (διάκενα) που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων του πληρωτικού υλικού. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται για μηχανισμό μηχανικής παρεμπόδισης ή στράγγισης. Ο μηχανισμός της στράγγισης συμμετέχει σημαντικά στην αφαίρεση σωματιδιακού υλικού όταν πρόκειται για απ' ευθείας διήθηση όπου θρομβωμένο νερό τροφοδοτείται (απ' ευθείας) από τη δεξαμενή

³⁹ Τσώνης, 2003

θρόμβωσης στα διυλιστήρια χωρίς την παρεμβολή δεξαμενής καθίζησης. Όταν όμως τα διυλιστήρια τροφοδοτούνται με την εκροή από το στάδιο της καθίζησης είναι φανερό ότι υπάρχει και ένα σημαντικό ποσοστό λεπτού σωματιδιακού υλικού το οποίο έχει διαστάσεις πολύ μικρότερες από τα διάκενα μεταξύ των κόκκων του πληρωτικού υλικού.

Η ροή του νερού γίνεται με μικρές ταχύτητες και στα διάκενα του πληρωτικού υλικού οι ταχύτητες είναι αρκετά χαμηλές ή επικρατούν συνθήκες σχετικής ηρεμίας και είναι δυνατή η καθίζηση σωματιδίων πάνω σε επιφάνειες του κοκκώδους πληρωτικού υλικού. Παρ' όλο που οι ταχύτητες ροής είναι μικρές τα ανύσματα της ταχύτητας αλλάζουν διαρκώς διεύθυνση και μέγεθος λόγω των εμποδίων που παρεμβάλλει στη ροή το πληρωτικό υλικό. Η μάζα μερικών σωματιδίων είναι αρκετά μεγάλη και δεν είναι δυνατόν να ακολουθήσουν τις απότομες αλλαγές διεύθυνσης των ρευματικών γραμμών. Το επακόλουθο είναι να υπερισχύουν οι αδρανειακές δυνάμεις των υδροδυναμικών δυνάμεων συμπαρασυρμού και να επιτυγχάνεται κατακράτηση των σωματιδίων αυτών. Σε μερικές θέσεις τα σωματίδια που ακολουθούν τη ροή του νερού περνούν πολύ κοντά από επιφάνειες πληρωτικού υλικού και επιτυγχάνεται κατακράτηση σωματιδίων με το μηχανισμό της προσρόφησης.

Η διάχυση Brown (που οφείλεται στη θερμική κίνηση των μορίων) προκαλεί συγκρούσεις μορίων με μικρά κολλοειδή τεμαχίδια και μερικά από τα τεμαχίδια αυτά ωθούνται στην επιφάνεια του πληρωτικού μέσου. Εάν οι ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ της επιφάνειας του πληρωτικού μέσου, και των κολλοειδών μικκυλίων είναι ελκτικές τότε επιτυγχάνεται επιρρόφηση κολλοειδούς υλικού στην επιφάνεια του κοκκώδους πληρωτικού μέσου.

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του πληρωτικού υλικού και των κολλοειδών σωματιδίων στο τροφοδοτούμενο νερό παίζουν επίσης κάποιο ρόλο στην διεργασία της διήθησης. Καθώς κολλοειδή σωματίδια διέρχονται δια μέσου των διακένων του πληρωτικού υλικού αυξάνεται ο αριθμός των διασωματιδιακών επαφών και έτσι είναι δυνατόν να προκύπτουν συσσωματώματα τα οποία κατακρατώνται μέσα σε περιοχές της κλίνης. Επίσης όταν κολλοειδή σωματίδια έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια των κόκκων του πληρωτικού υλικού, θα πρέπει να εκδηλώνονται κάποιες ελκτικές δυνάμεις που να επιτρέπουν τη συγκράτηση διότι διαφορετικά οι διατμητικές δυνάμεις που αντιστοιχούν στη ροή του υγρού θα προκαλούσαν το συμπαρασυρμό των κολλοειδών αυτών σωματιδίων.

Η διήθηση όπως εφαρμόζεται στην περίπτωση της αφαίρεσης θολότητας από το πόσιμο νερό είναι μια σύνθετη διεργασία και επιτυγχάνεται με τη βοήθεια αρκετών μηχανισμών

μεταφοράς και κατακράτησης αιωρούμενου και κολλοειδούς υλικού. Οι προσπάθειες για την κατανόηση των μηχανισμών της διήθησης έχουν οδηγήσει σε ενδιαφέρουσες θεωρίες αλλά δεν έχουν καταλήξει σε συμπεράσματα που να οδηγούν σε ασφαλή σχεδιασμό των διατάξεων διήθησης (δυλιστηρίων). Μερικοί συγγραφείς διαφοροποιούν τη διήθηση του νερού δια μέσου κλίνης πληρωτικού υλικού από τη διήθηση σε επιφανειακά φίλτρα με το χαρακτηρισμό 'βαθιά διήθηση'.

Καθώς προχωρεί η διεργασία της διήθησης δια μέσου της κλίνης γίνεται όλο και μεγαλύτερη απόθεση σωματιδίων και τα διάκενα μεταξύ των κόκκων του πληρωτικού υλικού γίνονται όλο και μικρότερα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εκδηλώνεται εντονότερα ο μηχανισμός αφαίρεσης με μηχανική παρεμπόδιση ή στράγγιση, να αυξάνεται η ταχύτητα ροής του νερού δια μέσου των διακένων, να αυξάνονται οι διατμητικές δυνάμεις που αντιστοιχούν στη ροή γύρω από τους κόκκους και τέλος να αυξάνονται οι υδραυλικές απώλειες. Έτσι παρατηρείται μείωση της ταχύτητας (ρυθμού) διήθησης και απαιτείται πλύση του φίλτρου. Εάν δε γίνει έγκαιρα πλύση του φίλτρου θα έχουμε εκδήλωση του φαινομένου της διάσπασης θολότητας (turbidity breakthrough) που οφείλεται στην αύξηση των διατμητικών δυνάμεων της ροής του νερού στην επιφάνεια των κόκκων του πληρωτικού υλικού μέχρι εκείνου του σημείου που να προκαλείται συμπαρασυρμός των σωματιδίων θολότητας. Επίσης εάν δε γίνει έγκαιρα η πλύση του φίλτρου οι υδραυλικές απώλειες θα αυξηθούν πάνω από το διαθέσιμο ύψος για τη διεργασία της διήθησης. Έτσι η πλύση του φίλτρου θα πρέπει να γίνεται είτε όταν αρχίζει να παρατηρείται διάσπαση θολότητας είτε όταν οι υδραυλικές απώλειες υπερβαίνουν κάποιο προκαθορισμένο επίπεδο.

4.1. Τύποι δυλιστηρίων

Τα δυλιστήρια που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του πόσιμου νερού διακρίνονται με βάση το ρυθμό διήθησης, την πίεση του τροφοδοτούμενου νερού και την κατεύθυνση της ροής.

Με βάση το **ρυθμό ή ταχύτητα διήθησης** (παροχή νερού ανά μονάδα επιφάνειας κλίνης διήθησης) τα δυλιστήρια διακρίνονται σε βραδυδυλιστήρια, σε ταχυδυλιστήρια και σε υπερταχυδυλιστήρια. Τα βραδυδυλιστήρια λειτουργούν με ταχύτητες διήθησης μικρότερες από $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ (0,4 m/h), τα ταχυδυλιστήρια λειτουργούν με ταχύτητες διήθησης στην περιοχή των $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ (5 m/h) έως $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ (10 m/h) και τα υπερταχυδυλιστήρια λειτουργούν με μεγαλύτερες ταχύτητες διήθησης (10 έως 30 m/h).

Τα **βραδυδυλιστήρια** αποτελούνται από μια κλίνη άμμου η οποία στηρίζεται πάνω σε

ένα στρώμα από χαλίκια. Το στρώμα των χαλικιών στηρίζεται σε έναν πυθμένα στράγγισης. Στα λίγα πρώτα εκατοστά του βάθους της κλίνης άμμου δημιουργείται με την πρόοδο της διήθησης ένα στρώμα που περιέχει κατακρατούμενο αιωρούμενο υλικό καθώς και μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται. Οι μικροοργανισμοί του επιφανειακού στρώματος περιβάλλονται από ζελατινοειδές υλικό το οποίο συμβάλλει στη θρόμβωση του κολλοειδούς υλικού που περιέχεται στο τροφοδοτούμενο νερό. Οι κυριότεροι μηχανισμοί διήθησης είναι η στράγγιση, η προσρόφηση και η βιολογικά επαγόμενη θρόμβωση.

Τα βραδυδιυλιστήρια πρωτοχρησιμοποιήθηκαν στο Λονδίνο το έτος 1820 και λειτουργούν ακόμη και σήμερα σε μερικές πόλεις. Η κλίση της άμμου έχει βάθος 70-90 cm και στηρίζεται πάνω σε διαβαθμισμένο χαλίκι. Το διαβαθμισμένο χαλίκι στηρίζεται σε πυθμένα στράγγισης που αποτελείται συνήθως από τούβλα τα οποία είναι τοποθετημένα με χαλαρή σύνδεση το ένα δίπλα στο άλλο. Τυπικές τιμές για διάφορες παραμέτρους για το σχεδιασμό βραδυδιυλιστηρίων δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 10).

Πίνακας 10. Τυπικές τιμές σχεδιασμού βραδυδιυλιστηρίων

	Βάθος (m)	Διαβάθμιση (mm)
Νερό πάνω από την κλίση άμμου	1,2 - 1,8	-
Άμμος	0,7 - 0,9	0,2 - 0,4
Χαλίκι		
Λεπτό	0,05	5 - 10
Μέσο	0,05	10 - 25
Χονδρό	0,15	25 - 80
Πυθμένας	-	-

Οι μηχανισμοί με τους οποίους επιτυγχάνεται αφαίρεση θολότητας στα βραδυδιυλιστήρια είναι διαφορετικοί απ' ότι στην περίπτωση των ταχυδιυλιστηρίων. Το αιωρούμενο και κολλοειδές υλικό αφαιρείται κυρίως στην επιφάνεια της κλίνης άμμου και για να είναι αποτελεσματική η κλίση διήθησης θα πρέπει να έχει ωριμάσει με την έννοια ότι πρέπει να περιέχει στο επιφανειακό στρώμα και μικροοργανισμούς.

Το επιφανειακό στρώμα αποκαθίσταται μετά από λίγες ημέρες λειτουργίας και η ώριμη πλέον κλίση επιτυγχάνει αποτελεσματική αφαίρεση της θολότητας για ένα χρονικό διάστημα που είναι 30 ημέρες ή και πιο πολύ. Όταν οι υδραυλικές απώλειες φτάσουν στην τιμή των 90 cm περίπου (οι υδραυλικές απώλειες για καθαρή κλίση είναι περίπου 5 cm) απαιτείται να γίνει καθαρισμός.

Ο καθαρισμός της κλίνης γίνεται με αφαίρεση ενός επιφανειακού στρώματος βάθους 15 cm περίπου και αντικατάστασή του με καθαρή άμμο ή οποία μπορεί είτε να είναι νέα άμμος είτε άμμος που έχει προηγούμενα αφαιρεθεί από την κλίνη και έχει πλυθεί. Μετά από κάθε καθαρισμό ακολουθεί αργή και προσεκτική επανατοποθέτηση της κλίνης σε λειτουργία οπότε και σχηματίζεται το επιφανειακό στρώμα που συμβάλει στην αποτελεσματική αφαίρεση κολλοειδούς υλικού.

Τα **ταχυδιυλιστήρια** αποτελούνται από μια κλίνη πληρωτικού υλικού ή οποία μπορεί να είναι μονοστρωματική ή πολυστρωματική. Η κλίνη στηρίζεται σε κατάλληλη κατασκευή στήριξης και στράγγισης η οποία καλείται στραγγιστήριο πυθμένα. Η κλίνη διήθησης ενδέχεται να στηρίζεται απευθείας στο στραγγιστήριο του πυθμένα (όταν η κατασκευή του είναι τέτοια ώστε να παρεμποδίζει την απώλεια υλικού διήθησης) ή να στηρίζεται σε διαβαθμισμένο χαλίκι που παρεμβάλλεται μεταξύ του στραγγιστηρίου του πυθμένα και της κλίνης.

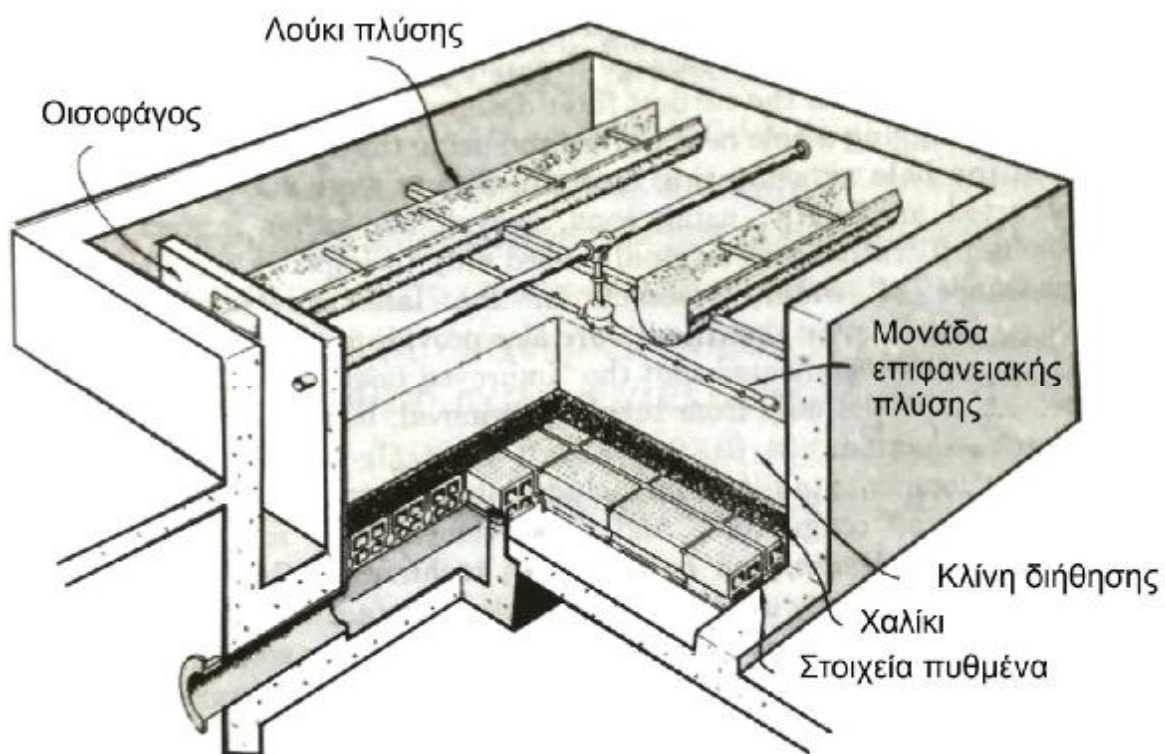
Τα ταχυδιυλιστήρια λειτουργούν με πιο πολύ από μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη ταχύτητα διήθησης απ' ότι τα βραδυδιυλιστήρια και έτσι είναι προφανές ότι κατακρατούν ανά μονάδα χρόνου σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες αιωρούμενου και κολλοειδούς υλικού και κατά συνέπεια απαιτείται πιο τακτικός καθαρισμός τους. Πράγματι ο καθαρισμός των ταχυδιυλιστηρίων γίνεται μετά από διαστήματα λειτουργίας 16-48 h. Η πλύση γίνεται με παροχέτευση νερού σε αντίθετη κατεύθυνση από την κατεύθυνση ροής του νερού κατά τη διάρκεια της διήθησης. Η παροχή του νερού πλύσης είναι τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται διαστολή της κλίνης διήθησης και συμπαρασυρμός του υλικού που είχε κατακρατηθεί κατά τη διάρκεια του κύκλου διήθησης. Η ανοδική ροή του νερού πλύσης παραλαμβάνεται από τα λούκια πλύσης ή υπερχειλίζει από το πλευρικό τοίχιο του χώρου όπου βρίσκεται η κλίνη διήθησης και οδηγείται δια μέσου του οισοφάγου στη δεξαμενή κράτησης του χρησιμοποιημένου νερού πλύσης (από τη δεξαμενή αυτή τροφοδοτούνται οι διατάξεις επεξεργασίας του χρησιμοποιημένου νερού πλύσης).

Η πλύση της κλίνης διήθησης με αντίστροφη ροή από τον πυθμένα προς τα άνω γίνεται είτε μόνο με παροχέτευση νερού πλύσης είτε με παροχέτευση αέρα και νερού πλύσης (απαιτείται διαφορετική διαμόρφωση πυθμένα όταν διοχετεύεται νερό και αέρας).

Επίσης χρησιμοποιείται σε αρκετές περιπτώσεις και επιφανειακή πλύση της κλίνης διήθησης. Η επιφανειακή πλύση γίνεται με παροχέτευση νερού είτε από σταθερά ακροφύσια που ευρίσκονται στην περιοχή της επιφάνειας της κλίνης είτε από ακροφύσια που είναι

τοποθετημένα σε περιστρεφόμενους βραχίονες διατάξεων επιφανειακής πλύσης.

Στην Εικόνα 15 φαίνεται μια τυπική διάταξη ταχυδιωλιστηρίου. Διακρίνεται η κλίνη διήθησης, το διαβαθμισμένο στρώμα χαλίκιων και το στραγγιστήριο πυθμένα. Το στραγγιστήριο είναι κατάλληλο για ανάστροφη πλύση με παροχέτευση μόνο νερού πλύσης (δεν είναι κατάλληλο για την παροχέτευση και νερού και αέρα). Διακρίνεται ακόμη μια περιστρεφόμενη διάταξη επιφανειακής πλύσης καθώς και τα λούκια τα οποία παραλαμβάνουν το νερό πλύσης. Τέλος σημειώνεται η θέση του οισοφάγου (gullet) που αποτελεί το κανάλι απ' όπου τροφοδοτείται το νερό προς διήθηση καθώς και το κανάλι διαμέσου του οποίου απάγεται το χρησιμοποιημένο νερό πλύσης.



Εικόνα 15. Τυπική εγκατάσταση ταχυδιωλιστηρίου⁴⁰.

4.1.1. Ταξινόμηση διωλιστηρίων σύμφωνα με την πίεση του νερού

Τα διωλιστήρια που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του νερού διακρίνονται επίσης σε διωλιστήρια βαρύτητας και σε διωλιστήρια υπό πίεση. Οι κύριες διαφορές μεταξύ των διωλιστηρίων βαρύτητας και των διωλιστηρίων υπό πίεση είναι το διαθέσιμο πιεζομετρικό ύψος για τη δίοδο του νερού δια μέσου της κλίνης διήθησης καθώς και ο τύπος του περιβλήματος (τοιχωμάτων) της κατασκευής που περιέχει την κλίνη διήθησης. Στα

⁴⁰ Τσώνης, 2003

διυλιστήρια βαρύτητας το διαθέσιμο πιεζομετρικό ύψος είναι στην περιοχή των 2 έως 3 m στήλης νερού ενώ στα διυλιστήρια υπό πίεση το διαθέσιμο πιεζομετρικό ύψος είναι σημαντικά μεγαλύτερο. Τα διυλιστήρια βαρύτητας είναι ανοικτές κατασκευές με τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα (ή και μεταλλικά) ενώ τα διυλιστήρια υπό πίεση είναι κλειστά δοχεία με μεταλλικά τοιχώματα. Επειδή το κόστος μεγάλων κλειστών δοχείων που λειτουργούν υπό πίεση είναι αρκετά υψηλό τα διυλιστήρια υπό πίεση χρησιμοποιούνται κυρίως για μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού.

Τα οριζόντια διυλιστήρια υπό πίεση μπορούν να έχουν αρκετό μήκος (10-15 m). Τα κυλινδρικά περιβλήματα κατασκευάζονται με μικρές διαμέτρους για λόγους κυρίως αντοχής των μεταλλικών τοιχωμάτων στις πιέσεις λειτουργίας.

4.1.2. Κατάταξη των διυλιστηρίων σύμφωνα με την κατεύθυνση της ροής

Τα διυλιστήρια επεξεργασίας νερού είναι δυνατόν να είναι σχεδιασμένα με καθοδική ή με ανοδική ροή. Επίσης θα μπορούσε ένα διυλιστήριο να είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να τροφοδοτείται στο άνω τμήμα του υπό καθεστώς καθοδικής ροής και στο κάτω τμήμα του υπό καθεστώς ανοδικής ροής.

4.2. Υλικά διήθησης

Η επιλογή των κατάλληλων υλικών διήθησης έχει μεγάλη σημασία για την αποτελεσματική αφαίρεση της θολότητας. Οι κλίνες διήθησης μπορεί να αποτελούνται από ένα μέσο (π.χ. μόνο από χαλαζιακή άμμο) οπότε ονομάζονται ενός μέσου ή μονοστρωματικές. Επίσης σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται διστρωματικές κλίνες (αποτελούνται π.χ. από ένα στρώμα ανθρακίτη και από ένα στρώμα άμμου) η ακόμη και κλίνες με περισσότερα στρώματα (π.χ. τριστρωματικές ή και πολυστρωματικές). Ο χαρακτηρισμός των υλικών που χρησιμοποιούνται στα διυλιστήρια γίνεται μετά από κοσκίνισμα με μια σειρά από πρότυπα κόσκινα. Στο Σχήμα 7.15 φαίνεται μια τυπική κατανομή μεγέθους κοκκώδους υλικού σε συνάρτηση με τη διάταξη του διακένου ή το Mesh No. των πρότυπων κόσκινων με τη βοήθεια των οποίων έγινε η κοκκομετρική ανάλυση. Τα πληρωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε κλίνες διήθησης χαρακτηρίζονται με το ενεργό μέγεθός τους και με το συντελεστή ομοιομορφίας. Το ενεργό μέγεθος (EM) είναι η διάσταση του ανοίγματος του κόσκινου που επιτρέπει πέρασμα 10% κατά βάρος του υλικού. Εάν προσδιορισθεί το άνοιγμα που επιτρέπει πέρασμα του 10% του βάρους του υλικού καθώς και το άνοιγμα που επιτρέπει πέρασμα του 60% του βάρους του υλικού τότε έχουμε ουσιαστικά την περιοχή μεγεθών στην οποία αντιστοιχεί το 50% του βάρους του υλικού. Ο συντελεστής

ομοιομορφίας υπολογίζεται ως το πηλίκο d_{60}/d_{10} .

4.3. Μονοστρωματικές και πολυστρωματικές κλίνες διήθησης

Στις μονοστρωματικές κλίνες χρησιμοποιείται μόνο ένα στρώμα διήθησης και αυτό συνήθως είναι ένα στρώμα άμμου. Στις διστρωματικές κλίνες χρησιμοποιείται συνήθως ένα στρώμα άμμου και ένα στρώμα ανθρακίτη. Σε μερικές περιπτώσεις εκτός από την άμμο και τον ανθρακίτη χρησιμοποιείται και ένα τρίτο στρώμα από ένα ανόργανο υλικό το οποίο έχει αρκετά μεγαλύτερο ειδικό βάρος από την άμμο. Ένα τέτοιο υλικό είναι ο γρανάτης (garnet). Ο γρανάτης αναφέρεται σε μια ομάδα πυριτικών ορυκτών κυρίως του σιδηρού, του αργιλίου και του μαγνησίου. Το σπουδαιότερο είναι ο αλμανδίτης (almandite). Ο αλμανδίτης έχει πυριγενή προέλευση (από βραδεία κρυστάλλωση τήγματος ορυκτών) είναι αρκετά σκληρός (7,5 - 8,0 βαθμοί σκληρότητας στην κλίμακα Mohs), έχει μεγάλο σχετικό ειδικό βάρος (4,0 - 4,2) και του αποδίδεται ο χημικός τύπος $(Mg,Fe)_3Al_2(SiO_4)_3$. Μετά την πλύση μιας μονοστρωματικής κλίνης τα μεγαλύτερα τεμαχίδια υλικού καθιζάνουν με μεγαλύτερη ταχύτητα και κατέρχονται στη χαμηλότερη περιοχή της κλίνης ενώ τα μικρότερα τεμαχίδια καθιζάνουν αργότερα και παραμένουν στην ανώτερη περιοχή. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό σα στρωματοποίηση ή ανάστροφη διαβάθμιση του υλικού της κλίνης. Η στρωματοποίηση του υλικού είναι το σημαντικότερο μειονέκτημα των διυλιστηρίων με μονοστρωματική κλίνη. Οι κόκκοι μικρών διαστάσεων που διευθετούνται στο πάνω μέρος της κλίνης κατακρατούν το αιωρούμενο υλικό και έτσι μόνο το επιφανειακό τμήμα (μέχρι βάθους 4 έως 5 cm) είναι αποτελεσματικό και το υπόλοιπο βάθος της κλίνης ουσιαστικά δε συμμετέχει στη διαδικασία της διήθησης του νερού. Σωματίδια τα οποία περνούν από το λεπτόκοκκο επιφανειακό στρώμα είναι μάλλον δύσκολο να κατακρατηθούν σε κατώτερα στρώματα όπου το υλικό είναι πιο χονδρόκοκκο.

Το πρόβλημα της ανάστροφης διαβάθμισης σε μονοστρωματικές κλίνες αντιμετωπίζεται μερικά με επιλογή πληρωτικού υλικού με μικρό συντελεστή ομοιομορφίας κάτω από 1,4) και με σχετικά μεγαλύτερο ενεργό μέγεθος. Ο Πίνακας 11 δείχνει τις περιοχές τιμών για το ενεργό μέγεθος και για το συντελεστή ομοιομορφίας πληρωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται σε μονοστρωματικές κλίνες.

Ένας άλλος τρόπος για τον περιορισμό των προβλημάτων που παρατηρούνται σε μονοστρωματικές κλίνες είναι η χρησιμοποίηση κλινών με περισσότερα στρώματα (δύο, τρία ή και περισσότερα). Τυπικές διστρωματικές κλίνες αποτελούνται από ένα λεπτότερο υλικό (ενεργό μέγεθος 0,45-0,60 mm) μεγαλύτερου σχετικού ειδικού βάρους (2,65) που είναι η

χαλαζιακή άμμος και από ένα χονδρότερο υλικό (ενεργό μέγεθος 0,70-2.0 mm) μικρότερου σχετικού ειδικού βάρους (1,55) που είναι συνήθως ο ανθρακίτης. Σε κλίνες με τρία στρώματα χρησιμοποιείται συνήθως ως τρίτο υλικό η άμμος γρανάτη η οποία έχει το μεγαλύτερο σχετικό ειδικό βάρος (4,05). Ο Πίνακας 11 δείχνει επίσης τις περιοχές τιμών για το ενεργό μέγεθος και για το συντελεστή ομοιομορφίας υλικών που χρησιμοποιούνται σε μονοστρωματικές, διστρωματικές και τριστρωματικές κλίνες.

Πίνακας 11. Παράμετροι σχεδιασμού για πληρωτικά υλικά κλινών διήθησης.

Στρώμα	Παράμετρος	Κλίνη		
		Μονοστρωματική	Διστρωματική	Τριστρωματική
Ανθρακίτης	-Ενεργό μέγεθος, mm	0,50-1,5	0,70-2,0	1,0-2,0
	-Συντελεστής ομοιομορφίας	1,2-1,7	1,3-1,8	1,4-1,8
	-Βάθος, cm	50-150	30-60	50-130
Χαλαζιακή άμμος	-Ενεργό μέγεθος, mm	0,45-1,0	0,45-0,60	0,40-0,80
	-Συντελεστής ομοιομορφίας	1,2-1,7	1,2-1,7	1,2-1,7
	-Βάθος, cm	50-150	20-40	20-40
Άμμος γρανάτη	-Ενεργό μέγεθος, mm			0,20-0,80
	-Συντελεστής ομοιομορφίας			1,5-1,8
	-Βάθος, cm			5-15

Σε μια διστρωματική κλίνη χαλαζιακής άμμου-ανθρακίτη μετά την πλύση οι κόκκοι του ελαφρότερου ανθρακίτη κατανέμονται πάνω από τους μικρότερους κόκκους της βαρύτερης άμμου και έτσι η κλίνη λειτουργεί αποτελεσματικότερα αφού δε χρησιμοποιείται μόνο η επιφανειακή της περιοχή (όπως στην περίπτωση των μονοστρωματικών κλινών) αλλά πολύ μεγαλύτερο ποσοστό του βάθους της. Οι διστρωματικές κλίνες συμπεριφέρονται σχεδόν παρόμοια με δύο μονοστρωματικές κλίνες που λειτουργούν στη σειρά. Η πρώτη κλίνη αποτελείται από χονδρότερο υλικό που κατακρατεί το αιωρούμενο υλικό μεγαλύτερων διαστάσεων και η δεύτερη κλίνη αποτελείται από λεπτότερο υλικό και κατακρατεί το αιωρούμενο υλικό μικρότερων διαστάσεων καθώς και το σημαντικότερο μέρος του υλικού κολλοειδών διαστάσεων.

Σε μια τριστρωματική κλίνη άμμου γρανάτη-χαλαζιακής άμμου- ανθρακίτη μετά από την πλύση η διάταξη των υλικών είναι με το μεγαλύτερο ειδικό βάρος προς τα κάτω στην

κλίνη και με το μεγαλύτερο μέγεθος προς τα κάτω αλλά σε κάθε στρώμα της κλίνης. Εκείνο όμως που έχει σημασία είναι ότι το στρώμα του υλικού που έχει το μεγαλύτερο ενεργό μέγεθος (και πρόκειται για το ελαφρότερο υλικό) κατανέμεται στο πάνω μέρος της κλίνης και το στρώμα του υλικού που έχει το μικρότερο μέγεθος (και πρόκειται για το βαρύτερο υλικό) διευθετείται στο κάτω μέρος της κλίνης.

4.4. Στραγγιστήριο πυθμένα

Η κλίνη διήθησης στηρίζεται σε μια κατασκευή (διάταξη) η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ αυτής και του πυθμένα (δαπέδου) του διωλιστηρίου. Η διάταξη αυτή στήριξης θα πρέπει να παρεμποδίζει την απώλεια του λεπτόκοκκου υλικού της κλίνης διήθησης, να έχει τη μηχανική αντοχή για να υποβαστάξει το βάρος τη κλίνης και του υπερκείμενου νερού κατά τον κύκλο της διήθησης και να επιτρέπει την κατά το δυνατόν ομοιόμορφη κατανομή του νερού πλύσης κατά τη διάρκεια του κύκλου της ανάστροφης πλύσης. Η διάταξη αυτή ονομάζεται στραγγιστήριο πυθμένα. Η αποφυγή απώλειας λεπτόκοκκου υλικού μπορεί να γίνεται με δύο διαφορετικούς σχεδιασμούς του στραγγιστηρίου πυθμένα.

Ο ένας σχεδιασμός βασίζεται στη στήριξη της κλίνης διήθησης πάνω σε μια κλίση που αποτελείται από στρώματα χαλικιών κατάλληλων διαστάσεων ώστε να κατακρατείται το λεπτόκοκκο υλικό της κλίνης διήθησης. Το κάτω στρώμα της κλίνης των χαλικιών αποτελείται από τα χονδρότερα χαλίκια και τοποθετείται πάνω σε ένα δίκτυο σωληνώσεων στράγγισης ή σε στοιχεία στήριξης τα οποία φέρουν κατάλληλα ανοίγματα για παραλαβή του νερού που διηθείται κατά τον κύκλο διήθησης και του νερού που τροφοδοτείται ανάστροφα κατά τον κύκλο πλύσης. Τα στοιχεία αυτά στήριξης εδράζονται στο δάπεδο του διωλιστηρίου και αφήνουν κενούς χώρους για την απρόσκοπτη κυκλοφορία του νερού. Τα στραγγιστήρια πυθμένα αυτού του τύπου ονομάζονται στραγγιστήρια με κλίση χαλικιών.

Ο δεύτερος σχεδιασμός βασίζεται στην απ' ευθείας τοποθέτηση της κλίνης διήθησης πάνω σε ένα ψευδοπυθμένα ο οποίος είναι οπλισμένος με ένα δίκτυο ακροφυσίων με κεφαλές στράγγισης. Οι κεφαλές στράγγισης φέρουν σχισμές που έχουν άνοιγμα μικρότερο από τις διαστάσεις των λεπτότερων κόκκων του υλικού της κλίνης διήθησης (π.χ. σχισμές με άνοιγμα 0,2 mm). Τα στραγγιστήρια πυθμένα αυτού του τύπου ονομάζονται ψευδοπυθμένες στράγγισης.

Η κλίση χαλικιών που βρίσκεται κάτω από την κλίση διήθησης χρησιμοποιείται για την παρεμπόδιση της απώλειας λεπτόκοκκου υλικού από την κλίση διήθησης και για την ομοιόμορφη κατά το δυνατόν διανομή του νερού κατά τον κύκλο πλύσης. Η κλίση χαλικιών

είναι τοποθετημένη πάνω σε δίκτυο σωληνώσεων στράγγισης ή σε ειδικά στοιχεία στήριξης-στράγγισης τα οποία στηρίζονται στο δάπεδο του διωλιστηρίου.

Το βάθος της κλίνης των χαλικιών για ένα σύνθετος στραγγιστήριο πυθμένα με δίκτυο σωληνώσεων κυμαίνεται στην περιοχή των 50 έως 60 cm. Με κατάλληλο σχεδιασμό του δικτύου των σωληνώσεων στράγγισης είναι δυνατόν να επιτευχθεί κάποια μείωση του βάθους του στρώματος των χαλικιών. Οι οπές εισόδου του νερού κατά τον κύκλο διήθησης και εξόδου του νερού κατά τον κύκλο πλύσης βρίσκονται στις πλευρικές μόνο σωληνώσεις. Η διάμετρος των οπών αυτών κυμαίνεται από 1/4 έως 3/4 in και τα κέντρα των οπών είτε βρίσκονται στο κάτω μέρος των πλευρικών σωληνώσεων (γωνία 0° με την κατακόρυφο) είτε είναι διευθετημένα συμμετρικά και το ευθύγραμμο τμήμα που συνδέει το κέντρο κάθε οπής με το κέντρο της κατακόρυφης τομής του πλευρικού αγωγού σχηματίζει γωνία 30° έως 60° (συνήθως 45°) με την κατακόρυφο. Οι οπές είναι τοποθετημένες όπως περιγράφεται παραπάνω για να μην προκαλείται μετακίνηση των χαλικιών κατά τον κύκλο της πλύσης που τροφοδοτείται νερό με σχετικά μεγάλες ταχύτητες δια μέσου των οπών των πλευρικών σωληνώσεων. Εάν ο πίδακας νερού δια μέσου των οπών των πλευρικών σωληνώσεων κατευθυνόταν προς τα πάνω θα ήταν δυνατόν να παρατηρηθεί τοπική ρευστοποίηση της κλίνης των χαλικιών και ακόμη δε θα διασφαλιζόταν ομοιόμορφη ανοδική ταχύτητα σε όλες τις θέσεις του ανοδικού μετώπου πλύσης.

Το πρώτο στρώμα χαλικιών θα πρέπει να καλύπτει πλήρως τόσο την κεντρική σωλήνωση όσο και τις πλευρικές σωληνώσεις του δικτύου και η τελειωμένη άνω επιφάνεια του στρώματος αυτού να είναι σχετικά ομοιόμορφη και επίπεδη για να δεχθεί το δεύτερο στρώμα χαλικιών. Επειδή η διάμετρος της κεντρικής σωλήνωσης είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη διάμετρο των πλευρικών σωληνώσεων συνήθως η κεντρική σωλήνωση τοποθετείται σε κατάλληλη εσοχή. Ακόμη για τον περιορισμό του πάχους του πρώτου στρώματος χαλικιών θα ήταν δυνατόν η σύνδεση των πλευρικών σωληνώσεων να μη γίνεται στο μέσο της κεντρικής σωλήνωσης διανομής αλλά στην κορυφή της (π.χ. σε ζιμπό που θα βίδωνε σε οπή με σπείρωμα στο πάνω μέρος της κεντρικής σωλήνωσης και ταυ που θα συνέδεε δύο πλευρικές σωληνώσεις εκατέρωθεν της κεντρικής γραμμής διανομής).

4.5. Κριτήρια σχεδιασμού διωλιστηρίων

4.5.1. Αριθμός διωλιστηρίων

Ο ελάχιστος αριθμός μονάδων για εγκαταστάσεις που επεξεργάζονται λιγότερο από 2 mgd (περίπου 7500 m³/d) είναι δύο. Εάν η δυναμικότητα είναι μεγαλύτερη από 7500 m³/d

τότε ο ελάχιστος αριθμός μονάδων γίνεται τέσσερις. Οι διαστάσεις κάθε μονάδας για συνήθη διυλιστήρια βαρύτητας, για αυτοκαθαριζόμενα διυλιστήρια που αποτελούνται από μια ομάδα τεσσάρων ή περισσότερων μονάδων, για αυτόματα καθαριζόμενα διυλιστήρια (το διυλιστήριο αποτελείται από διαδοχικούς τομείς με πληρωτικό υλικό και ο καθαρισμός γίνεται με γέφυρα η οποία κινείται απ' άκρον σε άκρο και σταματάει σε κάθε τομέα για τον καθαρισμό τον ενώ οι υπόλοιποι τομείς βρίσκονται στον κανονικό κύκλο της διύλισης) και για διυλιστήρια πίεσης έχουν ως εξής⁴¹:

i. Συνήθη διυλιστήρια βαρύτητας

Πλάτος: 3 m έως 6 m

Μήκος/Πλάτος: 2/1 έως 4/1 (3/1, μέση τιμή)

Επιφανειακό εμβαδόν κλίνης: 25 m² έως 100 m² (56 m², μέση τιμή)

Συνολικό βάθος του διυλιστηρίου: 4,5 m έως 7,6 m (5,2 m, μέση τιμή)

Σε εγκαταστάσεις που έχουν μέση προς μεγάλη δυναμικότητα (> 0,9 m³/s) σχεδιάζονται συνήθως δύο κύτταρα ανά διυλιστήριο. Τα δύο αυτά κύτταρα τοποθετούνται εκατέρωθεν ενός κεντρικού κοινού οισοφάγου. Το ύψος νερού πάνω από την επιφάνεια της κλίνης διήθησης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ύψος που είναι απαραίτητο για την αποφυγή της δημιουργίας αρνητικών πιέσεων (air binding). Επειδή η συνήθης περιοχή πιεζομετρικών απωλειών δια μέσον των κλινών διήθησης είναι 1,8 m έως 2,4 m ο σχεδιασμός θα πρέπει να γίνεται για ύψος νερού πάνω από την κλίνη διήθησης ίσο με 2,4 m.

ii. Αυτοκαθαριζόμενα διυλιστήρια

Πλάτος: 3 m έως 6 m (4,5 m, μέση τιμή)

Μήκος/Πλάτος: 2/1 έως 4/1 (3/1, μέση τιμή)

Επιφανειακό εμβαδόν κλίνης: 25 m² έως 80 m² (50 m², μέση τιμή)

Βάθος διυλιστηρίου: 5,5 m έως 7,5 m (6,5 m, μέση τιμή)

Ο ελάχιστος αριθμός μονάδων διύλισης ανά διάταξη διύλισης είναι τέσσερις, αλλά έξι έως οχτώ μονάδες είναι προτιμότερες. Κάθε μονάδα αποτελείται συνήθως από ένα κύτταρο λόγω τον περιορισμού στη διαθέσιμη ποσότητα νερού ανάστροφης πλύσης

iii. Αυτόματα καθαριζόμενα διυλιστήρια (με κινούμενη γέφυρα)

⁴¹ Τσώνης, 2003

Πλάτος: 5 m

Μήκος: Έως περίπου 37 m

Βάθος δωλιστηρίου: 2,1 m έως 3,3 m

Πλάτος κάθε τομέα: 0,2 m έως 0,6 m

Βάθος κλίνης διήθησης σε κάθε τομέα: 0,25 m έως 1,2 m

Ταχύτητα της κινούμενης γέφυρας πλύσης: 0,53 m/min

iv. Δωλιστήρια πίεσης

Διάμετρος: 1,2 m έως 6 m

Μήκος: 2,4 m έως 15 m (6 m, μέση τιμή)

Βάθος της κλίνης διήθησης: 0,6 m έως 0,9 m.

Χρησιμοποιούνται τόσο οριζόντιες όσο και κατακόρυφες μονάδες. Οι κατακόρυφες μονάδες προτιμούνται σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις λόγω του ότι είναι πιο αποτελεσματική η ανάστροφη πλύση τους.

4.5.2. Υλικά και βάθος της κλίνης διήθησης

Τα πιο κοινά υλικά σε κλίνες διήθησης είναι η χαλαζιακή άμμος και ο ανθρακίτης. Επίσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται και άλλα κοκκώδη ορυκτά υλικά όπως γρανάτης (garnet), ιλμενίτης (ilmenite), ελαφρόπετρα (pumice) καθώς και κοκκώδη συνθετικά υλικά. Το βάθος της κλίνης του πληρωτικού υλικού σχετίζεται με το μέγεθος των κόκκων του πληρωτικού υλικού και ισχύει γενικά η παρακάτω σχέση:

$$l/d_e \geq$$

1000	Για συνήθεις μονοστρωματικές κλίνες άμμου ή διστρωματικές κλίνες ανθρακίτη-άμμου
1250	Για τριστρωματικές κλίνες ανθρακίτη-χαλαζιακής άμμου-άμμου γρανάτη
1250 έως 1500	Για μονοστρωματικές κλίνες με χονδρό πληρωτικό υλικό (d_e μεταξύ 1,2 και 1,4 mm)
1500 έως 2000	Για μονοστρωματικές κλίνες με πολύ χονδρό πληρωτικό υλικό (d_e μεταξύ 1,5 και 2,0 mm)

όπου:

l βάθος της κλίνης σε mm,

d_e ενεργό μέγεθος του πληρωτικού υλικού σε mm

Όταν το ενεργό μέγεθος τον πληρωτικού υλικού είναι μεγαλύτερο από 1,5 mm τότε το πορώδες γίνεται πολύ μεγάλο σε σχέση με το πορώδες σε συνήθεις κλίνες διήθησης (το πορώδες τριπλασιάζεται όταν το μέγεθος των κόκκων διπλασιάζεται). Όταν λοιπόν το ενεργό μέγεθος είναι μεγαλύτερο από 1,5 mm τότε ο λόγος l/d_e χρησιμοποιείται μόνο για μια πρώτη εκτίμηση και ο σχεδιασμός θα πρέπει να στηρίζεται σε πειραματικές μελέτες. Επίσης θα πρέπει να τοποθετείται ένα λεπτό στρώμα χαλαζιακής άμμου (περίπου 30 cm) στον πυθμένα μιας βαθιάς χονδρής μονοστρωματικής κλίνης για να εμποδίζεται το πέρασμα (στο διυλισμένο νερό) ωοκυστών και μικρών πρωτόζωων.

Εάν οι προδιαγραφές απαιτούν θολότητα επεξεργασμένου νερού μικρότερη από 0,1 NTU) χωρίς να γίνεται προσθήκη πολυηλεκτρολύτη τότε συνιστάται να γίνεται αύξηση τον λόγου l/d_e κατά 10%. Οι μηχανικοί σχεδιασμού θα πρέπει να κάνουν προβλέψεις για πιθανόν αυστηρότερες μελλοντικές προδιαγραφές για την απαιτούμενη ποιότητα τον διυλισμένου νερού και έτσι θα πρέπει να περιλαμβάνουν στο σχεδιασμό την εναλλακτική δυνατότητα για μελλοντική αντικατάσταση τον πληρωτικού υλικού της κλίνης διήθησης με κοκκώδη ενεργό άνθρακα (GAC).

4.5.3. Ρυθμός (επιφανειακή ταχύτητα) διύλισης

Τα πρώτα ταχυδιυλιστήρια ήταν μονοστρωματικά με κλίνη άμμου και λειτουργούσαν με ταχύτητες 2 grm/ft² (5 m/h). Αυτή η ταχύτητα διύλισης αντιστοιχεί σε αριθμό Reynolds περίπου 1,0 που είναι στα όρια της στρωτής ροής δια μέσον μιας κλίνης πληρωτικού υλικού. Τα συνήθη διυλιστήρια με διστρωματική κλίνη ανθρακίτη-άμμου λειτουργούν με ταχύτητα διύλισης 6 grm/ft² (15 m/h) που αντιστοιχεί σε αριθμό Reynolds περίπου 10. Αυτή η τιμή τον αριθμού Reynolds βρίσκεται στο άνω όριο της περιοχής της στρωτής ροής.

Όμως όταν αναφερόμαστε σε διυλιστήρια με βαθιά κλίνη χονδρού πληρωτικού υλικού οι ταχύτητες διύλισης που χρησιμοποιούνται φτάνουν μέχρι 15 grm/ft² (37,5 m/h) και αντιστοιχούν σε αριθμούς Reynolds στην περιοχή 30 έως 40. Τέτοιες όμως τιμές αριθμού Reynolds αντιστοιχούν στη μεταβατική περιοχή από τη στρωτή στην τυρβώδη ροή. Αυτή η μεταβατική μορφή ροής σε βαθιές κλίνες με χονδρό κοκκώδες πληρωτικό υλικό επεξηγεί κατά κάποιο τρόπο τα καλά χαρακτηριστικά θρόμβωσης των σωματιδίων θολότητας και την ικανοποιητική στη συνέχεια κατακράτηση των συσσωματωμάτων ιδιαίτερα εάν έχει γίνει και κατάλληλη προσθήκη μικρών δόσεων πολυηλεκτρολύτη.

Σήμερα είναι γνωστό ότι μπορούμε να λειτουργήσουμε τα ταχυδυλιστήρια με ταχύτητες π.χ. μέχρι 25 m/h χωρίς επιπτώσεις στην ποιότητα τον δυλισμένου νερού. Αυτό όμως προϋποθέτει ότι το τροφοδοτούμενο νερό έχει υποβληθεί σε κατάλληλη προεπεξεργασία για αφαίρεση θολότητας με καθίζηση και εν συνεχεία υποβάλλεται σε διύλιση. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι καθώς αυξάνεται η ταχύτητα διύλισης αυξάνονται πολύ περισσότερο οι υδραυλικές απώλειες δια μέσου της κλίνης του πληρωτικού υλικού. Η αύξηση των υδραυλικών απωλειών οφείλεται τόσο στην αύξηση της ταχύτητας διύλισης όσο και στον εντονότερο ρυθμό κατακράτησης υλικού και την επακόλουθη μείωση του πορώδους της κλίνης.

Όταν οι θρόμβοι που σχηματίζονται στο πορώδες της κλίνης διήθησης είναι αδύνατοι (όπως στην περίπτωση που η ιζηματοποίηση γίνεται με θειικό αργίλιο) τότε το δυλιζόμενο νερό τείνει να παρουσιάζει προβλήματα θολότητας για ταχύτητες διύλισης πάνω από 10 m/h. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται πιο έντονο σε περιόδους που η θερμοκρασία είναι χαμηλή και ιδιαίτερα στα μονοστρωματικά δυλιστήρια άμμου. Έτσι οι συνιστώμενες ταχύτητες διύλισης έχουν ως εξής:

- Ταχυδυλιστήρια με μονοστρωματικές κλίνες άμμου 7,5 έως 10 m/h
- Ταχυδυλιστήρια με διστρωματικές κλίνες ανθρακίτη-άμμου μέχρι 15 m/h.

Ο μηχανικός σχεδιασμού θα πρέπει να αναγνωρίζει ότι ο ρυθμός διύλισης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι συνάρτηση διαφόρων παραγόντων όπως το είδος και το μέγεθος των πληρωτικών υλικών της κλίνης, ο βαθμός της προεπεξεργασίας και η χρησιμοποίηση υποβοηθητικών της διύλισης (π.χ. διαφόρων πολυηλεκτρολυτών). Επίσης σημειώνεται ότι ο σχεδιασμός θα πρέπει να γίνεται και με πρόβλεψη για χρησιμοποίηση μελλοντικά μεγαλύτερων ρυθμών διύλισης που σημαίνει ότι θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη υδραυλική διαστασιολόγηση.

4.5.4. Υδραυλικές απώλειες

Οι ολικές υδραυλικές απώλειες δια μέσου των δυλιστηρίων έχουν ως εξής:

- Συνήθη δυλιστήρια βαρύτητας: 2,7 m έως 4,5 m
- Δυλιστήρια πίεσης: 15 m έως 30 m (23 m, μέση τιμή)
- Αυτόματα καθαριζόμενα δυλιστήρια: 0,6 m έως 0,9 m

Οι υδραυλικές απώλειες δια μέσου μόνο της κλίνης διήθησης των δυλιστηρίων έχουν ως εξής:

- Συνήθη διωλιστήρια βαρύτητας: 1,8 m έως 3,6 m
- Διωλιστήρια πίεσης: 7,5 m έως 15 m
- Αυτόματα καθαριζόμενα διωλιστήρια: 0,1 m έως 0,3 m

4.5.5. Διάφοροι άλλοι τύπου διωλιστηρίων

Αρκετές εταιρίες που ασχολούνται με το σχεδιασμό και κατασκευή συστημάτων και διατάξεων καθαρισμού νερού και επεξεργασίας λυμάτων παρουσιάζουν στην αγορά κατά καιρούς νέους σχεδιασμούς διωλιστηρίων τόσο για την τριτοβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων όσο και για καθαρισμό πόσιμου νερού. Δύο τύποι διωλιστηρίων έχουν βρει σημαντική αποδοχή για χρησιμοποίηση σε εγκαταστάσεις καθαρισμού πόσιμου νερού. Πρόκειται για τα φίλτρα προεπίστρωσης με χρησιμοποίηση γης διατόμων και για τα αυτόματα διωλιστήρια με κινούμενη γέφυρα πλύσης.

Στα διωλιστήρια με κινούμενη γέφυρα πλύσης το στραγγιστήριο του πυθμένα αποτελείται από κύτταρα στράγγισης-ανάστροφης πλύσης πάνω από τα οποία βρίσκεται η κλίνη του πληρωτικού υλικού η οποία αποτελείται πάλι από κύτταρα διήθησης. Στον αρχικό σχεδιασμό η κλίνη του πληρωτικού υλικού είχε βάθος 28 cm και ήταν μονοστρωματική από χαλαζιακή άμμο με ενεργό μέγεθος 0,6 mm. Σήμερα όμως ο σχεδιασμός γίνεται για βάθη κλίνης έως 120 cm και η κλίνη μπορεί να είναι είτε μονοστρωματική από χαλαζιακή άμμο είτε διστρωματική από ανθρακίτη και άμμο. Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία του διωλιστηρίου είναι η αρχή της διύλισης επιφανείας όπου η εισχώρηση των θρόμβων στο πληρωτικό υλικό της κλίνης είναι πολύ μικρή και ουσιαστικά η κατακράτηση γίνεται μόνο στην επιφανειακή περιοχή. Το διωλιστήριο λειτουργεί με μικρές υδραυλικές απώλειες (15 έως 30 cm) και ο ρυθμός διύλισης κυμαίνεται μεταξύ 5 και 7,5 m/h. Η ανάστροφη πλύση ενεργοποιείται είτε από το ύψος της πιεζομετρικής απώλειας είτε από χρονοδιακόπτη.

Η πλύση κάθε κυττάρου επαναλαμβάνεται κάθε 2 έως 6 h και έτσι η επιφάνεια του πληρωτικού υλικού παραμένει σχετικά φρέσκια και δεν υπάρχει ανάγκη επιφανειακής πλύσης. Η συντήρηση του διωλιστηρίου με κινούμενη γέφυρα πλύσης είναι αρκετά απλή. Το διωλιστήριο αυτό χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την αφαίρεση αιωρούμενων στερεών από δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα και σήμερα έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται και για τη διύλιση πόσιμου νερού. Όταν χρησιμοποιείται για τη διύλιση πόσιμου νερού θα πρέπει να τοποθετείται μέσα σε στεγασμένο χώρο για να αποφεύγονται ο κίνδυνος επιμόλυνσης από την πτώση διαφόρων σωματιδίων στο διωλισμένο νερό.

4.6. Σχεδιασμός διωλιστηρίων για την Ε.Ε.Α. Αργοστολίου

Όπως αναφέρθηκε ο ελάχιστος αριθμός μονάδων για εγκαταστάσεις που επεξεργάζονται λιγότερο από 2 mgd (περίπου 7500 m³/d) είναι δύο. Άρα στην περίπτωση του Αργοστολίου ο σχεδιασμός περιλαμβάνει δύο μονάδες διύλισης.

- Επιλέγονται συνήθη διωλιστήρια βαρύτητας. Το σύνηθες πλάτος των διωλιστηρίων βαρύτητας είναι 3 - 6 m. Επιλέγεται πλάτος ίσο με 4 m.
- Η μέση τιμή του λόγου Μήκος/Πλάτος είναι 3/1. Άρα το μήκος θα είναι ίσο με 12 m.
- Η μέση τιμή του επιφανειακού εμβαδού της κλίνης είναι 56 m². Στην περίπτωσή μας το επιφανειακό εμβαδό της κλίνης είναι ίσο με 4 x 12 = 48 m² το οποίο είναι κοντά στη μέση τιμή και στα πλαίσια των συνηθών τιμών (25 m² - 100 m²).
- Το συνολικό βάθος του διωλιστηρίου παίρνει τιμές από 4,5 m έως 7,6 m με, μέση τιμή ίση με 5,2 m. Στην περίπτωσή μας επιλέγεται βάθος ίσο με 5 m.
- Σαν υλικό της κλίνης διήθησης επιλέγεται χαλαζιακή άμμος.
- Οι ολικές υδραυλικές απώλειες δια μέσου των διωλιστηρίων για συνήθη διωλιστήρια βαρύτητας είναι από 2,7 m έως 4,5 m
- Οι υδραυλικές απώλειες δια μέσου μόνο της κλίνης διήθησης των διωλιστηρίων ια συνήθη διωλιστήρια βαρύτητας είναι από 1,8 m έως 3,6 m.
- Σε ότι αφορά το ρυθμό (επιφανειακή ταχύτητα) διύλισης, θα επιλεγεί ταχυδιωλιστήριο με μονοστρωματικές κλίνες άμμου με συνιστώμενη ταχύτητα 7,5 έως 10 m/h.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η λειτουργία και ο σχεδιασμός μίας εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων και συγκεκριμένα η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της πόλης του Αργοστολίου. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

- Σε ότι αφορά τις προβλέψεις πληθυσμού, οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία δίνουν παρόμοια αποτελέσματα. Άρα θα μπορούσε κάποιος να υποθέσει ότι τα αποτελέσματά τους είναι ρεαλιστικά. Για να γίνει ασφαλής πρόβλεψη πληθυσμού και να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα με τον καλύτερο δυνατό τρόπο πρέπει οι παραδοχές, (ελλείψει στοιχείων) να οδηγούν σε λογικά και υπέρ της ασφαλείας συμπεράσματα.
- Για το σχεδιασμό των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης, ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, καθώς μεγάλες τιμές του μπορεί να οδηγήσουν σε καθίζηση κολλοειδών στερεών, με επακόλουθο τη δημιουργία συμπαγούς μάζας στον πυθμένα, που απομακρύνεται δύσκολα. Αντιθέτως, μικρές τιμές του υδραυλικού χρόνου παραμονής οδηγούν σε ανεπιθύμητα μικρή απομάκρυνση στερεών.
- Ο σχεδιασμός ενός βιολογικού φίλτρου μπορεί να γίνει αξιόπιστα με εμπειρικές εξισώσεις, αλλά προκειμένου να γίνει λεπτομερέστερος σχεδιασμός και υπολογισμός των παραμέτρων που αφορούν σε κάθε συγκεκριμένη διάταξη, καλό είναι να γίνονται πειραματικές μετρήσεις για την καλύτερη εκτίμηση των δευτερευόντων παραμέτρων σχεδιασμού όπως η χρησιμοποιούμενη διάταξη του συστήματος, το είδος του πληρωτικού υλικού, το σύστημα αερισμού, το σύστημα τροφοδοσίας και ο δοσομετρικός ρυθμός παροχής.
- Ο σχεδιασμός των δυλιστηρίων εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, αλλά θέλει ιδιαίτερη προσοχή για να μην ξεπεραστούν κάποια κριτήρια σχεδίασης τα οποία μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη λειτουργία. Για παράδειγμα όταν αυξηθεί η ταχύτητα διύλισης αυξάνονται πολύ περισσότερο οι υδραυλικές απώλειες δια μέσου της κλίνης του πληρωτικού υλικού. Η αύξηση των υδραυλικών απωλειών οφείλεται τόσο στην αύξηση της ταχύτητας διύλισης όσο και στον εντονότερο ρυθμό κατακράτησης υλικού και την επακόλουθη μείωση του πορώδους της κλίνης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αγγελοπούλου Α. «Σχεδιασμός συστήματος βιολογικού καθαρισμού για οικισμό 12.000 κατοίκων». Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Πάτρα, 2015.
- [2] Βλυσίδης Α, Γρηγοροπούλου Ε, Λυμπεράτος Γ. «Περιβαλλοντική Μηχανική». Σημειώσεις Παραδόσεων, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2018.
- [3] Κούστα Δ. «Σχεδιασμός δεξαμενών καθίζησης για επεξεργασία λυμάτων». Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Πάτρα, 2015.
- [4] Κυπριωτάκης Ε. «Επίδραση του ρυθμού ανακυκλοφορίας και αερισμού στην απόδοση του βιοφίλτρου για επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων». Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2017.
- [5] Λώλη Ρ. «Σχεδιασμός συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με βιολογικά φίλτρα». Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2006.
- [6] Μακρή Ζ. «Η μελέτη των περιβαλλοντικών παραμέτρων του υδατικού αποδέκτη (Πατραϊκού Κόλπου) των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων της πόλης των Πατρών». Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Χανιά, 2006.
- [7] Τζανάκης Ι, Μετκαϊ Ε. «Μελέτη εγκαταστάσεων καθαρισμού λυμάτων με πεπερασμένα στοιχεία». Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Πάτρα, 2014.
- [8] Τραγάκη Α, Μπάγκαβος Χ, Ντούνας Δ. «Περί Δημογραφίας και Πληθυσμιακών Εξελίξεων». Σύλλογος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου, 2015.
- [9] Τσώνης Σ. «Καθαρισμός Νερού». Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2003.
- [10] Τσώνης Σ. «Επεξεργασία Λυμάτων». Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2004.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Παρακάτω δίνονται εικόνες από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων του Αργοστολίου. Οι φωτογραφίες ελήφθησαν από τη συγγραφέα της παρούσας πτυχιακής εργασίας Αντωνέλλου Γερασιμούλα κατά την επίσκεψή της στο χώρο της εγκατάστασης.

















ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Διάγραμμα ροής επεξεργασίας λυμάτων βιολογικού καθαρισμού Αργοστολίου.

