



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΙ.ΠΕ ΠΑΤΡΩΝ. ΠΙΘΑΝΕΣ

ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

Σιέττος Γεώργιος

Αριθμός Μητρώου:142429

Επιβλέπων καθηγητής : Μαναριώτης Ιωάννης

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΙ.ΠΕ ΠΑΤΡΩΝ & ΠΙΘΑΝΕΣ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

Σιέττος Γεώργιος

Αριθμός Μητρώου:142429

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής εργασίας

Επιβλέπων καθηγητής : Μαναριώτης Ιωάννης

Συν - Επιβλέπων καθηγητής : Καραπαναγιώτη Χρυσή Κασσιανή

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2024

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Διαχείριση Αποβλήτων» της σχολής Θετικών Επιστημών του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου. Καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης του μεταπτυχιακού η συμβολή των καθηγητών ήταν καθοριστική και οφείλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες για την βοήθεια στην ολοκλήρωση των σπουδών μου. Ιδιαίτερα επιθυμώ να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα στην παρούσα διπλωματική εργασία, κο. Ιωάννη Μαναρίωτη , για την συμβουλευτική καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς την ΕΤΒΑ ΒΙ.ΠΕ. ΑΕ για την ευγενική χορήγηση των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική εργασία. Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για τη συμπαράσταση και την υπομονή της.

Περίληψη

Η ταχεία ανάπτυξη της βιομηχανίας σε παγκόσμιο επίπεδο τα τελευταία χρόνια έχει αυξήσει σημαντικά την απόρριψη ρύπων στο περιβάλλον. Η απόρριψη αστικών και άλλων βιομηχανικών αποβλήτων σε υδάτινα συστήματα οδηγούν στην ρύπανση των υδάτων. Οι βιομηχανίες απελευθερώνουν μη επεξεργασμένα ή ατελώς επεξεργασμένα λύματα στο περιβάλλον, οδηγώντας στην ρύπανση τόσο του υδροφόρου ορίζοντα όσο και του εδάφους. Τα βιομηχανικά λύματα είναι εκροές που προκύπτουν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που συνδέονται με την επεξεργασία και την παραγωγή πρώτων υλών. Τέτοιου είδους λύματα προκύπτουν από το πλύσιμο, το μαγείρεμα, την ψύξη, τη θέρμανση, την εκχύλιση, ενώ μπορεί να είναι υποπροϊόντα χημικών αντιδράσεων ή και ακόμη να προκύπτουν από τις διαδικασίες διαχωρισμού σε στάδια ελέγχου ποιότητας ορισμένων προϊόντων.

Εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας με σκοπό την μείωση της συγκέντρωσης ρύπων στο νερό καθώς και τον περιορισμό ή ακόμη και την εξάλειψη των αιωρούμενων στερεών, των οποίων τα μόρια μπορούν να μολύνουν τα ποτάμια ή να εμποδίσουν την κίνηση του νερού σε σωληνώσεις έπειτα από τον σχηματισμό εναποθέσεων τους. Επιπλέον, μέσω της επεξεργασίας μειώνεται η περιεκτικότητα των λυμάτων σε βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη (μετρούμενη με το δείκτη Βιολογικά Απαιτούμενο Οξυγόνο, BOD₅). Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αποσκοπεί στη μείωση ή την εξάλειψη του ρυπαντικού φορτίου για να διασφαλιστεί η προστασία του υδάτινου αποδέκτη και εν γένει του περιβάλλοντος. Συνεπώς, κατά τον σχεδιασμό μιας μονάδας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πληθώρα παραμέτρων ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή αποδοτικότητα σε όλα τα στάδια επεξεργασίας.

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων όπου εδρεύει στην Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙ.ΠΕ) Πατρών. Γίνεται ανασκόπηση λειτουργίας της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων και παρουσιάζονται προτάσεις ώστε να εφαρμοστούν διορθωτικές ενέργειες στα διάφορα στάδια της μονάδας επεξεργασίας. Οι προτάσεις αποσκοπούν στη βελτίωση της επεξεργασίας των εισερχόμενων αποβλήτων από τις βιομηχανίες οι οποίες κάνουν χρήση του δικτύου ακαθάρτων. Για την χρήση και αξιοποίηση των ανωτέρω στοιχείων έχει δοθεί η έγγραφη άδεια της ΕΤΒΑ ΒΙ.ΠΕ. Α.Ε. Στο τέλος γίνεται η επεξεργασία των στοιχείων αυτών και η παράθεση των συμπερασμάτων.

Λέξεις κλειδιά: Μονάδα επεξεργασίας, Βιομηχανικά απόβλητα, ΒΙ.ΠΕ, Στάδια επεξεργασίας, Βελτίωση, Αύξηση απόδοσης

Abstract

EVALUATION OF OPERATION OF WASTE TREATMENT UNIT OF INDUSTRIAL AREA OF PATRAS. POSSIBLE CORRECTIVE ACTIONS

The rapid development of industry worldwide in recent years has significantly increased the discharge of pollutants into the environment. The discharge of municipal and other industrial wastes into water systems leads to water pollution. Industries release untreated and/or incompletely treated sewage into the environment, leading to the pollution of both water and soil. Industrial wastewaters are effluents resulting from human activities associated with the processing and production of raw materials. This kind of waste water results from washing, cooking, cooling, heating, extraction, while it can be by-products of chemical reactions or even result from separation processes in the quality control stages of certain products.

Various treatment methods are applied in order to reduce the concentration of pollutants in water as well as to limit or even eliminate suspended solids, whose particles can pollute rivers or obstruct the movement of water in pipes after forming deposits. In addition, the treatment also reduces the content of biodegradable organic matter (measured as Biochemical Oxygen Demand, BOD₅). Wastewater treatment is required to reduce or eliminate pollutants to a sufficient degree to obtain potable water or water that can be discharged into the aquifer. Therefore, an industrial waste treatment plant should be designed in such a way that certain parameters are taken into account to improve the efficiency of the plant.

The present study focuses on the operation of the industrial waste treatment plant located in the Industrial Area of Patras. The purpose is to present the operation of the waste treatment unit up to now and to propose, based on the assessment made, corrective actions at the various stages where the waste inflows from the nearby industries are treated, likely to improve the quality performance of the waste water plant. There is a written license from ETVA VI.PE. S.A., for the notification of the above information. Finally, these data are processed and the conclusions are quoted.

Keywords: Industrial wastewater, Treatment, Industrial Area of Patras, Treatment steps, Improvement, Performance increase

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Περιεχόμενα.....	6
Κατάλογος Σχημάτων.....	8
Κατάλογος Εικόνων.....	10
Κατάλογος Πινάκων.....	11
1.Εισαγωγή.....	12
2. Βιομηχανικά Απόβλητα.....	14
2.1. Γενικά.....	14
2.2. Σημαντικοί ρύποι βιομηχανικών λυμάτων που προκαλούν ανησυχία και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.....	20
3. Στάδια επεξεργασίας αποβλήτων σε μονάδες καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων.....	22
3.1. Γενικές κατηγορίες σταδίων επεξεργασίας αποβλήτων.....	22
3.2. Στάδια επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων.....	26
4. Μονάδα καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων στην Βιομηχανική Περιοχής (ΒΙ.ΠΕ) Πατρών.....	39
4.1. Λειτουργία μονάδας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων.....	39
4.2. Μηχανολογικός εξοπλισμός ΒΠΠΕ.....	51
4.3. Μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου και εξόδου της μονάδας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων.....	52
4.4. Απόδοση μονάδας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων.....	65
5. Διορθωτικές ενέργειες για την λειτουργία της μονάδας καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων στην Βιομηχανική Περιοχής (ΒΙ.ΠΕ) Πατρών.....	70
5.1. Αποτελεσματικότητα και βελτίωση λειτουργίας μονάδας καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων.....	70
5.2. Βελτιωτικές ενέργειες για την ΜΚΑ της ΒΙ.ΠΕ Πατρών.....	74
6. Συμπεράσματα.....	89
Βιβλιογραφία.....	91

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1. Κατανομή προέλευσης βιομηχανικών αποβλήτων από διάφορες βιομηχανίες [4].....	13
Σχήμα 2.1 Γενική κατηγοριοποίηση βιομηχανικών ρύπων [26].....	20
Σχήμα 3.1. Συμβατικές γενικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων [9].....	23
Σχήμα 3.2. Στάδια επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων και γενικές κατηγορίες μεθόδων που εφαρμόζονται [31].....	25
Σχήμα 3.3. Σχηματική αναπαράσταση σταδίων επεξεργασίας αποβλήτων και λυμάτων [33],[34].....	28
Σχήμα 4.1. Παροχή εισόδου ανά ημέρα για επιλεγμένους μήνες για το 2022.....	53
Σχήμα 4.2. Παροχή εισόδου ανά ημέρα για επιλεγμένους μήνες για το 2023.....	53
Σχήμα 4.3. Μέση ημερήσια παροχή εισόδου ανά μήνα για τις χρονικές περιόδους 2021,2022 και 2023.....	56
Σχήμα 4.4. Διάγραμμα μετρούμενης τιμή pH του αποβλήτου στην είσοδο της ΜΚΑ για τις χρονικές περιόδους 2021, 2022 και 2023.....	54
Σχήμα 4.5. Διάγραμμα μετρούμενης τιμής αγωγιμότητας του αποβλήτου στην είσοδο της ΜΚΑ για τις χρονικές περιόδους 2021, 2022 και 2023.....	54
Σχήμα 4.6. Μετρήσεις βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD ₅) στην είσοδο της μονάδας.....	55
Σχήμα 4.7. Μετρήσεις χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) στην είσοδο της μονάδας.....	55
Σχήμα 4.8. Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) στην είσοδο της μονάδας καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.....	56

Σχήμα 4.9. Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) στην είσοδο της μονάδας για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.....**56**

Σχήμα 4.10. Συγκέντρωση λιπών και ελαίων στην είσοδο της μονάδας για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.....**57**

Σχήμα 4.11. Συγκέντρωση ολικού αζώτου (TN) στην είσοδο της μονάδας για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.....**58**

Σχήμα 4.12. Συγκέντρωση ολικού φωσφόρου (TP) στην είσοδο της μονάδας για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.....**58**

Σχήμα 4.13. Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.....**59**

Σχήμα 4.14. Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.....**60**

Σχήμα 4.15. Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.....**60**

Σχήμα 4.16. Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.....**61**

Σχήμα 4.17. Ολικό άζωτο (N) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.....**61**

Σχήμα 4.18. Ολικός φώσφορος (P) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.....**62**

Σχήμα 4.19. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ για το **(Α)** 2021, **(Β)** 2022 και **(Γ)** 2023.....**63**

Σχήμα 4.20. Απόδοση απομάκρυνσης βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.....**66**

Σχήμα 4.21. Απόδοση απομάκρυνσης χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.....**66**

Σχήμα 4.22. Απόδοση απομάκρυνσης ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.....**67**

Σχήμα 4.23. Απόδοση απομάκρυνσης ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.....**67**

Σχήμα 4.24. Απόδοση απομάκρυνσης ολικού αζώτου (TN) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.....**68**

Σχήμα 4.25. Απόδοση απομάκρυνσης ολικού φωσφόρου (TP) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.....**68**

Σχήμα 5.1. Ποσοστά απαιτούμενης ενέργειας σε διάφορα στάδια της μονάδας επεξεργασίας.....**75**

Σχήμα 5.2. Σύγκριση συμβατικής αντλίας και προτεινόμενης.....**77**

Σχήμα 5.3. Επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων (τριτοβάθμια επεξεργασία) στην ΜΚΑ της ΒΙΠΕ Πατρών, για χρήση της εκροής για άρδευση.....**85**

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.1 Δεξαμενές πρωτοβάθμια καθίζησης.....**30**

Εικόνα 3.2 Τυπική διεργασία ενεργού ιλύος [39].....**33**

Εικόνα 3.3. Η δεξαμενή ενεργού ιλύος ή δεξαμενή αερισμού [40],[41]. Παραδείγματα από βιολογικούς καθαρισμούς στην Ελλάδα.....	34
Εικόνα 4.1. Μετρητής σωματιδίων.....	47
Εικόνα 4.2. Αντλιοστάσιο ανύψωσης ΜΚΑ ΒΙΠΕ Πατρών.....	47
Εικόνα 4.3. Δεξαμενή αερισμού ΜΚΑ ΒΙΠΕ Πατρών.....	48
Εικόνα 4.4. Δεξαμενή καθίζησης ΜΚΑ ΒΙΠΕ Πατρών.....	48
Εικόνα 4.5. Αντλίες ανακυκλοφορίας δεξαμενών καθίζησης ΜΚΑ ΒΙΠΕ Πατρών.....	49
Εικόνα 4.6. Μαϊάνδρος μετά τη χλωρίωση ΜΚΑ ΒΙΠΕ Πατρών.....	49
Εικόνα 4.7. Μηχάνημα πολυηλεκτρολύτη.....	50
Εικόνα 4.8. Φυγοκεντρικός διαχωριστής (αφυδάτωση ιλύος) ΜΚΑ ΒΙΠΕ Πατρών... 50	
Εικόνα 4.9. Αντλιοστάσιο καθίζησης ΜΚΑ ΒΙΠΕ Πατρών.....	51
Εικόνα 5.1. Αντλία Flygt (CT 3201.180 HT458) και η καμπύλη λειτουργίας διάφορων τύπων ανάλογα με το ύψος που εμβαπτίζεται και την παροχή εισόδου των αποβλήτων [53].....	77
Εικόνα 5.2. Αντλία Flygt N-pumps (Low capacity pumps) και η καμπύλη λειτουργίας διάφορων τύπων ανάλογα με το ύψος που εμβαπτίζεται και την παροχή εισόδου των αποβλήτων [54].....	78
Εικόνα 5.3. Χονδροεσχάρα και η λειτουργία αυτοκαθαρισμού της [56].....	80
Εικόνα 5.4. Διαχωριστής λαδιού-νερού Oil Skimmers Inc. που διαθέτει Triple Action Knock Out (ΤΑΚΟ), ο οποίος μειώνει γρήγορα τα αρχικά υψηλά επίπεδα λαδιού ενώ παρέχει αποτελεσματικό διαχωρισμό λαδιού.....	81
Εικόνα 5.5. Αεριστές και λειτουργία αυτών.....	82

Εικόνα 5.6. Υποβρύχιος Μηχανικός Αεριστής και Αναδευτήρας Aquarator®.....**82**

Εικόνα 5.7. Φίλτρο χαλαζιακής άμμου (αριστερά) και φίλτρα πολλαπλών μέσω στρωμάτων (δεξιά).
.....**86**

Εικόνα 5.8. Συσκευή υπερδιήθησης [64].....**87**

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1. Επιπτώσεις διάθεσης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων σε υδάτινους αποδέκτες.....**16**

Πίνακας 2.2. Ποσότητες λυμάτων που παράγονται από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες του κόσμου [16]-[22].....**18**

Πίνακας 2.3. Απαιτούμενη επεξεργασία ανά ομάδα ρύπων όσον αφορά τα βιομηχανικά λύματα [23].....**18**

Πίνακας 2.4. Τύποι επικίνδυνων αποβλήτων προερχόμενα από βιομηχανίες και επιχειρήσεις [24].....**19**

Πίνακας 2.5. Επιτρεπόμενο όριο συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων [26].....**21**

Πίνακας 3.1. Επιθυμητή ποιότητα επεξεργασμένων αποβλήτων.....**34**

Πίνακας 4.1. Όρια υποδοχής εισόδου λυμάτων.....**41**

Πίνακας 4.2. Δεδομένα εισόδου στη ΜΚΑ ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας.....**42**

Πίνακας 4.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά επεξεργαζόμενης εκροής ΜΚΑ ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας.....**45**

Πίνακας 4.4. Συγκέντρωση πτητικών υδρογονανθράκων (VOC) στην έξοδο της ΜΚΑ για τα έτη 2021 έως 2023.....**64**

Πίνακας 4.5. Αποδόσεις μείωσης των τιμών των μετρούμενων παραμέτρων των αποβλήτων έπειτα από τα στάδια επεξεργασίας της ΜΚΑ για το χρονικό διάστημα από 1/2023 έως 9/2023.....**65**

Πίνακας 5.1. Όρια παραμέτρων για την περιορισμένη, απεριόριστη άρδευση αστική χρήση σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/2011.....**88**

1.Εισαγωγή

Τον Μάιο του 2023, η παγκόσμια βιομηχανική παραγωγή, εξαιρουμένων των Ηνωμένων Πολιτειών, αυξήθηκε κατά 0,35% σε σύγκριση με την ίδια περίοδο του προηγούμενου έτους. Αν και η παγκόσμια βιομηχανική παραγωγή κατέρρευσε μετά το ξέσπασμα του COVID-19, έδειξε να αυξάνεται σταθερά τους επόμενους μήνες, φτάνοντας ακόμη και στο 23% τον Ιούνιο του 2021 [1]. Εξαιτίας της ραγδαίας αυξανόμενης εκβιομηχάνισης και αστικοποίησης, η επεξεργασία των βιομηχανικών λυμάτων γίνεται επιτακτική ανάγκη. Η αυξανόμενη απόρριψη επεξεργασμένων βιομηχανικών λυμάτων σε επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες διαταράσσει τα υδάτινα οικοσυστήματα και ελλοχεύει κινδύνους για την δημόσια υγεία. Η μείωση των ποσοτήτων των απορριπτόμενων λυμάτων, η αποδοτικότερη επεξεργασία τους και η επαναχρησιμοποίηση τους αποτελεί μια ορθή πρακτική με γνώμονα τη βιώσιμη ανάπτυξη . Η κρίση του νερού που εμφανίζεται σε διάφορα μέρη του κόσμου οδηγεί στην απαίτηση για εντατικότερη και αποδοτικότερη επεξεργασία των λυμάτων για την κάλυψη της αυξανόμενης κατά κεφαλήν ζήτησης νερού. Επιπλέον, η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων, όπως η χρήση αντιδραστήρων MBR (συνδυασμένη μονάδα μεμβράνης μικροδιήθησης ή υπερδιήθησης με βιοαντιδραστήρα αιωρούμενης ανάπτυξης), η χρήση μεμβρανών

αντίστροφης ώσμωσης RO για αφαλάτωση [2],[3] και οι κυψέλες μεμβρανών καυσίμου, αναμένεται να συμβάλουν σε παγκόσμιο επίπεδο στην επεξεργασία των βιομηχανικών λυμάτων. Με τα αναδυόμενα ενδιαφέροντα για διαχωρισμό-απελευθέρωση-ανάκτηση πρώτων υλών, την επικράτηση του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας και την αξιοποίηση των λυμάτων ως βιοκαύσιμο (παραγωγή ενέργειας), η αγορά της βιομηχανικής επεξεργασίας λυμάτων αναμένεται να παρουσιάσει σημαντική ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια. Η παγκόσμια αγορά επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων έφτασε σε αξία 14,15 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ το 2023, ενώ αναμένεται περαιτέρω ανάπτυξη την προβλεπόμενη περίοδο 2024-2032 [4].

Σε ένα γενικό πλαίσιο η επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων περιγράφει διαδικασίες επεξεργασίας λυμάτων, που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία ανεπιθύμητων παραπροϊόντων από τη βιομηχανική δράση. Μετά την επεξεργασία, τα βιομηχανικά λύματα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ή ακόμη και να απορριφθούν στο περιβάλλον σε αποχετεύσεις ή και σε επιφανειακά ύδατα. Στο Σχήμα 1.1. παρουσιάζεται μια γενική κατανομή των πηγών βιομηχανικών αποβλήτων ανά είδος βιομηχανίας, με την βιομηχανία παραγωγής ενέργειας, πετρελαίου και αερίου, καθώς και εξόρυξης να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό επιβάρυνσης λαμβάνοντας υπόψιν το μεγάλο όγκο βιομηχανικών λυμάτων.

Global Industrial Wastewater Treatment Market

Market Share by End Use (%)



Source: www.expertmarketresearch.com

Σχήμα 1.1. Κατανομή προέλευσης βιομηχανικών αποβλήτων από διάφορες βιομηχανίες [4].

Οι κύριες περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο οι οποίες παράγουν μεγάλους όγκους βιομηχανικών λυμάτων είναι η Βόρεια Αμερική, η Λατινική Αμερική, η Μέση Ανατολή, η Αφρική, καθώς και η Ευρώπη και η Ασία. Στην Ευρώπη η επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων διέπεται από αυστηρούς κανονισμούς και πρότυπα που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) για την επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων. Οι οδηγίες αυτές θέτουν πρότυπα ποιότητας για τα υδατικά συστήματα και ρυθμίζουν την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων. Τα μέτρα αυτά συνάδουν με τις ευρύτερες προσπάθειες της ΕΕ για την προώθηση μιας βιώσιμης και κυκλικής οικονομίας.

Στην Ελλάδα, μονάδες επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων βρίσκονται σε όλη τη χώρα, ιδιαίτερα σε βιομηχανικές ζώνες και περιοχές αυξημένης βιομηχανικής δραστηριότητάς. Η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη και η Πάτρα είναι περιοχές με μονάδες επεξεργασίας - καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων λόγω της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας που παρουσιάζεται σε αυτές. Ωστόσο και οι αγροτικές περιοχές όπως οι πεδιάδες της Θεσσαλίας και της Μακεδονίας, διαθέτουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για τη διαχείριση των γεωργικών αποβλήτων που προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην μελέτη και παρουσίαση της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων που εδρεύει στην ΒΙ.ΠΕ Πατρών. Η μελέτη περίπτωσης αποσκοπεί στην παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης λειτουργίας της μονάδας. Στις πρώτες ενότητες της εργασίας θα αναλυθούν οι βαθμίδες-στάδια επεξεργασίας, ο τύπος του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του. Θα γίνει προσπάθεια να εκτιμηθεί η λειτουργία της μονάδας με παράθεση αποτελεσμάτων από αναλύσεις διαφόρων ποιοτικών παραμέτρων στην είσοδο και στην έξοδο της μονάδας. Η αξιολόγηση της λειτουργίας αποσκοπεί στην παράθεση τρόπων βελτίωσης της αποδοτικότητας του συστήματος επεξεργασίας, που θα επιτευχθεί με την προσθήκη νέων σταδίων επεξεργασίας και επιπρόσθετου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι, οι προτεινόμενες ενέργειες βελτίωσης θα γίνουν υπό το πρίσμα της εξοικονόμησης ενέργειας και της πιθανής επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων (κυκλική οικονομία).

2.Βιομηχανικά απόβλητα

2.1. Γενικά

Έχει παρατηρηθεί ότι τα τελευταία χρόνια η ρύπανση των υδάτων από χημικά αποτελεί μια σημαντική πηγή ανησυχίας, γι' αυτό το λόγο αρχίζει να γίνεται προτεραιότητα τόσο για την ίδια την κοινωνία όσο και για τις δημόσιες αρχές, αλλά κυρίως για το βιομηχανικό κόσμο [5]-[9]. Οι ουσίες, που ευθύνονται για την υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων, μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στους ανθρώπους, τα ζώα καθώς και στο φυσικό περιβάλλον. Υπάρχουν διάφορες ταξινομήσεις της ρύπανσης των υδάτων, η βασικότερη από αυτές αναφέρεται στους ρύπους που ανήκουν είτε σε μια πηγή, όπως είναι οι εκροές από τις βιομηχανίες, είτε σε ρύπους που εκπέμπονται από πολλαπλές πηγές. Είναι λοιπόν προφανές ότι οι αιτίες της ρύπανσης των υδάτων είναι πολλαπλές. Τα βιομηχανικά απόβλητα, οι εξορυκτικές δραστηριότητες, τα αστικά λύματα, τα φυτοφάρμακα, τα χημικά λιπάσματα, η παραγωγή ενέργειας, τα ραδιενεργά απόβλητα και γενικά η αστική ανάπτυξη, είναι οι βασικές αιτίες ρύπανσης. Η χρήση νερού σε όλες τις παραπάνω διαδικασίες υποδηλώνει ότι είναι πιθανόν να μολυνθεί και να απορριφθεί στο περιβάλλον. Οικιακές, γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες φαίνεται να οδηγούν σε απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε ανεπιθύμητους ρύπους που μπορεί να είναι τοξικοί. Αναφέρεται ότι τα τρία πέμπτα της παγκόσμιας κατανάλωσης πόσιμου νερού χρησιμοποιούνται τόσο στην παραγωγή όσο και στη βιομηχανία των τροφίμων [10]. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του νερού περιέχει χημικές, τοξικές και βλαβερές ουσίες όπως οι οργανικές ενώσεις, τα βαρέα μέταλλα, τα άλατα και τα ιόντα που καταλήγουν στα απόβλητα υποβαθμίζοντας το οικοσύστημα και αποτελούν απειλή για την ανθρώπινη υγεία [11]. Η απόρριψη των υδάτων χωρίς να προηγηθεί κάποιου είδους επεξεργασία επιβαρύνει το περιβάλλον και ειδικότερα τους υδάτινους αποδέκτες [12].

Στο πλαίσιο αυτό, πρέπει να καταβάλλεται συνεχής προσπάθεια για την προστασία των υδάτινων πόρων. Για το λόγο αυτό η νομοθεσία που διέπει την απόρριψη - διάθεση των υγρών βιομηχανικών λυμάτων γίνεται όλο και πιο αυστηρή, ειδικά στις πιο ανεπτυγμένες χώρες. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, στην Ευρώπη, οι οδηγίες είναι όλο και πιο αυστηρές με σκοπό ακόμη και τον εκμηδενισμό των ρύπων. Η ισχύουσα ευρωπαϊκή πολιτική για τα ύδατα προκύπτει από την οδηγία πλαίσιο για τα ύδατα του 2000, η οποία θεσπίζει κατευθυντήριες γραμμές για την προστασία

επιφανειακών, υπόγειων και παράκτιων υδάτων στην Ευρώπη. Με βάση την παραπάνω οδηγία οι χημικές ουσίες ταξινομούνται σε δύο βασικούς καταλόγους ουσιών. Στην πρώτη κατηγορία «Μαύρη λίστα» περιλαμβάνονται οι επικίνδυνες ουσίες που θεωρούνται ότι είναι ανθεκτικές, πολύ τοξικές ή ότι οδηγούν σε βιοσυσσώρευση. Η δεύτερη κατηγορία, η «Γκριζα λίστα», αναφέρεται σε ουσίες που παρουσιάζουν σημαντικό κίνδυνο για το περιβάλλον. Οι ουσίες αυτές είτε αναφέρονται σε μεμονωμένες χημικές ενώσεις ή οικογένειες αυτών (π.χ. μέταλλα, χλωροβενζόλια, αλκυλοφαινόλες), ή εντοπίζονται ανάλογα το είδος του βιομηχανικού τομέα (π.χ. αγροδιατροφική βιομηχανία, χημική βιομηχανία, τομέας επεξεργασίας μετάλλων). Επί του παρόντος, η Ευρώπη ζητάει μέσω κανονισμών από τις βιομηχανίες να καινοτομήσουν, να μειώσουν ή/και να εξαλείψουν την απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών. Επιπλέον, η ανακύκλωση των λυμάτων αρχίζει να λαμβάνει ενεργό ρόλο στη βιομηχανία στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης για την προστασία του περιβάλλοντος μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη βελτιωμένη διαχείριση του νερού (ανακύκλωση λυμάτων). Με αυτόν τον τρόπο για τον βιομηχανικό τομέα, η επεξεργασία των εκροών τους πριν την απόρριψη στο περιβάλλον, έχει γίνει προτεραιότητα.

Σύμφωνα με έναν γενικό ορισμό τα βιομηχανικά απόβλητα χαρακτηρίζονται οι υγρές απορρίψεις που περιέχουν σωματίδια από βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Τα βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να είναι υγρά, στερεά ή και αέρια. Με τον όρο υγρά βιομηχανικά απόβλητα ειδικότερα αναφέρονται τα υγρά απόβλητα που προκύπτουν από οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική διεργασία και δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια, μπορεί δε να περιέχουν υπολείμματα υλών που προκύπτουν ως παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας. Το ρυπαντικό φορτίο που φέρουν κάθε φορά εξαρτάται από την παραγωγική δραστηριότητα της εκάστοτε βιομηχανίας, το είδος την ποσότητα και την ποιότητα της πρώτης ύλης. Υπάρχει περίπτωση επομένως τα απόβλητα αυτά να διαφοροποιούνται ακόμη και αν προέρχονται από ομοειδείς βιομηχανίες [13].

Τα βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να περιέχουν νερό, οργανικούς διαλύτες (λάδια), αιωρούμενα στερεά σωματίδια και διαλυμένα χημικά συστατικά, ρυπαντικές ουσίες που αλλοιώνουν το νερό το οποίο καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα, δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα στους υδάτινους αποδέκτες [14]. Κάποιες από τις

κυριότερες επιπτώσεις στους υδάτινους αποδέκτες συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.1 [15].

Πίνακας 2.1. Επιπτώσεις διάθεσης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων σε υδάτινους αποδέκτες.

Κατηγορία ρύπων	Επιπτώσεις
Οργανική ύλη	Βιολογική οξείδωση αυτών, μειώνει το διαλυμένο οξυγόνο, οδηγώντας σε θάνατο ψαριών και σηπτικές συνθήκες στον αποδέκτη μπορούν.
Ανόργανη ύλη	Προκαλούν επιταχυνόμενο ευτροφισμό σε λίμνες και θαλάσσιους κόλπους και μειώνουν το διαλυμένο οξυγόνο.
Τοξικές ουσίες	Υπεύθυνες για το θάνατο ψαριών.
Οξέα και βάσεις	Προκαλούν προβλήματα στον αυτοκαθορισμό του αποδέκτη και δυσκολίες στην ανάπτυξη υδρόβιων οργανισμών.
Αιωρούμενη και επιπλέουσα ύλη	Έχουν δυσμενή αισθητική επίδραση στους αποδέκτες, προκαλούν δυσκολίες στον ζωικό και φυτικό κόσμο του αποδέκτη, ρυπαίνουν τις ακτές και εναποτίθενται στον πυθμένα.
Χρωστικές ουσίες	Είναι εύκολα ορατές και προκαλούν αισθητικά προβλήματα στους αποδέκτες, ενώ μπορεί να είναι και τοξικές.
Ραδιενεργές ουσίες	Κίνδυνος βιολογικής συμπίκνωσης στην πανίδα και στην χλωρίδα και ακόμη στον άνθρωπο.
Μικροοργανισμοί	Παθαγόνοι μικροοργανισμοί.
Θερμική ενέργεια	Άνοδος της θερμοκρασίας του αποδέκτη που επιδρά δυσμενώς στον αυτοκαθάρισμό του επιταχύνοντας τη βιολογική δραστηριότητα ενώ ελαττώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου.

Παραδείγματα βιομηχανιών με παραγωγή σημαντικών όγκων αποβλήτων, των οποίων η επεξεργασία αποτελεί επιτακτική ανάγκη παρατίθενται παρακάτω:

- Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής
- Βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα
- Βιομηχανίες παραγωγής οργανικών χημικών

- Πετρελαιοβιομηχανίες και πετροχημικά
- Ορυχεία και λατομεία
- Εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας
- Βιομηχανία κατασκευής μπαταριών
- Βιομηχανία τροφίμων
- Ελαιουργεία
- Βιομηχανία δέρματος
- Φαρμακευτική βιομηχανία
- Γεωργική βιομηχανία
- Βιομηχανία χαρτιού και χαρτοπολλτού

Κάθε μια από τις παραπάνω βιομηχανικές δραστηριότητες είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε μεγάλους όγκους αποβλήτων. Για παράδειγμα, οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγής μπαταριών χρησιμοποιούν μεγάλους όγκους νερού για την παρασκευή αντιδρώντων υλικών και ηλεκτρολυτών, καθώς και για την λειτουργία διάφορων μονάδων, όπως μονάδες ψύξης ή παραγωγή ατμού, με αποτέλεσμα, να παράγονται από αυτές τις διεργασίες μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων που εμφανίζουν υψηλά επίπεδα βαρέων μετάλλων. Επίσης, λύματα που αποτελούνται από χονδροειδή αιωρούμενα σωματίδια, έλαια, γράσο, οργανικά στερεά και κολλοειδή σωματίδια, μπορεί να προκύψουν από τις πετρελαιοβιομηχανίες και τις βιομηχανίες παραγωγής χημικών, προκαλώντας διαφορετικό είδος ρύπανσης από τις προηγούμενες βιομηχανικές δραστηριότητες. Ακόμη, λύματα που προέρχονται από την βιομηχανία των τροφίμων αλλά και από την παραγωγή φαρμάκων, χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών καθώς και από την ύπαρξη οργανικού φορτίου βιοαποδομήσιμου ή μη.

Στο Πίνακα 2.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται, έπειτα από βιβλιογραφική ανασκόπηση, ορισμένα δεδομένα σχετικά με τις ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων από διάφορες πηγές. Όπως φαίνεται, οι παραγόμενοι όγκοι κάθε χρόνο φτάνουν ακόμη και δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα με τις βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρική ενέργειας και δύλισης πετρελαίου να κατέχουν την κυρίαρχη θέση [16]-[22].

Πίνακας 2.2. Ποσότητες λυμάτων που παράγονται από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες του κόσμου [16]-[22].

Βιομηχανία	Ποσότητα λυμάτων
Battery Manufacturing	87 tons/year

Electric Power Plants	380 billion m ³ /year
Food & Drink Industry	190 million m ³ /year * (UK)
Iron, Steelworks, and Metals	20 million m ³ /year
Oil & Gas Extraction	800 billion gallons/year
Petroleum Refining & Petrochemicals	0.60-0.71 gallons of water per gallon of gasoline
Pharmaceutical Manufacturing	one of the largest sources of water pollutions
Pulp & Paper Manufacturing	3 billion m ³ /year

Γίνεται προφανές από τα παραπάνω ότι, κάθε βιομηχανική δραστηριότητα είναι ικανή να οδηγήσει στην παραγωγή λυμάτων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, εξίσου επιβλαβή για το περιβάλλον, και επομένως απαιτείται και διαφορετικός τρόπος διαχείρισής τους. Ενδεικτικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3, ανάλογα με το είδος του αποβλήτου και διαφορετικοί τρόποι επεξεργασίας αυτών.

Πίνακας 2.3. Απαιτούμενη επεξεργασία ανά ομάδα ρύπων όσον αφορά τα βιομηχανικά λύματα [23].

Ομάδα ρύπων	Παράμετροι	Τεχνικές επεξεργασίας για την απομάκρυνση των ρύπων από τα λύματα	Βιομηχανικός τομέας που εκπέμπει υψηλή συγκέντρωση αυτών των ρύπων
Οργανικές ενώσεις	COD, TOC	>Εάν είναι βιοαποδομήσιμα: δευτερογενής επεξεργασία όπως π.χ επεξεργασία ενεργού ιλύος, βιοαντιδραστήρες μεμβράνης ή φίλτρα >Εάν όχι: σύνθετη επεξεργασία (τριτογενής) όπως χρήση όζοντος, οξειδωση κ.λπ.	Οι περισσότεροι βιομηχανικοί κλάδοι π.χ. πολτός, χαρτί και ξύλο, φαγητό και ποτό
Χλωριωμένες οργανικές ενώσεις	AOX	Δευτερογενής επεξεργασία όπως επεξεργασία ενεργοποιημένη ιλύος, βιοαντιδραστήρες μεμβράνης ή φίλτρα. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την φύση των συστατικών.	Χημικά, πολτός, χαρτί και ξύλο
Βαρέα μέταλλα	Hg, Ni, Zn, Cu, Cd	Τριτοβάθμια επεξεργασία όπως η χημική καθίζηση, προχωρημένη οξειδωση ή πήξη, διήθηση.	Μη σιδηρούχα μέταλλα, Γυαλί, βυρσοδεψεία
Ανόργανες ενώσεις	TN, TP	Τριτοβάθμια επεξεργασία όπως	Παροχή ενέργειας, σίδηρο

νιτροποίηση/απονιτροποίηση, και χάλυβας, χημικά
χημική κατακρήμνιση (TP).

Το TOC και το COD χρησιμοποιούνται για την έκφραση οργανικού περιεχομένου. TOC, ολικός οργανικός άνθρακας. COD, χημικά απαιτούμενο οξυγόνο. AOX, προσροφήσιμα οργανικά συνδεδεμένα αλογόνα (αλογονωμένες οργανικές ενώσεις); TN, ολικό άζωτο; TP, ολικός φώσφορος.

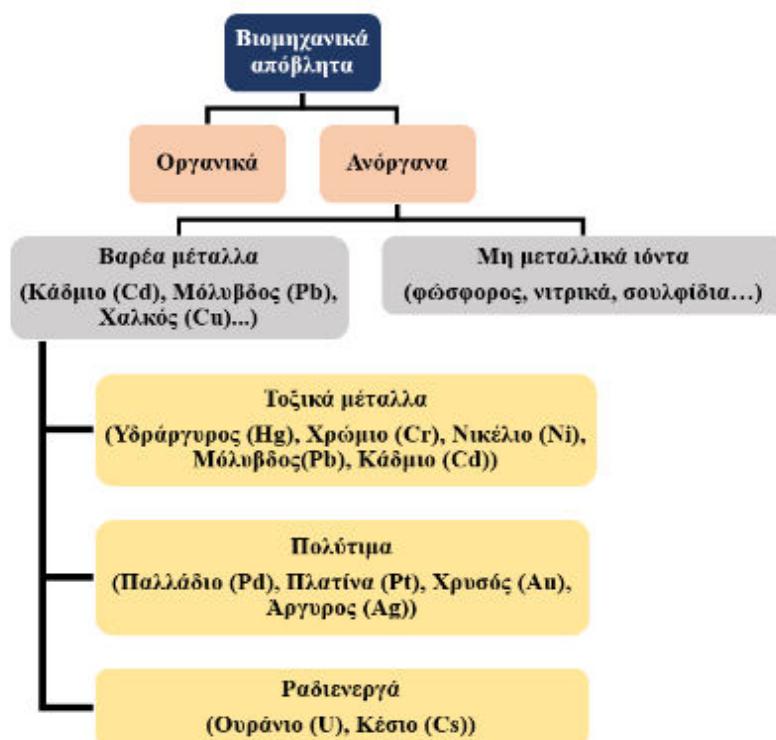
Επιπλέον στον ακόλουθο Πίνακα 2.4 συνοψίζονται παραδείγματα επικίνδυνων αποβλήτων που παράγονται από βιομηχανίες και επιχειρήσεις.

Πίνακας 2.4. Τύποι επικίνδυνων αποβλήτων προερχόμενα από βιομηχανίες και επιχειρήσεις [24].

Βιομηχανία	Επικίνδυνα απόβλητα
Χημική βιομηχανία	<ul style="list-style-type: none"> • Οξέα και βάσεις • Διαλύτες • Οργανικά συστατικά
Βιομηχανία βαφών	<ul style="list-style-type: none"> • Διαλύματα βαρέων μετάλλων • Υπολείμματα μελανιών που περιέχουν βαρέα μέταλλα • Διαλύτες
Βιομηχανία διύλισης πετρελαίου	<ul style="list-style-type: none"> • Απόβλητα που περιέχουν βενζόλιο και άλλους υδρογονάνθρακες • Υπολειμματική λάσπη από την διεργασία διύλισης
Επεξεργασία δέρματος	<ul style="list-style-type: none"> • Τολουόλιο και βενζόλιο
Βιομηχανία χαρτιού	<ul style="list-style-type: none"> • Απόβλητα βαφών που περιέχουν βαρέα μέταλλα • Εύφλεκτοι διαλύτες
Βιομηχανία κατασκευών	<ul style="list-style-type: none"> • Εύφλεκτοι διαλύτες • Ισχυρά οξέα και βάσεις
Βιομηχανία μετάλλων	<ul style="list-style-type: none"> • Κυανίδια • Απόβλητα βαφών • Διαλύτες με βαρέα μέταλλα

2.2. Σημαντικοί ρύποι βιομηχανικών λυμάτων που προκαλούν ανησυχία και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία

Οι κύριοι ρυπαντές στα λύματα των βιομηχανικών δραστηριοτήτων είναι το άζωτο, ο φώσφορος, οι υδρογονάνθρακες, τα βαρέα μέταλλα και οι μικροοργανισμοί [25]. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται μια γενική κατηγοριοποίηση των βιομηχανικών λυμάτων [26].



Σχήμα 2.1 Γενική κατηγοριοποίηση βιομηχανικών ρύπων [26].

Άζωτο και φώσφορος

Η αμμωνία υπάρχει γενικά στα λύματα, τα οποία είναι η κύρια μορφή αζώτου, και είναι γνωστό ότι είναι τοξική. Η πρόσληψη νερού που περιέχει νιτρικά άλατα μπορεί να οδηγήσει σε μεθαιμοσφαιριναιμία, στα βρέφη και άλλες ευπαθείς ομάδες. Ο φώσφορος, από την άλλη, θεωρείται ένα από τα κύρια θρεπτικά συστατικά το οποίο είναι υπεύθυνο για τον ευτροφισμό. Η υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου απαιτούν μεγάλες ποσότητες χλωρίου για την απολύμανση των υδάτινων πόρων. Η ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων χλωρίου στον υδάτινο αποδέκτη θα μπορούσε να αυξήσει τον κίνδυνο καρκίνου και να οδηγήσει στη διέγερση επιβλαβών μικροβίων, αλλά και να

προκαλέσει προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημά των έμβιων οργανισμών και του ανθρώπου.

Υδρογονάνθρακες

Η ύπαρξη υδρογονανθράκων στις απορροές λυμάτων οδηγεί σε διάφορες περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις. Αποτελεί απειλή για την αλιεία, τους θαλάσσιους βιότοπους άγριας ζωής, την ανθρώπινη υγεία ενώ οδηγεί σε συνολική κατάρρευση της οικολογικής ισορροπίας.

Βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα που βρίσκονται στην εκροή βιομηχανικών λυμάτων έχουν την τάση να δεσμεύονται με πρωτεΐνες, αλλοιώνοντας έτσι τη δομή τους και προκαλώντας αδρανοποίηση αυτών, συχνά επιφέρει επιπλοκές στην υγεία όπως είναι οι ερεθισμοί του δέρματος, ο εμετός, η ναυτία, η αναιμία και η διαταραχή του μεταβολισμού πρωτεϊνών. Τα βαρέα μέταλλα όπως ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, το νικέλιο, το αρσενικό κ.λπ., είναι γνωστά για την τοξικότητά τους, ακόμη και σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις, εξαιτίας των οποίων προκαλείται επιζήμια απειλή για την ανθρώπινη υγεία, την χλωρίδα και την πανίδα των υδάτων υποδοχής των λυμάτων. Από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), ορίζονται επιτρεπτά όρια για τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων σε λύματα. Επιτρεπτές τιμές φαίνονται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5. Επιτρεπόμενο όριο συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων [26].

Μέταλλο	Επιτρεπτές συγκεντρώσεις (mg/L)
Cr	0.05
As	10
Cu	1.5
Zn	3
Cd	0.003
Pb	0.05

Μικροοργανισμοί

Τα κύρια παθογόνα πρωτόζωα, που υπάρχουν στα βιομηχανικά λύματα είναι το *Giardia* και το *Cryptosporidium*, τα οποία έχουν την ικανότητα να προκαλούν οξείες και χρόνιες ασθένειες με βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, όπως είναι οι εκφυλιστικές καρδιακές παθήσεις και τα έλκη του στομάχου.

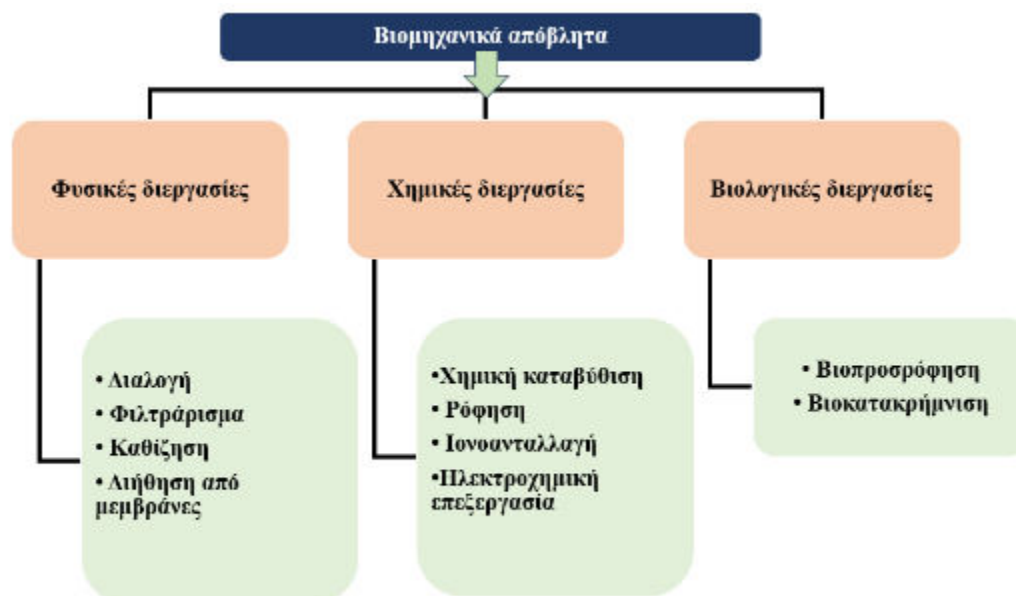
Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, το μεγαλύτερο μέρος των οικιακών και βιομηχανικών λυμάτων απορρίπτεται απευθείας στους επιφανειακούς αποδέκτες χωρίς να έχει προηγηθεί καμία διαδικασία επεξεργασίας, σε κάποιες περιπτώσεις εφαρμόζεται μόνο το στάδιο της πρωτογενούς επεξεργασίας. Αξίζει να σημειωθεί η περίπτωση της Κίνας, η οποία παρουσιάζει έντονη βιομηχανική ανάπτυξη αλλά ταυτόχρονα εμφανίζει υψηλά ποσοστά (55%) στην απόρριψη των λυμάτων χωρίς να έχει προηγηθεί οποιαδήποτε επεξεργασία. Η απόρριψη μη επεξεργασμένων λυμάτων απευθείας στον υδάτινο αποδέκτη δημιουργεί μια σειρά περιβαλλοντικών ζητημάτων. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων οργανικής ύλης στα μη επεξεργασμένα λύματα έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου του υδάτινου αποδέκτη, η πιθανή εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό έχει καταστροφικές συνέπειες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Η κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου προσδιορίζεται με μεγάλη ακρίβεια από το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅) των υγρών αποβλήτων, το οποίο αποτελεί και έναν από τους σημαντικότερους δείκτες για την εκτίμηση της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης στον αποδέκτη. Ακόμη, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω στα μη επεξεργασμένα λύματα συναντάμε μεγάλες συγκεντρώσεις παθογόνων μικροοργανισμών καθώς και τοξικές ενώσεις, οι οποίες προκαλούν ασθένειες και ελλοχεύουν πολλούς κινδύνους για την ανθρώπινη ζωή. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων σε θρεπτικές ουσίες στα λύματα μπορεί να διεγείρει την ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών και φυκιών, οδηγώντας έτσι σε ευτροφισμό των λιμνών και των ρεμάτων. Τέλος, η αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων, που υπάρχουν στα λύματα μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων δύσοσμων αερίων [27].

3. Στάδια επεξεργασίας αποβλήτων σε μονάδες καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων

3.1. Γενικές κατηγορίες σταδίων επεξεργασίας αποβλήτων

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής σε συνάρτηση με την αύξηση της πληθυσμιακής πυκνότητας οδηγεί στην ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση προϊόντων και αγαθών καταναλωτικού ενδιαφέροντος που με τη σειρά της επηρεάζει προσθετικά την ανάπτυξη και την δραστηριότητα της βιομηχανίας. Ακόμη, η αύξηση του πληθυσμού και της βιομηχανικής παραγωγής έχουν ως συνέπεια την αύξηση των παραγόμενων υγρών αποβλήτων. Βέβαια η εκροή λυμάτων από τις βιομηχανικές δραστηριότητες αποτελεί την κύρια αιτία ρύπανσης, η οποία δημιουργεί μεγάλη ανησυχία στο τομέα διαχείρισης της ποιότητας του νερού. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, η περίπτωση των έμμοων οργανικών ρύπων στο νερό, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη ανθεκτικότητα και σταθερότητα. Οι έμμονοι ρύποι λόγω της ανθεκτικότητάς τους, υπάρχουν στα φυσικά οικοσυστήματα για παρατεταμένη χρονική περίοδο και έχουν την ικανότητά να συσσωρεύονται σε διαδοχικά επίπεδα της βιολογικής τροφικής αλυσίδας.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω αναφερόμενες επιπτώσεις , απαιτείται συνδυασμός διεργασιών επεξεργασίας στην εκροή των λυμάτων πριν από την απόρριψη τους στο περιβάλλον. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει ενισχυθεί η έρευνα , που αφορά την απόκτηση πρώτων υλών προστιθέμενης αξίας από βιομηχανικά λύματα [28],[29]. Η επεξεργασία των λυμάτων ξεκίνησε το 1900 όταν το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στην απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων, στην επεξεργασία βιοδιασπώμενων ουσιών και στην απομάκρυνση των μικροοργανισμών. Με την πάροδο του χρόνου, έχουν εξελιχθεί πληθώρα διαδικασιών για την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση της τοξικής επίδρασης στην ανθρώπινη υγεία [30]. Επιπροσθέτως, εκτεταμένες ερευνητικές μελέτες έχουν διεξαχθεί χρησιμοποιώντας φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένων πολλών καινοτόμων μεθοδολογιών όσον αφορά στην υβριδική εφαρμογή μεθόδων επεξεργασίας που συνδυάζουν δύο ή τρεις διαδικασίες για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της διεργασίας και του ποσοστού ανάκτησης. Οι συμβατικές διαδικασίες, που ακολουθούνται για την επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων μπορεί να κατηγοριοποιηθούν στις γενικές ομάδες που φαίνονται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Συμβατικές γενικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων [9].

Φυσικές διεργασίες

Όσον αφορά τις φυσικές διεργασίες, αυτές αποτελούν αρχικά στάδια της επεξεργασίας των ρευμάτων των αποβλήτων και αφορούν έναν αρχικό διαχωρισμό των στερεών σωματιδίων ή των μεγαλύτερων σωματιδίων από το κυρίως ρεύμα του λύματος. Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν την διαδικασία της διαλογής και του φιλτραρίσματος, όπου αιωρούμενα ή επιπλέοντα υλικά διαχωρίζονται από το απόβλητο. Με το φιλτράρισμα απομακρύνονται έλαια, γράσο και βακτήρια. Στις φυσικές διεργασίες υπάγεται και η κατακρήμνιση αιωρούμενων στερεών σωματιδίων στα λύματα, που επιτυγχάνεται με την προσθήκη χημικών ουσιών στα υδατικά μέσα. Ακόμη, για την απομάκρυνση των μετάλλων, των αιωρούμενων σωματιδίων, των ελαίων αλλά και των οργανικών ενώσεων, τα λύματα δύναται να διηθηθούν μέσω μεμβρανών διαφορετικού πορώδους [31]. Οι τεχνολογίες μεμβρανών, που έχουν αναπτυχθεί αφορούν μεμβράνες μικροδιήθησης (MF), υπερδιήθησης (UF), νανοδιήθησης (NF) αλλά και αντίστροφης ώσμωσης (RO), και ανάλογα το είδος του αποβλήτου (χημική σύσταση) μπορεί να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά ή μη. Ωστόσο, η τεχνολογία αυτή έχει υψηλό κόστος εγκατάστασης αλλά και συντήρησης,

λόγω των εναποθέσεων, που σχηματίζονται στην επιφάνεια τους κατά της χρήσης αυτών.

Χημικές διεργασίες

Στην κατηγορία των χημικών διεργασιών υπάγονται η χημική καταβύθιση, η ρόφηση, η ιονοανταλλαγή αλλά και η ηλεκτροχημική επεξεργασία [32]. Η χημική καταβύθιση είναι μια κοινή συμβατική μέθοδος για την απομάκρυνση ενώσεων από τα βιομηχανικά απόβλητα, και μπορεί να γίνει είτε σε βασικές είτε σε όξινες συνθήκες, αλλά και με την δημιουργία συμπλόκων. Ωστόσο, τα ‘παραπροϊόντα’ αυτής της διεργασίας είναι μεγάλοι όγκοι λάσπης με το κόστος διαχείρισης τους να είναι ιδιαίτερα υψηλό. Από την άλλη, η ρόφηση είναι μια αρκετά αποδοτική διεργασία, τα στερεά υποστρώματα με μεγάλη επιφάνεια μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν ροφητικά μέσα. Σαν ροφητικά υποστρώματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα παραπροϊόντα άλλων διεργασιών, όπως η επεξεργασία αγροτικών αποβλήτων, ο ζέολιθος, η ιπτάμενη τέφρα, ο φλοιός ρυζιού αλλά και οι νανοδομές άνθρακα (ενεργός άνθρακας).

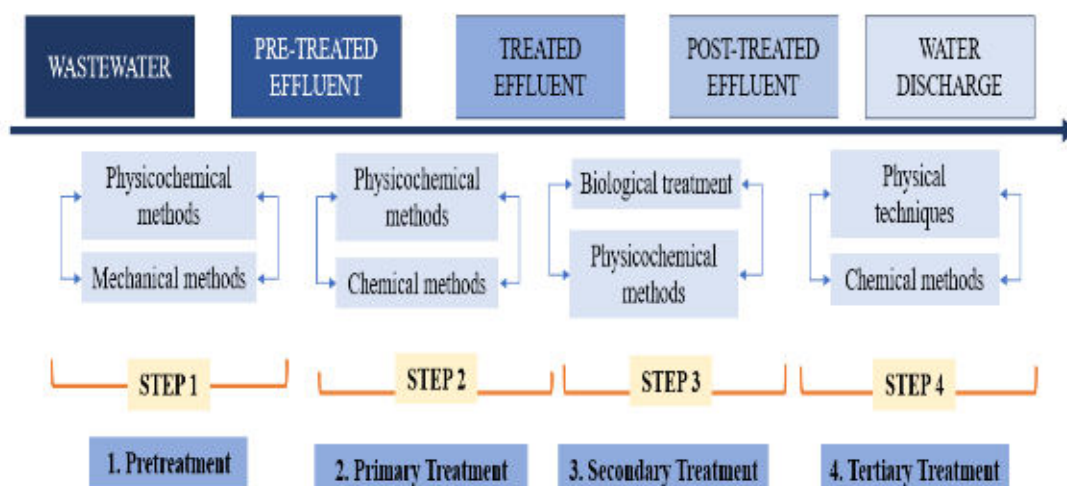
Όσον αφορά την ιονοανταλλαγή, η οποία βασίζεται στην ανταλλαγή ιόντων μεταξύ της υγρής και της στερεάς φάσης μπορεί να επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως είναι το pH, η θερμοκρασία και ο χρόνος επαφής. Για τέτοιου είδους διεργασία χρησιμοποιούνται φυσικές ρητίνες, ωστόσο είναι οικονομικά κοστοβόρες. Στις συμβατικές χημικές διεργασίες επεξεργασίας λυμάτων, ανήκει και η ηλεκτροχημική μέθοδος που λόγω του υψηλού ποσοστού κατανάλωσης ενέργειας, δεν εφαρμόζεται συχνά, όμως λόγω της αποτελεσματικότητάς της μπορεί να είναι ένα ουσιαστικό στάδιο για την απομάκρυνση μετάλλων και άλλων ενώσεων από τα λύματα.

Βιολογικές διεργασίες

Οι βιολογικές διεργασίες αποτελούν μια εναλλακτική λύση για τη συμβατική διαδικασία απομάκρυνσης ενώσεων από τα απόβλητα. Μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια, οι μύκητες και οι άλγες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία των λυμάτων μέσω βιολογικών προσεγγίσεων. Σε αυτές τις μεθόδους ανήκουν η βιο-προσρόφηση και η βιο-καταβύθιση [32]. Η πρώτη μέθοδος αφορά φυσικοχημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται από μικροοργανισμούς με σκοπό την δέσμευση των ενώσεων στην επιφάνειά τους, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα. Συγκεκριμένα

είναι μια μέθοδος με χαμηλό κόστος και μεγάλη απόδοση ως προς την απομάκρυνση ενώσεων, ενώ δεν αυξάνει και τις συγκεντρώσεις του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου(COD), σημαντικός περιορισμός των συμβατικών μεθόδων. Η δεύτερη μέθοδος αφορά την βιοκαταβύθιση, η οποία θεωρείται μια από τις πιο εύκολες μεθόδους επεξεργασίας λυμάτων που έχει στόχο την ανάκτηση υλικών προστιθέμενης αξίας και είναι αρκετά αποδοτική και φιλική προς το περιβάλλον, σε σύγκριση με την χημική καταβύθιση.

Όλες οι παραπάνω γενικές κατηγορίες μεθόδων επεξεργασίας είναι δυνατόν να εφαρμοστούν συνδυαστικά σε όλα τα στάδια επεξεργασίας των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, με σκοπό τον καθαρισμό των εκάστοτε αποβλήτων. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται το είδος των μεθόδων (φυσικών, χημικών, βιολογικών) που μπορεί να εφαρμοστεί σε καθένα στάδιο επεξεργασίας και θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στην ακόλουθη ενότητα.



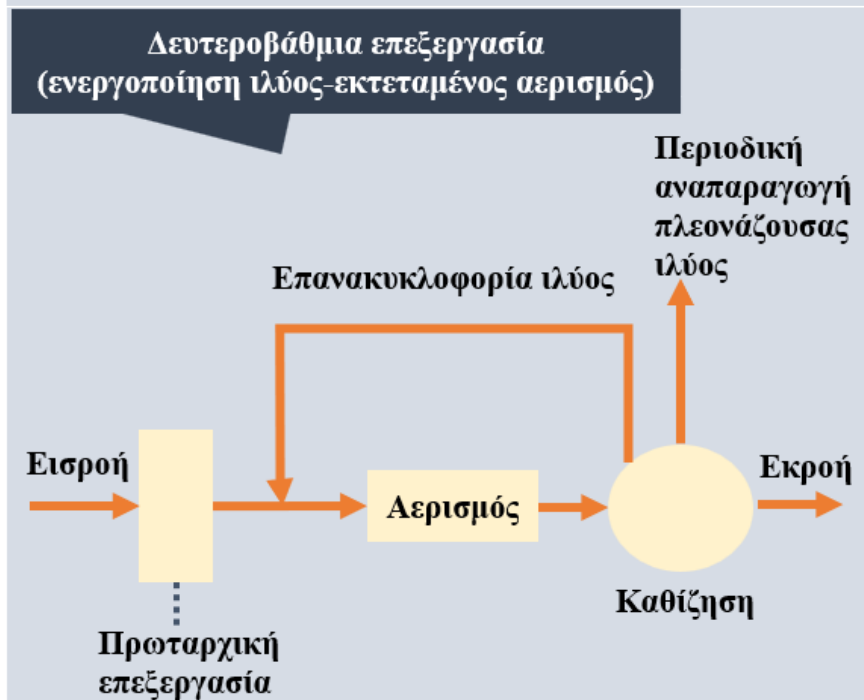
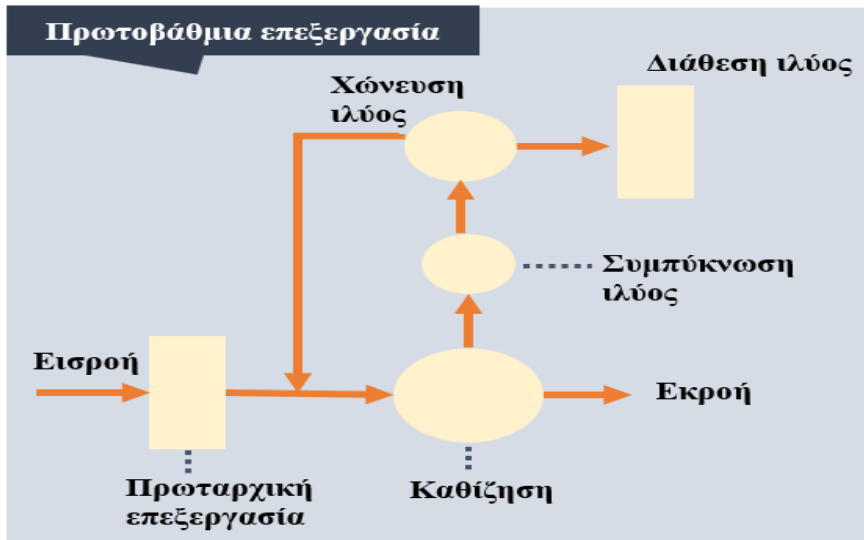
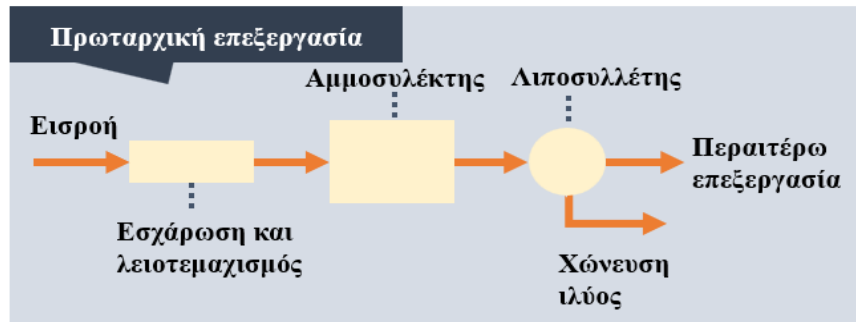
Σχήμα 3.2. Στάδια επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων και γενικές κατηγορίες μεθόδων που εφαρμόζονται [31].

3.2. Στάδια επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών, έχουν αναφερθεί αρκετές φυσικές, χημικές και βιολογικές τεχνολογίες, όπως η εκχύλιση, η κατακρήμνιση, η οξείδωση, η εκχύλιση με διαλύτες, η εξάτμιση, η προσρόφηση σε άνθρακα, η ανταλλαγή ιόντων, η διήθηση με χρήση μεμβρανών, οι ηλεκτροχημικές διεργασίες και η βιοαποικοδόμηση [9]. Ωστόσο, τίθεται το ερώτημα για το ποία είναι η καλύτερη μέθοδος. Δεν υπάρχει άμεση απάντηση σε αυτό το ερώτημα γιατί κάθε επεξεργασία έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της, όχι μόνο από την άποψη του

κόστους αλλά και από την άποψη της αποτελεσματικότητας καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Γενικά, ο περιορισμός των ρύπων γίνεται με φυσικά, χημικά και βιολογικά μέσα, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει ενιαία μέθοδος ικανή για επαρκή επεξεργασία, κυρίως λόγω της πολύπλοκης φύσης των βιομηχανικών εκροών. Στην πράξη, χρησιμοποιείται συχνά ένας συνδυασμός διαφορετικών μεθόδων για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας νερού στην απορροή των μονάδων επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων, με τον πιο οικονομικό τρόπο.

Υπάρχουν συνήθως τρία βασικά στάδια επεξεργασίας λυμάτων, είτε αστικών είτε βιομηχανικών. Αυτά είναι η πρωτοβάθμια, η δευτεροβάθμια και η τριτοβάθμια επεξεργασία. Στο σχεδιάγραμμα του Σχήματος 3.3 παρουσιάζεται συνοπτικά η πορεία επεξεργασίας με ένα σύνολο διεργασιών στις οποίες υποβάλλεται ένα ρεύμα εισροής αποβλήτου.





Σχήμα 3.3. Σχηματική αναπαράσταση σταδίων επεξεργασίας αποβλήτων και λυμάτων [33],[34].

Στην συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα παραπάνω στάδια επεξεργασίας, που σε καθένα χρησιμοποιείται συνδυασμός φυσικών, χημικών και βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας. Ορισμένες από αυτές είναι δυνατόν να επαναληφθούν σε διάφορα στάδια της επεξεργασίας και η σειρά τους μπορεί να διαφέρει ανάλογα τη βιομηχανία και την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται, καθώς και τον τελικό σκοπό απομάκρυνσης ρυπαντών από το εκάστοτε απόβλητο.

Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Τα βιομηχανικά λύματα περιέχουν μεγάλη ποσότητα στερεών και κόκκων που μπορεί να προκαλέσουν περαιτέρω βλάβες στον εξοπλισμό επεξεργασίας αποβλήτων, όπως η έμφραξη αγωγών και η καταστροφή μηχανολογικού εξοπλισμού (π.χ αντλίες). Η πρωτοβάθμια επεξεργασία στοχεύει κυρίως στην αφαίρεση/απομάκρυνση των αιωρούμενων υλικών (οργανικών και ανόργανων). Περιλαμβάνει, συνήθως, την Προεπεξεργασία και την Πρωτοβάθμια Καθίζηση. Η Προεπεξεργασία περιλαμβάνει την Εσχάρωση, τους Πολτοποιητές και τα Τριβεία, την Εξάμμωση, καθώς και την μέτρηση ή/και την εξισορρόπηση της παροχής.

Στο πρώτο στάδιο της προεπεξεργασίας επιδιώκεται η απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων (χαρτιά, υφάσματα, πλαστικά υλικά). Για το λόγο αυτό, τα λύματα περνούν μέσα από μεταλλικές σχάρες ή κόσκινα που έχουν τοποθετηθεί σε κατακόρυφη ή σε κεκλιμένη θέση (εσχάρωση). Τα στερεά που συγκεντρώνονται στις σχάρες απομακρύνονται και αποθηκεύονται σε κάδους απορριμμάτων και απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

Στη συνέχεια, τα απόβλητα περνούν μέσα από δεξαμενή (εξάμμοτη), όπου παραμένουν για μερικά λεπτά, ώστε να καθιζάνουν τα βαρύτερα σωματίδια, όπως είναι η άμμος, τα σωματίδια αργίλου και άλλα σωματίδια. Η άμμος και τα υπόλοιπα στερεά που συλλέγονται στο στάδιο αυτό αφυδατώνονται (στραγγίζονται) και συλλέγονται σε δοχεία, όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των εσχαρισμάτων. Η τελική διάθεση μπορεί να γίνει σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων ή η **άμμος** να επαναχρησιμοποιηθεί ως υλικό επίστρωσης σε δρόμους. Ακολούθως, τα απόβλητα οδηγούνται σε δεξαμενές, που διαχωρίζονται οι ελαιώδεις και λιπαρές ουσίες από τον κύριο όγκο των αποβλήτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την παραμονή των αποβλήτων στις δεξαμενές, όπου τα λίπη και τα έλαια συγκεντρώνονται στην επιφάνεια, λόγω του ότι είναι ελαφρύτερα από το νερό. Σε μεγάλες μονάδες επεξεργασίας, η διαδικασία μπορεί να υποβοηθάται από τη διοχέτευση του αέρα από τον πυθμένα. Τα λίπη και τα έλαια, που απομακρύνονται από τα απόβλητα, διατίθενται για υγειονομική ταφή ή καίγονται σε ειδικούς καυστήρες. Σε πολλές περιπτώσεις, και κυρίως όταν η περιεκτικότητα σε λίπη και έλαια είναι χαμηλή, οι διαδικασίες της εξάμμωσης και της λιποσυλλογής συνδυάζονται σε μια δεξαμενή μεγιστοποιώντας έτσι την οικονομία του χώρου. Ακολουθώντας το ρεύμα επεξεργασίας, αφού έχουν απομακρυνθεί τα μεγαλύτερα

στερεά, σειρά έχει η απομάκρυνση των μικρότερων στερεών, που έχουν παραμείνει στα απόβλητα συγκεκριμένα αυτή η διαδικασία βασίζεται στην καθίζηση και λαμβάνει χώρα στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Η Πρωτοβάθμια Καθίζηση περιλαμβάνει δεξαμενές καθίζησης (συνήθως κυκλικής διατομής) που συχνά αναφέρονται εν συντομία ΔΠΚ (Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας Καθίζησης) (Εικόνα 3.1). Η πρωτοβάθμια καθίζηση στοχεύει στην απομάκρυνση αιωρούμενων οργανικών και ανόργανων στερεών (μέσο μέγεθος 10^{-1} έως 10^{-2} mm), ώστε να μειωθεί το ρυπαντικό φορτίο, που προορίζεται για τα επόμενα στάδια της επεξεργασίας. Αυτή η διαδικασία συμβαίνει φυσικά καθώς η βαρύτητα θα τραβήξει τα βαρύτερα στερεά προς τα κάτω για να σχηματιστεί ένα στρώμα λάσπης. Το πλεονέκτημα της καθίζησης είναι ότι ελαχιστοποιεί την ανάγκη για πήξη και κροκίδωση. Η πρωτοβάθμια καθίζηση αφαιρεί τα καθιζάνοντα στερεά υπό μορφή λάσπης (πρωτοβάθμια ιλύς), ενώ το υπερκείμενο υγρό αποτελεί την πρωτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή, που είναι διαθέσιμη προς περαιτέρω επεξεργασία [30],[35].



Εικόνα 3.1 Δεξαμενές πρωτοβάθμια καθίζησης.

Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει τη χρήση μικροβίων (βιολογική επεξεργασία) κατά την οποία μεταβολίζεται η οργανική ύλη που υπάρχει στο νερό και παράγονται ανόργανα παραπροϊόντα. Η εξάλειψη των μικροοργανισμών επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της καθίζησης. Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το φορτίο των αποβλήτων ως τροφή, με αποτέλεσμα ένα μέρος να μετατρέπεται σε απλά τελικά προϊόντα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό, ενώ το υπόλοιπο

μετατρέπεται σε κυτταρικό υλικό των μικροοργανισμών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται τόσο η βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών συστατικών όσο και η ανανέωση του πληθυσμού των μικροοργανισμών, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για τη συνέχιση της λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων [5], [36].

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των αστικών λυμάτων ακολουθεί συνήθως την πρωτοβάθμια και αποσκοπεί:

- ✓ Στη περαιτέρω μείωση του διαλυτού οργανικού φορτίου (BOD_5)
- ✓ Στη μείωση των αιωρούμενων στερεών (S.S.)
- ✓ Στη μείωση των αζωτούχων (N) και φωσφορικών (P) ενώσεων, που μπορεί να υπάρχουν στα υγρά απόβλητα.

Τι είναι ένα σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων;

Ένα σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί κυρίως βακτήρια, ορισμένα πρωτόζωα και πιθανώς άλλους εξειδικευμένους μικροοργανισμούς για τον καθαρισμό του νερού. Όταν αυτοί οι μικροοργανισμοί διασπών τους οργανικούς ρύπους για τροφή, κολλάνε μεταξύ τους, γεγονός που δημιουργεί το φαινόμενο της κροκίδωσης, το οποίο επιτρέπει στην οργανική ύλη να καθιζάνει σε ένα διάλυμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ευκολότερη διαχείριση της ιλύος, η οποία στη συνέχεια αφυδατώνεται και απορρίπτεται ως στερεό απόβλητο.

Συνήθως συναντάμε τρεις κύριες κατηγορίες όσον αφορά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων:

- **αερόβια**, όταν οι μικροοργανισμοί απαιτούν οξυγόνο για να διασπάσουν την οργανική ύλη σε διοξείδιο του άνθρακα και μικροβιακή βιομάζα
- **αναερόβια**, όταν οι μικροοργανισμοί δεν χρειάζονται οξυγόνο για να διασπάσουν την οργανική ύλη, σχηματίζοντας συχνά μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και περίσσεια βιομάζας
- **ανοξική**, όταν οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν άλλα μόρια εκτός από το οξυγόνο για την ανάπτυξη, όπως για την απομάκρυνση θεικών, νιτρικών, νιτρωδών, σεληνικών και σεληνίτη.

Οι οργανικοί ρύποι, που αποσυντίθενται από αυτούς τους μικροοργανισμούς συχνά προσδιορίζονται από το μετρούμενο βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο ή BOD_5 , που αναφέρεται στην ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου το οποίο απαιτείται από τους αερόβιους οργανισμούς για τη διάσπαση της οργανικής ύλης σε μικρότερα μόρια. Τα

υψηλά επίπεδα BOD_5 υποδεικνύουν αυξημένη συγκέντρωση βιοαποδομήσιμου υλικού που υπάρχει στα λύματα και μπορεί να προκληθεί από την εισαγωγή ρύπων όπως είναι τα βιομηχανικά λύματα, τα οικιακά απόβλητα και η απορροή λιπασμάτων. Όταν τα επίπεδα ρύπων είναι αυξημένα, το BOD_5 μπορεί να εξαντλήσει το οξυγόνο που χρειάζονται άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί για να ζήσουν, οδηγώντας στην ανάπτυξη των φυκών, θανάτωση των ψαριών και σε επιβλαβείς αλλαγές στον υδάτινο οικοσύστημα που απορρίπτονται τα λύματα. Εξαιτίας αυτού, πολλές εγκαταστάσεις απαιτείται να επεξεργάζονται βιολογικά τα απόβλητα τους πριν από την απόρριψη. Επομένως, ο συνδυασμός των απαιτούμενων συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας που θα εφαρμοστούν στην εκάστοτε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων καθορίζεται ανάλογα με τη συγκέντρωση των οργανικών και ανόργανων ρύπων λαμβάνοντας υπόψιν και τις απαιτήσεις απόρριψής που έχουν οριστεί.

Εν ολίγοις, τα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων βελτιστοποιούν τη φυσική διαδικασία μικροβιακής αποσύνθεσης για τη διάσπαση των ρύπων των βιομηχανικών λυμάτων, ώστε μαζί με άλλα ανεπιθύμητα υλικά να μπορούν να απομακρυνθούν. Επίσης, συχνά αντικαθιστούν (ή χρησιμοποιούνται παράλληλα) φυσικούς και χημικούς τρόπους επεξεργασίας, ο οποίοι αποτελούν ακριβούς εναλλακτικούς τρόπους επεξεργασίας.

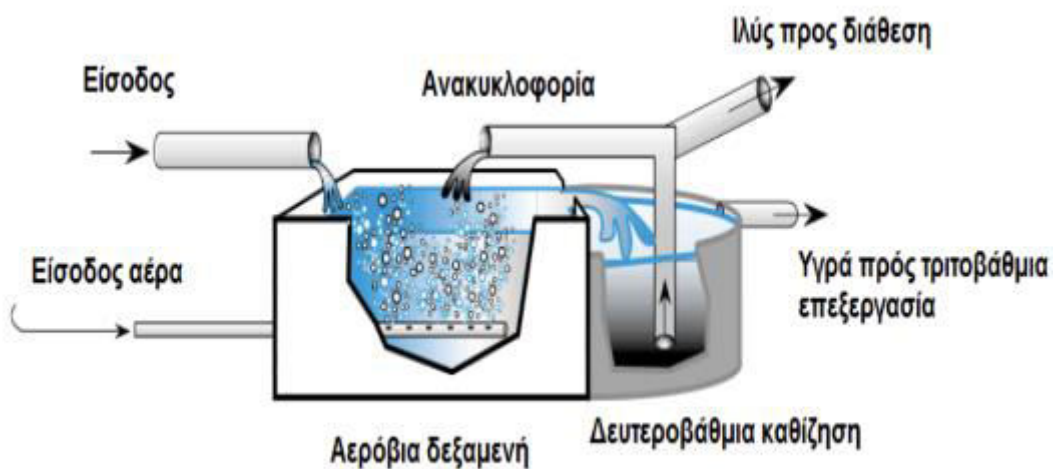
Πώς λειτουργεί ένα σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων;

Ανάλογα με τη χημική σύσταση των λυμάτων σε σχέση με τις απαιτήσεις εκροής, ένα σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων μπορεί να αποτελείται από πολλές διαφορετικές διεργασίες καθώς και πολυάριθμους τύπους μικροοργανισμών. Απαιτούνται επίσης συγκεκριμένες λειτουργικές διαδικασίες που ποικίλλουν ανάλογα με το περιβάλλον που απαιτείται για να διατηρηθούν οι βέλτιστοι ρυθμοί ανάπτυξης βιομάζας για τους συγκεκριμένους μικροβιακούς πληθυσμούς. Για παράδειγμα, συχνά απαιτείται η παρακολούθηση και η προσαρμογή του αερισμού για να διατηρηθεί ένα σταθερό επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου ώστε να διατηρηθεί ο πολλαπλασιασμός των βακτηρίων του συστήματος με τον κατάλληλο ρυθμό για την κάλυψη των απαιτήσεων εκκένωσης. Εκτός από το διαλυμένο οξυγόνο, τα βιολογικά συστήματα συχνά χρειάζονται συγκεκριμένες συνθήκες ροής, pH, θερμοκρασίας και θρεπτικών συστατικών για να αναπτυχθούν [37].

Για την αερόβια βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος

βιολογικής επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων είναι η μέθοδος της ενεργού ιλύος. Από την πρώτη εφαρμογή της μεθόδου σε μονάδα συνεχούς ροής μέχρι σήμερα, έχει αναπτυχθεί ένας σημαντικός αριθμός παραλλαγών της, προσδίδοντας ιδιαίτερη ευελιξία στη εφαρμογή της [38].

Στην απλούστερη μορφή του, ένα σύστημα ενεργού ιλύος συνεχούς ροής αποτελείται από δύο δεξαμενές σε σειρά, τη δεξαμενή αερισμού και τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα του Σχήματος 3.3 αλλά και στην Εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2 Τυπική διεργασία ενεργού ιλύος [39].

Στη δεξαμενή αερισμού παρέχεται αρκετό οξυγόνο ώστε να επιτευχθεί η αποικοδόμηση των οργανικών συστατικών από τους μικροοργανισμούς (βιομάζα). Στη συνέχεια, το μείγμα αποβλήτων και μικροβιακής βιομάζας (μικτό υγρό) οδηγείται στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου υπό συνθήκες ηρεμίας οι βιοκροκίδες καθιζάνουν και έτσι διαχωρίζονται από τα επεξεργασμένα απόβλητα. Μέρος των συμπυκνωμένων βιοκροκίδων (ιλύς) ανακυκλοφορείται στη δεξαμενή αερισμού για τη διατήρηση επαρκούς συγκέντρωσης βιομάζας για να επιτευχθεί η αποικοδόμηση των λυμάτων, ενώ το υπερκείμενο υγρό οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία (τριτοβάθμια) ή καταλήγει στον τελικό αποδέκτη.



Εικόνα 3.3. Η δεξαμενή ενεργού ιλύος ή δεξαμενή αερισμού [40],[41]. Παραδείγματα από βιολογικούς καθαρισμούς στην Ελλάδα.

Η επιθυμητή ποιότητα των εκροών από τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων καθορίζεται από την Οδηγία 91/271 της Ευρωπαϊκής Ένωσης και συνοψίζεται στον ακόλουθο Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1. Επιθυμητή ποιότητα επεξεργασμένων αποβλήτων.

Χαρακτηριστικά	Όρια
BOD ₅	≤25
COD	≤125
Αιωρούμενα στέρεα	≤35A
Ολικό άζωτο (Kjeldahl)	≤10A
Ολικός φώσφορος	≤1B

A: Για πληθυσμό άνω των 10.000 κατοίκων

B: Για πληθυσμό άνω των 100.000 κατοίκων

Τριτοβάθμια επεξεργασία

Η τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων εφαρμόζεται για την απομάκρυνση των μόνιμων ρύπων, θρεπτικών και παθογόνων παραγόντων όταν αυτό δεν επιτυγχάνεται σε επίπεδο προκαταρκτικής επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, η τριτοβάθμια επεξεργασία αποτελεί ένα εργαλείο που διασφαλίζει την επίτευξη των προτύπων ποιότητας που διέπουν την επαναχρησιμοποίηση του επεξεργασμένου ύδατος. Σκοπός της είναι η αφαίρεση βαρέων μετάλλων και τοξικών ή άλλων συστατικών. Το στάδιο αυτό είναι επιθυμητό όταν η παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων στα λύματα είναι σημαντική και ο στόχος είναι η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (π.χ στην βιομηχανία, στην άρδευση ή σε χώρους αναψυχής). Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται διεργασίες όπως η κροκίδωση - καθίζηση, η δύλιση, η προσρόφηση από ενεργό άνθρακα και διεργασίες με μεμβράνες [42],[43].

Ωστόσο, κύριος στόχος της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των ενώσεων του αζώτου και του φωσφόρου από τα προϊόντα μίας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων για την αποφυγή του φαινομένου ευτροφισμού του υδάτινου αποδέκτη. Εξίσου σημαντική είναι η απολύμανση των επεξεργασμένων λυμάτων, πριν από την διάθεση στον τελικό αποδέκτη, ώστε να επιτευχθούν τα απαιτούμενα μικροβιακά όρια. Από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους απομάκρυνσης των ενώσεων του αζώτου σε μονάδες ενεργού ιλύος είναι η βιολογική απονιτροποίηση τους κάτω από ανοξικές συνθήκες. Στις συνθήκες αυτές, τα ετερότροφα, απονιτροποιητικά βακτήρια, αποκτούν την απαραίτητη ενέργεια για την ανάπτυξή τους όχι από το οξυγόνο - το οποίο απουσιάζει σκοπίμως, - αλλά από την αναγωγή των νιτρικών αλάτων σε άζωτο, ενώ παράλληλα, χρησιμοποιούν άνθρακα (που προέρχεται από το οργανικό φορτίο των αποβλήτων) για τη σύνθεση των κυττάρων τους. Για τη μετατροπή των νιτρικών σε αέριο άζωτο κατασκευάζονται συνήθως ανοξικοί αντιδραστήρες έναντι των δεξαμενών αερισμού. Όσον αφορά τη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου βασίζεται στην ίδια περίπου αρχή και επιτυγχάνεται με τη διαδοχή αναερόβιων - αερόβιων συνθηκών, υποβοηθώντας την ανάπτυξη αερόβιων βακτηρίων με μεγαλύτερη ικανότητα (ενδοκυτταρικής) αποθήκευσης φωσφόρου (πολυφωσφορικά βακτήρια). Για το λόγο αυτό κατασκευάζονται αναερόβιοι αντιδραστήρες στην αρχή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Για τη διατήρηση επαρκούς συγκέντρωσης μικροοργανισμών στην αναερόβια δεξαμενή, μέρος του μεικτού υγρού από την ανοξική δεξαμενή επανακυκλοφορεί στη δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης.

Μια από τις καινοτόμες μεθόδους τριτοβάθμιας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων η οποία εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια είναι η χρήση μικροαλγών μέσω της παραγωγής βιομάζας και μέσω των διάφορων μεταβολικών διεργασιών μπορούν να παρέχουν θρεπτικά συστατικά όπως οι πρωτεΐνες, που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτροφή ζώων [44].

Η τριτοβάθμια επεξεργασία δεν κρίνεται απαραίτητη, εκτός από την περίπτωση που η επεξεργασία των λυμάτων έχει σαν στόχο ένα υψηλό επίπεδο απορρύπανσης, ειδικά όταν τα λύματα διατίθενται σε ευαίσθητους αποδέκτες [45].

Απολύμανση και τελική επεξεργασία

Η θανάτωση, η αφαίρεση ή η καταστροφή μικροοργανισμών αναφέρεται γενικά ως απολύμανση. Η απολύμανση μπορεί να γίνει είτε με χρήση υποχλωριώδους νατρίου

είτε με υπεριώδη ακτινοβολία, συγκεκριμένα το χλώριο που προστίθεται στο νερό αποσκοπεί στην απομάκρυνση σχεδόν όλων των παθογόνων μικροοργανισμών. Ενώ η υπεριώδης ακτινοβολία χρησιμοποιείται εκτενώς στην τριτοβάθμια επεξεργασία καθώς αλλάζει συγκεκριμένα βιολογικά συστατικά των μικροοργανισμών οδηγώντας σε σπάσιμο των χημικών δεσμών στο DNA, το RNA και την αποδόμηση πρωτεϊνών τους.

Η περισσότερο διαδεδομένη και δοκιμασμένη μέθοδος απολύμανσης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η χλωρίωση, η οποία γίνεται με υποχλωριώδες νάτριο που διατίθεται εμπορικά σε υγρή μορφή με περιεκτικότητα χλωρίου <15% (κατά βάρος). Τα πλεονεκτήματα της χλωρίωσης είναι ο αποχρωματισμός των επεξεργασμένων αποβλήτων, η απομάκρυνση οσμών, η μεγάλη αποτελεσματικότητα στην καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, καθώς και η απλή εφαρμογή σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Όμως, κατά τη χλωρίωση σχηματίζονται αλογονομένα παράγωγα ανόργανων και οργανικών ενώσεων, που είναι καρκινογόνα και δημιουργούνται υπολείμματα χλωρίου, τα οποία εκτός από την οσμή του χλωρίου έχουν τοξικές επιδράσεις στους υδρόβιους οργανισμούς. Σε αντίθεση με τη χλωρίωση, το όζον (O₃) δε δημιουργεί τοξικά παράγωγα, είναι 300-3000 φορές πιο αποτελεσματικό και δεν επηρεάζεται η απόδοση της απολυμαντικής του ικανότητας από τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία και το pH, ενώ αυτό συμβαίνει με τη χλωρίωση. Όμως, ο οζονισμός απαιτεί εξοπλισμό υψηλού κόστους, η παραγωγή όζοντος απαιτεί πολλή ενέργεια, ενώ είναι επίσης διαβρωτικός και τοξικός και διασπάται πολύ γρήγορα χωρίς να αφήνει υπολείμματα [46].

Τέλος, ένας ακόμη τρόπος απολύμανσης είναι η χρήση ηλεκτροχημικών μεθόδων, μέθοδοι αρκετά αποτελεσματικές στην εξόντωση ενός ευρέος φάσματος μικροοργανισμών ενώ ο συνδυασμός ηλεκτροδίων που χρησιμοποιείται είναι δυνατόν μέσω οξειδωσης του ύδατος να οδηγήσει στην παραγωγή ριζών υδροξυλίου, που είναι υπεύθυνη για την παραγωγή ισχυρών οξειδωτικών όπως το χλώριο, το όζον, τα υπερθεϊικά και το υπεροξειδίο του υδρογόνου [47].

Επεξεργασία λάσπης

Σε όλα τα στάδια που περιγράφονται παραπάνω και χρησιμοποιείται η τεχνική της καθίζησης παράγεται μια μάζα στερεών με τη μορφή λάσπης (ιλύς) ως παραπροϊόν.

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας έχουμε αδρανή υλικά, όπως η άμμος, το χώμα κ.λπ., στην πρωτοβάθμια καθίζηση έχουμε αιωρούμενα στερεά και οργανικό υλικό των αποβλήτων, ενώ στη δευτεροβάθμια τα συσσωματώματα των μικροοργανισμών. Παρόλο που ένα μέρος αυτής της λάσπης (δευτεροβάθμια) ανακυκλοφορείται, ένα μεγάλο μέρος πρέπει να απομακρυνθεί από το σύστημα, λόγω περιορισμού χώρου, αλλά και της ανάγκης για ανανέωση των μικροοργανισμών. Τόσο η πρωτοβάθμια όσο και η δευτεροβάθμια ιλύς φέρουν πολύ μεγάλο ρυπαντικό φορτίο και ως εκ τούτου, θα πρέπει να υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία πριν τη διάθεσή τους. Η ιλύς δε διατίθεται στον ίδιο αποδέκτη με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, αλλά σε Χ.Υ.Τ.Α., μετά από κατάλληλη επεξεργασία.

Η επεξεργασία της ιλύος στοχεύει στην μείωση του όγκου της ιλύος με σκοπό την ευκολότερη μεταφορά και διάθεσή της, στη σταθεροποίησή της (δηλ. τη μείωση των οργανικών ουσιών που περιέχει) με σκοπό την ασφαλέστερη τελική διάθεση και στη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Οι τυπικές διαδικασίες επεξεργασίας της ιλύος περιλαμβάνουν τα εξής στάδια [48]:

- Πάχυνση (thickening)
- Σταθεροποίηση (stabilization)
- Προετοιμασία για απονέρωση (conditioning)
- Αφυδάτωση ή απονέρωση (dewatering)
- Διάθεση (Disposal) σε χωματερή ή ως εδαφοβελτιωτικό

Όλα τα παραπάνω στάδια επεξεργασίας αφορούν τόσο αστικά όσο και βιομηχανικά απόβλητα. Ωστόσο, τα βιομηχανικά απόβλητα διαφέρουν από τα αστικά με τις βασικότερες διαφορές να εντοπίζονται στα εξής:

1. Διαφορετική χημική σύνθεση (π.χ. ύπαρξη χημικών ρύπων, υψηλό οργανικό φορτίο).
2. Διαφορετική επικινδυνότητα (π.χ. ύπαρξη τοξικών ρύπων, όπως τα βαρέα μέταλλα).
3. Μεγάλη διακύμανση υδραυλικών και ρυπαντικών φορτίων (π.χ. ανάλογα με την παραγωγική διαδικασία του εργοστασίου).

4. Ακανόνιστη συχνότητα εκπομπών (φύση της παραγωγικής διαδικασίας, εποχικότητα λειτουργίας).

Γίνεται φανερό ότι, το κάθε είδος βιομηχανικών αποβλήτων αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, η απαιτούμενη ποιότητα της τελικής εκροής, το κόστος της επεξεργασίας και η διαθεσιμότητα γης για την κατασκευή της εγκατάστασης.

Όπως και στα αστικά απόβλητα, έτσι και στα βιομηχανικά, η προεπεξεργασία αποτελεί το πρώτο στάδιο επεξεργασίας. Τα στάδια της εσχάρωσης, της εξάμμωσης και της συλλογής λιπών και ελαιών είναι συνήθως τα ίδια και για τα δύο είδη αποβλήτων. Στα βιομηχανικά απόβλητα προστίθεται συνήθως ένα επιπλέον στάδιο, που αφορά την εξουδετέρωση του pH των αποβλήτων, καθώς μπορεί να είναι πολύ βασικά ή όξινα για τη βιολογική επεξεργασία. Η βιολογική (δευτεροβάθμια) επεξεργασία γίνεται με τις ίδιες περίπου μεθόδους, δηλαδή, της ενεργού ιλύος, με βιολογικά φίλτρα κ.λπ. Ωστόσο, η τριτοβάθμια επεξεργασία είναι συνήθως διαφορετική και προστίθεται σε ορισμένες περιπτώσεις για την αφαίρεση ειδικών ρυπαντών. Συνήθως εφαρμόζονται τεχνικές, όπως η διύλιση (για την απομάκρυνση κολλοειδών), η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα ή η χημική οξείδωση (για την απομάκρυνση διαλυμένων οργανικών ενώσεων). Επίσης, στα βιομηχανικά απόβλητα εφαρμόζονται και ξεχωριστές επεξεργασίες σε ξεχωριστά ρεύματα αποβλήτων. Έτσι, αν τα απόβλητα περιέχουν μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων, φυτοφαρμάκων και γενικότερα τοξικών ενώσεων, που δεν απομακρύνονται κατά την προεπεξεργασία και παρεμποδίζουν τη βιολογική επεξεργασία, εφαρμόζονται ξεχωριστές τεχνικές για την απομάκρυνση των ενώσεων αυτών, πριν το βιολογικό στάδιο, όπως η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα και η χημική οξείδωση.

4. Μονάδα καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων στην Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙ.ΠΕ) Πατρών

4.1. Λειτουργία μονάδας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων

Η ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας είναι μια από τις 29 Βιομηχανικές Περιοχές οι οποίες υπάρχουν σε όλη την επικράτεια της Ελλάδας και που διαχειρίζεται η ΕΤΒΑ-ΒΙ.ΠΕ. Η Βιομηχανική Περιοχή των Πατρών ιδρύθηκε το 1972 με τις πρώτες βιομηχανίες που εγκαταστάθηκαν εκεί να είναι η "Ζυθοποιία Ελλάδος Α.Ε." και η "Χαρτοποιία Αχαΐας Α.Ε. Μέχρι σήμερα ολόκληρη σχεδόν η έκταση της είναι γεμάτη από νέες εγκατεστημένες επιχειρήσεις. Στο χώρο της ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας υπάρχουν συγκεκριμένες υποδομές όπως εσωτερικό οδικό δίκτυο, δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης ομβρίων, αποχέτευσης ακαθάρτων, βιολογικός καθαρισμός και δίκτυα ηλεκτρισμού και τηλεφωνίας. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην μελέτη περίπτωσης της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων (Μ.Κ.Α.) με έδρα στην Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙ.ΠΕ), που ασχολείται με την διαχείριση βιομηχανικών αποβλήτων που προκύπτουν από την βιομηχανική δραστηριότητα στη περιοχή. Στην μονάδα καταλήγουν προς επεξεργασία τα υγρά απόβλητα ή κατόπιν σχετικής έγκρισης των αρμοδίων αρχών, η οποία διατυπώνεται στην παρεχόμενη ΑΕΠΟ ή τις Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις (ΠΠΔ) κατά περίπτωση. Στην έγκριση αυτή αναφέρονται με σαφήνεια οι ποσοτικές και ποιοτικές προδιαγραφές των επιτρεπόμενων προς απόρριψη ακαθάρτων, οι οποίες θα πρέπει να είναι σύμφωνες και με τους σχετικούς περιβαλλοντικούς όρους.

Η συγκεκριμένη Μ.Κ.Α. είναι μονάδα συνεχούς λειτουργίας δυναμικότητας υδραυλικής επεξεργασίας 700m³/h, βιολογικής επεξεργασίας 4000 kg BOD₅ την ημέρα και αποτελείται από τις εξής υπομονάδες:

- Σχάρες
- Αντλιοστάσιο Ανύψωσης
- Μεριστής παροχής
- Μονάδα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας

- Δυο δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης
- Δυο δεξαμενές εξισορρόπησης
- Μονάδα προεπεξεργασίας βοθρολυμάτων που αποτελείται επιμέρους από:
 - Σύστημα υποδοχής
 - Εσχάρωση
 - Αεριζόμενο αμμοσυλλέκτη-λιποσυλλέκτη
- Δεξαμενή αερισμού χωρητικότητας 11.000m³
- Τρεις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης
- Αντλιοστάσια ανύψωσης κλινών διύλισης
- Δυο κλίνες διύλισης
- Μονάδα απολύμανσης υγρών αποβλήτων
- Μονάδα αφυδάτωσης ιλύος
- Δεξαμενή χώνευσης ιλύος

Το δίκτυο διάθεσης των επεξεργασμένων πλέον υγρών αποβλήτων που προκύπτουν από την Μ.Κ.Α. αποτελείται από έναν χερσαίο αγωγό μήκους 8.100m, μια δεξαμενή φόρτισης, έναν χερσαίο αγωγό διάθεσης μήκους 201m καθώς και έναν υποθαλάσσιο αγωγό μήκους 2.005m. Ακόμη διαθέτει έναν διαχυτήρα αραίωσης μήκους 60m παράλληλο προς στον υποθαλάσσιο αγωγό διάθεσης.

Η αναμενόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων που διαχειρίζεται η Μ.Κ.Α. εκτιμάται στα 5.000m³ – 6000m³ την ημέρα, ενώ αποδέκτης των επεξεργασμένων αποβλήτων έχει οριστεί η θαλάσσια περιοχή του Πατραϊκού Κόλπου έναντι του ποταμού Πείρου, όπως έχει οριστεί από κανονισμούς της Νομαρχίας Αχαΐας.

Οι εγκατεστημένες επιχειρήσεις υποχρεούνται να προσαρμόζουν την ποιότητα των αποβλήτων τους στις προδιαγραφές αυτές, πριν διοχετεύσουν απόβλητα στην μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων. Οι προδιαγραφές αυτές βασίζονται στα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων όπως το pH, τα αιωρούμενα στερεά (SS), η αγωγιμότητα, το BOD₅ και το COD και περιγράφονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Όρια υποδοχής εισόδου λυμάτων.

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμή
BOD	mg/lt	500
BOD μετά από 2ωρη καθίζηση	mg/lt	350
COD	mg/lt	1200
TSS	mg/lt	500
Καθιζάνοντα στερεά	mg/lt	10
TS μετά από εξάτμιση	mg/lt	1500
SO ₄	mg/lt	750
Διαλυτά θειούχα	mg/lt	10
Κυανιούχα και θειοκυανιούχα	mg/lt	5
Φαινόλες	mg/lt	5
Απορρυπαντικά	mg/lt	50
Λίπη και εκχυλιζόμενες ουσίες με πετρελαϊκό αιθέρα	mg/lt	50
Hg	mg/lt	0
Cr ⁶⁺	mg/lt	0
Cr ³⁺	mg/lt	5
Fe	mg/lt	50
Mn	mg/lt	20
Ni	mg/lt	5
Cd	mg/lt	5
Zn	mg/lt	5
Cu	mg/lt	5
Pb	mg/lt	5

Η ΜΚΑ της ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας δέχεται τα προ-επεξεργασμένα απόβλητα των εγκατεστημένων επιχειρήσεων της ΒΙ.ΠΕ. και τα αστικά λύματα της ΒΙ.ΠΕ. Τα δεδομένα εισόδου της ΜΚΑ παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2. Δεδομένα εισόδου στη ΜΚΑ ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας.

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή σχεδιασμού	Τιμή λειτουργίας 2015
Μέση ημερήσια παροχή εισόδου	m ³ /day	4.000	3.830
Μέγιστη ημερήσια παροχή εισόδου	m ³ / day	6.000	5.460
Παροχή αιχμής εισόδου	m ³ /hour	450	450
pH			8,1
Αγωγιμότητα	μS/cm		
BOD	mg/L	500	194
COD	mg/L	1.000	1090
TSS	mg/L	500	405
Ολικό άζωτο (TN)	mg/lt	50	60
Ολικός φώσφορος εισόδου (TP)	mg/lt	5	15

Στην συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των επιμέρους μονάδων της Μ.Κ.Α.

ΕΣΧΑΡΩΣΗ

Αποτελείται από δυο κανάλια, στα οποία έχουν εγκατασταθεί δύο αυτόματες εσχάρες και ένα κανάλι που έχει μια χειροκαθαριζόμενη χονδροεσχάρα. Τα εσχάρισματα μέσω συστήματος μεταφορικών κοχλίων μεταφέρονται σε κάδους απορριμμάτων. Στην παρούσα φάση η μία αυτόματη εσχάρα δεν είναι λειτουργική, ωστόσο η διάταξη πρόκειται σύντομα να αναβαθμιστεί και με λεπτοεσχάρωση. Στην είσοδο λειτουργεί ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο μέτρησης του εισερχόμενου υδραυλικού φορτίου.

ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΕΞΙΣΟΡΟΠΗΣΗΣ

Τα προεπεξεργασμένα λύματα οδηγούνται στην μονάδα εξισορρόπησης της παροχής και του οργανικού φορτίου, η οποία λειτουργεί και ως απονιτροποίηση. Η μονάδα αυτή αποτελείται από δυο ορθογώνιες δεξαμενές διαστάσεων 12.5 x 12.5m έκαστη και ωφέλιμου όγκου 600 m³ έκαστη. Οι δεξαμενές είναι εξοπλισμένες με υποβρύχιους αναδευτήρες. Σε αυτές οδηγείται η ανακυκλοφορούσα ιλύς από τα αντλιοστάσια ανακυκλοφορίας.

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Τα εξισορροπημένα απόβλητα οδηγούνται δια βαρύτητας στη δεξαμενή αερισμού, η οποία έχει επιφάνεια 50 x 50 m, με επικλινή πυθμένα μέγιστου βάθους υγρών 5.5 m και ωφέλιμου όγκου 11.000 m³ περίπου. Η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου προσδίδεται με οκτώ επιφανειακούς αεριστήρες. Στη δεξαμενή αερισμού εισέρχεται και η ανακυκλοφορούσα ιλύς μέσω αντλιοστασίου.

ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

Από τη δεξαμενή αερισμού το ανάμεικτο υγρό μερίζεται προς τρεις δευτεροβάθμιες δεξαμενές καθίζησης. Οι δεξαμενές είναι κυκλικού τύπου με διάμετρο 20 m και έχουν πλευρικό βάθος υγρού 2.5 m . Είναι εξοπλισμένες με ξέστρα σάρωσης της ιλύος και των επιπλεόντων. Τα επιπλέοντα οδηγούνται σε πλευρικό φρεάτιο συλλογής τους, ενώ το υπερκείμενο διοχετεύεται δια βαρύτητας στην μονάδα απολύμανσης. Η καθιζάνουσα ιλύς αντλείται με δύο αντλιοστάσια ανακυκλοφορίας ιλύος στην δεξαμενή αερισμού.

ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ

Η απολύμανση των δυλισμένων αποβλήτων γίνεται με την προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου σε δεξαμενή επαφής μαιανδρικού τύπου ωφέλιμου όγκου 120τμ.

ΔΙΑΘΕΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Από την μονάδα απολύμανσης τα επεξεργασμένα απόβλητα οδηγούνται μέσω συστήματος χερσαίου αγωγού, φρεατίου φόρτισης και υποθαλάσσιου αγωγού στον θαλάσσιο αποδέκτη.

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Η διεργασία της χώνευσης της ιλύος γίνεται σε ορθογωνική δεξαμενή ωφέλιμου όγκου 1200 m³ . Στη δεξαμενή αυτή οδηγείται η πρωτοβάθμια και η δευτεροβάθμια περίσσεια ιλύς. Ο εξοπλισμός της δεξαμενής χώνευσης αποτελείται από συγκρότημα δυο φυσητήρων και διαχυτήρων λεπτής φυσαλίδας προκειμένου να προσδοθεί η απαιτούμενη ποσότητα αέρα. Παράλληλα, έχει τοποθετηθεί και ένας υποβρύχιος

αναδευτήρας, ο οποίος ενεργοποιείται όταν η στάθμη υγρών είναι χαμηλή και υπάρχει αδυναμία ανάδευσης από τον αέρα.

ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΙΛΥΟΣ

Η μονάδα αφυδάτωσης που είναι στεγασμένη εντός κτιρίου αποτελείται από

- Μία μονάδα άντλησης με κοχλιωτές αντλίες.
- Έναν φυγοκεντρικό διαχωριστήρα δυναμικότητας 20m³/h σε 3%TS, ο οποίος αποτελεί τον κύριο εξοπλισμό αφυδάτωσης.
- Συγκρότημα προετοιμασίας και δοσομέτρησης του πολυηλεκτρολύτη.

Η παραγόμενη αφυδατωμένη ιλύς οδηγείται μέσω αντλίας στο χώρο αποθήκευσης. Τα παραγόμενα στραγγίδια οδηγούνται μέσω του δικτύου στραγγιδίων στο αντλιοστάσιο εισόδου. Στη συνέχεια, παραλαμβάνεται από φορέα συλλογής – μεταφοράς και διαχείρισης, ο οποίος διαθέτει τις απαιτούμενες άδειες και συνεργάζεται με αδειοδοτημένη εγκατάσταση υποδοχής της ιλύος.

ΜΟΝΑΔΑ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η υποδομή αυτή είχε αρχικά κατασκευαστεί για να είναι δυνατή η αποδοχή προς επεξεργασία των βοθρολυμάτων της ευρύτερης περιοχής. Στην παρούσα φάση δέχεται αστικά λύματα γειτονικών Δήμων, τα οποία είναι μικρής παροχής, ωστόσο υπάρχει η πιθανότητα σύνδεσης των Δήμων Δυτικής Αχαΐας και Ερυμάνθου συνολικής παροχής 800m³/d. Οι υφιστάμενες υποδομές είναι οι ακόλουθες:

- Εσχάρωση
- Αεριζόμενο λιποσυλλέκτη - αμμοσυλλέκτη

Η άμμος διαχωρίζεται από τα λύματα, συμπιέζεται και απομακρύνεται προς διάθεση. Οι επιπλέουσες ουσίες και τα λίπη απομακρύνονται από τη δεξαμενή μέσω παλινδρομικού ξέστρου και αποθηκεύονται σε φρεάτιο απ' όπου απομακρύνονται με βυτιοφόρο. Τα προεπεξεργασμένα βοθρολύματα οδηγούνται δια βαρύτητας στη δεξαμενή αερισμού.

ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΘΕΣΕΩΣ ΛΥΜΑΤΩΝ – ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται σε θαλάσσιο αποδέκτη με υποθαλάσσιο αγωγό σύμφωνα με την ισχύουσα ΑΕΠΟ του έργου και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της εκροής εναρμονίζονται με τις ανώτατες τιμές όπως αυτές παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά επεξεργαζόμενης εκροής ΜΚΑ ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας.

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμή
pH	-	6,5-8,5
Θερμοκρασία	ο C	35
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	120
SS	mg/L	30
TDS	mg/L	1500
TC	CFU/100mL	500
FC	CFU/100mL	100
Εντερόκοκκοι	CFU/100mL	100
Εντεροϊοί	CFU/10L	-
Χρώμα	να μην είναι ορατό σε αραιώση 1:20 και σε στιβάδα 10cm	
Επιπλέοντα υλικά μεγαλύτερα απο 1cm		απουσία
Καθιζάνοντα σε κώνο imhoff μετά από 2h	mL/L	0,5
Διαχωριζόμενα σε κώνο imhoff μετά από 2h	mL/L	0,5
Απορρυπαντικά βιοδιασπάσιμα 80%	mg/L	3
Λίπη έλαια (φυτικά)	mg/L	15
Ορυκτά έλαια, HC	mg/L	5
DO κορεσμού (min)	%	80
P	mg/L	8
NH4-N	mg/L	10
NO2-N	mg/L	0,5
NO3-N	mg/L	20
Υπολειμματικό χλώριο	mg/L	
Σύνολο τοξικών μεταλ.	mg/L	3
Al	mg/L	5
As	mg/L	0,3

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμή
Hg	mg/L	0,003
Ba	mg/L	15
B	mg/L	1,5
Cd	mg/L	0,02
Cr(+3)	mg/L	0,2
Cr(+6)	mg/L	0,05
Fe	mg/L	2
Mn	mg/L	2
Ni	mg/L	1
Pb	mg/L	0,1
Cu	mg/L	1,5
Se	mg/L	0,03
Sn	mg/L	8
Zn	mg/L	1
Cn	mg/L	0,4
Cl	mg/L	0,2
Θειώδη	mg/L	1
Θειούχα	mg/L	1
Φθοριούχα	mg/L	6
Φαινόλες	mg/L	0,5
Αλδεΐδες	mg/L	1
Αρωματικοί διαλύτες	mg/L	0,2
Αζωτούχοι διαλύτες	mg/L	0,1
Χλωριούχοι διαλύτες	mg/L	1
PCB	mg/L	απουσία
Επιφανειακές ενεργές ενώσεις που ενεργούν με κυανούν μεθύλιο	mg/L	0,3
Διαφάνεια	mg/L	2
Πισσώδη κατάλοιπα και επιπλέοντα υλικά	mg/L	απουσία

Στη ΜΚΑ λειτουργεί εργαστήριο, στο οποίο διενεργούνται κατ' ελάχιστον οι αναλύσεις της εισόδου και της εξόδου με ημερήσια και εβδομαδιαία συχνότητα. Οι αναλύσεις με μηνιαία συχνότητα διενεργούνται από εξωτερικό διαπιστευμένο εργαστήριο.

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται ενδεικτικές φωτογραφίες του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στην μονάδα, όπως περιγράφεται παραπάνω.



Εικόνα 4.1. Μετρητής σωματιδίων



Εικόνα 4.2. Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας ιλύος ΜΚΑ ΒΙΠΕ Πατρών.



Εικόνα 4.3. Δεξαμενή αερισμού ΜΚΑ ΒΠΠΕ Πατρών.



Εικόνα 4.4. Δεξαμενή καθίζησης ΜΚΑ ΒΠΠΕ Πατρών.



Εικόνα 4.5. Αντλιοστάσιο ανύψωσης λυμάτων ΜΚΑ ΒΠΠΕ Πατρών.



Εικόνα 4.6. Μαϊάνδρος - κανάλι χλωρίωσης ΜΚΑ ΒΠΠΕ Πατρών.



Εικόνα 4.7. Μηχάνημα πολυηλεκτρολύτη.



Εικόνα 4.8. Φυγοκεντρικός διαχωριστής (αφυδάτωση ιλύος) ΜΚΑ ΒΠΠΕ Πατρών.



Εικόνα 4.9. Αντλιοστάσιο καθίζησης ΜΚΑ ΒΠΠΕ Πατρών.

4.2. Μηχανολογικός εξοπλισμός ΒΠΠΕ

Για όλες τις παραπάνω διεργασίες που μεσολαβούν για την επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων που καταλήγουν στην μονάδα, χρησιμοποιείται και αντίστοιχος μηχανολογικός εξοπλισμός. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο επιμέρους μηχανολογικός εξοπλισμός για την εκάστοτε διεργασία.

➤ ΑΕΡΙΣΤΕΣ

Κάθε πλωτός αεριστής τροφοδοτείται από ξεχωριστό φυσητήρα (τουρμπίνα) δυναμικότητας:

- 30 kg O₂/hr -2.5m βάθος
- 50 kg O₂/hr - 0m βάθος (επιφανειακά)

➤ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΑΝΥΨΩΣΗΣ (ΕΙΣΟΔΟΥ)

Κάθε μία από τις 4 αντλίες έχει δυναμικότητα 300 – 330 m³/hr

➤ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ Νο1

- Αντλία ανακυκλοφορίας Νο1: δυναμικότητα 80m³/hr
- Αντλία ανακυκλοφορίας Νο2: δυναμικότητα 110m³/hr

➤ **ΑΝΤΑΙΟΣΤΑΣΙΟ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ Νο2**

- Αντλία ανακυκλοφορίας Νο1: δυναμικότητα 80m³/hr
- Αντλία ανακυκλοφορίας Νο2: δυναμικότητα 110m³/hr

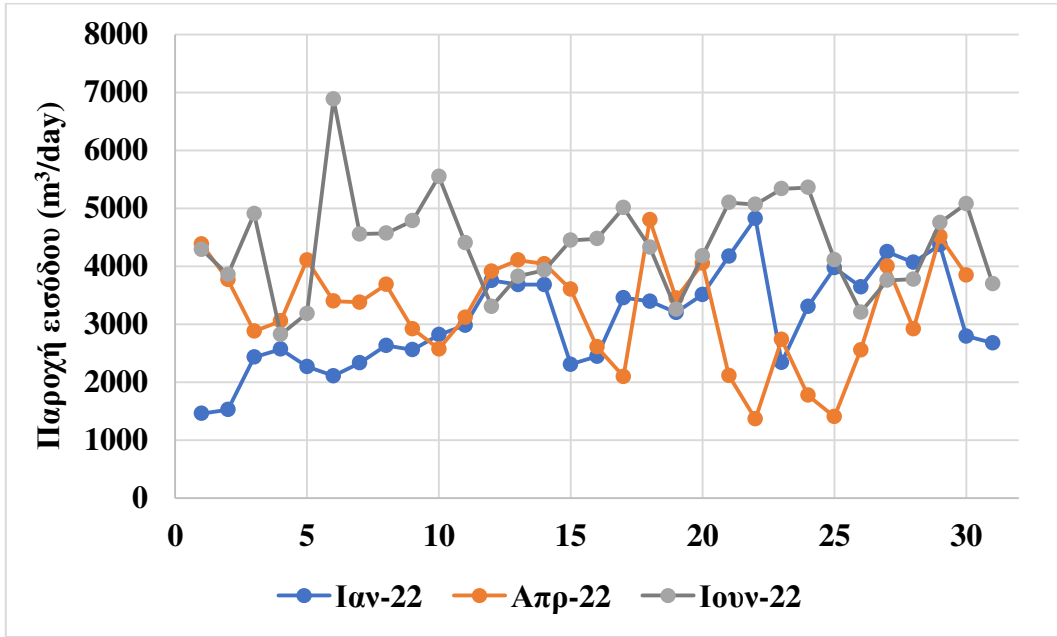
➤ **ΑΝΤΑΙΟΣΤΑΣΙΟ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ Νο3**

- Αντλίες ανακυκλοφορίας Νο1 & 2: δυναμικότητα 80m³/hr
- Αντλίες περίσσειας υλός Νο1 & 2: δυναμικότητα 42m³/hr

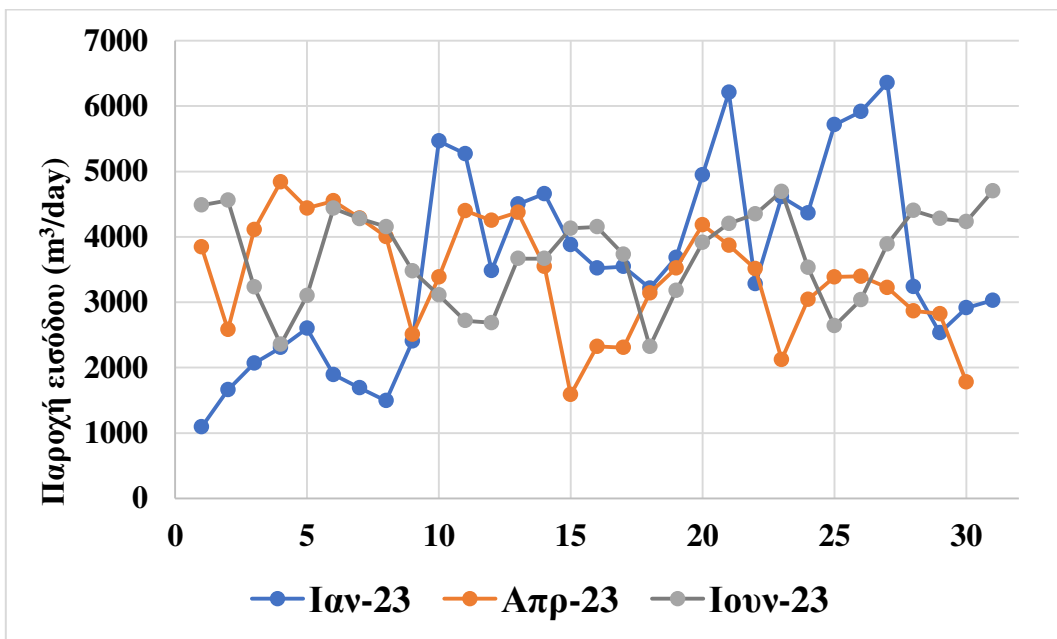
4.3. Μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου και εξόδου της μονάδας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων

Από μετρήσεις, που έγιναν σε δείγματα τόσο στην είσοδο της μονάδας επεξεργασίας όσο και στην έξοδο, κατασκευάστηκαν τα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα. Τα διαγράμματα αυτά αφορούν μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της μονάδας αλλά και σε διαπιστευμένο συνεργαζόμενο αναλυτικό εργαστήριο, για δειγματοληψίες ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όπως είχε οριστεί για ημερήσιες ή μηνιαίες δειγματοληψίες. Οι μετρήσεις αυτές αφορούν την χρονική περίοδο 2021 έως και 2023.

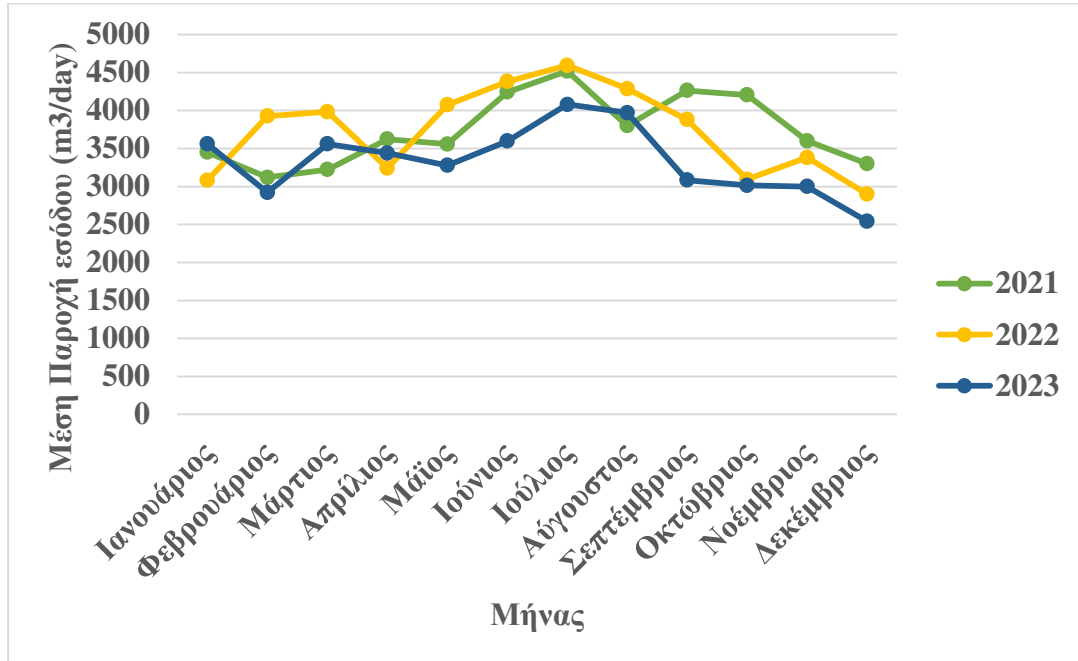
Αρχικά, τα διαγράμματα που παρατίθενται αφορούν την παροχή εισόδου της μονάδας καθαρισμού και αφορούν τα απόβλητα από τις βιομηχανίες του επιχειρηματικού πάρκου Πατρών. Η παροχή εισόδου και για τα τρία χρόνια κυμάνθηκε, κατά μέσο όρο, από 3100 έως 3700 m³ ανά ημέρα, τιμές εντός των ορίων που ορίζονται από την τιμή σχεδιασμού (4000 m³) αλλά και την μέγιστη τιμή που μπορεί να δεχτεί και να διαχειριστεί η μονάδα (6000 m³). Στα διαγράμματα του Σχήματος 4.1 – 4.2 παρουσιάζονται οι ημερήσιες παροχές για επιλεγμένους μήνες για τα έτη 2021 και 2022. Στο διάγραμμα του σχήματος 4.3 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες παροχές εισόδου ανά μήνα για τα έτη 2021,2022 και 2023 αντίστοιχα. Τα διαγράμματα των παροχών εισόδου αποτυπώνουν τις φορτίσεις της μονάδας κατά τη διάρκεια του έτους. Αξίζει να σημειωθεί η ανοδική τάση των παροχών κατά τους θερινούς μήνες εξαιτίας της αύξησης της παραγωγικής διαδικασίας διάφορων μονάδων εντός της ΒΙ.ΠΕ.



Σχήμα 4.1. Παροχή εισόδου ανά ημέρα για επιλεγμένους μήνες για το 2022.

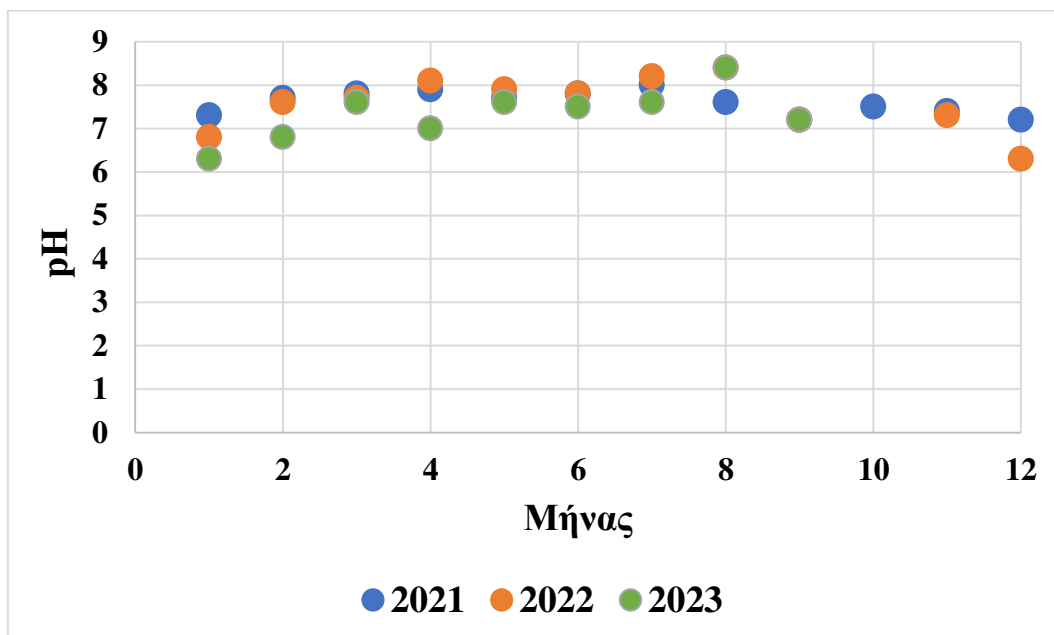


Σχήμα 4.2. Παροχή εισόδου ανά ημέρα για επιλεγμένους μήνες για το 2023.

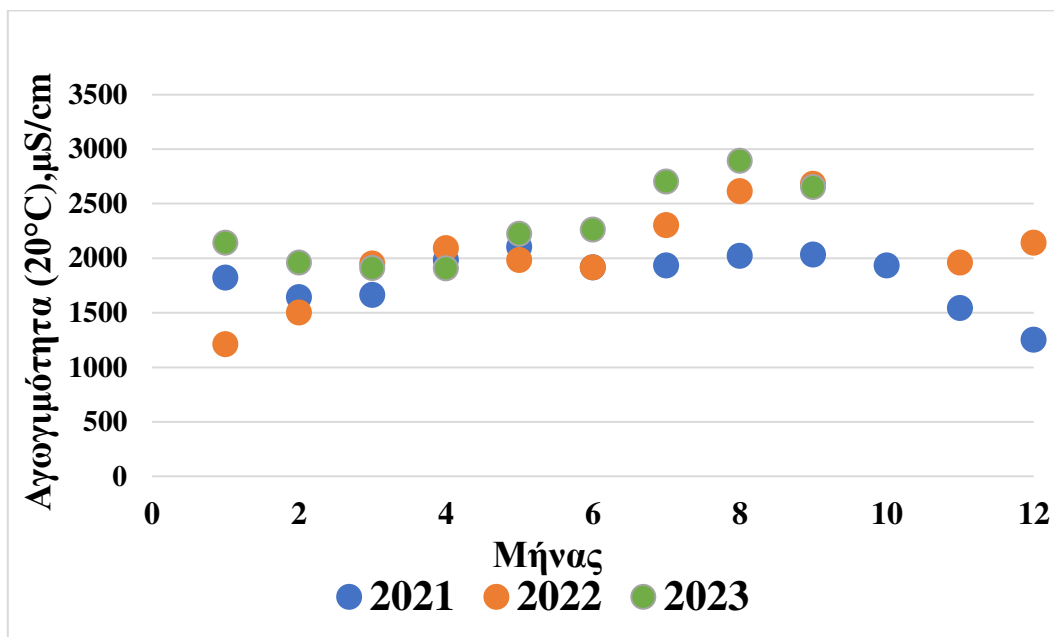


Σχήμα 4.3. Μέση ημερήσια παροχή εισόδου ανά μήνα για τις χρονικές περιόδους 2021,2022 και 2023.

Επιπλέον, το pH εισόδου ήταν και αυτό κοντά στην επιτρεπόμενη τιμή (pH 8.1), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.4, ενώ η αγωγιμότητα κυμάνθηκε κατά μέσο όρο για το 2021 στα 1821 $\mu\text{S}/\text{cm}$, για το 2022 στα 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και για το 2023 κοντά στα 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Σχήμα 4.5).

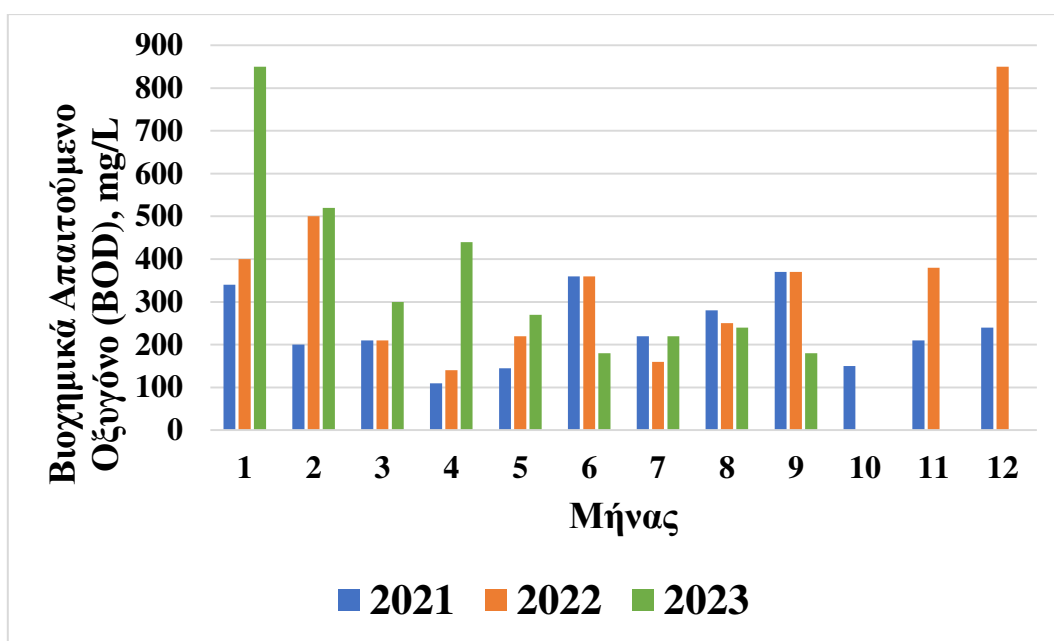


Σχήμα 4.4. Διάγραμμα μηνιαίου μέσου όρου μετρούμενης τιμή pH του αποβλήτου στην είσοδο της ΜΚΑ για τις χρονικές περιόδους 2021, 2022 και 2023.

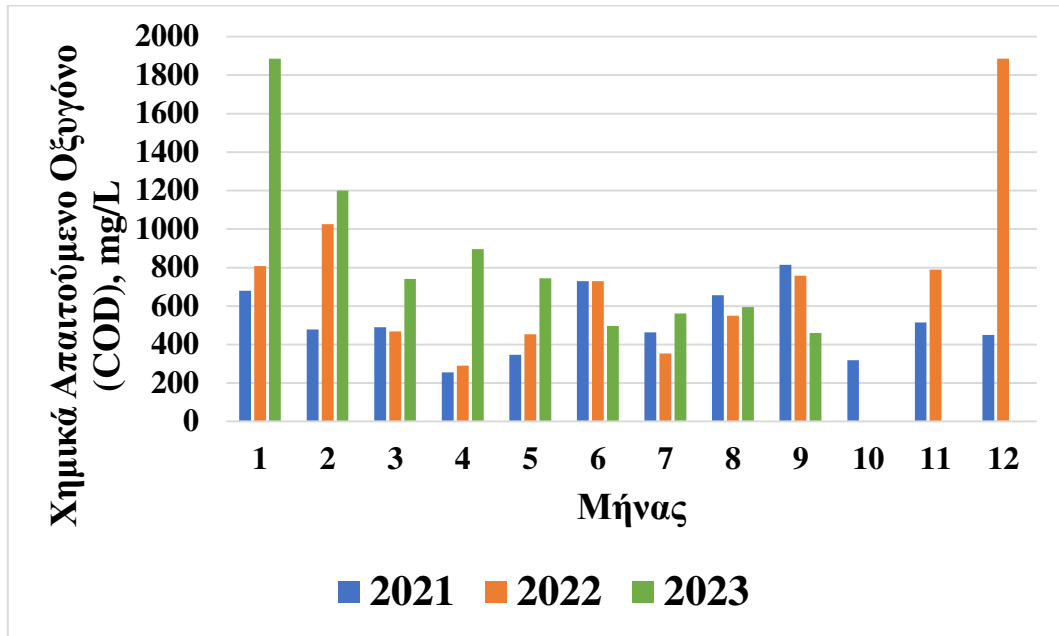


Σχήμα 4.5. Διάγραμμα μηνιαίου μέσου όρου μετρούμενης τιμής αγωγιμότητας του αποβλήτου στην είσοδο της ΜΚΑ για τις χρονικές περιόδους 2021, 2022 και 2023.

Όπως φαίνεται από τις μετρήσεις BOD και για τις τρεις χρονικές περιόδους, οι τιμές κυμάνθηκαν εντός των ορίων που μπορεί να δεχτεί η ΜΚΑ, δηλαδή 500 mg/l, εκτός από κάποιες εξαιρέσεις (Σχήμα 4.6). Ομοίως για το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, οι μετρήσεις έδειξαν να είναι εντός των ορίων (1200 mg/l) (Σχήμα 4.7).

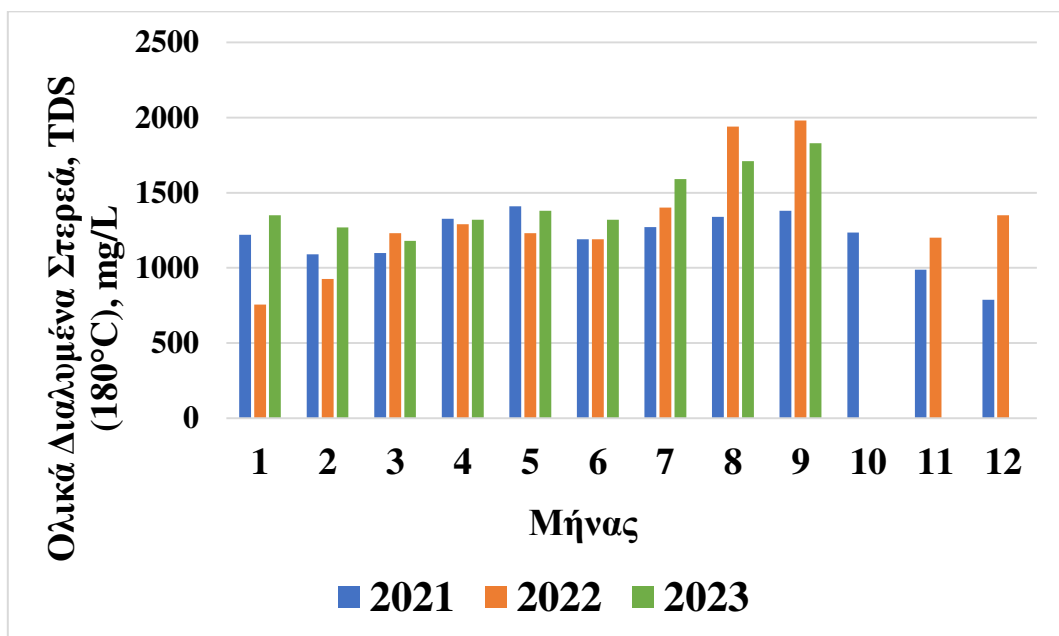


Σχήμα 4.6. Μετρήσεις βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) στην είσοδο της μονάδας, μηνιαίος μέσος όρος.

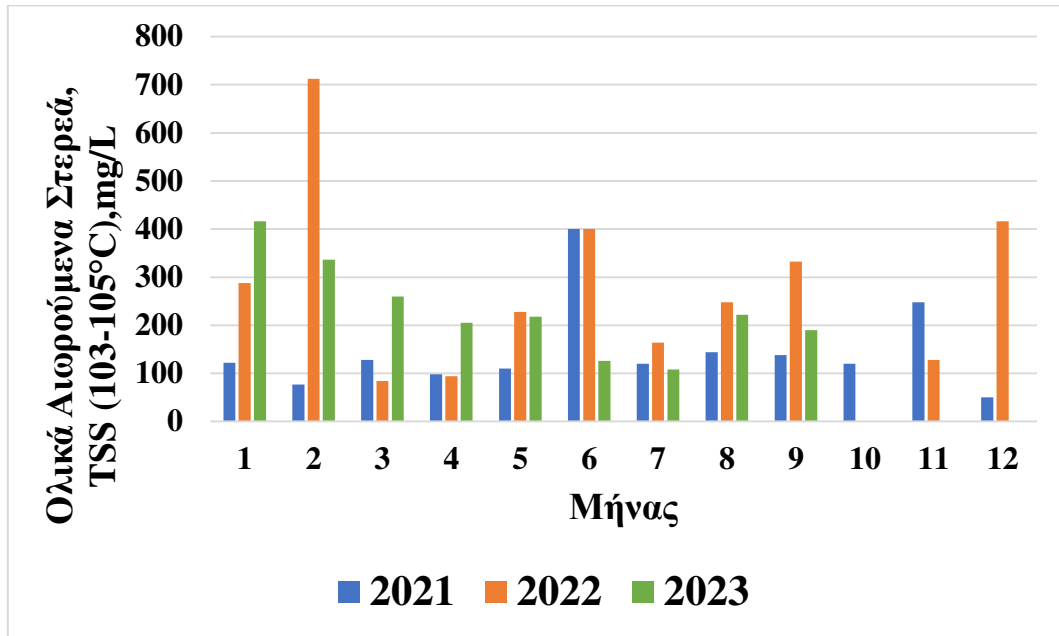


Σχήμα 4.7. Μετρήσεις χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) στην είσοδο της μονάδας, μηνιαίος μέσος όρος.

Στο ρεύμα εισόδου, έπειτα από δειγματοληψία προσδιορίζονται επίσης και τα ολικά διαλυμένα και αιωρούμενα στερεά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 4.8 και 4.9, αντίστοιχα.

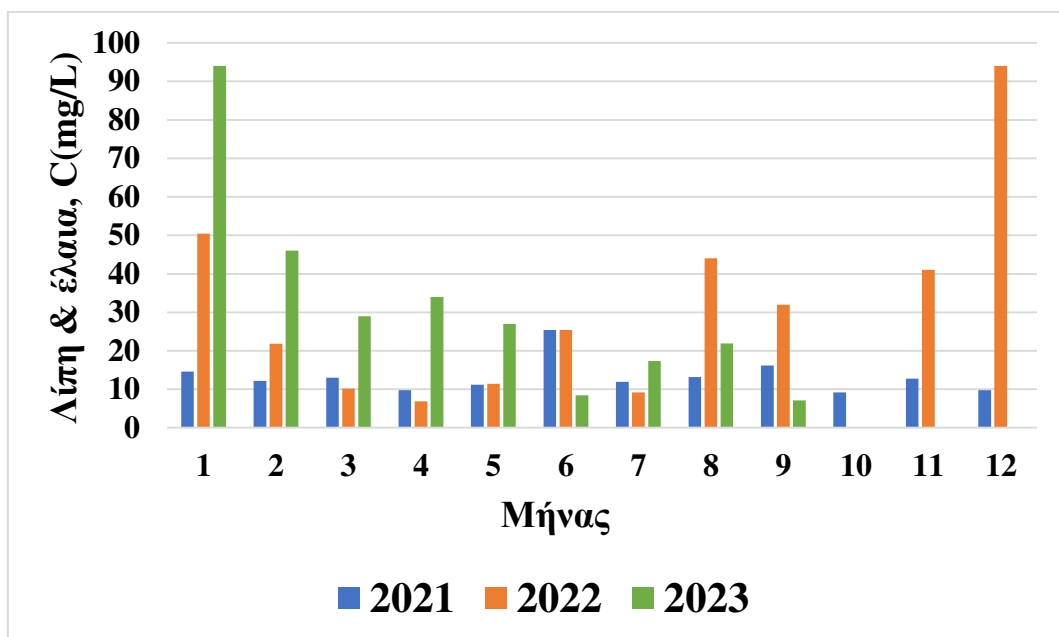


Σχήμα 4.8. Μηνιαίος μέσος όρος ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στην είσοδο της μονάδας καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.



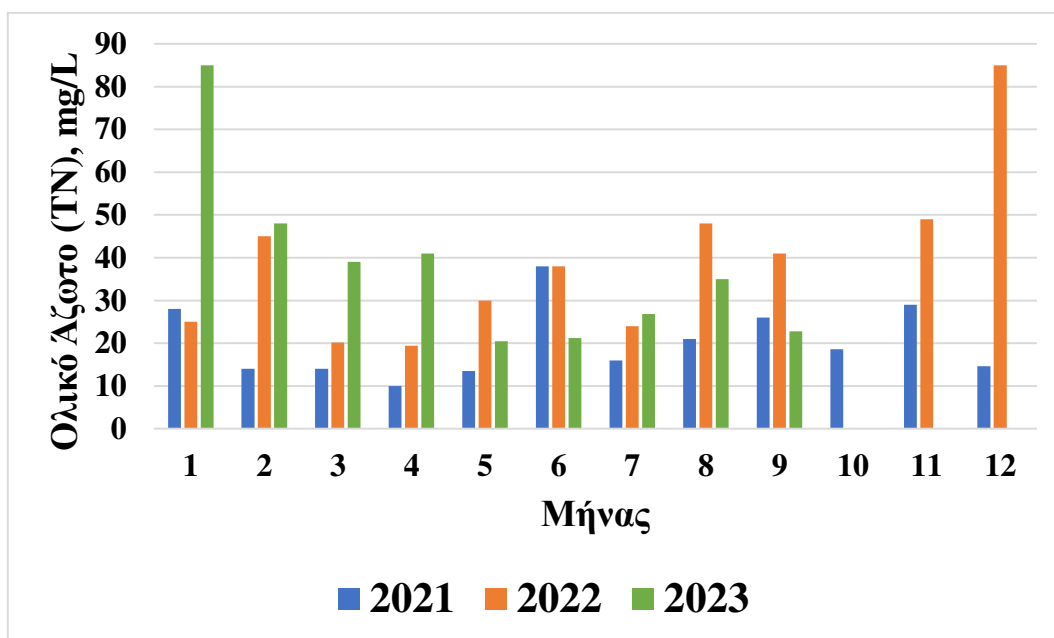
Σχήμα 4.9. Μηνιαίος μέσος όρος ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) στην είσοδο της μονάδας για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.

Ακόμη, τα λίπη και έλαια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.10, η συγκέντρωσή τους δεν ξεπέρασα τα 50 mg/l, εκτός από μεμονωμένες περιπτώσεις, που οφείλεται πιθανόν σε αυξημένο φορτίο των αποβλήτων που κατέληγαν στην ΜΚΑ, όπως τα φυτικά λίπη και τα έλαια που προέρχονταν από διεργασίες των συνεργαζόμενων βιομηχανιών, αντίστοιχα έδωσε και υψηλές τιμές COD.

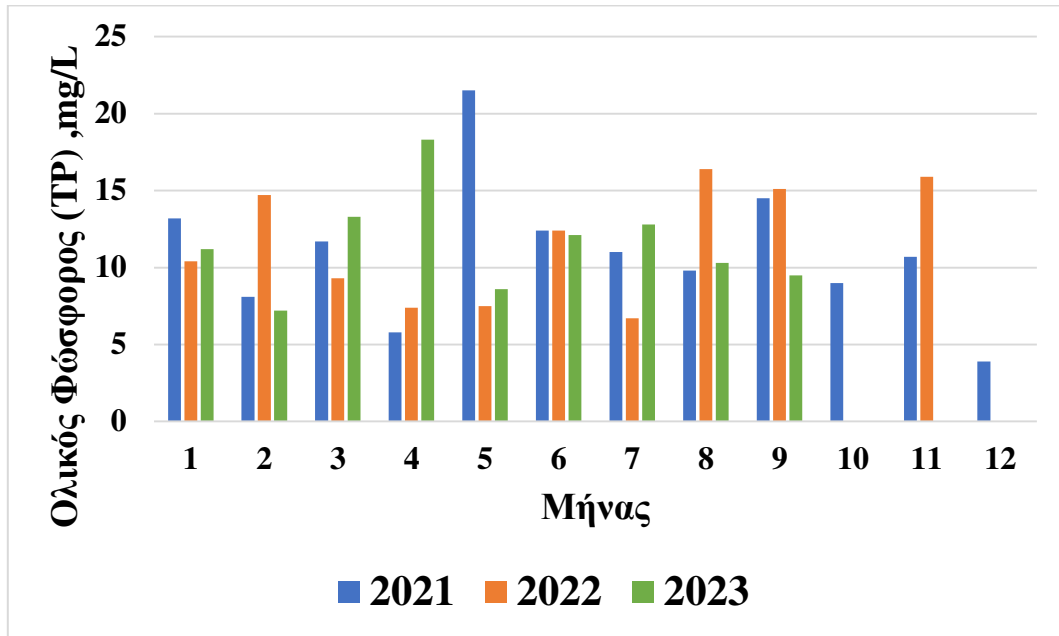


Σχήμα 4.10. Μηνιαίος μέσος όρος συγκέντρωσης λιπών και ελαίων στην είσοδο της μονάδας για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.

Εξίσου σημαντικές παράμετροι είναι αυτές του ολικού αζώτου και φωσφόρου οι οποίες προσδιορίζονται σε ημερήσια βάση και αποτελούν σημαντικό δείκτη παρακολούθησης για τα εισερχόμενα απόβλητα στη μονάδα επεξεργασίας της ΒΙ.ΠΕ. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στα διαγράμματα των παρακάτω σχημάτων, Σχήμα 4.11 και 4.12, αντίστοιχα. Όσον αφορά το ολικό άζωτο, εκτός από δυο περιπτώσεις στο χρονικό διάστημα 2021 έως και σήμερα, φάνηκε να είναι εντός του ορίου των 50 mg/l που ορίζεται στις προδιαγραφές εισόδου της ΜΚΑ. Αντίθετα, ο ολικός φώσφορος τείνει να αποκλίνει σημαντικά από τα 5 mg/l που έχει οριστεί ως επιτρεπόμενο όριο. Ίσως το επιβαρυνμένο αυτό φορτίο να οφείλεται στα απόβλητα μονάδας παραγωγής λιπασμάτων ή γαλακτοβιομηχανίας που καταλήγουν στην ΜΚΑ.



Σχήμα 4.11. Μηνιαίος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού αζώτου (TN) στην είσοδο της μονάδας για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.

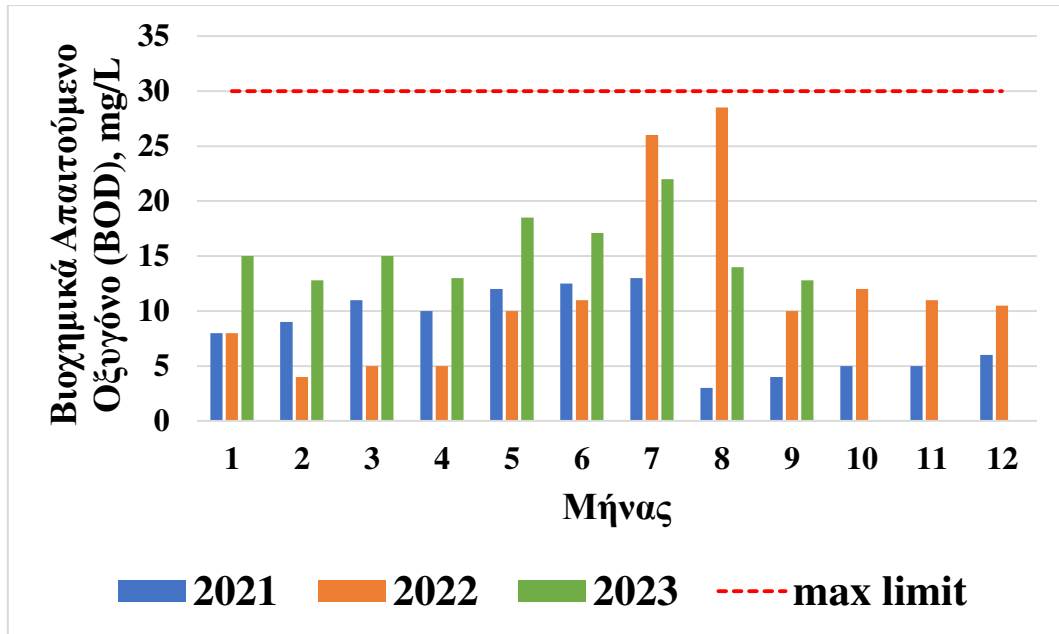


Σχήμα 4.12. Μηνιαίος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού φωσφόρου (TP) στην είσοδο της μονάδας για την χρονική περίοδο από 2021 έως 2023.

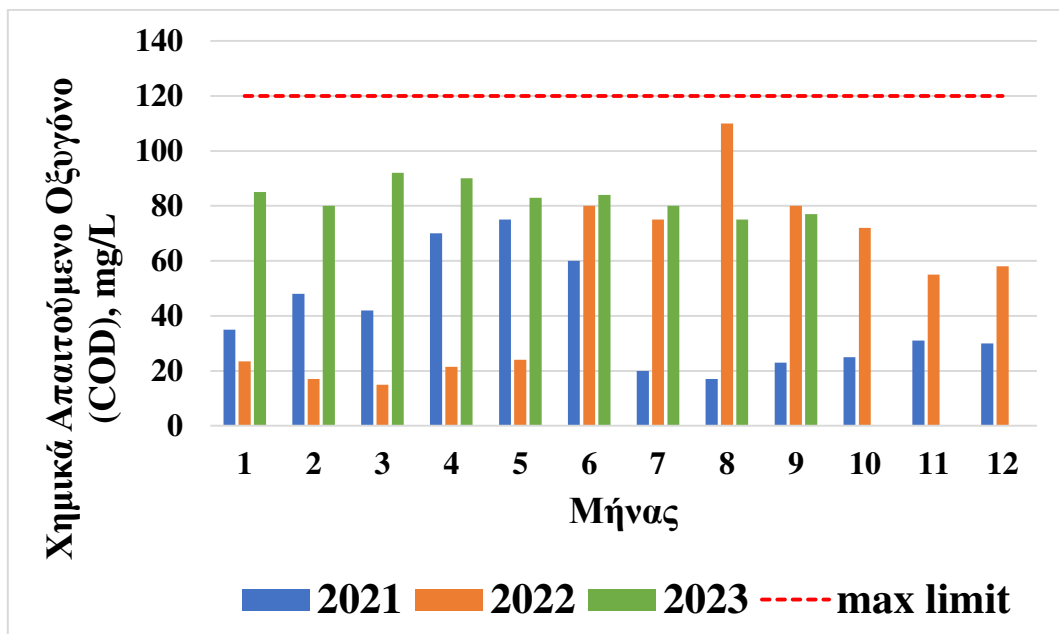
Σε ένα γενικό πλαίσιο, οι μετρήσεις που γίνονται στην είσοδο σε καθημερινή βάση, είναι σημαντικές καθώς με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αποφευχθούν προβλήματα που μπορεί να προκληθούν στον εξοπλισμό αλλά και στην συνολική διεργασία της επεξεργασίας των βιομηχανικών αποβλήτων. Για τον λόγο αυτό και με βάση τα όρια που ορίζονται για τις χημικές παραμέτρους που αξιολογούνται, θα ήταν καλό να γίνουν συστάσεις στις συνεργαζόμενες βιομηχανίες, που είτε απορρίπτουν τα απόβλητα τους στη μονάδα, είτε τα προ επεξεργάζονται πριν αυτά εισέλθουν στην μονάδα.

Ωστόσο, για την αξιολόγηση της λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας, είναι σημαντικές οι μετρήσεις των παραμέτρων στην εκροή της μονάδας, οι οποίες θα καταλήξουν στο υδάτινο περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό γίνονται ημερήσιες αναλύσεις στο εργαστήριο της μονάδας καθώς και μηνιαίες αναλύσεις από διαπιστευμένο συνεργαζόμενο αναλυτικό εργαστήριο. Με αυτή την μέθοδο ελέγχεται στην έξοδο το επεξεργασμένο πλέον απόβλητο ως προς την τήρηση των ορίων που περιγράφονται στον παραπάνω Πίνακα 4.3, ενώ προσδιορίζεται και η απόδοση της μονάδας επεξεργασίας. Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Σχήμα 4.13 έως 4.18) παρουσιάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της επεξεργασμένης απορροής της ΜΚΑ για το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 2021 έως και τον Σεπτέμβριο 2023,

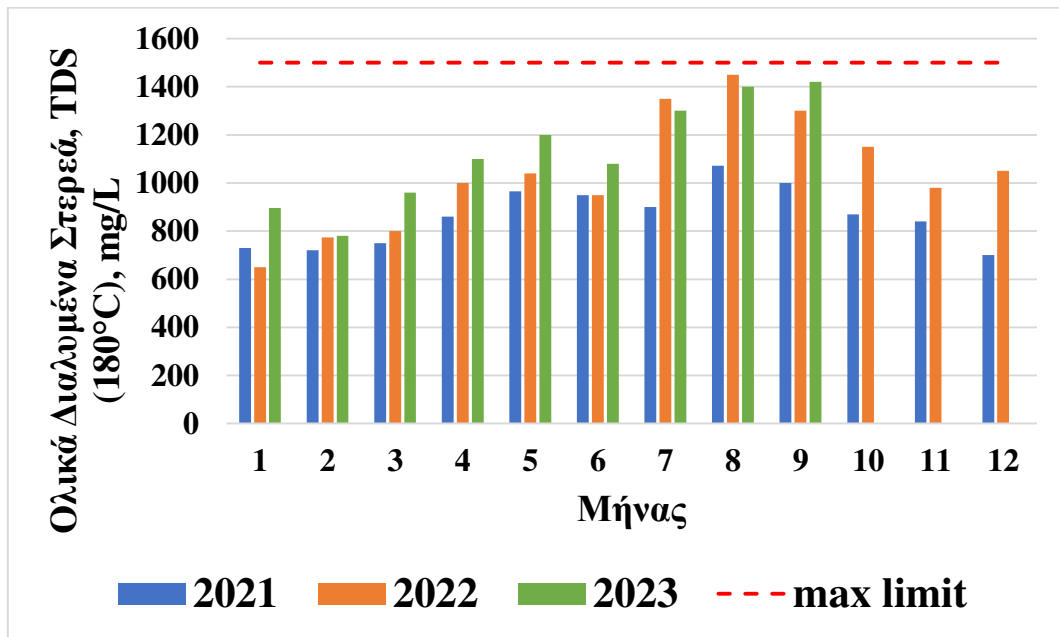
υπολογισμένα με βάσει μέσους όρους αναλύσεων που γίνονται σε καθημερινή βάση για τον εκάστοτε μήνα.



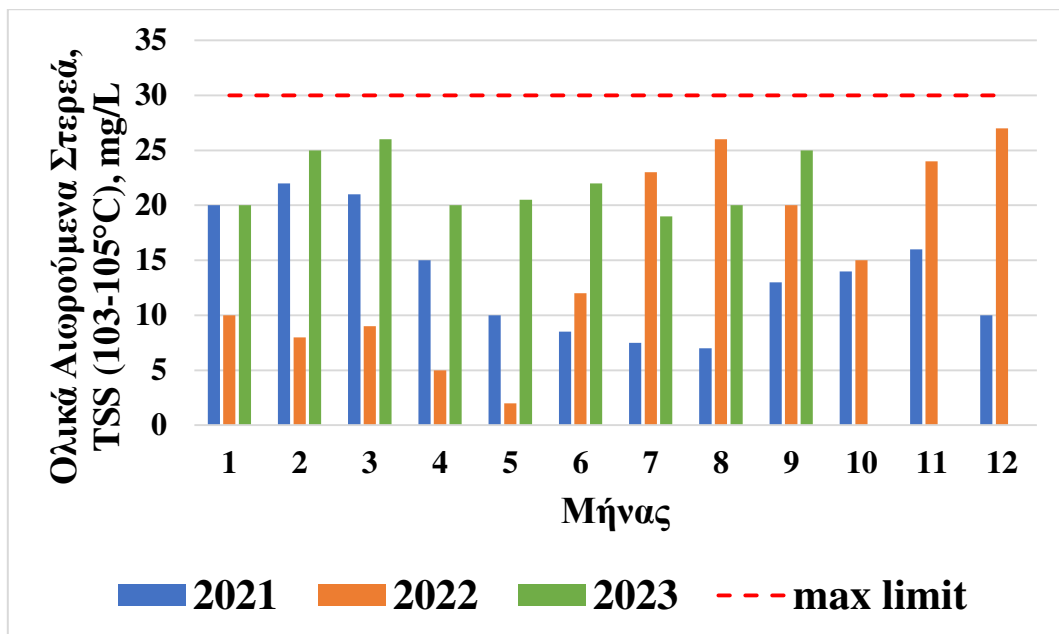
Σχήμα 4.13. Μηνιαίος μέσος όρος βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.



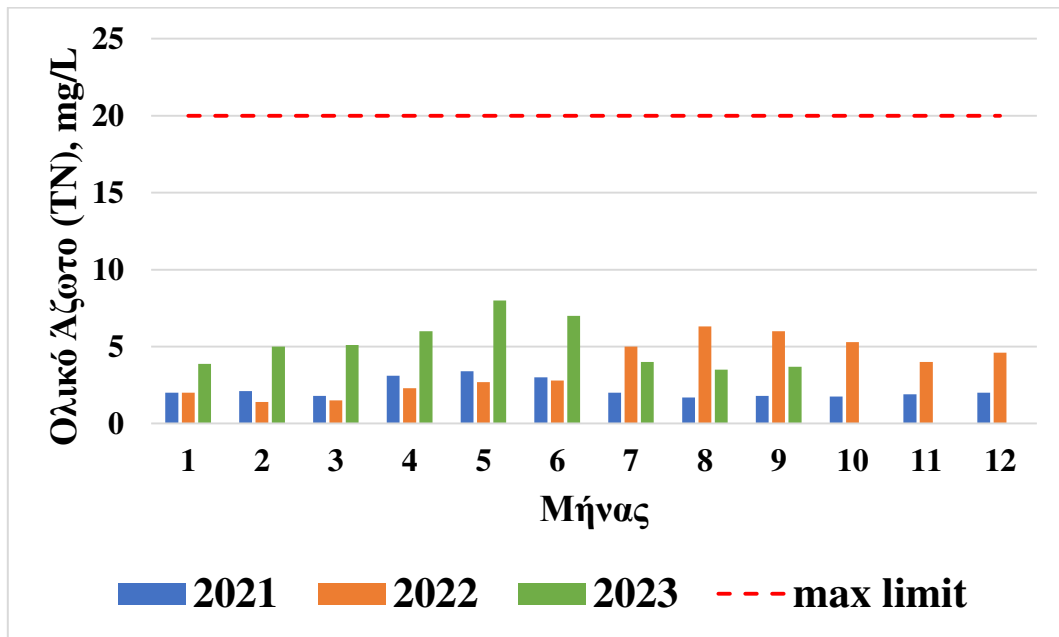
Σχήμα 4.14. Μηνιαίος μέσος όρος χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.



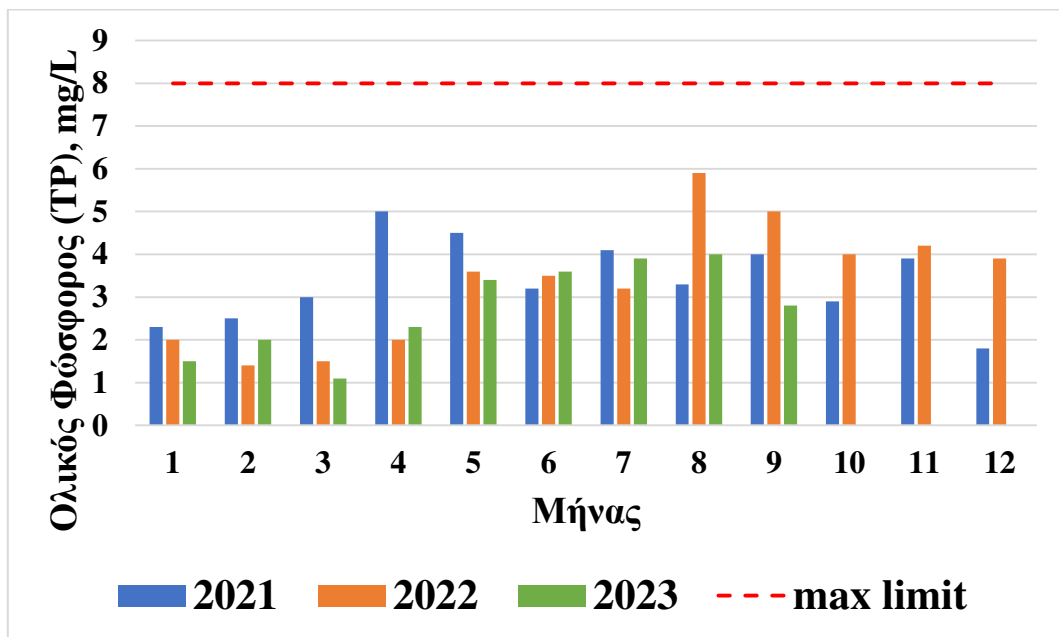
Σχήμα 4.15. Μηνιαίος μέσος όρος ολικά διαλυμένων στερεών (TDS) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.



Σχήμα 4.16. Μηνιαίος μέσος όρος ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.



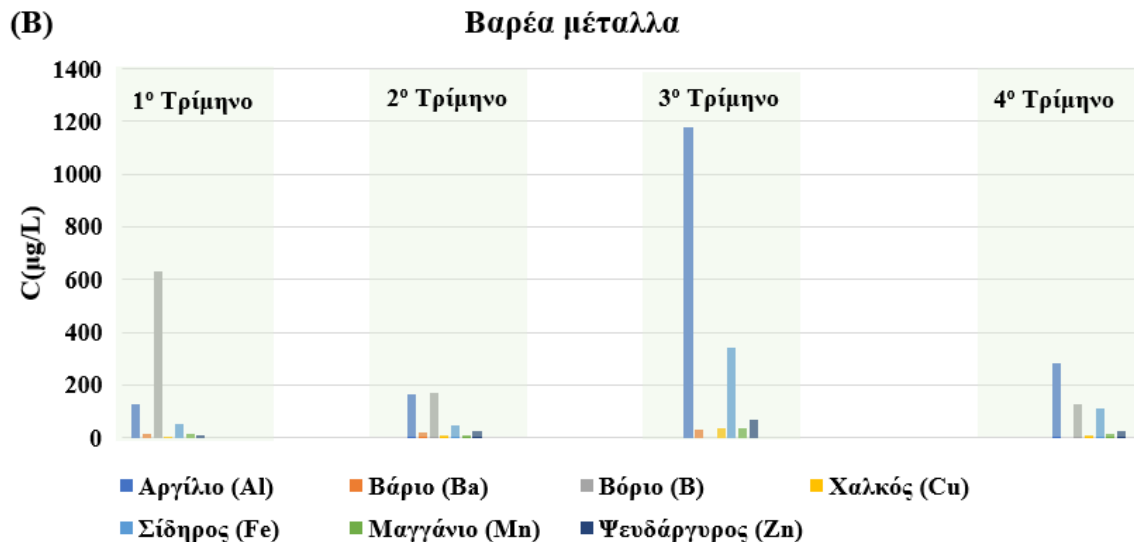
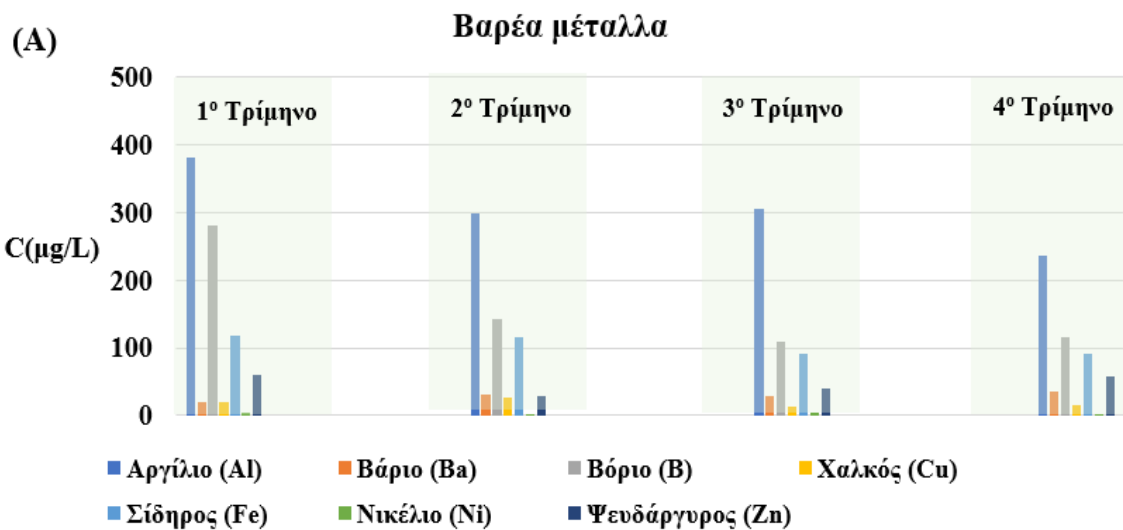
Σχήμα 4.17. Μηνιαίος μέσος όρος ολικού αζώτου (N) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.

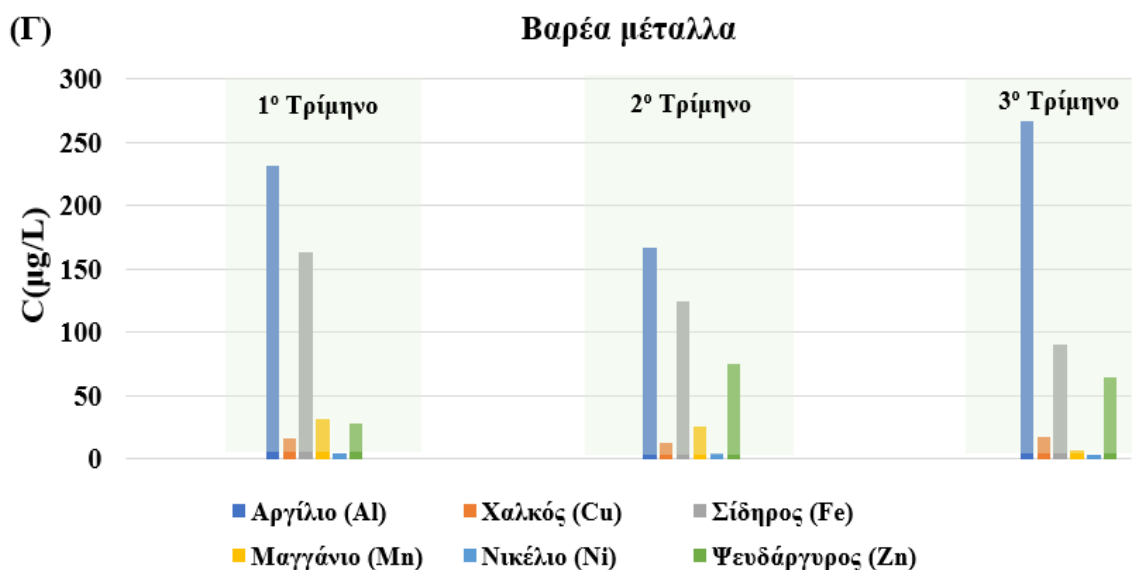


Σχήμα 4.18. Μηνιαίος μέσος όρος ολικού φώσφορου (P) για το χρονικό διάστημα 1/2021 έως και 9/2023 στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ.

Στην εκροή της μονάδας καθαρισμού των αποβλήτων μετρήθηκαν και οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Συνοπτικά στα παρακάτω διαγράμματα

παρουσιάζονται οι μετρήσεις για τα τρία τελευταία χρόνια (τριμηνιαίες αναλύσεις) για τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όπως ο σίδηρος, ο χαλκός, το νικέλιο, ο ψευδάργυρος, το αργίλιο, το βάριο και το βόριο. Όπως φαίνεται, οι τιμές είναι αποδεκτές με βάση τα όρια που προβλέπονται για την σύσταση του επεξεργασμένου αποβλήτου στην εκροή. Οι αναλύσεις βαρέων μετάλλων έχουν διεξαχθεί σε διαπιστευμένο συνεργαζόμενο εξωτερικό εργαστήριο.





Σχήμα 4.19. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην έξοδο της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων ΒΙ.ΠΕ για το (Α) 2021, (Β) 2022 και (Γ) 2023.

Στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί παρουσιάζονται κάποιες συγκεντρωτικές μετρήσεις, που προέκυψαν από τριμηνιαίες αναλύσεις, των συγκεντρώσεων πτητικών υδρογονανθράκων (Volatile Organic Compounds, VOC) και για τα τρία έτη, οι οποίες όπως φαίνεται και σε αυτή την περίπτωση είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

Πίνακας 4.4. Συγκέντρωση πτητικών υδρογονανθράκων (VOC) στην έξοδο της ΜΚΑ για τα έτη 2021 έως 2023.

Έτος	Παράμετρος	Τρίμηνα			
		1 ^ο	2 ^ο	3 ^ο	4 ^ο
		Συγκέντρωση (µg/l)			
2021	Άθροισμα Τριαλογονομεθανίων	169.14	<84.36	<8.6	134.59
	Άθροισμα Τετραχλωροαιθυλενίου & Τριχλωροαιθυλενίου	<2	<2	<2	<2
2022	Άθροισμα Τριαλογονομεθανίων	<29.92	32.35	<8	<8
	Άθροισμα Τετραχλωροαιθυλενίου & Τριχλωροαιθυλενίου	<2	<2	<2	<2
2023	Άθροισμα	<8	<8	<8	

Τριαλογονομεθανίων				
Άθροισμα Τετραχλωροαιθυλενίου & Τριχλωροαιθυλενίου	<2	<2	<2	

Τέλος, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των λιπών και ελαίων και για τα τρία έτη φάνηκε στην έξοδο να είναι μικρότερες από 5mg/l, ενώ οι συγκεντρώσεις των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH), να είναι εξίσου χαμηλές και συγκεκριμένα μικρότερες από 0.04μg/l.

Να σημειωθεί ότι, για τις καθημερινές και τις μηνιαίες δειγματοληψίες που λαμβάνουν χώρα κατά την λειτουργία της μονάδας, οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται περιλαμβάνουν χημικές αναλύσεις ακόμη περισσότερων παραμέτρων (π.χ υπολειμματικό και ελεύθερο χλώριο, θειούχες ενώσεις), καθώς και μικροβιολογικές αναλύσεις (π.χ ολικά κολοβακτηρίδια, *E coli* και εντερόκοκκους), αναλύσεις απαραίτητες, από την στιγμή που εκροή του βιολογικού καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα. Επομένως, οι παράμετροι που επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν και να αναλυθούν είναι από τις σημαντικότερες και αποτελούν αναλύσεις καθημερινού ελέγχου στην ΜΚΑ.

4.4. Απόδοση μονάδας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων

Με βάση τα προηγούμενα και συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των παραμέτρων που προσδιορίστηκαν κάθε φορά, υπολογίστηκαν οι παρακάτω αποδόσεις βασισμένες στα ποσοστά απομάκρυνσής τους συγκριτικά με τις συγκεντρώσεις αυτών στην είσοδο [49]. Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση την εξίσωση 4.1.

$$Removal\ Efficiency\ (\%) = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad (4.1)$$

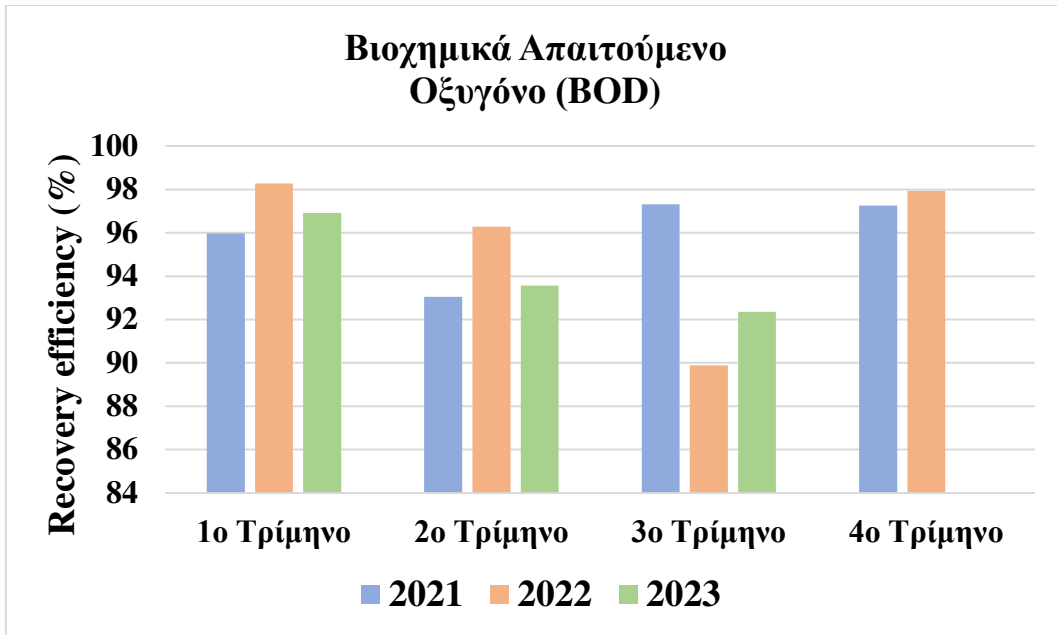
Όπου C_{in} η συγκέντρωση της μετρούμενης παραμέτρου στην είσοδο και C_{out} η συγκέντρωση της μετρούμενης παραμέτρου στην έξοδο της ΜΚΑ.

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται οι τιμές των αποδόσεων ως προς την μείωση του BOD, του COD, των TDS, των TSS και του TN και TP, για τα τρία έτη που επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν στην παρούσα εργασία. Συγκεκριμένα, παρατίθενται οι αποδόσεις υπολογισμένες με βάση τους μέσους όρους των ημερήσιων μετρήσεων, για καθένα μήνα, σε γραφήματα τα οποία αναφέρονται σε τρίμηνα λειτουργίας για τα τρία χρόνια. Επίσης, στα Σχήματα 4.19 έως 4.24, παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα συγκριτικά διαγράμματα.

Πίνακας 4.5. Αποδόσεις μείωσης των τιμών των μετρούμενων παραμέτρων των αποβλήτων έπειτα από τα στάδια επεξεργασίας της ΜΚΑ για το χρονικό διάστημα από 1/2023 έως 9/2023.

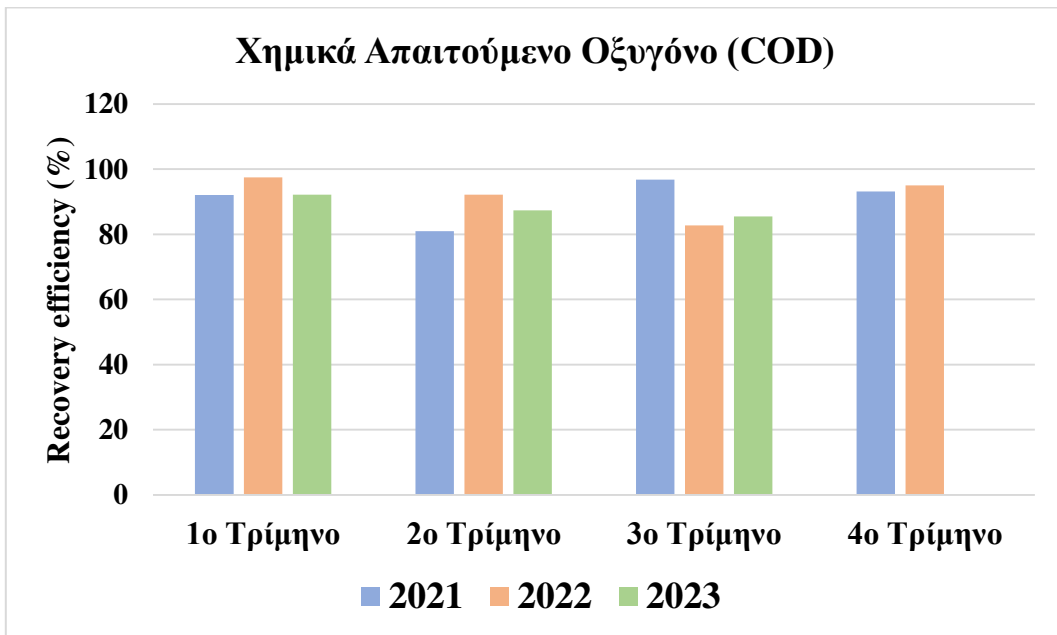
Έτος	Τρίμηνο	Removal Efficiency (%)					
		Παράμετρος					
		BOD	COD	TDS	TSS	TN	TP
2021	1 ^ο	95.97	92.08	35.31	79.54	88.33	75.36
	2 ^ο	93.05	80.90	28.93	91.16	78.64	55.69
	3 ^ο	97.31	96.76	25.59	93.16	90.83	67.16
	4 ^ο	97.26	93.15	18.59	87.29	90.11	61.73
2022	1 ^ο	98.27	97.41	21.80	94.90	93.82	85.04
	2 ^ο	96.28	92.11	19.37	96.93	90.59	65.58
	3 ^ο	89.88	82.75	21.10	89.82	83.80	61.05
	4 ^ο	97.93	94.98	20.35	87.38	93.21	69.38
2023	1 ^ο	96.92	92.14	30.29	92.58	90.65	83.52
	2 ^ο	93.56	87.30	15.96	87.79	71.11	72.71
	3 ^ο	92.35	85.47	19.59	86.75	86.28	67.07

➤ **Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)**



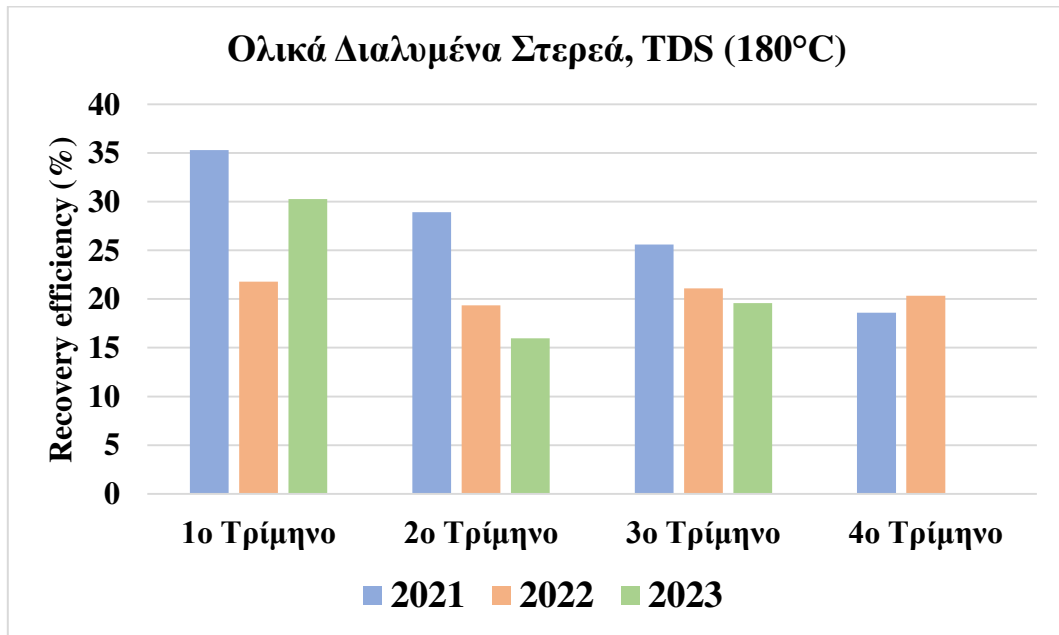
Σχήμα 4.20. Απόδοση απομάκρυνσης βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.

➤ **Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)**



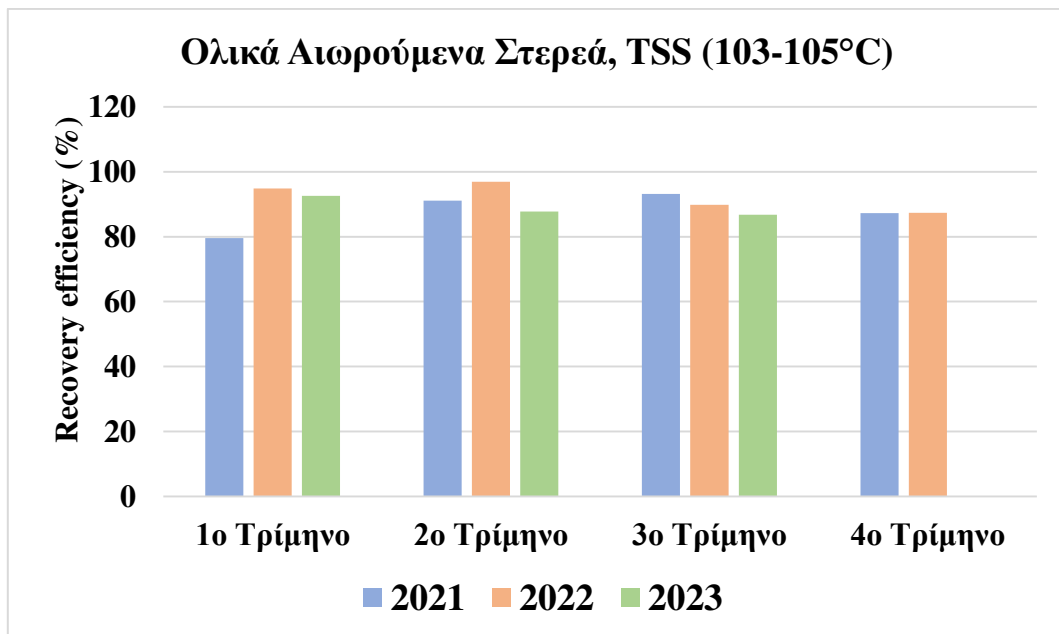
Σχήμα 4.21. Απόδοση απομάκρυνσης χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.

➤ Ολικά Διαλυμένα Στερεά. TDS (180°C)



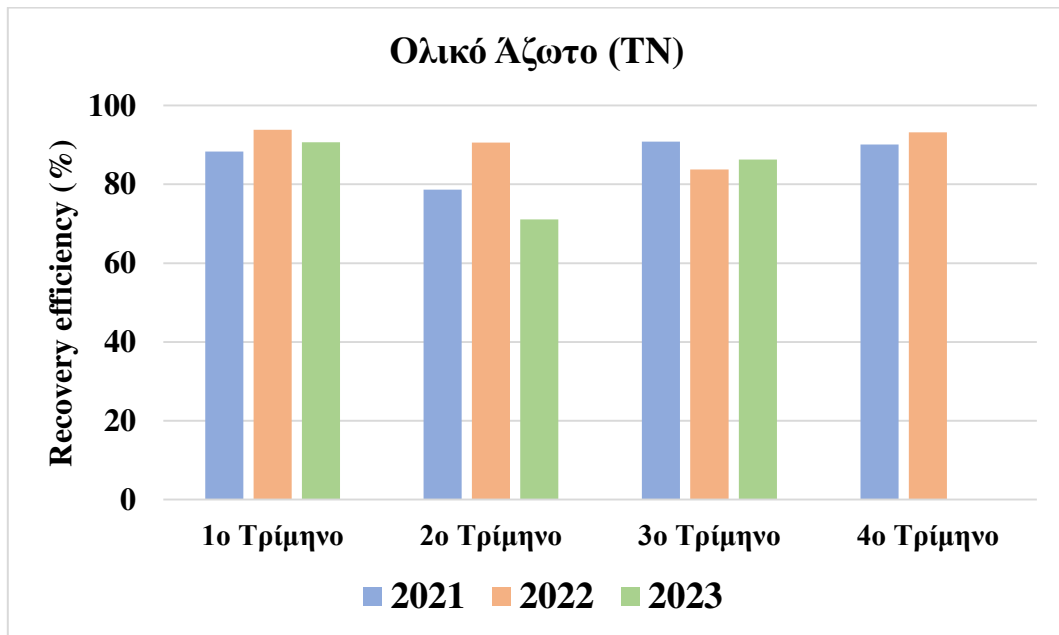
Σχήμα 4.22. Απόδοση απομάκρυνσης ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.

➤ Ολικά Αιωρούμενα Στερεά. TSS (103-105°C)



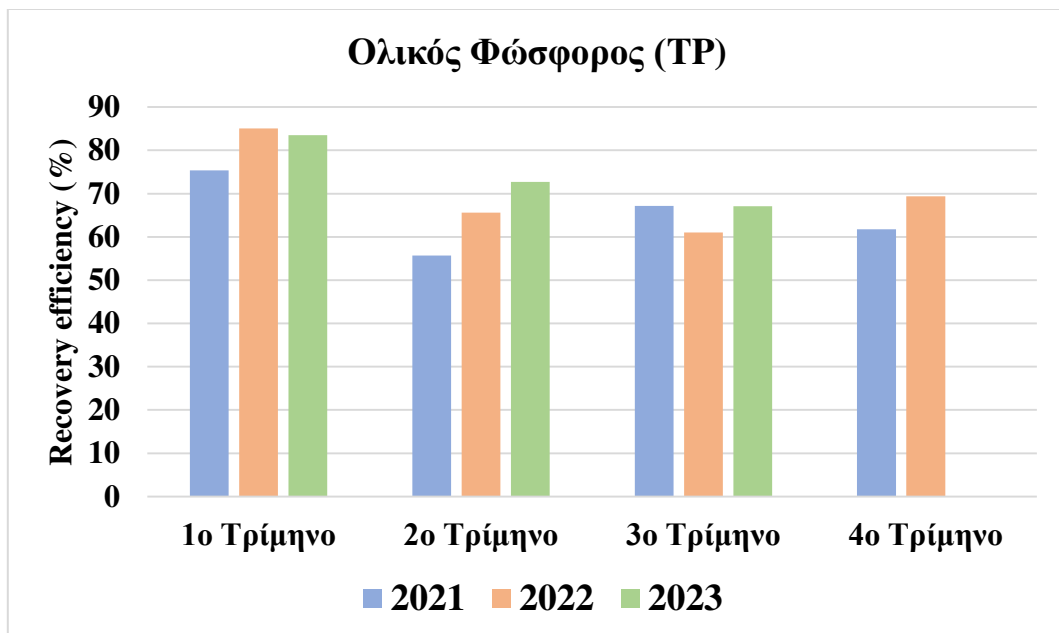
Σχήμα 4.23. Απόδοση απομάκρυνσης ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.

➤ Ολικό Άζωτο (TN)



Σχήμα 4.24. Απόδοση απομάκρυνσης ολικού αζώτου (TN) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.

➤ Ολικός Φώσφορος (TP)



Σχήμα 4.25. Απόδοση απομάκρυνσης ολικού φωσφόρου (TP) κατά την λειτουργία της ΜΚΑ.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα, οι αποδόσεις απομάκρυνσης του BOD, του COD, των αιωρούμενων στερεών καθώς και του ολικού αζώτου και φωσφόρου κυμαίνονται σε υψηλά ποσοστά της τάξης του 70 έως και 99%, με κάποιες εξαιρέσεις. Στην περίπτωση των ολικών διαλυμένων στερεών υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης της απομάκρυνσης. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά προτεινόμενες βελτιωτικές ενέργειες, που θα συμβάλλουν στην αύξηση των αποδόσεων απομάκρυνσης των παραπάνω μετρούμενων παραμέτρων.

5. Διορθωτικές ενέργειες για την λειτουργία της μονάδας καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων στην Βιομηχανική Περιοχής (ΒΙ.ΠΕ) Πατρών

Λαμβάνοντας υπόψιν τα στοιχεία που έχουν παρατεθεί και αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες θα γίνουν διάφορες προτάσεις στα πλαίσια πιθανών πρόσθετων ενεργειών – μεθοδολογιών που μπορούν να εφαρμοστούν στη ΜΚΑ της ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας. Οι προτάσεις αποσκοπούν στην περαιτέρω βελτίωση της αποδοτικότητας της μονάδας.

5.1. Αποτελεσματικότητα και βελτίωση λειτουργίας μονάδας καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων

Η αποτελεσματικότητα των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Ορισμένοι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την αποδοτικότητα μιας ΜΚΑ βιομηχανικών ή μη αποβλήτων παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

Η δυναμικότητα της μονάδας

Η χωρητικότητα μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων αναφέρεται στη μέγιστη ποσότητα λυμάτων που μπορεί να επεξεργαστεί μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Εάν, η εγκατάσταση υπερφορτωθεί ίσως να μην είναι εφικτή η αποτελεσματική απομάκρυνση των ρύπων από τα λύματα οδηγώντας στην απελευθέρωση επιβλαβών ουσιών στο περιβάλλον θέτοντας σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία και το οικοσύστημα.

Διαθεσιμότητα πόρων

Η διαθεσιμότητα πόρων επηρεάζει άμεσα την απόδοση των μονάδων επεξεργασίας. Για παράδειγμα, η ανεπαρκής παροχή ενέργειας περιορίζει τη λειτουργική ικανότητα της μονάδας εκλύοντας πιθανώς ρύπους στο περιβάλλον. Επιπλέον, η έλλειψη απαραίτητων χημικών ουσιών μπορεί να εμποδίσει την αποτελεσματική απομάκρυνση των ρύπων θέτοντας εξίσου σε κίνδυνο την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας. Ακόμη, όμως οι περιορισμένοι πόροι όπως το προσωπικό, ο εξοπλισμός και η διαθέσιμη γη μπορεί επίσης να περιορίσουν τη λειτουργική ικανότητα της μονάδας.

Παρουσία τοξικών ουσιών

Οι τοξικές ουσίες στα λύματα μπορούν να εμποδίσουν την αποτελεσματικότητα των μονάδων επεξεργασίας βλάπτοντας τους μικροοργανισμούς, που είναι υπεύθυνοι για τη διάσπαση των λυμάτων οδηγώντας στην απελευθέρωση ρύπων στο περιβάλλον. Μπορούν επίσης να καταστρέψουν τον εξοπλισμό αυξάνοντας το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Για παράδειγμα, τα βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και το κάδμιο είναι τοξικά για τους μικροοργανισμούς και τις υποδομές **το ίδιο** και οι οργανικοί ρύποι που προέρχονται από τα φυτοφάρμακα και τους διαλύτες.

Συντήρηση εξοπλισμού

Ο καλά συντηρημένος εξοπλισμός συμβάλλει σημαντικά στη συνολική απόδοση και αποτελεσματικότητα των διεργασιών επεξεργασίας λυμάτων. Η αποτελεσματική λειτουργία μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων απαιτεί περιοδική συντήρηση και καθημερινούς ελέγχους του συστήματος. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε απόφραξη αγωγών, δυσλειτουργία ορισμένων διεργασιών ακόμη και σε αποσταθεροποίηση του συστήματος, η οποία μπορεί να επηρεάσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της εκροής της μονάδας. Έπειτα, η εφαρμογή τακτικών ακολουθιών συντήρησης παρατείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού ελαχιστοποιώντας την εμφάνιση προβλημάτων και δαπανηρών επισκευών. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ένας μη ορθά συντηρημένος εξοπλισμός εμφανίζει απρόβλεπτες βλάβες με υψηλά κόστη επισκευής που αρκετές φορές πλησιάζουν την τιμή απόκτησης ενός νέου εξοπλισμού. Καταλήγοντας, ένας ορθά συντηρημένος εξοπλισμός σε βάθος χρόνου συμβάλει στην εξοικονόμηση ενεργειακών και οικονομικών πόρων.

Συνεπής διαθεσιμότητα λυμάτων

Η σταθερή διάθεση των λυμάτων επιτρέπει στη διαδικασία επεξεργασίας να λειτουργεί με βελτιωμένη απόδοση. Αυτό συμβαίνει, επειδή η κάθε μονάδα επεξεργασίας έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί βέλτιστα σε συγκεκριμένο ρυθμό ροής. Όταν, ο ρυθμός ροής παραμένει σταθερός η διαδικασία επεξεργασίας έχει εξίσου σταθερή απόδοση. Στην περίπτωση των βιομηχανικών λυμάτων η παραγωγή τους είναι σταθερή καθώς οι αντίστοιχες βιομηχανίες έχουν συχνά προβλέψιμα μοτίβα παραγωγής αποβλήτων.

Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν να έχουν μια σειρά επιπτώσεων στην απόδοση των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων. Το pH μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία των μικροοργανισμών και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου και των θρεπτικών συστατικών. Συμπληρωματικά οι καιρικές συνθήκες όπως οι έντονες βροχοπτώσεις μπορεί να επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία της μονάδας. Για τον περιορισμό αυτών των επιπτώσεων είναι σημαντικό να σχεδιάζονται και να λειτουργούν οι εγκαταστάσεις με τρόπο που να τους επιτρέπει να προσαρμόζονται στους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση συστημάτων αερισμού για την παροχή οξυγόνου, την προσαρμογή της δοσολογίας των χημικών και την παρακολούθηση του περιβάλλοντος για τον εντοπισμό αλλαγών που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση της μονάδας επεξεργασίας.

Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου

Τα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου συλλέγουν δεδομένα για διάφορες παραμέτρους επιτρέποντας τον έγκαιρο εντοπισμό προβλημάτων και την εφαρμογή διορθωτικών ενεργειών. Μπορούν επίσης να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών επεξεργασίας προσαρμόζοντας αυτόματα τις δόσεις των χημικών και τη ροή των λυμάτων. Με την αξιοποίηση αυτών των συστημάτων καθίσταται δυνατή η ομαλή λειτουργία και η συντήρηση των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων.

Κανονισμοί απόρριψης λυμάτων

Οι κανονισμοί απόρριψης λυμάτων θέτουν εθνικά πρότυπα επεξεργασίας και ελέγχου των λυμάτων για την κάλυψη των απαιτήσεων απόρριψης λυμάτων. Ως εκ τούτου παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του σχεδιασμού και της λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα πρότυπα απόρριψης λυμάτων [50].

Οι βελτιώσεις των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων αποσκοπούν στην κάλυψη των κάτωθι κριτηρίων:

- Αύξηση της ροής των λυμάτων που είναι σε θέση να επεξεργαστούν.
- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός ή περισσότερων σταδίων επεξεργασίας.
- Αντικατάσταση μηχανολογικού εξοπλισμού ενός ή περισσότερων σταδίων με πιο σύγχρονο εξοπλισμό στα πλαίσια εξοικονόμησης χώρου αλλά και βελτίωσης του επιπέδου καθαρισμού με το ίδιο ή μικρότερο ενεργειακό κόστος.

Άρα κάθε είδους βελτίωση απαιτεί και διαφορετικές ενέργειες. Εάν για παράδειγμα μια μονάδα επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων αυξήσει τη ροή των λυμάτων που επεξεργάζεται είναι πολύ πιθανό να χρειαστεί αντικατάσταση ενός μεγάλου τμήματος του εξοπλισμού της ή να δημιουργηθούν παράλληλες γραμμές εισροής λυμάτων όταν αυτό είναι εφικτό. Τέτοιου είδους τροποποιήσεις έχουν υψηλό κόστος ενώ ταυτόχρονα απαιτούν και αρκετό διαθέσιμο χώρο γύρω από την μονάδα. Όσον αφορά βελτιώσεις που μπορεί να γίνουν σε κάποιο συγκεκριμένο στάδιο επεξεργασίας των λυμάτων αυτές μπορεί να αφορούν την αντικατάσταση εξοπλισμού με νέο εξοπλισμό μικρότερων διαστάσεων ή άλλου εξοπλισμού που προσφέρει υψηλότερο επίπεδο καθαρισμού επιτρέποντας μικρότερους χρόνους επεξεργασίας. Επίσης, μπορεί να γίνει προσθήκη επιπλέον σταδίων επεξεργασίας τα οποία θα βελτιώσουν την απόδοση της μονάδας και την ποιότητα της τελικής εκροής. Τέλος, οι βελτιώσεις που αφορούν την ενεργειακή απόδοση της διαδικασίας καθαρισμού αποβλήτων μπορεί να γίνονται με δύο τρόπους. Αφενός όταν τερματίζεται η ωφέλιμη ζωή μιας συσκευής όπως μια φυγοκεντρική αντλία να γίνεται αντικατάστασή της με μια νέα μικρότερης ενεργειακής κατανάλωσης. Σε γενικές γραμμές οι ΜΚΑ σχεδιάζονται έτσι ώστε ο εξοπλισμός τους να έχει ωφέλιμη ζωή 8–10 έτη εκτός από περιπτώσεις εμφάνισης απρόβλεπτων βλαβών. Αφετέρου οι ενεργειακές ανάγκες της μονάδας εν μέρη μπορεί να καλυφθούν με την εγκατάσταση διεργασιών που πέραν του καθαρισμού των αποβλήτων παράγουν και καύσιμο προς εκμετάλλευση (βιοαέριο). Η αναερόβια χώνευση συγκεκριμένων ρευμάτων αποβλήτων προσφέρει το πλεονέκτημα της παραγωγής ενέργειας. Να σημειωθεί ότι, τέτοιου είδους βελτιώσεις μπορεί να εφαρμοστούν σε μονάδες επεξεργασίας τόσο αστικών όσο και βιομηχανικών λυμάτων.

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας θα αρχίσουν να εντάσσονται σταδιακά νέες μεθοδολογίες στην επεξεργασία των αποβλήτων. Ορισμένα παραδείγματα αυτών είναι τα εξής:

- Προηγμένη οξειδωση. Είναι μια διαδικασία κατά την οποία χρησιμοποιούνται χημικά αντιδραστήρια ή ελεύθερες ρίζες για τη διάσπαση των επίμονων οργανικών ρύπων στα λύματα. Αυτή η τεχνολογία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για τη διαχείριση χημικών ενώσεων, οι οποίες είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν με τις συμβατικές μεθόδους.
- Υπερδιήθηση και αντίστροφη όσμωση. Το νερό διοχετεύεται μέσω των μεμβρανών υπό υψηλή πίεση αφήνοντας πίσω τους ρύπους και παράγοντας καθαρό νερό που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εφαρμογές.
- Φωτοκαταλυτική οξειδωση. Αυτή βασίζεται στη χρήση ενός καταλύτη (διοξειδίου του τιτανίου) που ενεργοποιείται από το υπεριώδες φως (UV) για τη διάσπαση οργανικών ρύπων και μικροοργανισμών στα λύματα. Το υπεριώδες φως ενεργοποιεί τον καταλύτη δημιουργώντας ελεύθερες ρίζες, οι οποίες οξειδώνουν και υποβαθμίζουν τους ρύπους.
- Αντιδραστήρες υπερήχων. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται χρήση υπερηχητικών κυμάτων υψηλής συχνότητας για την επεξεργασία των λυμάτων. Αυτά τα κύματα δημιουργούν μικροφουσαλίδες που καταρρέουν βίαια δημιουργώντας υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις έχοντας ως αποτέλεσμα την αποσύνθεση των ρύπων και των μικροοργανισμούς πετυχαίνοντας την αποτελεσματική απολύμανση του νερού.
- Φυσικά ή γενετικά ενισχυμένοι μικροοργανισμοί. Αυτή η τεχνική βασίζεται στη χρήση φυσικώς ενισχυμένων μικροοργανισμών για την επεξεργασία λυμάτων που εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις TOC/COD. Η τεχνική αυτή συνίσταται στην επιλογή συγκεκριμένων μικροοργανισμών και στη δημιουργία βελτιωμένων παραλλαγών τους. Η προσθήκη των μικροοργανισμών γίνεται στα διάφορα στάδια επεξεργασίας της μονάδας ανάλογα την περίπτωση.
- Ηλεκτροπήξη και ηλεκτροοξειδωση. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζει ηλεκτρικό ρεύμα για την εξάλειψη των ρύπων μέσω διαδικασιών πήξης και οξειδωσης [51].

5.2. Βελτιωτικές ενέργειες για την ΜΚΑ της ΒΙ.ΠΕ Πατρών

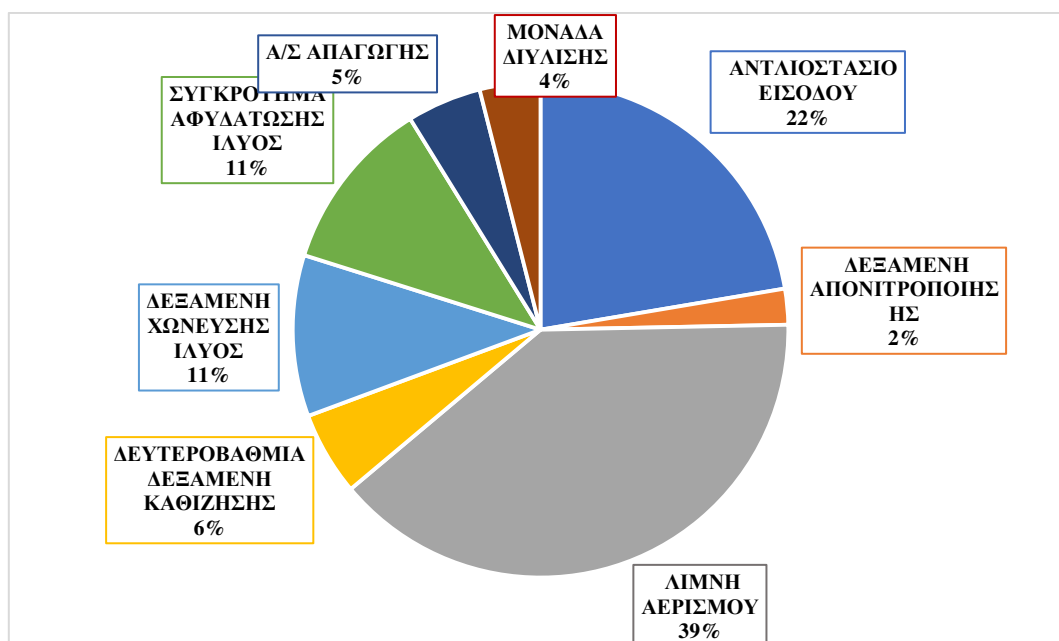
Στην Ενότητα 4.3 γίνεται αναφορά στις αποδόσεις λειτουργίας της ΜΚΑ, που όπως φαίνεται είναι ιδιαίτερα υψηλές. Στα πλαίσια της περαιτέρω βελτίωσης της λειτουργίας της μονάδας θα παρουσιαστούν ορισμένες προτάσεις που πιθανώς να ενισχύσουν την αποδοτικότητα της μονάδας.

- Όσον αφορά την προεπεξεργασία και την πρωτοβάθμια επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων που καταλήγουν στην μονάδα θα μπορούσε να ενισχυθεί η εσχάρωση των εισερχόμενων λυμάτων. Η βελτίωση της απομάκρυνσης των στερεών αποβλήτων στην εισροή της μονάδας θα μειώσει σημαντικά την φόρτιση του συστήματος.
- Συνδυασμός διεργασιών εξάμμωσης και λιποσυλλογής για ταυτόχρονη απομάκρυνση των βαρύτερων σωματιδίων καθώς και των λιπών και ελαίων που εισέρχονται στην μονάδα.
- Ενεργειακή αναβάθμιση των κινητήρων των επιφανειακών αεριστήρων στα πλαίσια της εξοικονόμησης ενέργειας και της αύξησης της αποδοτικότητας της μονάδας αφού θα επιτυγχάνεται καλύτερη επαφή των λυμάτων με το οξυγόνο.
- Οδήγηση των αντλιών ανακυκλοφορίας της δευτεροβάθμιας ιλύος με χρήση μετατροπέων συχνότητας στα πλαίσια της εξοικονόμησης ενέργειας και της καλύτερης ρύθμισης του συστήματος.
- Αντικατάσταση μέρους του μηχανολογικού εξοπλισμού με νέο για την μείωση των λειτουργικών εξόδων.
- Βελτίωση της διεργασίας πάχυνσης και αφυδάτωσης της ιλύος που προκύπτει από την επεξεργασία.
- Βελτίωση- αναβάθμιση του συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου της μονάδας (συστημάτων βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας-SCADA).

Επίσης, βελτιώσεις θα μπορούσαν να γίνουν όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας για τις διεργασίες της μονάδας. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά πάνελ που θα καλύψουν ένα μεγάλο ποσοστό της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Με γνώμονα την περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στα πλαίσια της αύξησης της αποδοτικότητας των διεργασιών θα ήταν σκόπιμο να αντικατασταθεί ο μηχανολογικός εξοπλισμός με νέο χαμηλότερης ισχύος. Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας στις διάφορες διεργασίες της

μονάδας. Όπως φαίνεται στο σχήμα το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας εμφανίζεται κατά το στάδιο του αερισμού των λυμάτων (δεξαμενή αερισμού). Η λειτουργία των επιφανειακών αεριστών και των υποβρύχιων αναδευτήρων στο αερόβιο στάδιο επεξεργασίας της μονάδας είναι από τα πλέον ενεργοβόρα. Η κατανάλωση ενέργειας αγγίζει το 40% επί του συνόλου της καταναλισκόμενης ενέργειας της μονάδας ,αυτό επιβεβαιώνεται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία αλλά και λαμβάνοντας υπόψιν τις καταναλώσεις ενέργειας της μονάδας [52].



Σχήμα 5.1. Ποσοστά απαιτούμενης ενέργειας σε διάφορα στάδια της μονάδας επεξεργασίας.

Να σημειωθεί ότι, τα παραπάνω ποσοστά υπολογίστηκαν με βάση την συνολική κατανάλωση ενέργειας στην μονάδα από την λειτουργία αντλιών, μεταφορικών κοχλιών, αεριστών, αναδευτήρων, κτλ. Σύμφωνα με την ισχύ που φέρει ο κάθε επιμέρους μηχανολογικός εξοπλισμός.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες ενδεικτικές αλλαγές που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στα επιμέρους στάδια επεξεργασίας της μονάδας.

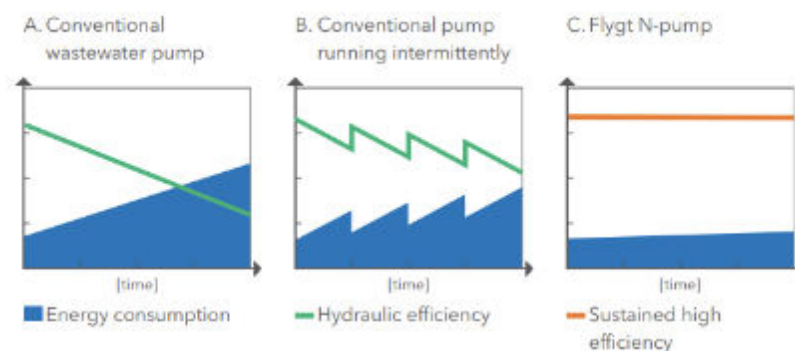
Τροποποίηση λειτουργίας αντλιών εισόδου

Οι τέσσερις (4) αντλίες εισόδου που χρησιμοποιεί η μονάδα είναι ξηρού τύπου και έχουν παροχευτική ικανότητα της τάξης των 83 l/s με μια μέση κατανάλωση ισχύος 30kW η καθεμία. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται αντλίες της εταιρίας Flygt (CT 3201.180 HT458) κατασκευασμένες από χυτοσίδηρο με δυνατότητα άντλησης σε

ύψος έως 20m. Επίσης, σε άλλα στάδια επεξεργασίας χρησιμοποιούνται αντλίες με μεγαλύτερη παροχευτική ικανότητα άντλησης αλλά και με δυνατότητα αυτοκαθαρισμού της ίδιας εταιρίας (Flygt N-pump Series) παρέχοντας πλεονεκτήματα στη λειτουργία της μονάδας όπως:

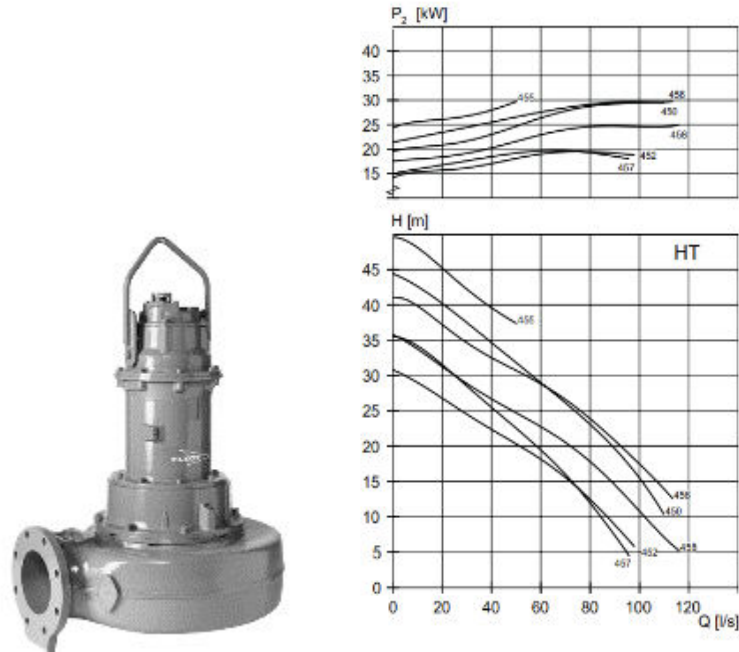
- Υψηλότερη απόδοση άντλησης
- Ικανότητα αυτοκαθαρισμού
- Καλύτερη μεταφορά θερμότητας λόγω του σχεδιασμού
- Μείωση κόστους συντήρησης
- Μεγαλύτερο χρόνο ζωής (ελάχιστο 50.000 ώρες)
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας

Στην είσοδο της μονάδας καταλήγουν στερεά σωματίδια, τα οποία συσσωρεύονται στο εσωτερικό της περωτής της αντλίας επιβαρύνοντας την λειτουργία της και αυξάνοντας ταυτόχρονα τις φθορές και τις καταπονήσεις. Οι συμβατικές αντλίες συχνά παρουσιάζουν πτώση της παροχευτικής τους ικανότητας ή ακόμα και παύση της λειτουργίας τους. Εάν μια συμβατική αντλία λυμάτων λειτουργεί κατά διαστήματα η συσσώρευση στερεών θα απομακρυνθεί όταν η αντλία απενεργοποιηθεί στο τέλος του κύκλου λειτουργίας της. Όταν ξεκινήσει ο επόμενος κύκλος η απόδοση επιστρέφει στην αρχική του τιμή καθώς η περωτή είναι απαλλαγμένη από στερεά αντικείμενα. Η χρήση αντλιών που φέρουν την ικανότητα του αυτοκαθαρισμού πλεονεκτεί σε σχέση με τις συμβατικές γιατί τα στερεά δεν συσσωρεύονται στην φτερωτή της αντλίας αλλά απομακρύνονται. Με τον τρόπο αυτό η υψηλή απόδοση της αντλίας διατηρείται με την πάροδο του χρόνου διατηρώντας έτσι και την κατανάλωση ενέργειας σε χαμηλά επίπεδα.(Σχήμα 5.2).

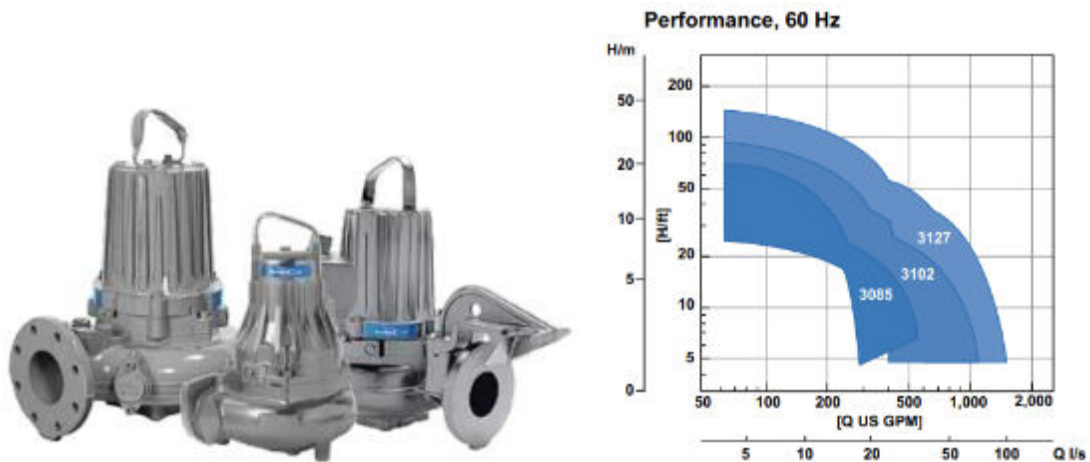


Σχήμα 5.2. Σύγκριση συμβατικής αντλίας Flygt (CT 3201.180 HT458) με την αντλία Flygt N-pump.

Στις Εικόνες 5.1 και 5.2 παρουσιάζονται οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στην μονάδα και οι αντίστοιχες καμπύλες λειτουργίας τους. Μανομετρικό ύψος ως προς την παροχή και ισχύς ως προς την παροχή για διαφορετικές φερωτές.



Εικόνα 5.1. Αντλία Flygt (CT 3201.180 HT) και η καμπύλη λειτουργίας της[53].



Εικόνα 5.2. Αντλία Flygt N-pumps (Low capacity pumps) καμπύλες λειτουργίας διάφορων τύπων φερωτών σε συνδυασμό του μανομετρικού ύψους και της παροχής[54].

Οι συγκεκριμένες αντλίες έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν με συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου και ενσωματώνονται εύκολα στα ήδη τοποθετημένα συστήματα ελέγχου SCADA για την άμεση αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων.

Μια προτεινόμενη τροποποίηση της συνολικής λειτουργίας τους θα ήταν η τροποποίηση των ήδη υπάρχουσών ώστε να συνδέονται με inverter ώστε να υπάρχει καλύτερη ρύθμιση της ανακυκλοφορίας. Με την χρήση Inverter θα δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης των στροφών και κατά συνέπεια της παροχής των αντλιών ανάλογα με την συγκέντρωση ιλύος στο ρεύμα ανακυκλοφορίας. Η δυνατότητα ρύθμισης της ανακυκλοφορούσας ιλύος στο σύστημα βελτιώνει την απόδοση του συστήματος και εξοικονομεί ενέργεια.

Αντικατάσταση χονδροεσχάρας και λεπτοεσχάρας

Προηγουμένως αναφέρθηκε σαν κύρια αιτία δαπανηρής συντήρησης ή και καταστροφής των αντλιών η απόφραξη αυτών από στερεά. Τα βιομηχανικά καθώς και τα αστικά λύματα μπορεί να περιέχουν μεγάλα στερεά που αποτελούνται από υπολείμματα τα οποία μπορούν να βλάψουν τον εξοπλισμό της μονάδας επεξεργασίας. Ένας από τους τρόπους για να αφαιρεθούν αυτά τα στερεά είναι η εγκατάσταση σχαρών, που διατίθενται σε διάφορους τύπους σχήματα και μεγέθη και μπορεί να διακριθούν σε δύο απλές κατηγορίες: χοντρές και λεπτές σχάρες. Οι χοντρές σχάρες αφαιρούν μεγάλα στερεά και άλλα υπολείμματα με μέγεθος που κυμαίνεται από 0.25 έως 6 ίντσες. Σε γενικές γραμμές οι μεγαλύτερες σύγχρονες εγκαταστάσεις επεξεργασίας εγκαθιστούν σχάρες τύπου ράβδου, που καθαρίζονται μηχανικά ενώ οι μικρές και παλιότερες εγκαταστάσεις είναι πιθανόν να χρησιμοποιούν σχάρες τύπου ράβδου που καθαρίζονται με το χέρι. Στην δεύτερη περίπτωση το κόστος συντήρησης είναι μικρότερο ωστόσο χρειάζεται ο συχνός καθαρισμός από τον υπεύθυνο χειριστή. Συνεπώς, η πλειονότητα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας στρέφεται προς τις αυτόματες σχάρες ράβδου μηχανικού καθαρισμού για τους ακόλουθους λόγους:

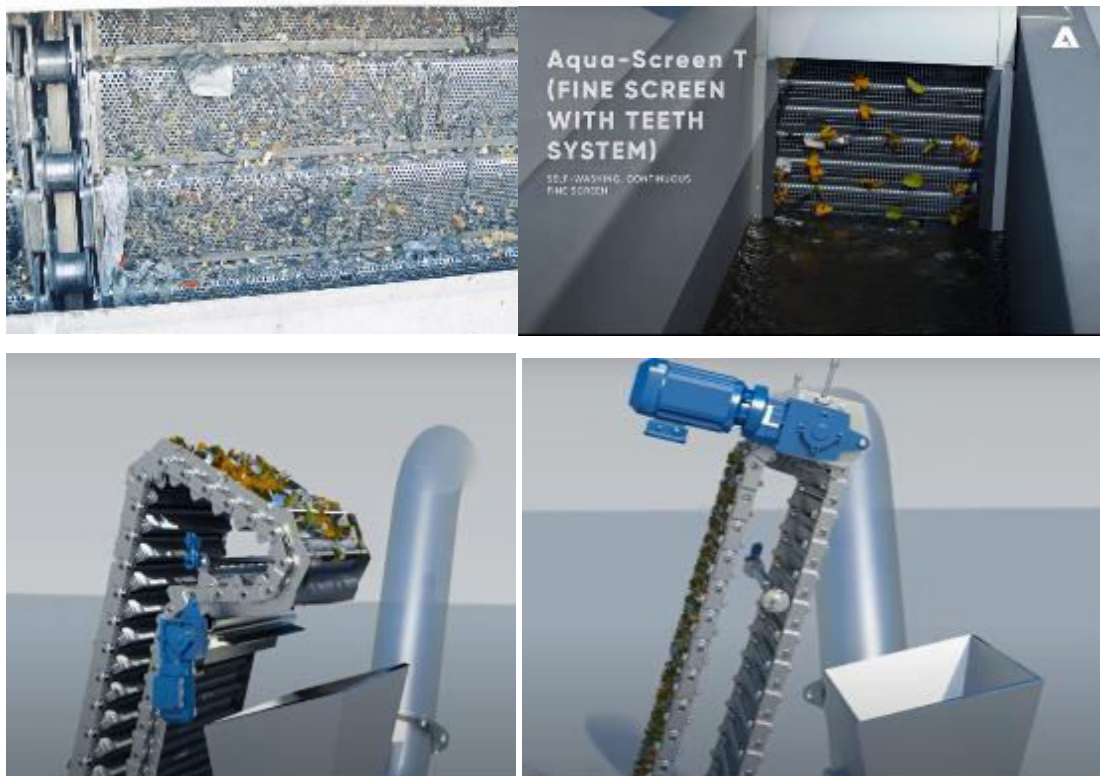
- ✓ Έχουν υψηλότερο ποσοστό ρυθμού διαλογής.
- ✓ Παρέχονται βελτιωμένες συνθήκες ροής μέσω της σχάρας.
- ✓ Αφαιρούν αυτόματα τα στερεά δεν απαιτείται χειροκίνητος καθαρισμός.

Όπου οι χονδροεσχάρες χρησιμοποιούν ράβδους για την αφαίρεση στερεών, οι λεπτές σχάρες χρησιμοποιούν συρμάτινο ύφασμα, σύρμα ή διάτρητες πλάκες. Συνήθως σε μικρότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν λεπτές σχάρες αντί του πρωτογενούς καθαρισμού. Τα λεπτά ανοίγματα της σχάρας κυμαίνονται συνήθως από 0.06 έως 0.25 ίντσες. Τα μικρότερα

ανοίγματα επιτρέπουν στις λεπτές σχάρες να αφαιρούν το 20 έως 35% των αιωρούμενων στερεών καθώς και του BOD₅. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν στατικά σύρματα σφήνας, περιστροφικό τύμπανο ή λεπτές σχάρες. Οι στατικές σχάρες με σφηνοειδή σύρματα χρησιμοποιούνται συνήθως σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων. Σε σύγκριση με τις στατικές σχάρες με σύρμα σφήνας οι σχάρες τυμπάνων μπορούν να χειριστούν μεγαλύτερες ροές και μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Οι σχάρες που διαθέτουν σκαλοπάτια είναι συγκριτικά νεότερη τεχνολογία όπου τα υπολείμματα ανυψώνονται στην σχάρα μέσω σταθερών και κινητών πλακών, η κίνηση της πλάκας παρέχει επίσης δυνατότητα αυτοκαθαρισμού [55].

Στην ΜΚΑ της ΒΙ.ΠΕ. χρησιμοποιούνται λεπτοεσχάρες (κατασκευαστής ECOTECH) και χονδροεσχάρες (κατασκευαστής ANDRITZ). Ωστόσο η λεπτοεσχάρα χρήζει βελτιώσεων η θα μπορούσε να αντικατασταθεί με νέα.

Όσον αφορά την χονδροεσχάρα θα ήταν εφικτό να αντικατασταθεί με μια νέα της ίδιας εταιρίας, που θα διαθέτει και την δυνατότητα αυτοκαθαρισμού, χάρη στη ρυθμιζόμενη βούρτσα καθαρισμού και την αμφίδρομη ράμπα ψεκασμού που διαθέτει (Εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3. Χονδροεσχάρα και η λειτουργία αυτοκαθαρισμού της [56].

Προσθήκη Λιποσυλλέκτη

Καθώς στην ΜΚΑ καταλήγουν και απόβλητα από βιομηχανίες λιπών και ελαίων θεωρείται ότι θα ήταν σκόπιμη η προσθήκη λιποσυλλέκτη κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία της εισόδου των αποβλήτων. Ωστόσο, θα μπορούσε να μεσολαβήσει και μονάδα αποδόμησης αυτών με ένζυμα και βιοεπιφανειοδραστικές ενώσεις, που θα υδρολύουν και θα απομακρύνουν με αυτό τον τρόπο μεγάλες συγκεντρώσεις στις απορροές της μονάδας. Όσον αφορά, την επεξεργασία των λιπών κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία που θεωρείται και η πιο αποτελεσματική κατά την λειτουργία μιας μονάδας επεξεργασίας θα μπορούσε συγκεκριμένα να χρησιμοποιηθεί το σύστημα απομάκρυνσης και ανάκτησης λαδιού Model 6V Brill από την Oil Skimmers Inc. (Εικόνα 5.4). το οποίο μπορεί να εξαλείψει την ανάγκη για πρόσθετη χημική επεξεργασία των λυμάτων καθώς και να μειώσει τον όγκο των στερεών αποβλήτων που απομακρύνονται διαχωρίζοντας συνεχώς την ελαϊκή φάση από την υδατική του εισερχόμενου αποβλήτου.

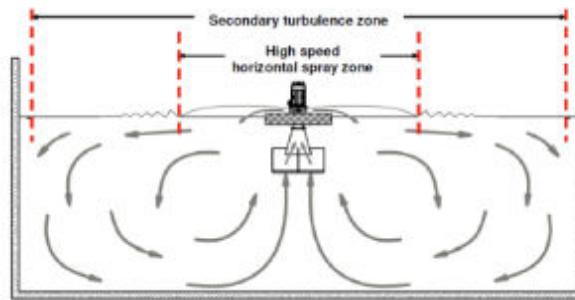


Εικόνα 5.4. Διαχωριστής λαδιού-νερού Oil Skimmers Inc. που διαθέτει Triple Action Knock Out (ΤΑΚΟ). ο οποίος μειώνει γρήγορα τα αρχικά υψηλά επίπεδα λαδιού ενώ παρέχει αποτελεσματικό διαχωρισμό λαδιού.

Η λειτουργία του συγκεκριμένου διαχωριστή βασίζεται στην συσσώρευση των λιπών και ελαίων στην επιφάνεια λόγω του ότι είναι ελαφρύτερα από το νερό. Τα έλαια που ανεβαίνουν στην επιφάνεια καταλήγουν σε μια παγίδα όπου και ανακτάται αμέσως από τον πλωτό σωλήνα και στη συνέχεια ρέει σε ένα δοχείο συλλογής. Με τη λειτουργία του συστήματος αυτού η ποιότητα του νερού θα βελτιωθεί. Έχει προκύψει ότι μόνο τον πρώτο χρόνο λειτουργίας. το σύστημα εξοικονόμησε σε εταιρία που το χρησιμοποίησε περίπου 20.000 \$ [57].

Αντικατάσταση πλωτών επιφανειακών αεριστών και υποβρύχιων αναδευτήρων

Η χρήση πλωτών επιφανειακών αεριστών σε μια τυπική λίμνη αερισμού μιας μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων μπορεί να οδηγήσει σε απομάκρυνση BOD₅ ακόμη και 80 έως 90% με χρόνους κατακράτησης από 1 έως 10 ημέρες. Οι δεξαμενές μπορεί να έχουν βάθος από 1.5 έως 5.0 μέτρα. Στο επιφανειακό σύστημα αερισμού οι αεριστές παρέχουν δύο λειτουργίες: μεταφέρουν αέρα μέσα στις δεξαμενές που απαιτείται για βιολογικές αντιδράσεις οξείδωσης και παρέχουν την απαιτούμενη ανάμειξη μέσω διασποράς του αέρα και καλύτερη επαφή με τα αντιδρώντα (Εικόνα 5.5). Συνήθως, οι επιφανειακοί αεριστές μπορούν να παρέχουν ποσότητα αέρα που ισοδυναμεί με 1.8 έως 2.7 kg O₂/kWh.



Εικόνα 5.5. Αεριστές και λειτουργία αυτών.

Οι επτά αεριστές που διαθέτει η μονάδα είναι των κατασκευαστικών οίκων Flender και Hansen ισχύος 22KW - 30kW. Ενώ, οι υποβρύχιοι αναδευτήρες είναι της εταιρίας Wilo (TR60-230-4/16+T17-4/16R). Βασισμένοι στην συνεχόμενη ανάπτυξη της τεχνολογίας, ο παραπάνω εξοπλισμός θα μπορούσε να αντικατασταθεί με νέο περισσότερο αποδοτικό αλλά και με μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση.

Ωστόσο, στην αγορά υπάρχουν συνδυασμένος εξοπλισμός που παρέχει την δυνατότητα αερισμού και ανάδευσης ταυτόχρονα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο υποβρύχιος μηχανικός αεριστής και αναδευτήρας Aquarator® της Hanshin Engineering (Εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.6. Υποβρύχιος Μηχανικός Αεριστής και Αναδευτήρας Aquarator®.

Τριτοβάθμια επεξεργασία ως στόχο την αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση για άρδευση

Τα τελευταία χρόνια, η παρατηρούμενη έλλειψη νερού ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης του πληθυσμού έχουν αναδείξει την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού ως βασική προτεραιότητα με σκοπό την διαφύλαξη της επάρκειας και της ποιότητας των υδατικών πόρων. Εκτός από τις αυξημένες ανάγκες σε πόσιμο νερό προκύπτουν πρόσθετες ανάγκες και για άλλες χρήσεις που απορρέουν από την αύξηση του πληθυσμού και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου όπως είναι η άρδευση καλλιεργειών, η βιομηχανία, η κτηνοτροφία κ.α. [58]. Η εξασφάλιση των απαραίτητων ποσοτήτων νερού οδηγούν σε υπερεκμετάλλευση των διαθέσιμων υδατικών πόρων και κατ' επέκταση στην υποβάθμισή τους. Εξαιτίας αυτού οι πολιτικές που αφορούν την διαχείριση των υδατικών πόρων σε παγκόσμιο επίπεδο τροποποιούνται και δίνεται έμφαση στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών νερού. Η εξέλιξη της τεχνολογίας στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχει αναδείξει τις μονάδες επεξεργασίας ως βασική πηγή ανακυκλωμένου νερού το οποίο θα πρέπει να καλύπτει κάποια κριτήρια επαναχρησιμοποίησης που σχετίζονται με την υγειονομική ασφάλεια, την περιβαλλοντική αποδοχή και την οικονομική σκοπιμότητα [59]. Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Η επαναχρησιμοποίηση κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων παρουσιάζει εγγενή οφέλη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος

και οικονομικά οφέλη σε συνάρτηση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής.

Στην Ελλάδα η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων πραγματοποιείται σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116 / 2011 (ΦΕΚ 354/Β/08.03.2011) και αφορά την άρδευση, την τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων, την αστική και περιαστική χρήση καθώς και την βιομηχανική χρήση. Σύμφωνα, με την παραπάνω νομοθεσία ανάλογα με τον βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων οι επιτρεπόμενες χρήσεις του επεξεργασμένου νερού διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Περιορισμένη άρδευση βιομηχανική χρήση και εμπλουτισμό υδροφόρου υπό όρους.
- Απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση (πλήν νερού ψύξης μιας χρήσης).
- Αστική – περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων.

Η περιορισμένη άρδευση αφορά καλλιέργειες που τα προϊόντα καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλη επεξεργασία και καλλιέργειες που τα προϊόντα δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος (καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες). Ακόμη η χρήση υδάτων για βιομηχανικούς σκοπούς (νερό ψύξης) και για τον εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα που δεν χρησιμοποιείται για πόση υπάγονται στην κατηγορία της περιορισμένης άρδευσης. Η περιορισμένη άρδευση επιτρέπεται μετά από τουλάχιστον δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση.

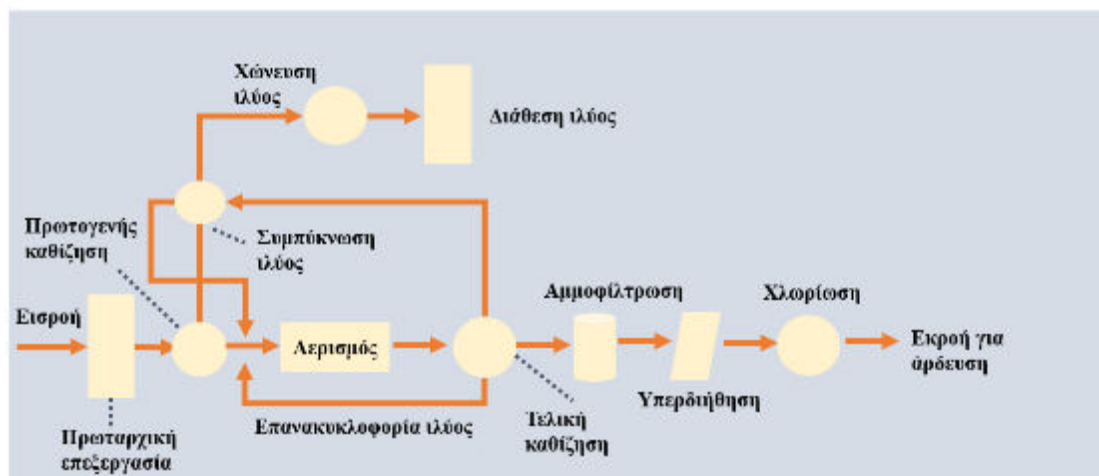
Στην δεύτερη κατηγορία της απεριόριστης άρδευσης υπάγεται η χρήση των επεξεργασμένων υδατικών αποβλήτων για όλα τα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά. Για να μπορεί το νερό να χρησιμοποιείται για σκοπούς απεριόριστης άρδευσης, ως ελάχιστη επεξεργασία θεωρείται η δευτεροβάθμια επεξεργασία, η οποία ακολουθείται από τριτοβάθμια και απολύμανση της εκροής.

Στην τελευταία κατηγορία χρήσης των υδάτων από μονάδες επεξεργασίας ανήκει η αστική - περιαστική χρήση και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων, που περιλαμβάνει το αστικό και περιαστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, τους χώρους αναψυχής, τις ανάγκες πυρόσβεσης, τον καθαρισμό δρόμων κλπ. Ο ελάχιστος βαθμός επεξεργασίας που θα ήταν επιθυμητό να έχουν υποστεί τα απόβλητα για αυτόν τον σκοπό είναι η δευτεροβάθμια επεξεργασία και η χρήση συστήματος μεμβρανών.

Και για τις τρεις περιπτώσεις η εκροή έπειτα από επεξεργασία θα πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια με τα όρια των παραμέτρων να ορίζονται από την αντίστοιχη Κ.Υ.Α., ενώ αφορούν τις συγκεντρώσεις ολικού αζώτου και φωσφόρου, BOD5, ολικών στερεών, υπολειπόμενου χλωρίου, μικροβιακών παραγόντων (π.χ E.coli) καθώς επίσης και τις συγκεντρώσεις μετάλλων.

Στην παρούσα μελέτη, που αφορά την μονάδα επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων της ΒΙ.ΠΕ Πατρών τα επεξεργασμένα απόβλητα έπειτα από απολύμανση οδηγούνται με υποθαλάσσιο αγωγό στον θαλάσσιο αποδέκτη. Η μονάδα θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί με την εφαρμογή τριτοβάθμιας επεξεργασίας, η οποία θα λειτουργούσε συμπληρωματικά με την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία. Το αποτέλεσμα της παραπάνω προσθήκης θα είναι η απομάκρυνση των υπολειμματικών οργανικών και των ανόργανων ουσιών και των διαλυμένων ουσιών στον βαθμό που απαιτείται έτσι ώστε η εκροή να χρησιμοποιείται για σκοπούς άρδευσης όπως περιγράφεται παραπάνω. Οι διαδικασίες τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι κυρίως φυσικοχημικής φύσεως και περιλαμβάνουν απολύμανση, οξείδωση, προσθήκη χημικών για τη διόρθωση της ποιότητας του νερού, χημικά υποβοηθούμενη καθίζηση, διήθηση (χρήση μεμβρανών), αποσκλήρυνση, επεξεργασία με χρήση ενεργού άνθρακα, ανταλλαγή ιόντων και αντίστροφη όσμωση.

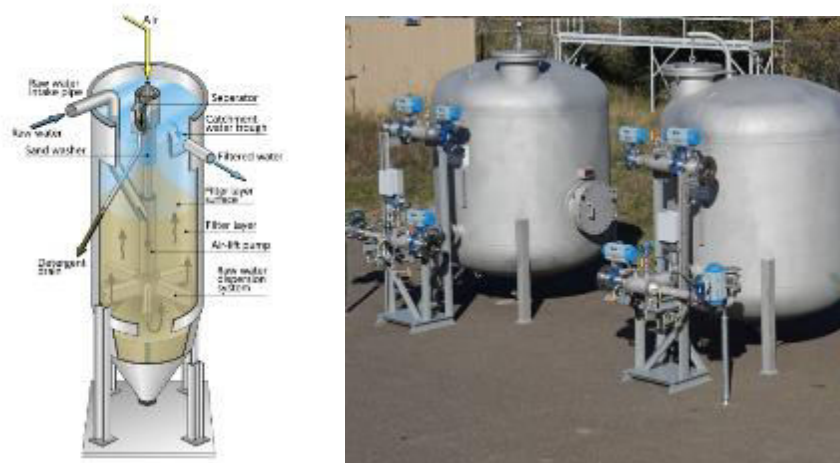
Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα μπορούσε να προταθεί η μεσολάβηση διεργασιών αμμοφίλτρωσης και μεμβρανών υπερδιήθησης πριν από το στάδιο της χλωρίωσης ώστε η τελική εκροή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Ένα προτεινόμενο σχεδιάγραμμα της διεργασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3. Επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων (τριτοβάθμια επεξεργασία) στην ΜΚΑ της ΒΙΠΕ Πατρών για χρήση της εκροής για άρδευση.

Όσον αφορά, την χρήση αμμοφίλτρωσης θα οδηγήσει στην αφαίρεση αιωρούμενων στερεών λεπτότερων μεγεθών καθώς μπορούν να φιλτράρουν σωματίδια έως και 50-100 micron. Σε αυτά τα φίλτρα χρησιμοποιείται ένα μόνο μέγεθος μέσου διήθησης. Για παράδειγμα, το πληρωτικό υλικό μπορεί να είναι χαλαζιακή άμμος (quartz) με διαφορετικό μέγεθος κόκκων, το οποίο θα καθορίσει και το εύρος του μεγέθους των σωματιδίων που φιλτράρονται [60].

Επιπλέον, για παρόμοια χρήση υπάρχουν και συστοιχίες φίλτρων άμμου πολλαπλών μέσων για την απομάκρυνση σωματιδίων με μέγεθος έως και 10-25 micron, που μπορούν να επιτύχουν φιλτράρισμα έως και 5 micron ανάλογα με το μέγεθος και τη διάταξη του φίλτρου. Καθώς το νερό ρέει προς τα κάτω μέσω της κλίνης συναντά στρώματα μέσων διήθησης με μειωμένο πορώδες και διαδοχικά μικρότερα σωματίδια αφαιρούνται από κάθε στρώμα. Ωστόσο, το κόστος τέτοιου είδους εγκαταστάσεων είναι ιδιαίτερα υψηλό.



Εικόνα 5.7. Φίλτρο χαλαζιακής άμμου (αριστερά) και φίλτρα πολλαπλών μέσω στρωμάτων (δεξιά).

Ορισμένα πλεονεκτήματα αυτών των φίλτρων είναι τα εξής:

- Αφαίρεση διαφόρων αιωρούμενων σωματιδίων.
- Αποτελεσματική μείωση των βακτηρίων και των πρωτόζωων.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης και εύκολο στη λειτουργία.
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής καθώς παρέχεται η δυνατότητα αντίστροφης πλύσης και απομάκρυνση με αυτόν τον τρόπο των ρύπων, που συσσωρεύονται στο υλικό στην κλίση του φίλτρου.

- Αποτελεσματική αφαίρεση σωματιδίων

Για παράδειγμα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα αμμοφίλτρωσης της εταιρίας Vortisand® Industrial Filtration System.. της εταιρίας Enoqua (Xylem) υψηλής χωρητικότητας, που συνδυάζει δυναμική διασταυρούμενη ροή για την επίτευξη υψηλής απόδοσης φιλτραρίσματος. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στη μονάδα να λειτουργεί με ρυθμούς φιλτραρίσματος έως και 5 φορές μεγαλύτερους από τα παραδοσιακά φίλτρα [61].

Στην συνέχεια, το νερό που θα εξέρχεται από το φίλτρο άμμου θα μπορούσε να εισέλθει σε ένα σύστημα ημιπερατών μεμβρανών υπερδιήθησης με μέγεθος πόρων μικρότερο από 1μm. όπου μπορούν να απορριφθούν μεγαλύτερα σωματίδια αλλά και να κατακρατηθούν παράσιτα και βακτήρια. Ωστόσο, η χλωρίωση ή ακόμη και ο καθαρισμός με UV επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα ως προς την απομάκρυνση παθογενειών από το νερό.

Σε σύγκριση με τη συμβατική επεξεργασία λυμάτων η ενσωμάτωση της τεχνολογίας μεμβρανών έχει αρκετά πλεονεκτήματα όπως ο μικρός εξοπλισμός, η απλή λειτουργία, το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, η υψηλή απόδοση επεξεργασίας και η ισχυρή ικανότητα καθαρισμού των λυμάτων. Ως εκ τούτου, η τεχνολογία μεμβρανών χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων. Η τεχνολογία υπερδιήθησης εφαρμόζεται σε επεξεργασία λυμάτων βαφών, χαρτοποιίας, ελαιωδών, βαρέων μετάλλων και λυμάτων τροφίμων [62].[63]. Μια διάταξη μεμβρανών υπερδιήθησης φαίνεται στο Εικόνα 5.8.



Εικόνα 5.8. Συσκευή υπερδιήθησης [64].

Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν συστήματα μεμβρανών υπερδιήθησης της εταιρίας Lenntech και συγκεκριμένα η σειρά Kristal® που είναι κατασκευασμένα από υδρόφιλα πολυμερικά υλικά με ικανότητα να ανταπεξέρχονται σε διάφορες διακυμάνσεις της εισροής προς επεξεργασία παρέχοντας ωστόσο σταθερή ποιότητα διήθησης [65].

Παρόμοιοι συνδυασμοί σταδίων επεξεργασίας αναφέρονται στην υπάρχουσα βιβλιογραφία με ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου ύδατος [66].[67].

Η περαιτέρω χλωρίωση βελτιώνει τα χαρακτηριστικά της εκροής πληρώντας τα απαιτούμενα ποιοτικά πρότυπα ώστε να καταστεί δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του επεξεργασμένου πλέον νερού για άρδευση. Το νερό της εκροής ανάλογα με το αν θα χρησιμοποιηθεί για περιορισμένη- απεριόριστη άρδευση ή αστική χρήση θα πρέπει να φέρει τα χαρακτηριστικά του παρακάτω Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1. Όρια παραμέτρων για την περιορισμένη - απεριόριστη άρδευση αστική χρήση σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/2011.

Περιορισμένη άρδευση και βιομηχανική χρήση νερού ψύξης	Απεριόριστη άρδευση	Επαναχρησιμοποίηση σε αστική και περιαστική χρήση
---	----------------------------	--

E-coli (EC/100ml)	≤ 200 διάμεση τιμή	E-coli (EC/100ml)	≤ 5 για το 80% των δειγμάτων ≤ 50 για το 95% των δειγμάτων	T-coli (TC/100ml)	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων ≤ 20 για το 95% των δειγμάτων
BOD ₅	≤ 25 mg/l	BOD ₅	≤ 10 mg/l για το 80% των δειγμάτων	BOD ₅	≤ 10 mg/l για το 80% των δειγμάτων
SS	≤ 35 mg/l	SS	≤ 10 mg/l για το 80% των δειγμάτων	SS	≤ 2 mg/l για το 80% των δειγμάτων
TN	≤ 45 mg/l	TN	≤ 45 mg/l	TN	≤ 15 mg / l
	≤ 15 mg / l (για περιοχές με νιτρορύπανση)		≤ 15 mg / l (για περιοχές με νιτρορύπανση)	N-NH ₄	≤ 2 mg/l
TP	-	N-NH ₄	≤ 2 mg/l (για περιοχές με νιτρορύπανση)	TP	
Υπολ. Χλώριο	L/W ≥ 40	TP	-	Θολότητα	< 2 NTU διάμεση τιμή
	T _{επαφής} ≥ 30min	Θολότητα	< 2 NTU διάμεση τιμή	Υπολ. Χλώριο	≥ 2 mg/l
	C*T _{επαφής} > 30mg min/l	Υπολ. Χλώριο	≥ 2 mg/l L/W ≥ 40 T _{επαφής} ≥ 60min		L/W ≥ 40 T _{επαφής} ≥ 60min

Όλες οι παραπάνω προτάσεις που αφορούν τόσο τον εκσυγχρονισμό του εξοπλισμού όσο και την προσθήκη νέων σταδίων στην διεργασία της επεξεργασίας των βιομηχανικών αποβλήτων φαίνεται όπως παρουσιάζονται να έχουν υψηλό κόστος για την μονάδα. Ωστόσο, μια αναλυτική οικονομοτεχνική έκθεση θα μπορούσε να δώσει αναλυτικά τα υπέρ και τα κατά των παραπάνω βελτιωτικών κινήσεων κάτι που δεν αποτελεί κομμάτι της παρούσας εργασίας.

6. Συμπεράσματα

Το θέμα της διαχείρισης των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο εξαιτίας της ποικιλίας, που παρουσιάζουν τα διάφορα απόβλητα συγκριτικά με τα αστικά, όσον αφορά τόσο τα ποιοτικά όσο και τα ποσοτικά τους χαρακτηριστικά. Συχνά έχουν αυξημένες ποσότητες ανόργανων αλάτων, όξινων και βασικών, σημαντική ποσότητα λιπών και ελαίων, τοξικών ουσιών, αυξημένη

θερμοκρασία ή ακόμη και ραδιενεργά υλικά. Η άμεση εξάρτηση από την παραγωγική διαδικασία καθώς και οι συγκεκριμένες πρακτικές και συνήθειες των διαφόρων βιομηχανικών μονάδων δημιουργούν ποσοτικές και ποιοτικές διακυμάνσεις, που είναι συχνά εξαιρετικά σημαντικές. Ορισμένα από τα συστατικά, που περιέχουν τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα τα καθιστούν μη επεξεργάσιμα με βιολογικές διεργασίες εξαιτίας είτε της τοξικότητας αυτών είτε της μη βιοαποδομησιμότητάς τους. Σ' αυτές τις περιπτώσεις επιδιώκεται πρώτα η αφαίρεση των ανασταλτικών παραγόντων με φυσικοχημικές διεργασίες που καθιστούν τα απόβλητα βιολογικά επεξεργάσιμα. Εκτός από την παρουσία τοξικών ουσιών για τα έμβια όντα τα βιομηχανικά απόβλητα ιδιαίτερα των αγροβιομηχανικών μονάδων συχνά χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ενώσεων. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται κάποια μορφή προεπεξεργασίας πριν αυτά διατεθούν στο περιβάλλον. Η διαχείριση των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων ακολουθεί κανονισμούς της ισχύουσας νομοθεσίας σχετικά με τη διάθεση των αποβλήτων στους αποδέκτες με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος. Με βάση αυτό οι μονάδες επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων λειτουργούν με συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών οι οποίες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε το τελικό απόβλητο να μπορεί να διατεθεί απ' ευθείας σε κάποιο φυσικό αποδέκτη. Αξίζει να σημειωθεί η πιθανότητα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης πρώτων υλών, νερού και ενέργειας. Οι στρατηγικές, που ακολουθούνται κάθε φορά βασίζονται στην εκτίμηση της εισροής (ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά), στην μείωση του κόστους λειτουργίας (χρήση νέου εξοπλισμού-λιγότερη ενέργεια), στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών επεξεργασίας (μεμβράνες, χρήση μικροοργανισμών για περιορισμό COD, BOD₅ και οργανικών ενώσεων στην εκροή) καθώς και στην αύξηση της απόδοσης της μονάδας κάτι το οποίο αποτελεί συνέπεια των παραπάνω.

Στην παρούσα εργασία που μελετήθηκε η περίπτωση της μονάδας καθαρισμού αποβλήτων του Βιομηχανικού Πάρκου Πατρών διαπιστώθηκε ότι παρά την εισροή αποβλήτων στη μονάδα με μεγάλες διακυμάνσεις ως προς τα χαρακτηριστικά της σύστασης τους λόγω των διαφορετικών βιομηχανιών που απορρίπτουν στην μονάδα τα απόβλητα τους λειτουργεί εύρυθμα. Η υψηλή απόδοση απομάκρυνσης βιοχημικά και χημικά απαιτούμενου οξυγόνου, ολικών αιωρούμενων και διαλυμένων στερεών καθώς και ολικού αζώτου και φωσφόρου επιβεβαίωσαν την αποτελεσματική λειτουργία της μονάδας. Συνεπώς, προτείνονται ορισμένες ενέργειες που θα

αυξήσουν ακόμη περισσότερο την απόδοση της, οι οποίες επικεντρώνονται κυρίως στη βελτιστοποίηση του ήδη υπάρχοντος μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιεί η μονάδα. Ακόμη, για την βελτιστοποίηση της μονάδας προτείνεται η περαιτέρω εγκατάσταση νέων σταδίων στην επεξεργασία (τριτοβάθμια επεξεργασία) με χρήση φίλτρων άμμου και μεμβρανών υπερδιήθησης που θα βελτιώνουν την ποιότητα του νερού που εξέρχεται ώστε αυτό να μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για άρδευση και να μην καταλήγει αποκλειστικά στον θαλάσσιο αποδέκτη.

Βιβλιογραφία

- [1]. Statista Industrial production growth worldwide 2019-2023. by region Statista Research Department. Sep 8. 2023. <https://www.statista.com/statistics/1033936/industrial-production-growth-worldwide/>).
- [2]. Obotey Ezugbe. E., Rathilal. S.. 2020. Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. Membranes. 10(5). 89. doi:10.3390/membranes10050089
- [3]. Cecconet. D., Callegari. A., Hlavínek. P., Capodaglio. A. G.. 2019. Membrane bioreactors for sustainable. fit-for-purpose greywater treatment: a critical review. Clean Technologies and Environmental Policy. doi:10.1007/s10098-019-01679-z
- [4]. <https://www.expertmarketresearch.com/reports/industrial-wastewater-treatment-market>
- [5]. Sonune. A., & Ghatge. R.. 2004. Developments in wastewater treatment methods. Desalination. 167. 55–63. doi: 10.1016/j.desal.2004.06.113
- [6]. Crini. G.. 2005. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. Progress in Polymer Science. 30(1). 38–70. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2004.1

- [7]. Cox M., Négré P., Yurramendi L., 2007. Industrial liquid effluents. INASMET Tecnalia. San Sebastian. p 283
- [8]. Sharma S.K. (ed). 2015. Green chemistry for dyes removal from wastewater. Scrivener Publishing LLC Wiley. Beverley
- [9]. Crini. G., & Lichtfouse. E., 2018. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. Environmental Chemistry Letters. doi:10.1007/s10311-018-0785-9
- [10]. Wang. Y., & Serventi. L., 2019. Sustainability of dairy and soy processing: a review on wastewater recycling. Journal of Cleaner Production. 117821
- [11]. Xu. S., Liu. Y., Yu. Y., Zhang. X., Zhang. J., & Li. Y., (2020). PAN/PVDF chelating membrane for simultaneous removal of heavy metal and organic pollutants from mimic industrial wastewater. Separation and Purification Technology. 235. 116185.
- [12]. Chatzipaschali. A., A., & Stamatis. A., G., 2012. Biotechnological utilization with a focus on anaerobic treatment of cheese whey: current status and prospects. Energies 5: 3492-3525).
- [13]. Αρμακάς Δ., 2020. Συγκριτική μελέτη του σχεδιασμού εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων στην Ελληνική επικράτεια. Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα. Διπλωματική εργασία
- [14]. Γεωργιοπούλου. Μ., 2007. Ανάπτυξη μεθόδων για την επιλογή της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας για την επεξεργασία υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Χημικών Μηχανικών. Διδακτορική Διατριβή. <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/15450>.
- [15]. Παπακωνσταντίνου. Χ. Α., 2002. Διαχείριση υγρών βιομηχανικών αποβλήτων: η περίπτωση βιομηχανικής παραγωγής απορρυπαντικών στην Ελλάδα. Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων. Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών : Διοίκηση Ολικής Ποιότητας. Διπλωματική Εργασία <http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/71/DT20030011.pdf?sequence=1>
- [16]. Denit J.D., Director Effluent Guidelines Division Ernst P. Hall. P.E., Chief Metals and Machinery Branch Mary L. Belefski Project Officer September. 1984. VOLUME ·II DEVELOPMENT DOCUMENT for EFFLUENT LIMITATIONS GUIDELINES AND STANDARDS. for the BATTERY MANUFACTURING POINT

- SOURCE CATEGORY. Environmental Protection Agency Effluent Guidelines Division Office of Water Regulations and Standards Washington, D.C. 20460
- [17]. <https://latwater.com/news/which-industries-produce-the-most-toxic-wastewater>
- [18]. Burton A., Ballinger S., Hasler S., 2013. Food and drink manufacturing water demand projections to 2050: Main report. 10.13140/RG.2.1.4808.0241.
- [19]. Mofrad, M. M. G., Pourzamani, H., Amin, M. M., Parseh, I., & Alipour, M., 2020. In situ treatment of metalworking wastewater by chemical addition-dissolved air flotation coupled with UV, H₂O₂ & ZnO. *Heliyon*, 6(1), e03091. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e0309
- [20]. <https://blogs.edf.org/energyexchange/2015/11/11/recycling-wastewater-from-oil-and-gas-wells-poses-challenges-2/>
- [21]. <https://www.fluencecorp.com/water-use-in-petroleum-refining/>
- [22]. Toczyłowska-Mamińska, R., 2017. Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 764–772. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.021
- [23]. European Environment Agency. Industrial waste water treatment – Pressures on Europe’s environment. Publications Office, 2019. ISSN 1977-8449 ISBN 978-92-9480-054-1. doi:10.2800/496223 <https://data.europa.eu/doi/10.2800/496223>
- [24]. Environmental protection agency: solving the hazardous waste Problem: EPA’s RCRA Program, 1986. Washington, DC: EPA, 8.
- [25]. Sathya, K., Nagarajan, K., Carlin Geor Malar, G. *et al.*, 2022. A comprehensive review on comparison among effluent treatment methods and modern methods of treatment of industrial wastewater effluent from different sources. *Appl Water Sci* 12, 70. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01594-7>
- [26]. Kumar, A., Thakur, A., Panesar, P.S., 2023. A review on the industrial wastewater with the efficient treatment techniques. *Chem. Pap.* 77, 4131–4163 <https://doi.org/10.1007/s11696-023-02779-3>
- [27]. Nahian K.M., Sarker B., Keya K.N., Mahir F.I., Shahida S., Khan R.A., 2021. A Review on the Methods of Industrial Waste Water Treatment. *Scientific Review. Academic Research Publishing Group*, vol. 7(3), pages 20-31, 07-2021.
- [28]. Gikas, P., 2017. Towards energy positive wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, 203, 621–629. doi: 10.1016/j.jenvman.

- [29]. Wu. Y.. Luo. J.. Zhang. Q.. Aleem. M.. Fang. F.. Xue. Z.. & Cao. J.. 2019. Potentials and challenges of phosphorus recovery as vivianite from wastewater: A review. Chemosphere. 226. 246–258.<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.138>.
- [30]. Dutta. D.. Arya. S.. & Kumar. S.. 2021. Industrial wastewater treatment: Current trends, bottlenecks, and best practices. Chemosphere. 285. 131245. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.13
- [31]. Pirzadeh B.. 2022. Physical Wastewater Treatment. Wastewater Treatment. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.104324>.
- [32]. Samer M.. 2015. Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes. Wastewater Treatment Engineering. InTechOpen.<http://dx.doi.org/10.5772/61250>.
- [33]. Ακύλας Ε.. Τύποι και επεξεργασία αποβλήτων και λυμάτων http://evangelosakylas.weebly.com/uploads/8/7/3/4/8734654/pom215_8.pdf
- [34]. Ζαγγανά. Ε.. 2010. Υγρά αστικά απόβλητα –Διάθεση λυμάτων στο έδαφος (φυσικά συστήματα επεξεργασίας) (Μέρος 1^ο) Διάθεση Στερεών και Υγρών Αποβλήτων στο Γεωλογικό Περιβάλλον. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πάτρα.
- [35]. Patwardhan A.D.. 2017. Industrial wastewater treatment. PHI Learning Pvt. Ltd. 2017. ISBN 8120353323. 9788120353329
- [36]. Prabu L. S.. Suriyaprakash T.N.K.. Ashok J.. Kumar. 2011. Wastewater Treatment Technologies: A Review. Pharma Times; Vol43(5). pp. 55-62.
- [37]. Mittal. A.. 2011. Biological Wastewater Treatment. Water Today. Retrieved from https://www.watertoday.org/Article_Archieve/Aquatech_12.pdf Percentage of wastewater flows treated to national standards [and reused] – to be developed – Indicators and a Monitoring Framework. (2012). Retrieved April 7. 2017. from <http://indicators.report/indicators/i-47/>
- [38]. Grady Jr.. C.P.L.. Daigger. G.T.. Love. N.G.. Filipe. C.D.M.. 2011. Biological Wastewater Treatment (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13775>
- [39]. <https://www.enve-lab.eu/wp-content/uploads/2015/03/Lecture-7.pdf>
- [40]. Σαρηγιάννης Δ..2015. Διαχείριση υγρών αποβλήτων –ενεργή ιλύς. Environmental Engineering Laboratory. Department of Chemical Engineering School of Engineering Aristotle University of Thessaloniki. <https://www.enve-lab.eu/wp-content/uploads/2015/03/Lecture-7.pdf>

- [41]. Νταρακάς Ε.. Τεχνική Περιβάλλοντος. Ενότητα 7: Βιολογικές διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS460/Παρουσιάσεις/Θεωρία/EE07.pdf>
- [42]. Lubello. C.. Gori. R.. de Bernardinis. A. M.. Simonelli. G.. 2003. Ultrafiltration as tertiary treatment for industrial reuse. Water Science and Technology: Water Supply. 3(4). 161–168. doi:10.2166/ws.2003.0058
- [43]. Tran. N.. Drogui. P.. Blais. J.-F.. Mercier. G.. 2012. Phosphorus removal from spiked municipal wastewater using either electrochemical coagulation or chemical coagulation as tertiary treatment. Separation and Purification Technology. 95. 16–25. doi:10.1016/j.seppur.2012.04.014
- [44]. Nunes. I. V. de O.. Inoue. C. H. B.. Rodrigues Sousa. A. E.. Carvalho. J. C. M. de. Gomes. A. M. da A.. Matsudo. M. C.. 2021. Tertiary treatment of dairy industry wastewater with production of *Chlorella vulgaris* biomass: evaluation of effluent dilution. Revista Brasileira De Ciências Ambientais (RBCIAMB). 56(2). 365–373.
- [45]. Νταρακάς Ε. 2010. Σημειώσεις μαθήματος “Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων”. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος.
- [46]. Amin M.M.. Hashemi H.. Bovini A.M.. 2013. A review on wastewater disinfection. International Journal of Environmental Health Engineering 2(1): p 22-30. doi: 10.4103/2277-9183.113209
- [47]. Pérez. G.. Gómez. P.. Ibañez. R.. Ortiz. I.. & Urtiaga. A. M.. 2010. Electrochemical disinfection of secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. Water Science and Technology. 62(4). 892–897. doi:10.2166/wst.2010.328
- [48]. http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8_3.html
- [49]. von Sperling M.. Verbyla M.E.. Oliveira S.M. A.C.. 2020. Assessment of Treatment Plant Performance and Water Quality Data: A Guide for Students, Researchers and Practitioners. IWA Publishing. London doi: 10.2166/9781780409320_0181
- [50]. <https://medium.com/@wiprowaterindia/https-resources-wiprowater-in-blogs-top-10-factors-affecting-the-efficiency-of-sewage-treatment-plants-6fc387ed350c>

- [51]. <https://www.idrica.com/blog/the-technological-revolution-taking-place-in-wastewater-treatment-plants/>
- [52]. Saghafi S.. Ebrahimi A.. Najafpour G.. Hashemian F.. Electrical Energy Management in Industrial Wastewater Treatment Plant. International Journal of Engineering (IJE). 2012. IJE TRANSACTIONS C: Aspects Vol. 32. No. 9. 1269-1276
- [53]. <https://www.lenntech.com/Data-sheets/FLYGT-C-3201-50-L.pdf>
- [54]. <https://www.lenntech.com/Data-sheets/Flygt-N-pump-series-L.pdf>
- [55]. <https://blog.craneengineering.net/screening-at-a-glance-an-introduction-to-wastewater-screens>
- [56]. <https://www.andritz.com/products-en/separation/screens-drains-presses/aqua-screen-fine-screen>
- [57]. <https://www.watertechonline.com/wastewater/article/14212216/turning-fat-oil-and-grease-in-wastewater-into-an-efficient-profit-center>
- [58]. IMPEL (2018). Report on Urban Water Reuse: Integrated water approach and urban water reuse project. <https://www.impel.eu/wpcontent/uploads/2019/01/FR-2018-07-Urban-Water-Reuse-1-1.pdf>
- [59]. Yang. J.. Monnot. M.. Ercolei. L.. Moulin. P.. 2020. Membrane-Based Processes Used in Municipal Wastewater Treatment for Water Reuse: State-of-the-Art and Performance Analysis. Membranes. 10(6). 131. doi:10.3390/membranes10060131
- [60]. https://www.evers.de/en/products/everzitr-filter-materials/filtration/quartz-sand-and-quartz-gravel?fbclid=IwAR0k6nWNs5grQBUEpqrYaphlgvaImOx0kM_cvsEXk7wpCDSrI W308P6F_fY
- [61]. <https://www.evoqua.com/en/evoqua/products--services/filtration-systems/high-efficiency-sand-filters/vortisand-industrial-filtration-system/#video-modal>
- [62]. Li. X.. Jiang. L.. Li. H.. 2018. Application of Ultrafiltration Technology in Water Treatment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 186. 012009. doi:10.1088/1755-1315/186/3/012009
- [63]. Yang. J.. Monnot. M.. Eljaddi. T.. Ercolei. L.. Simonian. L.. Moulin. P.. 2021. Ultrafiltration as tertiary treatment for municipal wastewater reuse. Separation and Purification Technology. 272. 118921. doi: 10.1016/j.seppur.2021.118921
- [64]. <https://pdf.indiamart.com/impdf/27552261773/MY-2174540/industrial-ultrafiltration-plant.pdf>

- [65]. <https://www.lenntech.com/Data-sheets/GE-Osmonics-Kristal-HyFlux-L.pdf>
- [66]. Tarantino E.. Disciglio G.. Gatta G.. Libutti A.. Frabboni L.. Gagliardi A.. Tarantino A.. 2017. Agro-industrial treated wastewater reuse for crop irrigation: implication in soil fertility. Chemical Engineering Transactions. 58. 679-684 doi: 10.3303/CET1758114
- [67]. Gómez. M.. Plaza. F.. Garralón. G.. Pérez. J.. Gómez. M. A.. 2007. A comparative study of tertiary wastewater treatment by physico-chemical-UV process and macrofiltration–ultrafiltration technologies. Desalination. 202(1-3). 369–376. doi:10.1016/j.desal.2005.12.076