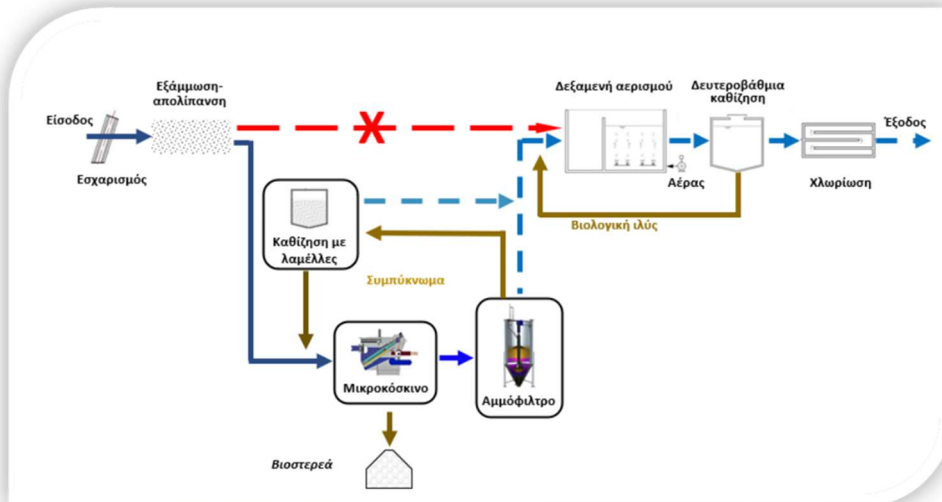




Διδακτορική διατριβή

Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Τσαμουτσόγλου Κωνσταντίνος, Μηχανικός Περιβάλλοντος
Επιβλέπων: Καθηγητής Πέτρος Γκίκας

Χανιά, Δεκέμβριος, 2024

Ελληνικός τίτλος:

«Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος»

Αγγλικός τίτλος:

“Application of primary filtration systems for the reduction of energy requirements and for the management of increased loading in activated sludge plants”

Επταμελής εξεταστική επιτροπή:

Πέτρος Γκίκας, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών, Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης

Κωνσταντίνος Χρυσικόπουλος, Καθηγητής

Εργαστήριο Τεχνολογίας του Περιβάλλοντος, Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης

Παράσχος Μελίδης, Καθηγητής

Εργαστήριο Διαχείρισης και Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Αναστάσιος Ζουμπούλης, Καθηγητής

Εργαστήριο Χημικής και Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας, Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Μιχάλης Κορνάρος, Καθηγητής

Εργαστήριο Βιοχημικής Μηχανικής και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

Απόστολος Γιαννής, Αναπληρωτής Καθηγητής

Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης

Νικόλαος Διαγγελάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης



«Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης».



Πρόλογος και ευχαριστίες

Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος. Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Πέτρου Γκίκα.

Πρώτα απ' όλα, είμαι ευγνώμων στον επιβλέπων Καθηγητή της διδακτορικής μου διατριβής για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου και τη συνεχή καθοδήγησή του όλα αυτά τα χρόνια.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον Καθηγητή Κωνσταντίνο Χρυσικόπουλο της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, καθώς και τον Καθηγητή Παράσχο Μελίδη του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Δημοκρίτειου Πανεπιστήμιου Θράκης που μου έκαναν την τιμή να αποτελέσουν μέλη της τριμελούς επιτροπής και να παραστούν στην υποστήριξη της διδακτορικής μου διατριβής.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς επιτροπής τον Καθηγητή Αναστάσιο Ζουμπούλη του Τμήματος Χημείας του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης, τον Καθηγητή Μιχάλη Κορνάρο του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Πανεπιστήμιου Πατρών, τον Αναπληρωτή Καθηγητή Απόστολο Γιαννή και τον Επίκουρο Καθηγητή Νικόλαο Διαγγελάκη της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, για το χρόνο που αφιέρωσαν και τις συμβουλές που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους συναδέλφους του εργαστηρίου μας, την Δρ. Ανθούλα Μάναλη και τον Δρ. Γιώργο Μακάρογλου για την στήριξη και την άπογη συνεργασία από την πρώτη στιγμή της συνεργασίας μας.

Μεγάλο ευχαριστώ από καρδιάς στην Δρ. Μάγκυ Κοσσίδα, την κα Λίνα Μαναρώλη και την κα Πόπη Αντέλλη, τον Δρ. Αναστάσιο Μαλανδράκη για την πολύτιμη βοήθειά τους, καθώς και σε όλους τους φοιτητές και συνεργάτες του εργαστηρίου μας αλλά και του Πολυτεχνείου Κρήτης που με στήριξαν στην ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους συνεργάτες που με βοήθησαν σε διαφορετικά τμήματα της διατριβής αυτής. Ονομαστικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο Νίκο Αποδουλιανάκη και τον κο Φίλιππο Μπεζμέρτη για τη συνεισφορά τους στον σχεδιασμό των πιλοτικών συστημάτων και τον Δρ. Βασίλη Κατζουράκη για την συνεισφορά του στη δημιουργία του λογισμικού και την προσομοίωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συνεργάτες μου στη ΔΕΥΑ Πάρου τον κο Νικόλαο Καραμανέ και την κα Μαρία Μαύρη και στο Συμβούλιο Αποχετεύσεων Κυπερούντας τον κο Κυριάκο Χριστοφίνα και όλα τα μέλη του Συμβουλίου για την αगाστή συνεργασία που μου παρείχαν, καθώς και τον κο Στάθη Κυριάκου και την κα Γεωργία Κωνσταντινίδου από την εταιρία συντήρησης της ΕΕΛ Κυπερούντας.

Θερμές ευχαριστίες στους γονείς μου και στον αδερφό μου και τους φίλους μου για την αγάπη, τη συνεχή υποστήριξη και την ενθάρρυνση όλα αυτά τα χρόνια.

Κωνσταντίνος Τσαμουτσόγλου
Χανιά, Δεκέμβριος, 2024



Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση ενέργειας στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) έχει αυξηθεί λόγω της εφαρμογής προηγμένων μεθόδων επεξεργασίας λυμάτων και ιλύος καθώς και τη διαχείριση υψηλότερων όγκων αποβλήτων. Πολλές ΕΕΛ λειτουργούν με αυξημένες υδραυλικές παροχές ή αυξημένο φορτίο εισόδου, με συνέπεια την ατελή επεξεργασία των λυμάτων. Το φαινόμενο αυτό είναι έντονο κατά τους θερινούς μήνες, σε ΕΕΛ που εξυπηρετούν τουριστικές περιοχές. Λύση στα προαναφερθέντα προβλήματα θα μπορούσαν να αποτελέσουν καινοτόμα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης για την επεξεργασία αστικών λυμάτων με χαμηλό κόστος και ενέργεια.

Η καινοτομικότητα των συστημάτων πρωτοβάθμιας διήθησης έγκειται στην πρώιμη απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών από τα λύματα, πριν αυτά εισέλθουν στη δεξαμενή αερισμού. Με αυτό τον τρόπο υφιστάμενες και νέες ΕΕΛ μπορούν να αναβαθμιστούν, χωρίς την ανάγκη συμβατικής επέκτασης. Δύο τέτοιες πιλοτικές μονάδες με μέγιστη δυναμικότητα 2.500 και 1.800 m³/d αποβλήτων έχουν σχεδιαστεί και εγκατασταθεί στις ΕΕΛ Μάρπησσας (Ελλάδα) και Κυπερούντας (Κύπρος), αντίστοιχα. Οι πιλοτικές μονάδες αποτελούνται κατά σειρά από: μικροκόσκινα και Αυτοκαθαριζόμενα Αμμόφιλτρα Ανοδικής Ροής (Continuous Backwash Upflow Media Filtration, CBUMFs), ενώ το συμπύκνωμα των CBUMFs επεξεργάζεται σε δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες. Με αυτόν τον τρόπο οι δύο ΕΕΛ αναβαθμίστηκαν με αποτέλεσμα να μπορούν να δεχτούν αυξημένο φορτίο εισόδου, με παράλληλη μείωση της ενεργειακής τους δαπάνης. Ωστόσο, και οι δύο ΕΕΛ προγραμματίζουν επέκταση του δικτύου αποχέτευσης με συνέπεια την αύξηση της παροχής εισόδου. Συγκεκριμένα, οι βασικοί στόχοι της διδακτορικής διατριβής είναι: i) ο σχεδιασμός και η κατασκευή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης με τις διεργασίες μικροκοσκίνισης, αμμοφίλτρασης και καθίζησης με λαμέλλες, ii) η διερεύνηση και αξιολόγηση αποδοτικότητας των διεργασιών μικροκοσκίνισης, αμμοφίλτρασης και καθίζησης με λαμέλλες στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, iii) η προσομοίωση και δημιουργία λογισμικού για τις τεχνολογίες μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης, iv) η οικονομική αξιολόγηση των πιλοτικών συστημάτων στις ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυπερούντας και v) η διερεύνηση υιοθέτησης των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης από ΕΕΛ στην Ελλάδα και την Κύπρο vi) και η ποσοτικοποίηση των εκτιμώμενων οφελών στην κατάντη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ με τη χρήση των τεχνολογιών μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης.

Οι μέσες ποσοστιαίες απομακρύνσεις των Ολικών Αιωρούμενων Στερεών (Total Suspended Solids, TSS), του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου πέντε ημερών (Biochemical Oxygen Demand, BOD₅) και του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand, COD) με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης (με άνοιγμα πόρων 250 μm) και αμμοφίλτρασης υπολογίστηκαν ίσες με 52 ± 2 %, 46 ± 7 %, 43 ± 3 %, στην ΕΕΛ Κυπερούντας, αντίστοιχα. Με την προσθήκη κροκιδωτικών (Χλωριούχου Πολυαλουμινίου (Polyaluminum Chloride, PAC)) στο CBUMF, οι μέσες ποσοστιαίες απομακρύνσεις των TSS, BOD₅ και COD με συνδυασμένη επεξεργασία (μικροκοσκίνιση ακολουθούμενη από αμμοφίλτραση) προσδιορίστηκαν ίσες με 72 ± 1 %, 52 ± 5% και 60 ± 5 %. Τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης είναι ικανά για την απομάκρυνση του ολικού κατά Kjeldahl αζώτου σε ποσοστό 10% έως 23% από τα αστικά λύματα. Ωστόσο, το εύρος της απομάκρυνσης ολικού φωσφόρου που επιτεύχθηκε με συνδυασμένη επεξεργασία (μικροκοσκίνιση ακολουθούμενη από αμμοφίλτραση) ήταν από 5% έως 18% στην ΕΕΛ Κυπερούντας. Η ποσοστιαία απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών για το μικροκίσκινο (με άνοιγμα πόρων 250 μm), που εγκαταστάθηκε στην ΕΕΛ Μάρπησσας υπολογίστηκε



από 40 έως 58% χωρίς την προσθήκη κροκιδωτικών κατά τις εργοστασιακές αποδοχής. Επιπλέον, από τη μικροκοσκίνιση με τη χρήση των Φίλτρων Περιστρεφόμενου Ιμάντα (Rotating Belt Filters, RBFs) παράγονται Πρωτοβάθμια Κοσκινισμένα Στερεά (Primary Sieved Solids, PSS), με περιεκτικότητα σε στερεά μεταξύ άνω του 30%.

Επιπλέον, τα πειραματικά δεδομένα και οι προβλέψεις των μοντέλων εμφάνισαν υψηλό βαθμό συμφωνίας ($R^2 > 98$). Εκτός από την αξιολόγηση των καινοτόμων τεχνολογιών, χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά δεδομένα για τη δημιουργία λογισμικού προσομοίωσης διεργασιών λυμάτων. Το λογισμικό δύναται να παρέχει έναν προκαταρκτικό σχεδιασμό των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης ώστε να επιτρέπεται η εφαρμογή των καινοτόμων λύσεων σε ευρύτερη κλίμακα (scale-up). Το λογισμικό προσφέρει επιπλέον δεδομένα σχετικά με την εκτιμώμενη μείωση των ενεργειακών αναγκών των ΕΕΛ με τη χρήση πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.

Το εκτιμώμενο κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων με την εφαρμογή πρωτοβάθμιας διήθησης στην υφιστάμενη ΕΕΛ Μάρπησσας υπολογίστηκε στα 0,32 €/m³. Ωστόσο, το κόστος για την αναβάθμιση της ΕΕΛ Μάρπησσας με συμβατική επέκταση (επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας) υπολογίστηκε ίσο με 0,48 €/m³. Για την αναβάθμιση της ΕΕΛ Κυπερούντας, το κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων με πρωτοβάθμια διήθηση εκτιμήθηκε στα 0,88 €/m³. Από την άλλη, το κόστος συμβατικής επέκτασης (επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας) προσδιορίστηκε ίσο με 1,64 €/m³ για την ΕΕΛ Κυπερούντας.

Σχετικά με την υιοθέτηση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης από ελληνικές και κυπριακές ΕΕΛ, το εξεταζόμενο δείγμα έδειξε ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εφαρμογή των συστημάτων αυτών. Η διερεύνηση της επίδρασης των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην κατάντη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ δύναται να οδηγήσει σε σημαντικές μειώσεις στον όγκο (m³) των δεξαμενών αερισμού (15-55%), τις απαιτούμενες ανάγκες σε οξυγόνο (kg O₂/h) (απομάκρυνση BOD₅ και νιτροποίηση) στις δεξαμενές αερισμού (14-52%), τη ποσότητα (t/d) δευτεροβάθμιας ιλύος (19-66%), και τη κατανάλωση ενέργειας (kWh/m³) των δεξαμενών αερισμού (9-54%).

Τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης αποτελούν μια βιώσιμη τεχνολογική προσέγγιση στην αποδοτικότερη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, αντιμετωπίζοντας εύστοχα τα προβλήματα της υπερφόρτωσης με την παράλληλη μείωση τους κόστους λειτουργίας των ΕΕΛ μικρής και μεγάλης δυναμικότητας.

Λέξεις - κλειδιά: ΕΕΛ, πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης, μείωση ενέργειας, αύξηση δυναμικότητας.



Abstract

In recent years, energy use in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) has increased due to the application of advanced wastewater and sludge treatment methods as well as the management of higher volumes of waste. Many WWTPs operate with increased hydraulic flows or increased inlet load, resulting in incomplete wastewater treatment. The phenomenon is intense during the summer months, in WWTPs serving tourist areas. Innovative primary filtration systems for the treatment of urban wastewater with low cost and energy could be a solution to the above-mentioned problems.

The innovation of primary filtration systems lies in the early removal of suspended solids from raw wastewater, before their entry into the aeration tank. In this way, existing and new WWTPs can be upgraded, without the need for conventional expansion. Two such pilot plants with maximum hydraulic capacity of 2,500 and 1,800 m³/d have been designed and installed in the WWTP of Marpissa (Greece) and Kyperounda (Cyprus), respectively. The pilot units consist in series of: microsieves and Continuous Backwash Upflow Media Filtration (CBUMFs), while the condensate of the CBUMFs is treated in a lamella clarifier. In this way, the two WWTPs were upgraded so that they can accept an increased entry load, while also reducing their energy expenditure. However, both WWTPs plan to expand the sewerage network resulting in an increase in the inlet flow rate. Specifically, the main objectives of the doctoral thesis are: i) the design and construction of primary filtration systems with the processes of microsieving, sand filtration and lamellar sedimentation, ii) the investigation and evaluation of the efficiency of microsieving, sand filtration and lamellar sedimentation in raw wastewater, iii) the modeling and creation of software for microsieving and sand filtration technologies, iv) the economic evaluation of the pilot systems in the WWTPs of Marpissa and Kyperounda and v) the investigation of the adoption of primary filtration systems by WWTPs in Greece and Cyprus and vi) the quantification of the estimated benefits in the downstream biological process of overloaded WWTPs using microsieving and sand filtration technologies.

The average percentage removals of Total Suspended Solids (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), and Chemical Oxygen Demand (COD) with combined treatment, microsieving (pore opening 250 μm) followed by sand filtration, were calculated to be 52 ± 2 %, 46 ± 7 %, 43 ± 3 % in the WWTP of Kyperounda, respectively. By adding coagulants ((Polyaluminum Chloride (PAC))) to the CBUMF the mean percentage removals of TSS, BOD₅ and COD with combined treatment (microsieving followed by sand filtration) were calculated to be 72 ± 1 %, 52 ± 5 % and 60 ± 5 %. Primary filtration systems can remove 10% to 23% of the total Kjeldahl nitrogen from raw wastewater. However, the range of total phosphorus removal achieved by treating wastewater using microsieving (with a pore opening of 250 μm) and sand filtration technologies was 5% to 18% in the Kyperounda WWTP. The microsieve installed at WWTP Marpissa accomplished a removal of suspended solids of 40-58% without the usage of coagulants. In addition, microsieves produce Primary Sieved Solids (PSS) with a solids content over 30%.

Additionally, the experimental data and model predictions exhibited a high degree of concordance ($R^2 > 98$). In addition to evaluating of the innovative technologies, the experimental data was used to develop a wastewater process simulation software. The software can provide a preliminary design of the primary filtration systems and models the process, allowing for the implementation of innovative solutions on a larger scale. The software offers additional data regarding the estimated reduction in the energy needs of WWTPs through the use of primary filtration systems. The estimated cost for the complete



treatment of wastewater with the implementation of primary filtration in the existing WWTP of Marpissa was estimated at 0.32 €/m³. However, the cost for upgrading the Marpissa WWTP with a conventional expansion (expansion of the existing biological treatment) was estimated at 0.48 €/m³. For the upgrading of the Kyperounda WWTP, the cost for the complete treatment of wastewater by primary filtration was estimated at 0.88 €/m³. On the other hand, the cost of conventional expansion (expansion of the existing biological treatment) was determined equal to 1.64 €/m³ for WWTP Kyperounda.

Regarding the adoption of primary filtration systems by greek and cypriot WWTPs, the sample displayed a specific interest in implementing these systems. Investigating the effect of primary filtration systems on downstream biological treatment of overloaded WWTPs can result in significant reductions in the volume (m³) of aeration tanks (15-55%), the required oxygen demand (kg O₂/h) for BOD₅ removal and nitrification (14-52%), the amount (t/d) of secondary sludge (19-66%), and the energy consumption (kWh/m³) of aeration tanks (9-54%).

Primary filtration systems can offer a sustainable technological approach to more efficient wastewater treatment, effectively addressing the problems of overload, while reducing the operating costs of small and large scale WWTPs.

Keywords: WWTP, primary filtration systems, energy reduction, capacity increase.



Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος και ευχαριστίες.....	4
Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
Πίνακας περιεχομένων.....	9
Κατάλογος συντομογραφιών.....	13
Πίνακας σχημάτων.....	14
Πίνακας πινάκων.....	17
Πίνακας διαγραμμάτων.....	19
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	22
1.1 Αναγκαιότητα υιοθέτησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην επεξεργασία αστικών λυμάτων.....	22
1.2 Ερευνητικό ερώτημα, σκοπός, καινοτομία και μεθοδολογία διδακτορικής διατριβής.....	23
1.3 Διάρθρωση των κεφαλαίων της διδακτορικής διατριβής.....	24
1.4 Επιστημονικές δημοσιεύσεις.....	25
Κεφάλαιο 2: Συμβατική και προηγμένη πρωτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	27
2.1 Συμβατική πρωτοβάθμια επεξεργασία.....	27
2.2 Χημικά Ενισχυμένη Πρωτοβάθμια Επεξεργασία (Chemically Enhanced Primary Treatment, CEPT).....	28
2.3 Δεξαμενές καθίζησης με λαμέλλες.....	29
2.4 Τεχνολογίες Προηγμένης Πρωτοβάθμιας Επεξεργασίας (Advanced Primary Treatment Technologies, APTT).....	33
2.4.1 Πρωτοβάθμια Διήθηση (Primary Filtration, PF).....	33
2.4.1.1 Φίλτρα Δίσκου (Disc Filters, DFs).....	34
2.4.1.2 Φίλτρα Περιστρεφόμενου Τυμπάνου (Rotating Drum Filters, RDFs).....	35
2.4.1.3 Φίλτρα Περιστρεφόμενου Ιμάντα (Rotating Belt Filters, RBFs).....	36
2.4.1.4 Φίλτρα Υφασμάτινου Δίσκου (Cloth Disc Filters, CDFs).....	37
2.4.2 Διήθηση Πρωτοβάθμιας Εκροής (Primary Effluent Filtration, PEF).....	39
2.4.2.1 Φίλτρα Παλμικής Κλίνης (Pulsed Bed Sand Filters, PBSFs).....	39
2.4.2.2 Αυτοκαθαριζόμενα Αμμόφιλτρα Ανοδικής Ροής (Continuous Backwash Upflow Media Filters, CBUMFs).....	41
2.4.2.3 Φίλτρα Συνθετικού Μέσου (Synthetic Medium Filters, CMFs).....	43
2.4.3 Υδροδυναμικοί Διαχωριστές Στροβιλισμού (Hydrodynamic Vortex Separators, HDVSs).....	44
2.4.4 Υδροκυκλώνες.....	45
2.5 Σύγκριση πρωτοβάθμιων συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων με συμβατική επεξεργασία.....	48
2.6 Επιπτώσεις των APTT στην επεξεργασία αστικών λυμάτων.....	50
2.6.1 Επιπτώσεις στις απαιτήσεις αερισμού.....	50
2.6.2 Επιπτώσεις στην παραγωγή και την αναερόβια αποικοδόμηση της ιλύος.....	50
2.6.3 Επιπτώσεις στην απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών.....	51
2.6.4 Επιπτώσεις στις απαιτήσεις ενέργειας και στα αέρια του θερμοκηπίου.....	51
Κεφάλαιο 3: Βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων με τη διεργασία της ενεργού ιλύος.....	52
3.1 Ορισμός της διεργασίας.....	52
3.2 Βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών (αζώτου, φωσφόρου).....	54
3.2.1 Βιολογική απομάκρυνση αζώτου.....	54
3.2.2 Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου.....	57
3.3 Συστήματα ενεργού ιλύος.....	58
3.3.1 Συστήματα ενεργού ιλύος πλήρους μίξης.....	58
3.3.2 Συστήματα ενεργού ιλύος εμβολικής ροής.....	59



3.3.2.1 Διεργασία ενεργού ιλύος εμβολικής ροής	59
3.3.2.2 Διεργασία ενεργού ιλύος με αερισμό υψηλού ρυθμού.....	59
3.3.2.3 Διεργασία ενεργού ιλύος βηματικής τροφοδοσίας.....	59
3.3.2.4 Διεργασία ενεργού ιλύος με επαφή σταθεροποίησης.....	60
3.3.2.5 Διεργασία ενεργού ιλύος με οξυγόνο υψηλής καθαρότητας.....	60
3.3.2.6 Διεργασία ενεργού ιλύος με παρατεταμένο αερισμό	61
3.3.2.7 Διεργασία ενεργού ιλύος με οξειδωτική τάφρο.....	61
3.3.2.8 Σύστημα Αερισμού Αντίστροφης Ροής (Countercurrent aeration system, CCAS™).....	62
3.3.3 SBR	62
Κεφάλαιο 4: Περιγραφή των ΕΕΛ Μάρπησσας, Πάρος και ΕΕΛ Κυπερούντας, Κύπρος.....	67
4.1 Περιγραφή της υφιστάμενης ΕΕΛ Μάρπησσας, Πάρος	67
4.1.1 Γενικά.....	67
4.1.2 Μονάδες επεξεργασίας	72
4.1.3 Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις.....	74
4.1.4 Εγκατεστημένος Η/Μ εξοπλισμός.....	75
4.1.5 Λειτουργικά προβλήματα υφιστάμενης ΕΕΛ Μάρπησσας.....	78
4.2 Περιγραφή της υφιστάμενης ΕΕΛ Κυπερούντας, Κύπρος	78
4.2.1 Γενικά.....	78
4.2.2 Περιγραφή της υφιστάμενης ΕΕΛ.....	79
4.2.3 Λειτουργικά προβλήματα υφιστάμενων έργων	87
Κεφάλαιο 5: Σχεδιασμός, κατασκευή και δημιουργία λογισμικού των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στις ΕΕΛ Μάρπησσας, Πάρος και Κυπερούντας, Κύπρος ..	89
5.1 Εισαγωγή.....	89
5.2 Διαστασιολόγηση, κατασκευή και εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Μάρπησσας.....	90
5.2.1 Διαστασιολόγηση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Μάρπησσας.....	90
5.2.1.1 Μονάδα μικροκοσκίνισης.....	90
5.2.1.2: Αντλιοστάσιο (θάλαμος συγκέντρωσης-δεξαμενή άντλησης προς την μονάδα αμμοφίλτρανσης)	92
5.2.1.3 Μονάδα αμμοφίλτρανσης	93
5.2.1.4 Διαστασιολόγηση δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες.....	96
5.2.1.5 Λειτουργικό διάγραμμα ροής της πιλοτικής διάταξης	100
5.2.1.6 Γενικές αρχές σχεδιασμού του συστήματος αυτοματισμού	103
5.2.1.7 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση	103
5.2.2 Κατασκευή και εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Μάρπησσας.....	104
5.3 Διαστασιολόγηση, κατασκευή και εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας	109
5.3.1 Διαστασιολόγηση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας.....	109
5.3.1.1 Μικροκόσκινο.....	109
5.3.1.2 Μονάδα αμμοφίλτρανσης	111
5.3.1.3. Διαστασιολόγηση δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες.....	114
5.3.1.4 Λειτουργικό διάγραμμα ροής της πιλοτικής διάταξης	119
5.3.1.5 Όργανα μέτρησης πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας	121
5.3.1.6 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση	121
5.3.2 Κατασκευή και εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας ...	121
5.4 Λογισμικό διαστασιολόγησης και προσομοίωσης των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.....	123
5.4.1 Εισαγωγή.....	123
5.4.2 Απαιτήσεις και εγκατάσταση για το ANELIXI Software	123
5.4.3 Αρχική καρτέλα	126
5.4.4 Καρτέλα εισαγωγή δεδομένων.....	126
5.4.5 Καρτέλα μικροεσχάρα	127
5.4.6 Καρτέλα αμμόφιλτρο	127



5.4.7 Καρτέλα ισοζύγια μάζας	128
5.4.8 Παράδειγμα εκτέλεσης του λογισμικού	128
Κεφάλαιο 6: Προκαταρκτικά πειράματα, έλεγχος λειτουργίας και προσομοίωση πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης	130
6.1 Εισαγωγή	130
6.2 Δειγματοληψίες και αναλυτικές μέθοδοι	130
6.2.1 Μέτρηση TSS.....	130
6.2.2 Μέτρηση BOD ₅	131
6.2.3 Μέτρηση COD, TKN, TP	131
6.2.4 Προσδιορισμός κατανομής σωματιδίων	131
6.2.5 Στοιχειακή ανάλυση.....	132
6.2.6 Μέτρηση HV.....	133
6.2.7 Προσομοίωση πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης	134
6.2.7.1 Προσομοίωση μικροκόσκινου.....	134
6.2.7.2 Προσομοίωση CBUMF.....	134
6.3 Αποτελέσματα προκαταρκτικών πειραμάτων κατά το σχεδιασμό των νέων τεχνολογιών	135
6.4 Αποτελέσματα κατά τη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας	141
6.4.1 Απομάκρυνση TSS με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης	141
6.4.2 Απομάκρυνση BOD ₅ με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης	143
6.4.3 Απομάκρυνση COD με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης	144
6.4.4 Απομάκρυνση TKN και TP με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης	146
6.4.4 Απομάκρυνση TSS και BOD ₅ στη δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες	147
6.4.5 Ενισχυμένη απομάκρυνση TSS με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης	148
6.4.6 Ενισχυμένη απομάκρυνση BOD ₅ με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης	150
6.4.7 Ενισχυμένη απομάκρυνση COD με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης	151
6.4.8 Παραγόμενα PSS από το μικροκόσκινο στην ΕΕΛ Κυπερούντας	153
6.4.9 Μείωση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕΛ Κυπερούντας, Κύπρος	153
6.4.10 Βελτίωση στην ποιότητα εκροών μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης	154
6.4.11 Αποτελέσματα FAT στην ΕΕΛ Θριασίου, Ελλάδα.....	155
6.4.12 Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	157
Κεφάλαιο 7: Εκτίμηση κόστους για την πλήρη επεξεργασία των αποβλήτων και μείωσης των εκπομπών GHG με την εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.....	159
7.1 Εισαγωγή	159
7.2 Κόστος αρχικής επένδυσης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης	159
7.3 Κόστος λειτουργίας και συντήρησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.....	161
7.3.1 Εκτιμώμενο κόστος προσωπικού	161
7.3.2 Εκτιμώμενο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.....	162
7.3.3 Κόστος συλλογής και διάθεσης των παραγόμενων βιοστερεών	162
7.3.4 Εκτιμώμενο κόστος χημικών και συντήρησης του εξοπλισμού	162
7.3.5 Εκτιμώμενο κόστος λειτουργίας και συντήρησης	163
7.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος αρχικής επένδυσης για τη διεργασία ενεργού ιλύος	163
7.5 Αναμενόμενα οφέλη των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης	165



7.5.1 Αναμενόμενο όφελος από τη μείωση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας	165
7.5.2 Αναμενόμενο όφελος από τη μείωση της παραγόμενης ιλύος	165
7.5.3 Αναμενόμενο όφελος από τη μείωση των GHG	166
7.6 Αξιολόγηση επένδυσης	167
7.6.1 Ετήσιο ισοδύναμο κόστος	167
7.6.2 Ανάλυση κόστους της επένδυσης	168
7.6.3 Επίδραση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην κατανομή του κόστους συντήρησης και λειτουργίας των υφιστάμενων ΕΕΛ	169
7.6.4 Εκτίμηση κόστους και περιβαλλοντικού οφέλους για την πλήρη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων	174
7.4.6 Ανάλυση ευαισθησίας	175
Κεφάλαιο 8: Διερεύνηση υιοθέτησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ	177
8.1. Εισαγωγή	177
8.2 Διερεύνηση υιοθέτησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης	177
8.2.1 Διεξαγωγή της έρευνας	177
8.2.2 Παρουσίαση ερωτηματολογίου	177
8.3 Αποτελέσματα απαντήσεων ερωτηματολογίου	181
8.3.1 Αποτελέσματα απαντήσεων ερωτηματολογίου για τις Ελληνικές ΕΕΛ	181
8.3.1.1 Γενικά στοιχεία για τις ΕΕΛ στην Ελλάδα	181
8.3.1.2. Επεξεργασία λυμάτων και επαναχρησιμοποίηση	184
8.3.1.3. Ενεργειακή απαίτηση	186
8.3.1.4. Απόδοση εγκαταστάσεων	187
8.3.1.5. Στάση ελληνικών ΕΕΛ ως προς την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης	190
8.3.2 Αποτελέσματα απαντήσεων ερωτηματολογίου για τις Κυπριακές ΕΕΛ	192
8.3.2.1 Γενικά στοιχεία για τις ΕΕΛ στην Κύπρο	192
8.3.2.2 Επεξεργασία λυμάτων και επαναχρησιμοποίηση	193
8.3.2.3. Ενεργειακή απαίτηση	194
8.3.2.4 Απόδοση εγκαταστάσεων	195
8.3.2.5. Στάση κυπριακών ΕΕΛ ως προς την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης	197
Κεφάλαιο 9: Οφέλη πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην κατάντη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ	199
9.1. Εισαγωγή	199
9.2. Μεθοδολογία υπολογισμού εκτιμώμενων οφελών στην κατάντη βιολογική επεξεργασία	199
9.2.1. Ισοζύγιο μάζας και ενέργειας στη διεργασία ενεργού ιλύος	199
9.2.2 Χαρακτηριστικά εισόδου και εξόδου των ΕΕΛ και αποδόσεις των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τα δύο σενάρια	202
9.3 Αποτελέσματα δύο σεναρίων	204
9.3.1 Αποτελέσματα πρώτου σεναρίου	204
9.3.1.1. Εκτίμηση της ποσότητας πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος	210
9.3.2 Αποτελέσματα δεύτερου σεναρίου	210
9.3.2.1. Εκτίμηση της ποσότητας πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος	216
9.3.3 Σύγκριση σεναρίων	216
Κεφάλαιο 10: Συμπεράσματα και μελλοντικοί στόχοι διδακτορικής διατριβής	218
Κεφάλαιο 11: Βιβλιογραφία	223
Κεφάλαιο 12: Παράρτημα	229
Παράρτημα Ι	229
Παράρτημα ΙΙ	233
Παράρτημα ΙΙΙ	236



Κατάλογος συντομογραφιών

APT	Προηγμένη Πρωτοβάθμια Επεξεργασία (Advanced Primary Treatment)
APTT	Τεχνολογίες Προηγμένης Πρωτοβάθμιας Επεξεργασίας (Advanced Primary Treatment Technologies)
BOD ₅	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο πέντε ημερών (Biochemical Oxygen Demand)
CBUMFs	Αυτοκαθαριζόμενα Αμμόφιλτρα Ανοδικής Ροής (Continuous Backwash Upflow Media Filters)
CCAS TM	Σύστημα Αερισμού Αντίστροφης Ροής (Counter Current Aeration System)
CDFs	Φίλτρα Υφασμάτινου Δίσκου (Cloth Disc Filters)
CEPT	Χημικά Ενισχυμένη Πρωτοβάθμια Επεξεργασία (Chemically Enhanced Primary Treatment)
CFD	Υπολογιστική Ρευστοδυναμική (Computational Fluid Dynamics)
CMFs	Φίλτρα Συνθετικού Μέσου (Synthetic Medium Filters)
COD	Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand)
DFs	Φίλτρα Δίσκου (Disc Filters)
DO	Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen)
FAT	Δοκιμές Αποδοχής Εργοστασίου (Factory Acceptance Test)
HHV	Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (Higher Heating Value)
HV	Θερμογόνο Δύναμη (Heating Value)
PAOs	Μικροοργανισμοί Συσσώρευσης Πολυφωσφορικών (Polyphosphate Accumulating Organisms)
PBSFs	Φίλτρα Παλμικής Κλίνης (Pulsed Bed Sand Filters)
PEF	Διήθηση Πρωτοβάθμιας Εκροής (Primary Effluent Filtration)
PF	Πρωτοβάθμια Διήθηση (Primary Filtration)
PSS	Πρωτοβάθμια Κοσκινισμένα Στερεά (Primary Sieved Solids)
RBFs	Φίλτρα Περιστρεφόμενου Ιμάντα (Rotating Belt Filters)
RDFs	Φίλτρα Περιστρεφόμενου Τυμπάνου (Rotating Drum Filters)
SAE	Τυπική Απόδοση Αερισμού (Standard Aeration Efficiency)
SBR	Αντιδραστήρας Διαλείπουσας Λειτουργίας (Sequencing Batch Reactor)
SRT	Χρόνος Κατακράτησης Στερεών (Solids Retention Time)
MBBR	Αντιδραστήρας Βιοφίλμ Κινούμενης Κλίνης (Moving Bed Biofilm Reactor)
MBR	Βιοαντιδραστήρας Μεμβρανών (Membrane Bio-Reactor)
TSS	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (Total Suspended Solids)
TDS	Διαλυμένα Ολικά Στερεά (Total Dissolved Solids)
TS	Ολικά Στερεά (Total Solids)
TOC	Ολικός Οργανικός Άνθρακα (Total Organic Carbon)
TKN	Ολικό κατά Kjeldahl Άζωτο (Total Kjeldahl Nitrogen)
VFAs	Πτητικά Λιπαρά Οξέα (Volatile Fatty Acids)
VOCs	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds)
VS	Πτητικά Στερεά (Volatile Solids)
VSS	Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά (Volatile Suspended Solids)
GHG	Αέρια του Θερμοκηπίου (GreenHouse Gases)
ΑΕΠΟ	Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων
ΔΕΥΑ	Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης
ΔΠΚ	Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας Καθίζησης
ΔΔΚ	Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης
ΕΕΛ	Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων
ΣΑΚ	Συμβούλιο Αποχετεύσεων Κυπερούντας
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
ΧΑΔΑ	Χώρο Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων



Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 2.1: ΔΠΚ κυκλικού σχήματος (Morrowwater, 2024).	27
Σχήμα 2.2: ΔΠΚ ορθογώνιου σχήματος (Jabbar and Al-Baidhani, 2005).	28
Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες (Hydro International, 2024).	30
Σχήμα 2.4: Τρόποι ροής του υγρού στις δεξαμενές καθίζησης με λαμέλλες: (α) κατ'αντιρροή, (β) στην ίδια κατεύθυνση ή ομοροή και (γ) σταυρωτής ή κάθετης ροής (Χρυσικόπουλος, 2013).	30
Σχήμα 2.5: Διαδικασίες <i>Densadeg</i> [®] (πάνω σχήμα) και <i>Actiflo</i> [®] (κάτω σχήμα) (Degrémont, 1973).	32
Σχήμα 2.6: Τεχνολογίες PF: (α) DF, (β) RDF, (γ) RBF, και (δ) CDF (Tchobanoglous et al., 2014).	34
Σχήμα 2.7: Σχηματική απεικόνιση ενός DF (Morling, 2019).	35
Σχήμα 2.8: Σχηματική απεικόνιση στο εσωτερικό του RDF (Väänänen, 2017).	36
Σχήμα 2.9: α) Φωτογραφία μικροκόσκινου (τύπου RBF) που κατασκεύασε το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών, Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας, β) Σχηματική απεικόνιση RBF (Franchi et al., 2012).	37
Σχήμα 2.10: (α) Φωτογραφία ενός CDF στην ΕΕΛ Linda, Καλιφόρνια, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, (β) Οκτώ μεμονωμένοι δίσκοι στο εσωτερικού του CDF (Caliskaner et al., 2018).	38
Σχήμα 2.11: Σχηματικές απεικονίσεις των τεχνολογιών PEF: (α) PBSF, (β) CBUMF (γ) CMF και (δ) RDF (Tchobanoglous et al., 2014).	39
Σχήμα 2.12: α, β) και γ) φωτογραφίες ενός PBSF (Evoqua Water Technologies, 2014).	40
Σχήμα 2.13: α) Φωτογραφία των CBUMFs που σχεδίασε και κατασκεύασε το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών, Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας, β) Σχηματική απεικόνιση του CBUMF (Franchi et al., 2012).	41
Σχήμα 2.14: α) Φωτογραφία του CMF, β) Σχηματική απεικόνιση στο εσωτερικό του CMF (Parkson, 2024).	43
Σχήμα 2.15: Σχηματική απεικόνιση των κύκλων διήθησης, πλύσης και έκπλυσης του CMF (Fitzpatrick et al., 2011).	44
Σχήμα 2.16: Σχηματική απεικόνιση ενός HDVS (Andoh et al., 2002; Hydro International, 2019).	45
Σχήμα 2.17: Διάταξη υδροκυκλώνα στην ΕΕΛ Χανίων.	46
Σχήμα 2.18: Σχηματική απεικόνιση υδροκυκλώνα.	47
Σχήμα 3.1: Συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος (Χρυσικόπουλος, 2013).	52
Σχήμα 3.2: Σχηματική απεικόνιση βιολογικής κροκίδας στη διεργασία ενεργού ιλύος (Widajarno et al., 2022).	53
Σχήμα 3.3: Ποσοστιαία κατανομή ενέργειας σε ΕΕΛ (Soares et al., 2017).	53
Σχήμα 3.4: Μορφές αζώτου στα αστικά λύματα (Jenkins and Wanner, 2014).	54
Σχήμα 3.5: Σχηματική απεικόνιση αναερόβιου και αερόβιου μεταβολισμού των ΡΑΟs (Yuan et al., 2012).	57
Σχήμα 3.6: Διεργασία ενεργού ιλύς πλήρους ανάμιξης (Γκίκας, 2020).	58
Σχήμα 3.7: Διεργασία ενεργού ιλύς εμβολικής ροής (Γκίκας, 2020).	59
Σχήμα 3.8: Διεργασία ενεργού ιλύος βηματικής τροφοδοσίας (Γκίκας, 2020).	60
Σχήμα 3.9: Διεργασία ενεργού ιλύς με επαφή σταθεροποίησης (Γκίκας, 2020).	60
Σχήμα 3.10: Διεργασία ενεργού ιλύος με οξυγόνο υψηλής καθαρότητας (Γκίκας, 2020).	61
Σχήμα 3.11: Διεργασία ενεργού ιλύος με παρατεταμένο αερισμό (Γκίκας, 2020).	61
Σχήμα 3.12: Διεργασία ενεργού ιλύος με οξειδωτική τάφρο (Γκίκας, 2020).	62
Σχήμα 3.13: Διεργασία ενεργού ιλύος SBR (Γκίκας, 2020).	62
Σχήμα 4.1: Δορυφορική εικόνα– ακριβής θέση υφιστάμενης ΕΕΛ Μάρπησσας.	67
Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ροής ΕΕΛ Μάρπησσας.	68
Σχήμα 4.3: Διάγραμμα ροής ΕΕΛ Κυπερούντας.	80



Σχήμα 4.4: Compact μονάδα προεπεξεργασίας της ΕΕΛ.	82
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.....	89
Σχήμα 5.2: α) Φωτογραφία του μικροκόσκινου που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών του Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας β) σχηματική απεικόνιση μικροκόσκινου κατά τον σχεδιασμό.	92
Σχήμα 5.3: α) Φωτογραφία των CBUMFs που σχεδιάστηκαν από το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών του Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας β) σχηματική απεικόνιση των CBUMFs κατά τον σχεδιασμό.....	95
Σχήμα 5.4: Φωτογραφία της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών του Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας β) σχηματική απεικόνιση της δεξαμενής κατά τον σχεδιασμό.	99
Σχήμα 5.5: Λειτουργικό διάγραμμα ροής (P&I) των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην ΕΕΛ Μάρπησσας.	102
Σχήμα 5.6: α) Ηλεκτρολογικός πίνακας πιλοτικής μονάδας, β) αρχική οθόνη στο PLC που απεικονίζεται η πιλοτική μονάδα.	103
Σχήμα 5.7: Φωτογραφίες κατά την κατασκευή του μικροκόσκινου.	105
Σχήμα 5.8: Φωτογραφίες κατά την κατασκευή του CBUMF.....	106
Σχήμα 5.9: Φωτογραφίες κατά την κατασκευή της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες.	107
Σχήμα 5.10: Τελική άποψη πιλοτικού συστήματος.....	107
Σχήμα 5.11: Κάτοψη πιλοτικού συστήματος στην ΕΕΛ Μάρπησσας.	108
Σχήμα 5.12: α) Φωτογραφία μικροκόσκινου στην ΕΕΛ Κυπερούντας, β) φωτογραφία ιμάντα μικροκόσκινου και γ) σχηματική απεικόνιση μικροκόσκινου κατά τον σχεδιασμό.	111
Σχήμα 5.13: α) Φωτογραφία του αμμόφιλτρου στην ΕΕΛ Κυπερούντας β) σχηματική απεικόνιση του αμμόφιλτρου κατά τον σχεδιασμό.....	113
Σχήμα 5.14: Φωτογραφία της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες στην ΕΕΛ Κυπερούντας β) σχηματική απεικόνιση δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες κατά τον σχεδιασμό.	118
Σχήμα 5.15: Λειτουργικό διάγραμμα ροής της πιλοτικής διάταξη στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	120
Σχήμα 5.16: Τελική άποψη πιλοτικού συστήματος στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	122
Σχήμα 5.17: Εμφανίζεται το αρχείο με το οποίο θα γίνει η εγκατάσταση του προγράμματος.....	124
Σχήμα 5.18: Παρουσιάζεται ο οδηγός εγκατάστασης του λογισμικού.	124
Σχήμα 5.19: Παρουσιάζεται ο οδηγός εγκατάστασης του λογισμικού.	125
Σχήμα 5.20: Παρουσιάζεται το τέλος του οδηγού εγκατάστασης του λογισμικού... ..	125
Σχήμα 5.21: Παρουσιάζονται τα εικονίδια για την εκκίνηση του προγράμματος....	126
Σχήμα 5.22: Παρουσιάζεται η καρτέλα «Εισαγωγή Δεδομένων» του λογισμικού... ..	126
Σχήμα 5.23: Παρουσιάζεται η καρτέλα “μικροεσχάρα” του λογισμικού.	127
Σχήμα 5.24: Παρουσιάζεται η καρτέλα «Αμμόφιλτρο» του λογισμικού.	127
Σχήμα 5.25: Παρουσιάζεται η καρτέλα «Ισοζύγιο μάζας» του λογισμικού για ποσοστό μείωσης αιωρούμενων στερεών 40-60%.	128
Σχήμα 5.26: α, β: Παρουσιάζεται εκτέλεση των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας με τη χρήση του λογισμικού για ποσοστό μείωσης αιωρούμενων στερεών 60-85%.	129
Σχήμα 6.1: Όργανο μέτρησης διαμέτρων σωματιδίων- Malvern Mastersizer 2000.....	132
Σχήμα 6.2: Στοιχειακός αναλυτής Flash 2000 Series, Thermo Fischer Scientific. ..	132
Σχήμα 6.3: Θερμιδόμετρο-ΧΡΥ-1Α Digital Oxygen Bomb Calorimeter.....	133
Σχήμα 6.4: α) Παραγόμενα PSS στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	153
Σχήμα 6.5: α) Παραγόμενα βιοστερεά, β) εσωτερικό τμήμα του μικροκόσκινου γ) σχηματισμός υμένα.	156
Σχήμα 9.1: Ισοζύγια μάζας στη διεργασία ενεργού ιλύος.....	199



Σχήμα 9.2: Ισοζύγια μάζας πρώτου σεναρίου για την ΕΕΛ χωρίς καμία αναβάθμιση.	204
Σχήμα 9.3: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου χαμηλής απόδοσης.	204
Σχήμα 9.4: Εκτιμώμενα οφέλη για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου ικανοποιητικής απόδοσης.	205
Σχήμα 9.5: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου εξαιρετικής απόδοσης.	206
Σχήμα 9.6: Εκτιμώμενα οφέλη για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου εξαιρετικής απόδοσης.	206
Σχήμα 9.7: Ισοζύγια μάζας και ενέργειας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης ικανοποιητικής απόδοσης.	207
Σχήμα 9.8: Εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης ικανοποιητική απόδοσης.	207
Σχήμα 9.9: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης εξαιρετικής απόδοσης.	208
Σχήμα 9.10: Εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης εξαιρετικής απόδοσης.	208
Σχήμα 9.11: Ισοζύγια μάζας δευτέρου σεναρίου για την ΕΕΛ χωρίς καμία αναβάθμιση.	210
Σχήμα 9.12: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου ικανοποιητική απόδοσης.	211
Σχήμα 9.13: Εκτιμώμενα οφέλη για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου ικανοποιητικής απόδοσης.	211
Σχήμα 9.14: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου εξαιρετικής απόδοσης.	212
Σχήμα 9.15: Εκτιμώμενα οφέλη για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου εξαιρετικής απόδοσης.	212
Σχήμα 9.16: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης ικανοποιητικής απόδοσης.	213
Σχήμα 9.17: Εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης ικανοποιητικής απόδοσης.	213
Σχήμα 9.18: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης εξαιρετικής απόδοσης.	214
Σχήμα 9.19: Εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης εξαιρετικής απόδοσης.	214
Σχήμα Ι.1: 3d Διάγραμμα της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Μάρπησσας.	230
Σχήμα Ι.2: 3d Διάγραμμα της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	231
Σχήμα Ι.3: 3d Διάγραμμα της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	232



Πίνακας πινάκων

Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά υδροκυκλώνα.....	47
Πίνακας 2.2: Σύγκριση APTT με συμβατική επεξεργασία (Blanca et al., 2000; Brown, 1987; CH2MHIL, 2004; Lema and Martinez, 2017; Tsamoutsoglou et al., 2024).	49
Πίνακας 2.3: Επιπτώσεις των APTT στην εξοικονόμηση ενέργειας και στις GHG (Lema and Martinez, 2017).	51
Πίνακας 3.1: Οξειδωτικές καταστάσεις αζώτου (Madigan et al., 2006).....	55
Πίνακας 3.2: Τυπικές παράμετροι σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται συνήθως στις διεργασίες ενεργού ιλύος (Metcalf et al., 1991).	64
Πίνακας 3.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διεργασιών ενεργού ιλύος (Metcalf et al., 1991).	65
Πίνακας 4.1: Παράμετροι υφιστάμενης ΕΕΛ Μάρπησσας.	69
Πίνακας 4.2: Όρια εκροής ΕΕΛ Μάρπησσας.....	70
Πίνακας 4.3: Η/Μ εξοπλισμός της ΕΕΛ Μάρπησσας.	75
Πίνακας 4.4: Υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία-ΕΕΛ Κυπερούντας.	78
Πίνακας 4.5: Παράμετροι ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων.	79
Πίνακας 4.6: Υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία αντλιοστασίου Κοινότητας.....	80
Πίνακας 4.7: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά αντλιοστασίου ανύψωσης.	80
Πίνακας 4.8: Αναλύσεις βοθρολυμάτων από το νοσοκομείο Κυπερούντας.	81
Πίνακας 4.9: Αναλύσεις βοθρολυμάτων από την Κοινότητα της Κυπερούντας.	81
Πίνακας 4.10: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά δεξαμενής εξισορρόπησης.	82
Πίνακας 4.11: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά δεξαμενής επιλογής, αερισμού και ΔΔΚ.	83
Πίνακας 4.12: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά δεξαμενών αποθήκευσης της ιλύος.	83
Πίνακας 4.13: Βασικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών χλωρίωσης και εξισορρόπησης.....	84
Πίνακας 4.14: Βασικά χαρακτηριστικά αμμόφιλτρων.	84
Πίνακας 4.15: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης.	84
Πίνακας 4.16: Εγκατεστημένος Η/Μ εξοπλισμός στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	86
Πίνακας 4.17: Εγκατεστημένος Η/Μ εξοπλισμός στο αντλιοστάσιο της Κοινότητας.	87
Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά μικροκόσκινου.....	90
Πίνακας 5.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του αντλιοστασίου.....	93
Πίνακας 5.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας αμμοφίλτρανσης για την ΕΕΛ Μάρπησσας.....	95
Πίνακας 5.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά μπλόκ λαμελλών (module).....	99
Πίνακας 5.5: Όργανα μέτρησης πιλοτικής μονάδα.	103
Πίνακας 5.6: Χαρακτηριστικά μικροκόσκινου.....	109
Πίνακας 5.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας αμμοφίλτρανσης.....	114
Πίνακας 5.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά μπλόκ λαμελλών (module).....	118
Πίνακας 5.9: Όργανα μέτρησης πιλοτικής μονάδας.	121
Πίνακας 6.1: Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης μικροκόσκινου και αμμόφιλτρο.	135
Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα μετρήσεων TSS.	135
Πίνακας 6.3: Τιμές HHV των αιωρούμενων στερεών της ΕΕΛ Μάρπησσας.....	136
Πίνακας 6.4: Τιμές δεικτών d_{10} , d_{50} , d_{90}	137
Πίνακας 6.5: Χημική σύσταση και λόγος C/N αιωρούμενων στερεών στην ΕΕΛ Μάρπησσα.	138
Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα μετρήσεων TSS.	139
Πίνακας 6.7: Τιμές HHV των αιωρούμενων στερεών της ΕΕΛ Κυπερούντας.....	139
Πίνακας 6.8: Τιμές δεικτών d_{10} , d_{50} , d_{90}	139
Πίνακας 6.9: Χημική σύσταση και λόγος C/N αιωρούμενων στερεών στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	141



Πίνακας 6.10: Απομάκρυνση ΤΚΝ με επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης στην ΕΕΛ Κυπερούντας.....	146
Πίνακας 6.11: Απομάκρυνση ΤΡ με επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης στην ΕΕΛ Κυπερούντας.....	146
Πίνακας 6.12: Παράμετροι ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων.	154
Πίνακας 6.13: Αποτελέσματα προσαρμογής δεδομένων.	157
Πίνακας 7.1: Κόστος αρχικής επένδυσης των πιλοτικών συστημάτων.	160
Πίνακας 7.2: Κόστος προσωπικού στις ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυπερούντας.....	161
Πίνακας 7.3: Εκτιμώμενο κόστος λειτουργίας και συντήρησης των πιλοτικών συστημάτων στην ΕΕΛ Μάρπησσας.....	163
Πίνακας 7.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά για την επέκταση της υφιστάμενης διεργασίας ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Μάρπησσας.....	163
Πίνακας 7.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά για την επέκταση της υφιστάμενης διεργασίας ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Κυπερούντας.....	164
Πίνακας 7.6: Κόστος αρχικής επένδυσης διεργασίας ενεργού ιλύος στις δύο ΕΕΛ.	164
Πίνακας 7.7: Εκτιμώμενο κόστος λειτουργίας και συντήρησης διεργασίας συμβατικής επέκτασης στις δύο ΕΕΛ.	164
Πίνακας 7.8: Ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συντελεστές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για κάθε τύπο καυσίμου (Koutsou, et al., 2018).....	166
Πίνακας 7.9: ΕΑC πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην ΕΕΛ Μάρπησσας.	168
Πίνακας 7.10: ΕΑC πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για την ΕΕΛ Κυπερούντας.	168
Πίνακας 7.11: ΕΑC διεργασία ενεργού ιλύος για την ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυπερούντας.	168
Πίνακας 7.12: Υπολογισμός του κόστους επεξεργασίας των λυμάτων με την ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών σε €/ m ³	174
Πίνακας 7.13: Παράμετροι ανάλυσης ευαισθησίας και τιμές αναφοράς.	175
Πίνακας 8.1: ΙΠ (θέρωσ/χειμώνας)	181
Πίνακας 8.2: ΙΠ.....	192
Πίνακας 9.1: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά στη διεργασία ενεργού ιλύος (G Tchobanoglous et al., 2003).	200
Πίνακας 9.2: Ποιοτικά χαρακτηριστικά και αποδόσεις πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης πρώτου σεναρίου.	203
Πίνακας 9.3: Ποιοτικά χαρακτηριστικά και αποδόσεις πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης δεύτερου σεναρίου.....	203
Πίνακας 9.4: Εκτιμώμενα οφέλη από τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης για το πρώτο σενάριο.	209
Πίνακας 9.5: Παραγωγή πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος για το πρώτο σενάριο.....	210
Πίνακας 9.6: Εκτιμώμενα οφέλη από τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης για το δεύτερο σενάριο.	215
Πίνακας 9.7: Παραγωγή πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος για το δεύτερο σενάριο.....	216
Πίνακας 9.8: Σύγκριση εκτιμώμενων οφελών των δύο σεναρίων.	217



Πίνακας διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα διακύμανσης μέσης ημερήσιας παροχής για το έτος 2023.	69
Διάγραμμα 4.2: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εισόδου στην ΕΕΛ Μάρπησσας για το έτος 2023.	70
Διάγραμμα 4.3: Αποτελέσματα δειγματοληψιών εισόδου στην ΕΕΛ Κυπερούντας για την περίοδο 2023.	78
Διάγραμμα 4.4: Καταγραφείσα και σχεδιαστική ροή-ΕΕΛ Κυπερούντας για το έτος 2021.	88
Διάγραμμα 6.1: Κατανομή μεγέθους αιωρούμενων στερεών.	136
Διάγραμμα 6.2: Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό.	137
Διάγραμμα 6.3: Αποτελέσματα μέτρησης TOC.	138
Διάγραμμα 6.4: Κατανομή μεγέθους αιωρούμενων στερεών στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	140
Διάγραμμα 6.5: Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	140
Διάγραμμα 6.6: Αποτελέσματα μέτρησης TOC.	141
Διάγραμμα 6.7: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (κόκκινες μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (πράσινες μπάρες) του αμμόφιλτρου.	142
Διάγραμμα 6.8: Απομάκρυνση TSS με συνδυασμό μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης (%) (μπλε μπάρες), απομάκρυνση TSS με μικροκοσκίνιση (%) (πράσινες μπάρες).	142
Διάγραμμα 6.9: Συγκεντρώσεις BOD ₅ εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (κόκκινες μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (πράσινες μπάρες) του αμμόφιλτρου.	143
Διάγραμμα 6.10: Ποσοστιαία απομάκρυνση BOD ₅ με συνδυασμό μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης (%) (μπλε μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση BOD ₅ με μικροκοσκίνιση (%) (πράσινες μπάρες).	144
Διάγραμμα 6.11: Συγκεντρώσεις COD εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (κόκκινες μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (πράσινες μπάρες) του αμμόφιλτρου.	145
Διάγραμμα 6.12: Ποσοστιαία απομάκρυνση COD με συνδυασμό μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης (%) (μπλε μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση COD με μικροκοσκίνιση (%) (πράσινες μπάρες).	145
Διάγραμμα 6.13: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (πράσινες μπάρες) της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες.	147
Διάγραμμα 6.14: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (πορτοκαλί μπάρες), εξόδου (τρίκοντες μπάρες) της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες.	148
Διάγραμμα 6.15: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (πορτοκαλί μπάρες), εξόδου (τρίκοντες μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (μωβ μπάρες) του αμμόφιλτρου.	149
Διάγραμμα 6.16: Ποσοστιαία απομάκρυνση TSS με συνδυασμό μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης (%) (πορτοκαλί μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση TSS με μικροκοσκίνιση (%) (μωβ μπάρες).	149
Διάγραμμα 6.17: Συγκεντρώσεις BOD ₅ εισόδου (πορτοκαλί μπάρες), εξόδου (τρίκοντες μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (μωβ μπάρες) του αμμόφιλτρου.	150
Διάγραμμα 6.18: Ποσοστιαία απομάκρυνση BOD ₅ με συνδυασμό μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης (%) (πορτοκαλί μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση BOD ₅ με μικροκοσκίνιση (%) (μωβ μπάρες).	151
Διάγραμμα 6.19: Συγκεντρώσεις COD εισόδου (πορτοκαλί μπάρες), εξόδου (τρίκοντες μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (μωβ μπάρες) του αμμόφιλτρου.	152
Διάγραμμα 6.20: Ποσοστιαία απομάκρυνση COD με συνδυασμό μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης (%) (πορτοκαλί μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση COD με μικροκοσκίνιση (%) (μωβ μπάρες).	152
Διάγραμμα 6.21: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (κόκκινες μπάρες) του μικροκόσκινου στην ΕΕΛ Θριασίου.	155
Διάγραμμα 6.22: Ποσοστιαία απομάκρυνση TSS του μικροκόσκινου στην ΕΕΛ Θριασίου.	155



Διάγραμμα 6.23: Πειραματικά δεδομένα μαζί με την προσαρμογή δεδομένων του μοντέλου για συγκεντρώσεις των TSS στην έξοδο του μικροκόσκινου.	157
Διάγραμμα 6.24: Πειραματικά δεδομένα μαζί με την προσαρμογή δεδομένων του μοντέλου για την συγκέντρωση των TSS στην έξοδο του αμμόφιλτρου.	158
Διάγραμμα 7.1: Σύγκριση ηλεκτρικής κατανάλωσης μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και συμβατική επέκτασης ιλύος στην ΕΕΛ Μάρπησσας. ...	169
Διάγραμμα 7.2: Σύγκριση ηλεκτρικής κατανάλωσης μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και διεργασία ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	170
Διάγραμμα 7.3: Σύγκριση ηλεκτρικής κατανάλωσης ανά κυβικό μέτρο αποβλήτων μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της διεργασίας ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Μάρπησσας.	170
Διάγραμμα 7.4: Σύγκριση ηλεκτρικής κατανάλωσης ανά κυβικό μέτρο αποβλήτων μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της διεργασίας ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	171
Διάγραμμα 7.5: Επίδραση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της συμβατικής επέκτασης στην κατανομή του κόστους συντήρησης και λειτουργίας στην ΕΕΛ Μάρπησσας.	172
Διάγραμμα 7.6: Επίδραση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και συμβατικής επέκτασης στην κατανομή του κόστους συντήρησης και λειτουργίας στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	173
Διάγραμμα 7.7: Επίδραση της μεταβολής των παραμέτρων στο κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων στην ΕΕΛ Μάρπησσας.	175
Διάγραμμα 7.8: Επίδραση της μεταβολής των παραμέτρων στο κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων στην ΕΕΛ Κυπερούντας.	176
Διάγραμμα 8.1: Χρόνια λειτουργίας ΕΕΛ στην Ελλάδα.	182
Διάγραμμα 8.2: Μέση ημερήσια παροχή εισόδου (<1.500 m ³ /d).	182
Διάγραμμα 8.3: Μέση ημερήσια παροχή εισόδου (1.500-5.000 m ³ /d).	183
Διάγραμμα 8.4: Μέση ημερήσια παροχή εισόδου (>5.000 m ³ /d).	183
Διάγραμμα 8.5: Πρωτοβάθμια επεξεργασία.	184
Διάγραμμα 8.6: Μέθοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.	184
Διάγραμμα 8.7: Επεξεργασία ιλύος.	185
Διάγραμμα 8.8: Τελικός αποδέκτης επεξεργασμένων λυμάτων.	185
Διάγραμμα 8.9: Τρόποι διάθεσης ιλύος.	186
Διάγραμμα 8.10: Ενεργειακή κατανάλωση ανά κυβικό μέτρο αποβλήτου.	186
Διάγραμμα 8.11: Απόδοση των ελληνικών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος.	187
Διάγραμμα 8.12: Παρατηρούμενες αυξομειώσεις στις ΕΕΛ.	187
Διάγραμμα 8.13: Προβλήματα υπερφόρτωσης ή αναποτελεσματικής λειτουργίας στις ΕΕΛ.	188
Διάγραμμα 8.14: Εκτροπή ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων.	188
Διάγραμμα 8.15: Αύξηση της εισερχόμενης παροχής.	189
Διάγραμμα 8.16: Σχέδια μελλοντικής επέκτασης ή αναβάθμισης λόγω αύξηση της παροχής.	189
Διάγραμμα 8.17: Σχέδια αναβάθμισης για μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.	189
Διάγραμμα 8.18: Ποσοστό μείωσης αιωρούμενων στερεών πριν τη δεξαμενή αερισμού.	190
Διάγραμμα 8.19: Διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εγκατάσταση πρωτοβάθμιας καθίζησης.	191
Διάγραμμα 8.20: Διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.	191
Διάγραμμα 8.21: Χρόνια λειτουργίας κυπριακών ΕΕΛ.	192
Διάγραμμα 8.22: Μέση ημερήσια παροχή εισόδου (θέρος/χειμώνας).	193
Διάγραμμα 8.23: Μέθοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.	193
Διάγραμμα 8.24: Μέθοδοι επεξεργασίας ιλύος.	194
Διάγραμμα 8.25: Ενεργειακή κατανάλωση ανά κυβικό μέτρο αποβλήτου.	195



Διάγραμμα 8.26: Εκτροπή ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων.....	196
Διάγραμμα 8.27: Σχέδια μελλοντικής επέκτασης ή αναβάθμισης της υφιστάμενης ΕΕΛ λόγω αύξηση της παροχής.....	196
Διάγραμμα 8.28: Ποσοστό μείωσης αιωρούμενων στερεών πριν τη δεξαμενή αερισμού.	197
Διάγραμμα 8.29: Διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εγκατάσταση πρωτοβάθμιας καθίζησης.....	197
Διάγραμμα 8.30: Διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.....	198



Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αναγκαιότητα υιοθέτησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην επεξεργασία αστικών λυμάτων

Η εκθετική αύξηση τόσο της παγκόσμιας οικονομίας όσο και του ανθρώπινου πληθυσμού έχει οδηγήσει σε έλλειψη υδάτινων πόρων που είναι κατάλληλοι για άμεση ανθρώπινη κατανάλωση. Ως αποτέλεσμα, η αποκατάσταση των υδάτινων πόρων θα γίνει αναπόφευκτα η πρωταρχική εστίαση παγκοσμίως (Abdelfattah et al., 2023). Η κατανάλωση ενέργειας από τις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, καθώς οι μονάδες χρησιμοποιούν προηγμένες διεργασίες επεξεργασίας για να ανταποκριθούν στις αυξημένες απαιτήσεις ποιότητας και στις αυξημένες ροές λυμάτων. Η υψηλή κατανάλωση ενέργειας των ΕΕΛ αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τους δήμους σε όλο τον κόσμο (Carpodaglio and Olsson, 2019; Siatou et al., 2020). Οι περισσότερες ΕΕΛ στην Ελλάδα λειτουργούν ως εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα υψηλό λειτουργικό κόστος λόγω των υψηλών ενεργειακών αναγκών στη δεξαμενή αερισμού. Ενδεικτικό παράδειγμα σχετικά με την κατανομή των ενεργειακών απαιτήσεων των ΕΕΛ αποτελεί η μελέτη ενεργειακής αξιολόγησης για δεκαεπτά ΕΕΛ ενεργού ιλύος στην Ελλάδα. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η κατανάλωση ενέργειας κυμαινόταν από 0,13 σε 2,28 kWh/m³, σε ΕΕΛ με μέση ημερήσια παροχή από 300 έως 27.000 m³/d, γεγονός που υποδεικνύει ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση στις ενεργειακές απαιτήσεις, υπογραμμίζοντας έτσι την ανάγκη μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης των ΕΕΛ (Siatou et al., 2020). Ένας σημαντικός αριθμός υφιστάμενων ΕΕΛ στην Ελλάδα και γενικότερα στην Ευρώπη, έχει κατασκευαστεί πριν από δεκαετίες. Κατά συνέπεια, πολλές ελληνικές ΕΕΛ υπολειτουργούν λόγω της επέκτασης των δικτύων αποχέτευσης και της επακόλουθης αύξησης της παροχής, με συνέπεια την ατελή επεξεργασία των λυμάτων (Prochaska and Zouboulis, 2020). Οι υπερφορτωμένες ΕΕΛ συνήθως αναβαθμίζονται είτε με επέκταση της δεξαμενής αερισμού είτε με απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών μέσω πρωτοβάθμιας καθίζησης. Ωστόσο, η συμβατική πρωτοβάθμια καθίζηση απαιτεί σημαντικό χώρο, και συνδέεται με υψηλό κόστος κατασκευής, ενώ τα παραγόμενα βιοστερεά είναι ιλύες αστικού τύπου, που απαιτούν περεταίρω επεξεργασία για πάχυνση και αφυδάτωση (Caliskaner and Pena-Tijerina, 2019). Επιπρόσθετα, η κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου (GreenHouse Gases, GHG) που σχετίζονται με την επεξεργασία των λυμάτων, αποτελούν σημαντικό πρόβλημα και καταβάλλεται προσπάθεια για τη μείωσή τους (European Commission, 2022). Η νέα οδηγία (COM/2022/541) της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεσπίζει την υποχρέωση επίτευξης ενεργειακής ουδετερότητας σε όλες τις ΕΕΛ άνω των 10.000 Ισοδύναμων Κατοίκων (ΙΚ) έως τις 31 Δεκεμβρίου 2040. Η συνολική ετήσια ενέργεια που θα παράγεται από ανανεώσιμες πηγές σε εθνικό επίπεδο από όλες τις ΕΕΛ λυμάτων θα πρέπει να είναι ίση με τη συνολική ετήσια ενέργεια που καταναλώνεται από αυτές τις μονάδες (COM/2022/541).

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής έχουν σχεδιαστεί πρωτότυπα συστήματα απομάκρυνσης πρωτοβάθμιων αιωρούμενων στερεών από αστικά λύματα. Δύο τέτοια συστήματα, με μέγιστη δυναμικότητα 2.500 και 1.800 m³/d αποβλήτων έχουν εγκατασταθεί σε δύο υπερφορτωμένες ΕΕΛ, στη Μάρπησσα, Πάρου (Ελλάδα) και στην Κυπερούντα, Λεμεσός (Κύπρος), αντίστοιχα. Με αυτόν τον τρόπο οι δύο ΕΕΛ δύναται να δεχτούν αυξημένο φορτίο εισόδου, με παράλληλη μείωση της ενεργειακής δαπάνης.



1.2 Ερευνητικό ερώτημα, σκοπός, καινοτομία και μεθοδολογία διδακτορικής διατριβής

Τα καίριο ερευνητικό ερώτημα που καλείται να απαντήσει η διατριβή είναι κατά πόσο είναι ικανή η προτεινόμενη μέθοδος πρωτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων να αποτελέσει λύση στα προβλήματα υπερφόρτωσης υφιστάμενων ΕΕΛ, με χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η καινοτομία της παρούσας διδακτορικής έρευνας έγκειται στον σχεδιασμό, κατασκευή λειτουργία και προσομοίωση των προτεινόμενων τεχνολογιών (μικροκοσκίνιση – αμμοφίλτρανση-δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες) τόσο μεμονωμένα για την κάθε μια, όσο και ολοκληρωμένα, σε ένα ενιαίο σύστημα επεξεργασίας αστικών λυμάτων, που υλοποιείται σε πλήρη κλίμακα και εφαρμόζεται σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας σε υπερφορτωμένες ΕΕΛ ενεργού ιλύος.

Η πρωτοτυπία των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης σε σχέση με τη συμβατική επεξεργασία των αστικών λυμάτων έγκειται στην πρώιμη απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών από τα λύματα, πριν αυτά εισέλθουν στην δεξαμενή αερισμού. Να σημειωθεί ότι και στις δύο ΕΕΛ που εφαρμόστηκαν τα συστήματα (στην ΕΕΛ Μάρπησας Πάρου και στην ΕΕΛ Κυπερούντας Κύπρου) προγραμματίζεται επέκταση του δικτύου αποχέτευσης και αύξηση της παροχής εισόδου. Συνεπώς, καθίσταται αναγκαία η αναβάθμιση των ΕΕΛ ώστε να δεχτούν αυξημένα φορτία εισόδου παράλληλα με παράλληλη μείωση της ενεργειακής δαπάνης. Η διεργασία που αναπτύχθηκε στην παρούσα διδακτορική διατριβή περιλαμβάνει διαδοχικά δύο τεχνολογίες απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών ένα μικροκόσκινο, ακολουθούμενο από Αυτοκαθαριζόμενα Αμμοφίλτρα Ανοδικής Ροής (Continuous Backwash Upflow Media Filter, CBUMFs), με μέγιστη δυναμικότητα επεξεργασίας 2.500 m³/d και 1.800 m³/d, στην ΕΕΛ Μάρπησας και Κυπερούντας, αντίστοιχα. Ο βασικός σκοπός αυτής της διδακτορικής διατριβής είναι ο σχεδιασμός, η κατασκευή και ο έλεγχος λειτουργίας πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης σε υπερφορτωμένες εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος. Οι κυριότεροι τομείς που μελετήθηκαν είναι:

- Αντιμετώπιση προβλημάτων υπερφόρτωσης σε ΕΕΛ ενεργού ιλύος.
- Σχεδιασμός και κατασκευή δύο πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης πλήρους κλίμακας (ένα στην Πάρο και ένα στην Κύπρο).
- Μελέτη της λειτουργίας των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.
- Δημιουργία λογισμικού για τη διαστασιολόγηση και την εκτίμηση μείωσης της ηλεκτρικής ενέργειας των ΕΕΛ μέσω πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.
- Αξιολόγηση λειτουργίας πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.
- Προσομοίωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.
- Διερεύνηση των δυνατοτήτων εφαρμογής πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στις ΕΕΛ σε Ελλάδα και Κύπρο.
- Ποσοτικοποίηση οφελών στην κατάντη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ με τη χρήση πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.

Η μεθοδολογία που κρίθηκε κατάλληλη ώστε να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η εξής:

- Ο σχεδιασμός των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης, βασίστηκε στη τεχνογνωσία του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικών Διεργασιών του Πολυτεχνείου Κρήτης καθώς και σε μεθοδολογίες σχεδιασμού ΕΕΛ.



- Για την ανάπτυξη του λογισμικού με σκοπό τη διαστασιολόγηση και προσομοίωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης, χρησιμοποιήθηκε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic (net framework 6) και σε περιβάλλον εργασίας Visual Studio 2022.
- Για τον έλεγχο λειτουργίας των καινοτόμων τεχνολογιών πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις, ώστε να συλλεχθούν τα απαραίτητα δεδομένα για την αξιολόγηση τους.
- Για την προσομοίωση των τεχνολογιών μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης συγκεντρώθηκαν πειραματικά δεδομένα και αναπτύχθηκαν οι κατάλληλες μαθηματικές εξισώσεις, ενώ τα αποτελέσματα του μαθηματικού μοντέλου επαληθεύτηκαν πειραματικά.
- Για την εκτίμηση κόστους για την πλήρη επεξεργασία των αποβλήτων λήφθηκαν υπόψη όλες οι απαιτούμενες παράμετροι (κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος, κ.λπ.) σε σύγκριση με την τρέχουσα κατάσταση προκειμένου να προσδιοριστεί η βιωσιμότητα των πιλοτικών συστημάτων. Επίσης, το κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων με τη χρήση πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης συγκρίθηκε με τη συμβατική επέκταση (επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής εξεργασίας) των δύο ΕΕΛ.
- Για τη διερεύνηση υιοθέτησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης έλαβε χώρα η δημιουργία και αποστολή ερωτηματολογίου σε ΕΕΛ στην Ελλάδα και στην Κύπρο.
- Για την εκτίμηση των οφελών στη βιολογική επεξεργασία, πραγματοποιήθηκαν ισοζύγια μάζας και ενέργειας και εκτιμήθηκαν οι μειώσεις στον όγκο (m^3) των δεξαμενών αερισμού, οι απαιτούμενες ανάγκες σε οξυγόνο ($kg\ O_2/h$) (απομάκρυνση BOD_5 και νιτροποίηση) στις δεξαμενές αερισμού, η ποσότητα (t/d) δευτεροβάθμιας ιλύος και η κατανάλωση ενέργειας (kWh/m^3) των δεξαμενών αερισμού υπερφορτωμένων ΕΕΛ, με μέση ημερήσια παροχή $10.000/15.000\ m^3/d$, αντίστοιχα.

1.3 Διάρθρωση των κεφαλαίων της διδακτορικής διατριβής

Η διάρθρωση των Κεφαλαίων της διδακτορικής διατριβής έχει ως ακολούθως:

- Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η αναγκαιότητα υιοθέτησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην επεξεργασία αστικών λυμάτων, το ερευνητικό ερώτημα, ο σκοπός, η καινοτομία, η μεθοδολογία διδακτορικής διατριβής, η διάρθρωση των κεφαλαίων της διδακτορικής διατριβής και οι επιστημονικές δημοσιεύσεις.
- Στο Κεφάλαιο 2 πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία εστιάζει στην περιγραφή της συμβατικής και προηγμένης πρωτοβάθμιας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.
- Στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία εστιάζει στην περιγραφή στη διεργασία ενεργού ιλύος αστικών λυμάτων.
- Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται η περιγραφή των ΕΕΛ Μάρπησσας, Πάρος και στην ΕΕΛ Κυπερούντας, Κύπρος.
- Το Κεφάλαιο 5 αφιερώνεται στο σχεδιασμό, την κατασκευή, την εγκατάσταση και τη δημιουργία λογισμικού των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στις ΕΕΛ Μάρπησσας και ΕΕΛ Κυπερούντας.
- Το Κεφάλαιο 6 αποτελεί το πειραματικό μέρος της έρευνας κατά το οποίο μελετάται και αναλύεται η αποτελεσματικότητα των νέων τεχνολογιών και επίσης προσομοιώνονται οι τεχνολογίες μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης.
- Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται η εκτίμηση κόστους για την πλήρη επεξεργασία των αποβλήτων στις ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυπερούντας μετά την ενσωμάτωση των



πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης. Η αξιολόγηση βασίζεται σε ανάλυση κόστους-οφέλους και λαμβάνει υπόψη όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους (κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος, αποτελέσματα κ.λπ.) σε σύγκριση με την τρέχουσα κατάσταση προκειμένου να προσδιοριστεί η βιωσιμότητα του πιλοτικού συστήματος σε κάθε ΕΕΛ. Τέλος, γίνεται σύγκριση του κόστους για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων (€/m³) των πιλοτικών συστημάτων σε σχέση με την επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας στις δύο ΕΕΛ.

- Το Κεφάλαιο 8 εξετάζει τη διερεύνηση υιοθέτησης των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης σε Ελληνικές και Κυπριακές ΕΕΛ.
- Στο Κεφάλαιο 9 ποσοτικοποιούνται τα εκτιμώμενα οφέλη στην κατάντη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ μετά την εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης σε ΕΕΛ (μέγιστης δυναμικότητας 10.000/15.000 m³/d), που βρίσκονται σε συμμόρφωση και μη με τα θεσμοθετημένα όρια απόρριψης επεξεργασμένων λυμάτων (οδηγία 91/271/ΕΟΚ).
- Η παρούσα διατριβή ολοκληρώνεται με το Κεφάλαιο 10, στο οποίο περιγράφονται τα συμπεράσματα και οι μελλοντικοί στόχοι.

1.4 Επιστημονικές δημοσιεύσεις

Συμμετοχές σε διεθνή περιοδικά:

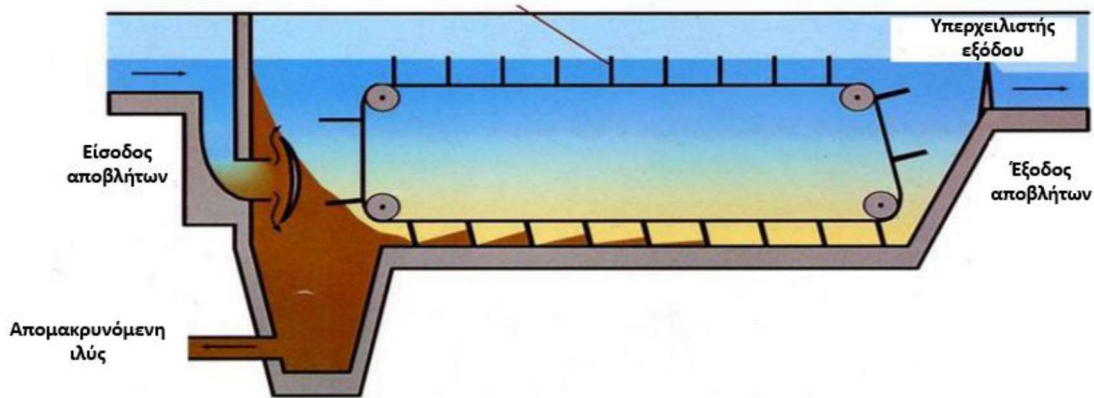
1. Tsamoutsoglou, K., Katzourakis, V. E., Chrysikopoulos, C. V., and Gikas, P. (2024). Performance evaluation and parameter estimation of the advanced primary filtration (APF) process in wastewater treatment plants. *Separation and Purification Technology*, 344, 127106. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127106>
2. Tsamoutsoglou, K., Katzourakis, V. E., Chrysikopoulos, C. V., and Gikas, P. (2024). Investigation and parameter estimation of a hydrocyclone for the treatment of municipal wastewater. *Journal of Environmental Management* (submitted, under peer-review).
3. Fernández-Gutiérrez, D., Manali, A., Tsamoutsoglou, K., Gikas, P., and Guillén, A. L. (2023). Environmental life cycle assessment of an integrated biosolids microsieving-drying-gasification pilot plant from WWTP. *Green Energy and Sustainability*, 3(3). <https://doi.org/10.47248/ges2303030004>
4. Tsamoutsoglou, K., Rozakis, S., and Gikas, P. (2024). Techno-economic feasibility analysis of the Advanced Primary Filtration (APF) process for an overloaded wastewater treatment plant in Paros, Greece. *Journal of Environmental Management* (submitted, under peer-review).
5. Tsamoutsoglou, K., Katzourakis, V. E., Chrysikopoulos, C. V., and Gikas, P. (2024). Application of primary filtration systems at the overloaded Wastewater Treatment Plant of Kyperounda, Cyprus, *Journal of Environmental Management* (submitted, under peer-review).



Συμμετοχές σε διεθνή συνέδρια:

1. Evaluation and parameter estimation of the advanced primary filtration process at the overloaded activated sludge plant of Kyperounda, Cyprus, K. Tsamoutsoglou and P. Gikas, 3rd International Conference on Sustainable Chemical and Environmental Engineering.
2. Application of the advanced primary filtration process at activated sludge wastewater treatment plants, K. Tsamoutsoglou and P. Gikas, 2nd International Conference on Sustainable Chemical and Environmental Engineering.
3. Primary Filtration Systems for upgrade of overloaded municipal Wastewater Treatment Plants in the Mediterranean Countries, K. Tsamoutsoglou, I. Maniaki and P. Gikas, 2nd International Conference on Sustainable Chemical and Environmental Engineering.
4. Biosolids gasification: state-of-the-art and industrial-scale application at the WWTP of Rethymno, K. Pothoulaki, A. Manali, K. Tsamoutsoglou, and P. Gikas, 2nd International Conference on Sustainable Chemical and Environmental Engineering.
5. Microsieving: A novel process for the removal of suspended solids from wastewater, upfront of the aeration tank, K. Tsamoutsoglou, A. Manali, and P. Gikas, 10th International Conference on Sustainable Solid Waste Management.
6. Upgrade of overloaded municipal wastewater treatment plants by advanced primary filtration systems K. Tsamoutsoglou and P. Gikas, 10th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics and SECOTOX Conference.
7. Primary filtration systems as a viable solution to overloaded municipal wastewater treatment plants, Tsamoutsoglou, K., and Gikas P., 1st International Conference on Sustainable Chemical and Environmental Engineering.
8. Investigation of hydrocyclone performance to municipal wastewater treatment plants, Kehagias, A., Tsamoutsoglou, K., and Gikas, P., 1st International Conference on Sustainable Chemical and Environmental Engineering.
9. Gasification of wastewater primary sieved solids for the production of electric and thermal energy, Manali A., Tsamoutsoglou K., and Gikas P., 9th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation.
10. Suspended solids removal from municipal wastewater by the use of a hydrocyclone. Tsamoutsoglou K., A. Kehagias., and Gikas P., 11th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2024)&SECOTOX Conference.
11. Evaluation of wastewater primary sieved solids as a gasification feedstock. Manali A., Tsamoutsoglou K., and Gikas P., 14th Panhellenic Congress of Chemical Engineering.





Σχήμα 2.2: ΔΠΚ ορθογώνιου σχήματος(Jabbar and Al-Baidhani, 2005).

Η έξοδος των αποβλήτων από τις ΔΠΚ πραγματοποιείται με τη βοήθεια υπερχειλιστών. Στις κυκλικές ΔΠΚ τα επεξεργασμένα απόβλητα υπερχειλίζουν είτε από ένα κεντρικό ή περιφερειακό υπερχειλιστή, ενώ στις ορθογώνιες ΔΠΚ από ένα ή πολλούς υπερχειλιστές. Η πρωτοβάθμια ιλύς απομακρύνεται από τον πυθμένα των ΔΠΚ και η περιεκτικότητά σε στερεά κυμαίνεται από 2 έως 4%. Στις ορθογώνιες ΔΠΚ χρησιμοποιούνται δύο διατάξεις συλλογής της παραγόμενης ιλύος: είτε με ατέρμονες μεταφορείς, είτε με μετακινούμενη γέφυρα με ξέστρο. Στις κυκλικές δεξαμενές η συλλογή της ιλύος γίνεται με ξέστρο πυθμένα που κινείται κυκλικά και συλλέγει τη ιλύ σε κεντρική χοάνη-δαχτύλιο. Ωστόσο, η συλλογή των επιπλεόντων στις ΔΠΚ γίνεται με τη βοήθεια ενός βραχίονα που εκτείνεται μέχρι την περιφέρεια της δεξαμενής, συγκεντρώνοντας τα επιπλέοντα σε κεκλιμένα επιφάνεια προς αποκομιδή (Tchobanoglous et al., 2003; Στάμου and Βογιατζής, 1994).

2.2 Χημικά Ενισχυμένη Πρωτοβάθμια Επεξεργασία (Chemically Enhanced Primary Treatment, CEPT)

Η CEPT είναι μια πρωτοβάθμια διεργασία που χρησιμοποιεί χημικές ουσίες για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, οργανικού άνθρακα και θρεπτικών ουσιών από τα αστικά λύματα (Lema and Martinez, 2017; Tchobanoglous et al., 2014; Wang and Wang, 2015). Η CEPT χρησιμοποιείται συχνά για την ενίσχυση της συμβατικής επεξεργασίας και στη συνέχεια για την αύξηση της δυναμικότητας υφιστάμενων ΔΠΚ. Για την αναβάθμιση μιας συμβατικής ΔΠΚ σε CEPT απαιτείται μόνο η προσθήκη χημικών ουσιών πριν από την εισαγωγή των αποβλήτων στη δεξαμενή (Harleman et al., 1997). Τα δύο μεταλλικά άλατα που χρησιμοποιούνται συχνότερα στη CEPT είναι κυρίως ανόργανα άλατα αργιλίου ($(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$) και σιδήρου ((FeCl_3)) (Shewa and Dagnew, 2020). Οι χημικές ουσίες χρησιμοποιούνται για την καθίζηση βιοκροκίδων και την αύξηση του μεγέθους και της πυκνότητας των σωματιδίων στα υγρά απόβλητα (Tchobanoglous et al., 2014).

Η αναβάθμιση της συμβατικής επεξεργασίας σε CEPT βελτιώνει την αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων ΕΕΛ, αυξάνει τη δυναμικότητα και την ποσοστιαία απομάκρυνσή των ρυπαντικών φορτίων. Η εφαρμογή της CEPT σε μία υφιστάμενη ΔΠΚ μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της δυναμικότητας της μονάδας κατά περίπου 50% της υφιστάμενης (Harleman et al., 1997). Με τη CEPT είναι δυνατό να επιτευχθεί απομάκρυνση των TSS από 70% έως 80%, απομάκρυνση του COD και του BOD_5 από 40% έως 60% και απομάκρυνση του φωσφόρου από 70% έως 90%. Συγκριτικά, η συμβατική πρωτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να απομακρύνει μόνο το 40% έως 60% των TSS, το 25% έως 40% του



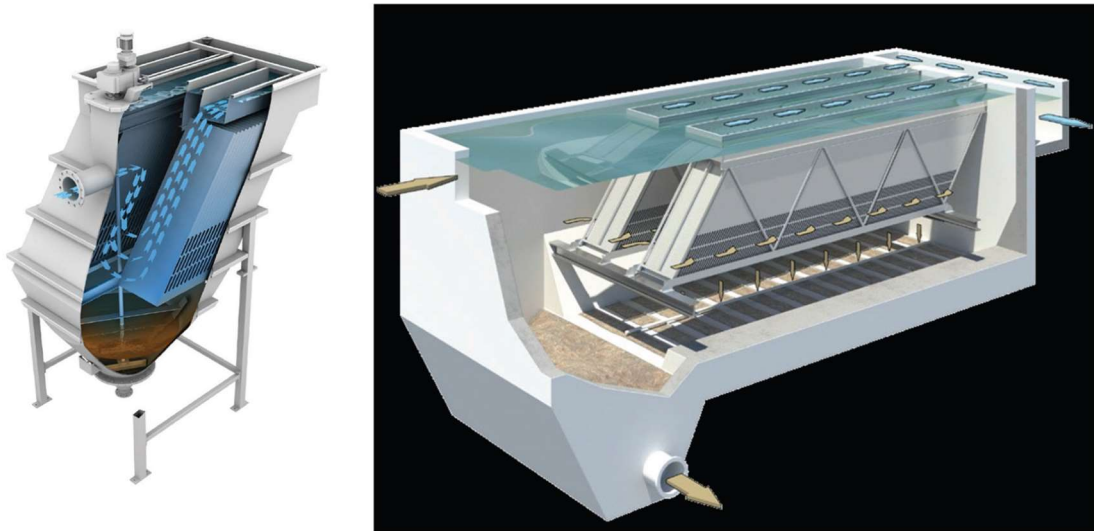
COD και του BOD₅ των εισερχόμενων λυμάτων ((US), 1976; Odegaard, 2005; Tchobanoglous et al., 2003).

Οι Pan et al. 2011 συνέκριναν την παραγωγή μεθανίου μεταξύ της CEPT και της συμβατικής πρωτοβάθμιας καθίζησης σε μια ΕΕΛ στην πρωτεύουσα του Ιράν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παραγωγή μεθανίου μέσω CEPT ήταν 70% υψηλότερη από τη συμβατική καθίζηση (Pan et al., 2011). Η χρήση της CEPT ως εναλλακτικής μεθόδου πρωτοβάθμιας επεξεργασίας αξιολογήθηκε σε μια ΕΕΛ στη Γρανάδα, Ισπανία. Η ΕΕΛ είχε μέση ωριαία παροχή ίση με 3.125 m³/h. Η μελέτη έδειξε ότι η χρήση της CEPT μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων έως και 0,86 €/m³, με συγκεντρώσεις FeCl₃ χαμηλότερες από 24 mg FeCl₃/L. Αυτό οφείλεται στις μειωμένες απαιτήσεις αερισμού στο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Επίσης, σημειώθηκε εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας από 336 έως 3.689 kWh/d, ενώ οι αυξήσεις στην παραγωγή μεθανίου κυμάνθηκαν μεταξύ 910 και 4.239 kWh/d (Checa-Fernández et al., 2024). Παρά το σημαντικό κόστος των χημικών, η CEPT δύναται να προσφέρει θετικό ενεργειακό ισοζύγιο στις ΕΕΛ μειώνοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις κατά τη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, αυξάνοντας την παραγωγή μεθανίου και αυξάνοντας τη δυναμικότητα των δεξαμενών αερισμού. Η ενεργειακή κατανάλωση ανά κυβικό μέτρο υγρών αποβλήτων της CEPT κυμαίνεται μεταξύ 0,07-0,14 kWh/m³ (Taboada-Santos et al., 2020).

2.3 Δεξαμενές καθίζησης με λαμέλλες

Οι ΔΠΚ μπορούν να σχεδιαστούν από την αρχή ως δεξαμενές καθίζησης με λαμέλλες ή οι υπάρχουσες δεξαμενές καθίζησης μπορούν να εξοπλιστούν με λαμέλλες προκειμένου να αυξηθεί η δυναμικότητά τους ή η αποτελεσματικότητα της καθίζησης (Mikosz, 2020). Οι δεξαμενές καθίζησης (Σχήμα 2.3) με λαμέλλες λειτουργούν βαρυτικά: καθώς τα λύματα προς επεξεργασία ρέουν ανάμεσα στις λαμέλλες υπό συνθήκες γραμμικής ροής, τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν στην επιφάνεια των λαμελλών και ολισθαίνουν προς τον πυθμένα, ενώ το καθαρό υπερκείμενο υγρό εξέρχεται από τις επιφάνειες μέσω ειδικά διαμορφωμένων οπών (Brandt et al., 2016; Federation, 2020; Ross et al., 1999). Οι λαμέλλες τοποθετούνται υπό κλίση 55-60°, έτσι ώστε να αποτρέπεται η κατακράτηση της ιλύος, ενώ ταυτόχρονα να διευκολύνεται ο καθαρισμός τους. Συνήθως γίνεται χρήση κροκιδωτικών πριν την είσοδο των λυμάτων στη διάταξη καθίζησης, για να επιτευχθεί καλύτερος διαχωρισμός (Brandt et al., 2016; Golwalkar, 2014; Lema and Martinez, 2017).

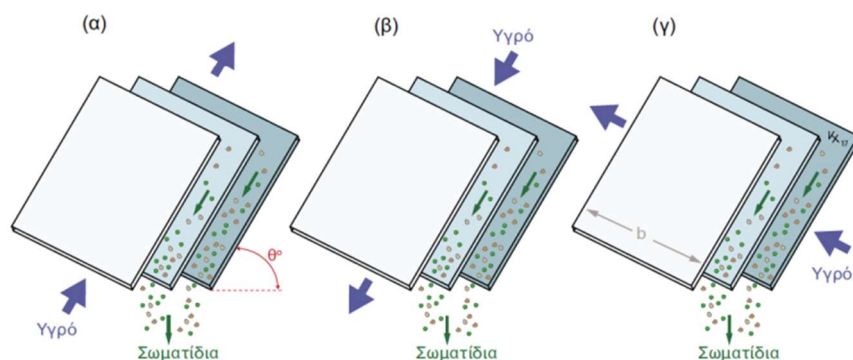




Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες (Hydro International, 2024).

Οι δεξαμενές καθίζησης με λαμέλλες απαιτούν μικρότερο εμβαδόν έδρασης και λειτουργούν με μικρότερους χρόνους παραμονής, σε σύγκριση με τις συμβατικές δεξαμενές καθίζησης (Mikosz, 2020). Ένα επιπλέον πλεονέκτημα των συγκεκριμένων δεξαμενών είναι η ευδιάκριτη απουσία μηχανικών, κινούμενων μερών. Συνεπώς, το σύστημα δεν απαιτεί καμία εισροή ενέργειας εκτός από την αντλία εισροής των λυμάτων και ο συγκεκριμένος τύπος δεξαμενής έχει πολύ μικρότερη τάση για μηχανική βλάβη από τις συμβατικές ΔΠΚ (Nicholas, 2001).

Οι δεξαμενές καθίζησης με λαμέλλες μπορούν να λειτουργήσουν με μοτίβο ροής κατ'αντιρροή (countercurrent flow), στην ίδια κατεύθυνση ή ομοροή (concurrent flow), και σταυρωτής ή κάθετης ροής (crossflow flow), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4 (Brandt et al., 2016; Dudley et al., 1994; Federation, 2020; Hendricks, 2016; Nicholas, 2001; Qasim and Zhu, 2017; Ross et al., 1999).



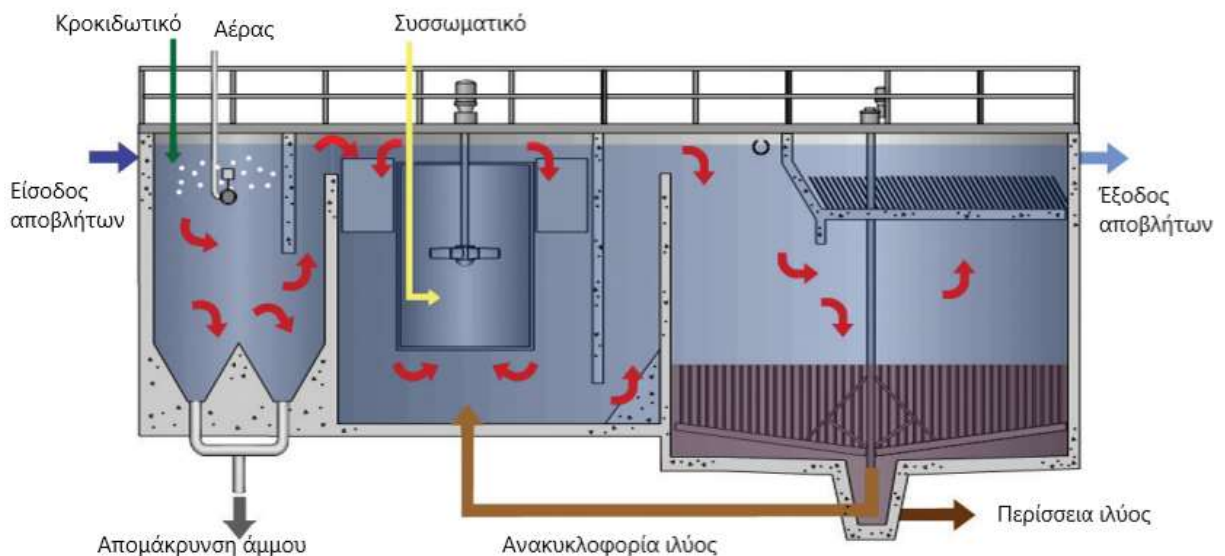
Σχήμα 2.4: Τρόποι ροής του υγρού στις δεξαμενές καθίζησης με λαμέλλες: (α) κατ'αντιρροή, (β) στην ίδια κατεύθυνση ή ομοροή και (γ) σταυρωτής ή κάθετης ροής (Χρυσικόπουλος, 2013).

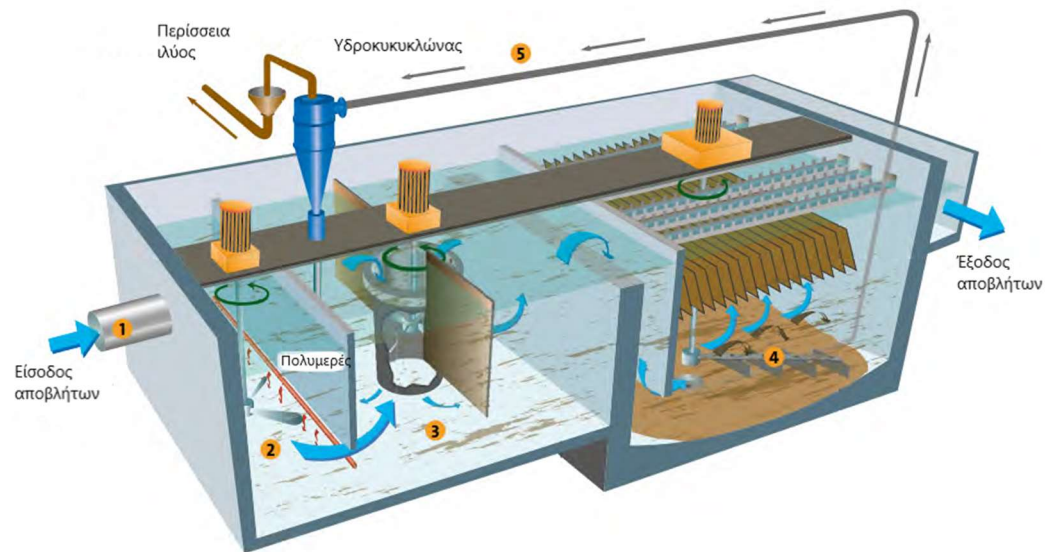
Η αποτελεσματικότητα των δεξαμενών καθίζησης με λαμέλλες εξαρτάται από τη γεωμετρία της κεκλιμένης επιφάνειας που περιγράφεται από την απόσταση μεταξύ των λαμελλών, το μήκος, το πλάτος τους και τη γωνία κλίσης. Η απόσταση των λαμελλών εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών και ποικίλλει από 50 έως 102 mm (Hendricks, 2016). Η γωνία κλίσης επηρεάζει άμεσα την προβαλλόμενη περιοχή καθίζησης και



διασφαλίζει ότι η μάζα των συσσωρευμένων στερεών ολισθαίνει πάνω στις λαμέλλες. Όταν η γωνία κλίσης των λαμελλών υπερβαίνει τις 60° , η απόδοση καθίζησης μειώνεται. Αντίθετα, η μείωση της γωνίας κλίσης αυξάνει τη συνολική επιφάνεια καθίζησης. Ωστόσο, όταν η γωνία είναι πολύ μικρή ($<45^\circ$), τα στερεά δεν ολισθαίνουν πάνω στην επιφάνεια των λαμελλών (Ross et al., 1999) και επομένως απαιτείται περιοδική έκπλυση για την απομάκρυνση των συσσωρευμένων στερεών στις κεκλιμένες επιφάνειες (Golwalkar, 2014; Hendricks, 2016).

Για περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης των δεξαμενών καθίζησης με λαμέλλες αναπτύχθηκαν τα συστήματα ανακυκλωμένης ιλύος, όπως η διεργασία *Densadeg*®, και έγχυσης λεπτοκόκκης άμμου όπως η διεργασία *Actiflo*®. Το Σχήμα 2.5 απεικονίζει τις διεργασίες *Densadeg*® και *Actiflo*® που αποτελούνται από τρία στάδια: κροκίδωση, συσσωμάτωση και ενισχυμένη καθίζηση με λαμέλλες. Στο πρώτο στάδιο, η κροκίδωση επιτυγχάνεται παρόμοια με την CEPT με την προσθήκη κροκιδωτικών, όπως άλατα αργιλίου ή σιδήρου. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται είτε ανακυκλοφορία ιλύος με τη χρήση υδροκυκλώνων είτε έγχυση λεπτοκόκκης άμμου μαζί με την προσθήκη πολυμερών για την προώθηση του σχηματισμού μεγαλύτερων και πιο σταθερών κροκίδων με εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες καθίζησης. Η απομάκρυνση των TSS στις διεργασίες *Densadeg*® και *Actiflo*® κυμαίνεται από 70-90% (Delporte et al., 1995; Imasuen et al., 2004).





Σχήμα 2.5: Διαδικασίες *Densadeg*® (πάνω σχήμα) και *Actiflo*® (κάτω σχήμα) (Degrémont, 1973).

2.4 Τεχνολογίες Προηγμένης Πρωτοβάθμιας Επεξεργασίας (Advanced Primary Treatment Technologies, APTT)

Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί διάφορες APTT. Η Πρωτοβάθμια Διήθηση (Primary Filtration, PF) των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει συστήματα επεξεργασίας λυμάτων τα οποία στοχεύουν στην μείωση των TSS και του BOD₅ από τα υγρά απόβλητα. Ωστόσο, για την περαιτέρω απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών μετά την εφαρμογή της PF των υγρών αποβλήτων εφαρμόζεται η Διήθηση Πρωτοβάθμιας Εκροής (Primary Effluent Filtration, PEF). Η PF και η PEF αποτελούνται από APTT που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντικαταστήσουν ή να βελτιώσουν τη συμβατική επεξεργασία, προσφέροντας σημαντικά οφέλη σε υπερφορτωμένες ή νέες ΕΛΛ. Η χρήση των συστημάτων πρωτοβάθμιας διήθησης αποδίδει υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης TSS και BOD₅. Η απόδοση απομάκρυνσης των TSS με τη χρήση των APTT είναι μεταξύ 60 και 90%, σημαντικά υψηλότερη από τις τυπικές απομακρύνσεις TSS (40-60%) που λαμβάνονται με τη συμβατική επεξεργασία (Tchobanoglous et al., 2014). Οι APTT επιτυγχάνουν συνολική μείωση του BOD₅ κατά 45-60% ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων αποβλήτων (Caliskaner et al., 2018, 2017, 2016).

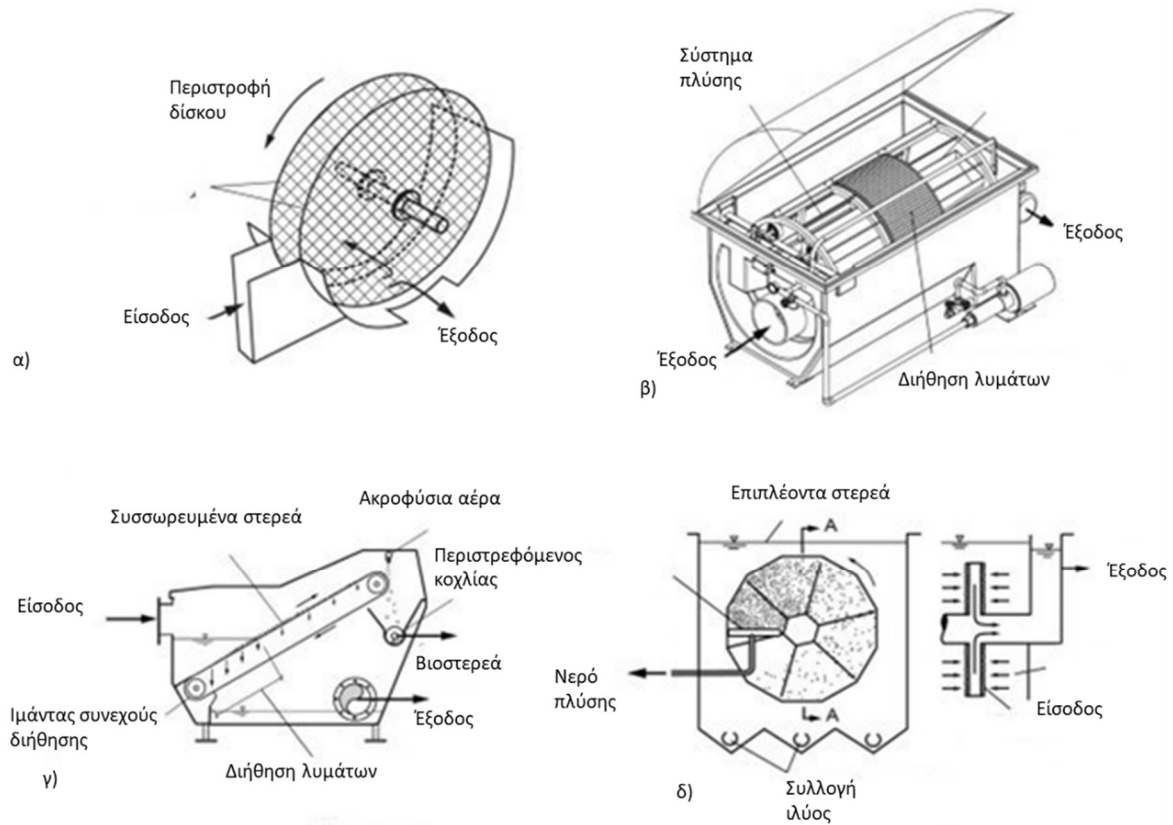
Τα πλεονεκτήματα των APTT στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, περιλαμβάνουν τα εξής (Caliskaner et al., 2018, 2017, 2016, 2015; Caliskaner and Pena-Tijerina, 2019; Franchi and Santoro, 2015; Rusten and Odegaard, 2006):

- Μείωση των αιωρούμενων στερεών πριν τη δεξαμενή αερισμού κατά 60-90%.
- Μειωμένη ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για αερισμό (κατά περίπου 15 έως 30%) στη δευτεροβάθμια επεξεργασία λόγω μειωμένης οργανικής φόρτισης στη δεξαμενή αερισμού.
- Αυξημένη παραγωγή ενέργειας βιοαερίου κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης (κατά 30 έως 40%) εξαιτίας του υψηλού οργανικού περιεχομένου των Πτητικών Αιωρούμενων Στερεών (VSS).
- Μειωμένο αποτύπωμα χώρου από 60 έως 70% του χώρου που καταλαμβάνει μια ΔΠΚ.
- Μειωμένο κόστος κεφαλαίου για την πρωτοβάθμια επεξεργασία σε σχέση με τις συμβατικές τεχνολογίες.
- Αύξηση δυναμικότητας της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας εξαιτίας της μείωσης του οργανικού φορτίου στη δεξαμενή αερισμού.

2.4.1 Πρωτοβάθμια Διήθηση (Primary Filtration, PF)

Οι τεχνολογίες PF απεικονίζονται στο Σχήμα 2.6 και περιλαμβάνουν τα Φίλτρα Δίσκου (Disc Filters, DFs), τα Φίλτρα Περιστρεφόμενου Τυμπάνου (Rotating Drum Filters, RDFs), τα Φίλτρα Περιστρεφόμενου Ιμάντα (Rotating Belt Filters, RBFs) και τα Φίλτρα Υφασμάτινου Δίσκου (Cloth Disc Filters, CDFs).



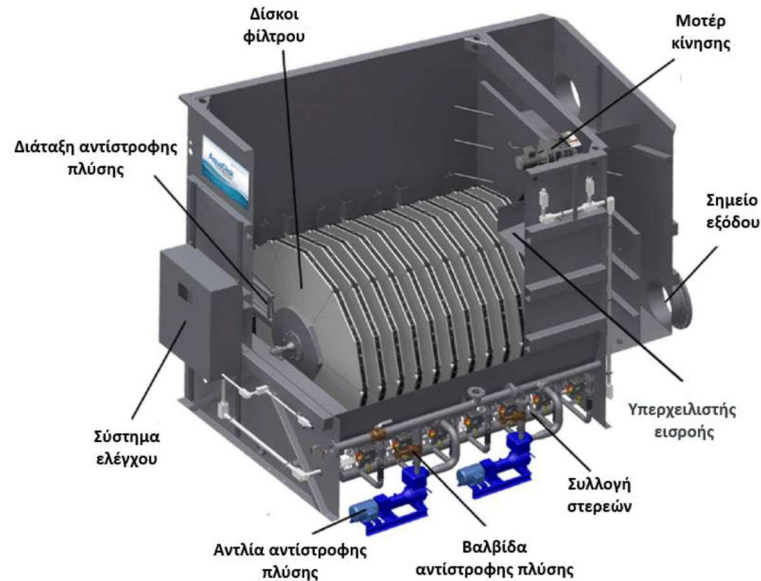


Σχήμα 2.6: Τεχνολογίες PF: (α) DF, (β) RDF, (γ) RBF, και (δ) CDF (Tchobanoglous et al., 2014).

2.4.1.1 Φίλτρα Δίσκου (Disc Filters, DFs)

Η τεχνολογία των DF (Σχήμα 2.7) διαθέτει ξεχωριστούς διαδοχικούς περιστρεφόμενους κυκλικούς δίσκους, οι οποίοι αποτελούνται από μικροκόσκινα με ανοίγματα πόρων 5-200 μm . Τα DFs στοχεύουν, όπως και τα RBFs και RDFs στην απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών από τα υγρά απόβλητα (Lema and Martinez, 2017).





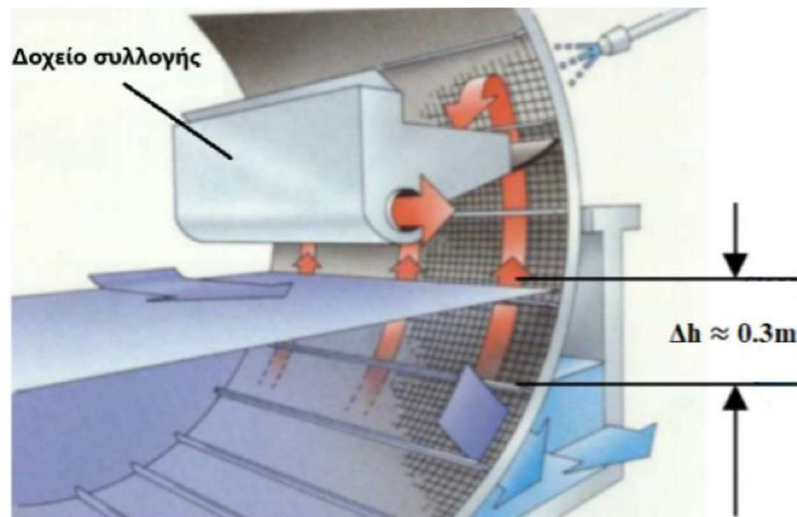
Σχήμα 2.7: Σχηματική απεικόνιση ενός DF (Morling, 2019).

Τα απόβλητα εισέρχονται δια μέσω σωλήνων τροφοδοσίας ή καναλιού στο εσωτερικό του τυμπάνου διήθησης των DFs. Καθώς το απόβλητο ρέει εντός του DF, σωματίδια μεγάλου μεγέθους συσσωρεύονται στα μικροκόσκινα, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της διαφοράς πίεσης και κατά συνέπεια την αύξηση της στάθμης του αποβλήτου. Όταν η στάθμη των αποβλήτων φτάσει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο μέσα στο DF τότε ξεκινά η περιστροφή των κυκλικών δίσκων και παράλληλα ενεργοποιείται το σύστημα αντίστροφης πλύσης. Η διήθηση των αποβλήτων είναι συνεχής και δεν διακόπτεται από την αντίστροφη πλύση. Συνήθως, η αντίστροφη πλύση απαιτεί το 1–3% της συνολικής εισερχόμενης παροχής. Τα διηθημένα απόβλητα συνεχίζουν για περαιτέρω επεξεργασία, ενώ τα στερεά που έχουν κατακρατηθεί απομακρύνονται και επεξεργάζονται κατάλληλα (Lema and Martinez, 2017; Tchobanoglous et al., 2003).

2.4.1.2 Φίλτρα Περιστρεφόμενου Τυμπάνου (Rotating Drum Filters, RDFs)

Ένα RDF (Σχήμα 2.8) αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο τύμπανο με μέγεθος πόρων 10–500 μm . Τα RDF στοχεύουν στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών από τα λύματα (CH2MHIL, 2004; Lema and Martinez, 2017; Tchobanoglous et al., 2003; Xu et al., 2022). Τα υγρά απόβλητα ρέουν μέσω βαρύτητας στο εσωτερικό του RDF και κινούνται ακτινικά προς το σημείο εξόδου των επεξεργασμένων αποβλήτων. Η στάθμη των αποβλήτων στο εσωτερικό του RDF αυξάνεται αργά λόγω της προοδευτικής συσσώρευσης των στερεών στο τύμπανο. Στην κορυφή του RDF είναι τοποθετημένοι αισθητήρες στάθμης, έτσι ώστε όταν η στάθμη όταν φτάσει σε ένα συγκεκριμένο ύψος ($\Delta h \cong 0,3\text{m}$), να ενεργοποιείται η περιστροφή του τυμπάνου, καθώς και το σύστημα αντίστροφης πλύσης. Η διήθηση των αποβλήτων είναι συνεχής και δεν διακόπτεται από την αντίστροφη πλύση, ενώ το διήθημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο έκπλυσης (Tchobanoglous et al., 2003).





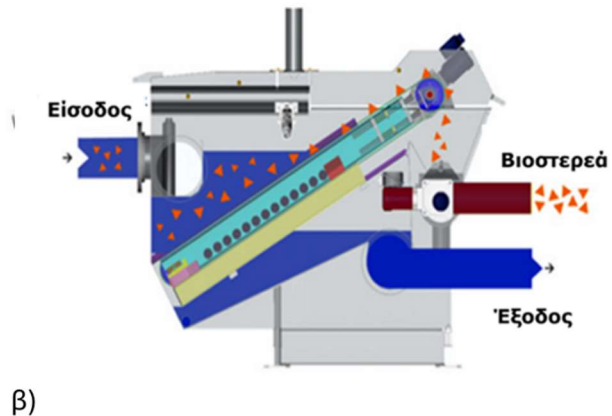
Σχήμα 2.8: Σχηματική απεικόνιση στο εσωτερικό του RDF (Väänänen, 2017).

Το νερό εκπλύσης ξεπλένει τα πρωτοβάθμια στερεά που συσσωρεύονται στην επιφάνεια του τυμπάνου, τα οποία συλλέγονται σε μία σκάφη και στη συνέχεια απομακρύνονται. Το διηθημένο απόβλητο συνεχίζει την επεξεργασία του στα επόμενα στάδια (Lema and Martinez, 2017). Η παραγόμενη ιλύς από ένα RDF έχει τυπική περιεκτικότητα σε στερεά 0,4% (CH2MHIL, 2004). Η επιφάνεια διήθησης και το εύρος των παροχών των RDFs κυμαίνονται από 0,35 έως 22,5 m² και 2 έως 1.000 L/s, αντίστοιχα.

2.4.1.3 Φίλτρα Περιστρεφόμενου Ιμάντα (Rotating Belt Filters, RBFs)

Τα RBFs (Σχήμα 2.9) είναι ειδικά κατασκευασμένες αυτοκαθαριζόμενες συσκευές διήθησης οι οποίες μπορούν να λειτουργούν σε συνεχή λειτουργία και σε μεγάλο εύρος παροχών (Koliopoulos and Gikas, 2013). Τα απόβλητα καθώς εισέρχονται στο RBF διηθούνται συνεχώς και τα επεξεργασμένα λύματα συνεχίζουν τη μετέπειτα επεξεργασία τους. Η κατακράτηση των στερεών λαμβάνει χώρα πάνω σε ένα ατέρμονα υφασμάτινο ιμάντα (με διάμετρο πόρων 50-350 μm), πάνω στον οποίο παγιδεύονται τα στερεά σωματίδια δημιουργώντας έναν υμένα. Ο υμένας λειτουργεί ως αποτελεσματικό φίλτρο και οδηγεί σε υψηλές απομακρύνσεις ρυπαντικού φορτίου, χωρίς να απαιτείται η προσθήκη κροκιδωτικών ουσιών. Τα στερεά που έχουν αποθεθεί πάνω στον ιμάντα απομακρύνονται με τη βοήθεια συστήματος πλύσης με νερό ή αέρα. Στη συνέχεια, τα στερεά συμπιέζονται σε κοχλιωτό συμπιεστή και παράγουν βιοστερεά με περιεκτικότητα σε στερεά άνω του 30%, που είναι υψηλότερη από εκείνη της συμβατικής επεξεργασίας (Franchi et al., 2012; Lema and Martinez, 2017). Τα βιοστερεά που παράγονται από τα RBFs, συνήθως αναφέρονται ως Πρωτοβάθμια Κοσκινισμένα Στερεά (Primary Sieved Solids, PSS) (Gikas, 2014). Τα RBFs απομακρύνουν το 40-60% των TSS (ανάλογα με την αρχική σύσταση των αποβλήτων), ενώ παράλληλα απομακρύνεται 25-40% του BOD₅.





Σχήμα 2.9: α) Φωτογραφία μικροκόσκινου (τύπου RBF) που κατασκεύασε το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών, Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας, β) Σχηματική απεικόνιση RBF (Franchi et al., 2012).

Γενικά, το απόβλητο που έχει επεξεργαστεί με RBFs έχει καλύτερα χαρακτηριστικά, συγκρινόμενο με αυτό που έχει υποστεί πρωτοβάθμια καθίζηση, όχι μόνο γιατί έχει απομακρυνθεί μεγαλύτερο ποσοστό στερεών, αλλά κυρίως γιατί έχουν απομακρυνθεί τα πιο ευμεγέθη στερεά (τα οποία επεξεργάζονται δυσκολότερα στην δεξαμενή αερισμού) (Franchi et al., 2012; Lema and Martinez, 2017). Ο απαιτούμενος χώρος για την εγκατάσταση ενός RBF είναι τουλάχιστον 20 φορές μικρότερος σε σύγκριση με τις ΔΠΚ (Rusten and Odegaard, 2006). Σημειώνεται ότι ταυτόχρονα με την απομάκρυνση στερεών απομακρύνεται και BOD_5 , και μάλιστα σωματιδιακό BOD_5 , το οποίο είναι πολύ πιο δύσκολο και πιο δαπανηρό να απομακρυνθεί βιολογικά, σε σχέση με το διαλυτό BOD_5 (Gikas, 2017a).

Τα PSS θεωρούνται ιδανική πρώτη ύλη για την αεριοποίηση, καθώς απαιτούν περιορισμένη περαιτέρω αφυδάτωση, ενώ έχουν Ανώτερη Θερμογόνο Δύναμη (Higher Heating Value, HHV) (περίπου 23 MJ/kg) από εκείνη των βιοστερεών που προκύπτουν από συμβατική επεξεργασία (τα οποία έχουν HHV περίπου 16 MJ/kg) (Gikas, 2017b). Επίσης, τα RBFs απομακρύνουν αποτελεσματικά ίνες όπως η κυτταρίνη, δεδομένου ότι η απομάκρυνση των στερεών εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων, και όχι από την ταχύτητα καθίζησης όπως συμβαίνει στη συμβατική επεξεργασία (Ruiken et al., 2013).

2.4.1.4 Φίλτρα Υφασμάτινου Δίσκου (Cloth Disc Filters, CDFs)

Τα CDFs με διηθητικό μέσο το πανί αποτελούνται από ξεχωριστούς δίσκους που είναι τοποθετημένοι κατακόρυφα μέσα σε μία δεξαμενή (Σχήμα 2.10). Στα CDFs χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικοί τύποι πανιού: α) κατασκευασμένο από πολυεστέρα και ενισχυμένο με τσόχα, ή (β) κατασκευασμένο από συνθετικές ίνες. Επίσης, πέρα από τη συνηθισμένη αντίστροφη πλύση, η τσόχα απαιτεί περιοδικό καθαρισμό με ψεκασμό υψηλής πίεσης. Ωστόσο, το πανί από συνθετικές ίνες δεν απαιτεί τη χρήση ψεκασμού υψηλής πίεσης και μπορεί να καθαριστεί πλήρως μόνο με τη χρήση αντίστροφης πλύσης (Caliskaner et al., 2018).





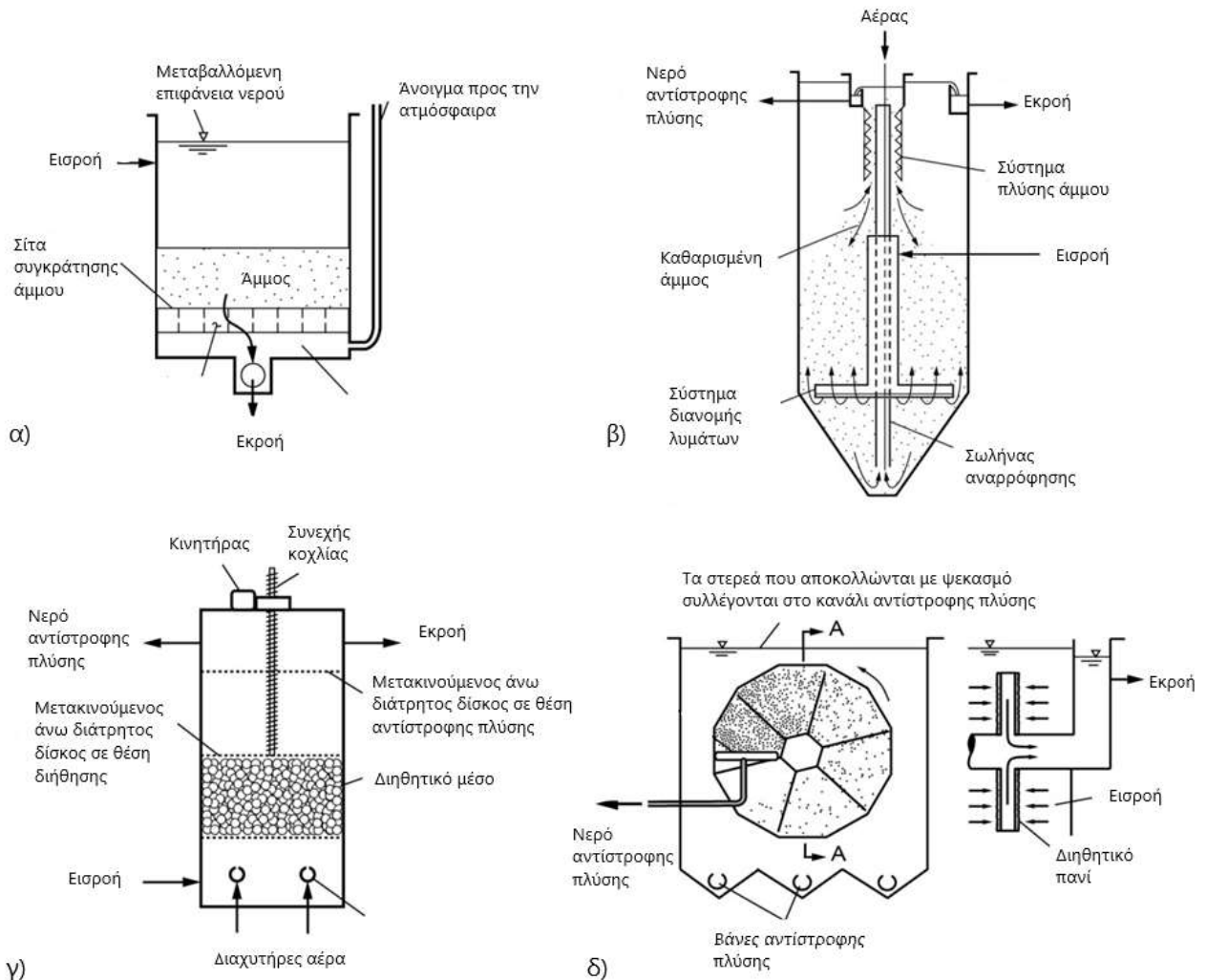
Σχήμα 2.10: (α) Φωτογραφία ενός CDF στην ΕΕΛ Linda, Καλιφόρνια, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, (β) Οκτώ μεμονωμένοι δίσκοι στο εσωτερικού του CDF (Caliskaner et al., 2018).

Μέσα στη δεξαμενή του CDF υπάρχουν τρεις ενεργές ζώνες για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Η ζώνη επιπλεόντων και ευμεγεθών στερεών, η ζώνη διήθησης και η ζώνη απομάκρυνσης στερεών. Τόσο τα επιπλέοντα όσο και τα ευμεγέθη στερεά αφαιρούνται πριν την επαφή του αποβλήτου με το μέσο διήθησης, αποφεύγοντας έτσι τα προβλήματα φόρτωσης στερεοποιημένου λίπους και ευμεγεθών στερεών σε άλλα συστήματα διήθησης (Caliskaner et al., 2018). Καθώς τα λύματα εισέρχονται στη δεξαμενή υποδοχής (πρώτη ζώνη) τα επιπλέοντα στερεά (π.χ. λίπη και λάδια που στερεοποιούνται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος) ανεβαίνουν στην επιφάνεια της δεξαμενής και τα ευμεγέθη στερεά καθιζάνουν στον πυθμένα. Τα επιπλέοντα απομακρύνονται από την επιφάνεια και τα καθιζάνοντα στερεά αφαιρούνται με κεφαλές αναρρόφησης. Καθώς τα απόβλητα εισέρχονται στη ζώνη διήθησης (δεύτερη ζώνη) τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται με την κατακράτησή τους στο διηθητικό μέσο. Με την αυξανόμενη συσσώρευση στερεών στο διηθητικό μέσο, η υδραυλική αντίσταση αυξάνεται σε όλη τη μονάδα και επομένως η στάθμη των υγρών αποβλήτων στο εσωτερικού του φίλτρου αυξάνεται. Όταν η στάθμη του υγρού στη δεξαμενή φτάσει σε ένα προκαθορισμένο σημείο (συνήθως 0,30 m από τον πυθμένα), ξεκινά ένας αυτόματος κύκλος αντίστροφης πλύσης. Το CDF περιστρέφεται αργά (0,5-1,2 rpm). Η διήθηση των αποβλήτων δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια αυτού του κύκλου καθαρισμού. Τα συσσωρευμένα στερεά αφαιρούνται με κεφαλές αναρρόφησης κενού, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με το διηθητικό μέσο (τρίτη ζώνη). Τα CDFs περιστρέφονται 360°, έτσι ώστε ολόκληρη η επιφάνεια του δίσκου να έρχεται σε επαφή με τις κεφαλές αναρρόφησης. Τα διηθημένα απόβλητα συνεχίζουν προς τα επόμενα στάδια επεξεργασίας τους (Caliskaner et al., 2018).



2.4.2 Διήθηση Πρωτοβάθμιας Εκροής (Primary Effluent Filtration, PEF)

Για την περαιτέρω μείωση των αιωρούμενων στερεών πριν τη δεξαμενή αερισμού, εφαρμόζεται η PEF. Τα Φίλτρα Παλμικής Κλίνης (Pulsed Bed Sand Filters, PBSFs), τα CBUMFs, τα Φίλτρα Συνθετικού Μέσου (Synthetic Medium Filters, CMFs) και τα RDFs χαρακτηρίζονται ως τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη PEF και απεικονίζονται στο Σχήμα 2.11 (Tchobanoglous et al., 2014).



Σχήμα 2.11: Σχηματικές απεικονίσεις των τεχνολογιών PEF: (α) PBSF, (β) CBUMF (γ) CMF και (δ) RDF (Tchobanoglous et al., 2014).

2.4.2.1 Φίλτρα Παλμικής Κλίνης (Pulsed Bed Sand Filters, PBSFs)

Τα PBSFs (Σχήμα 2.12) είναι φίλτρα βαρύτητας καθοδικής ροής μικρού βάθους κλίνης (έως 2,5m). Ένα διακριτό χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων φίλτρων είναι η χρήση παλμών αέρα για τη δόνηση της επιφάνειας της άμμου, με αποτέλεσμα τη διεύδυση των αιωρούμενων στερεών εντός της κλίνης (Dugan, 1983).



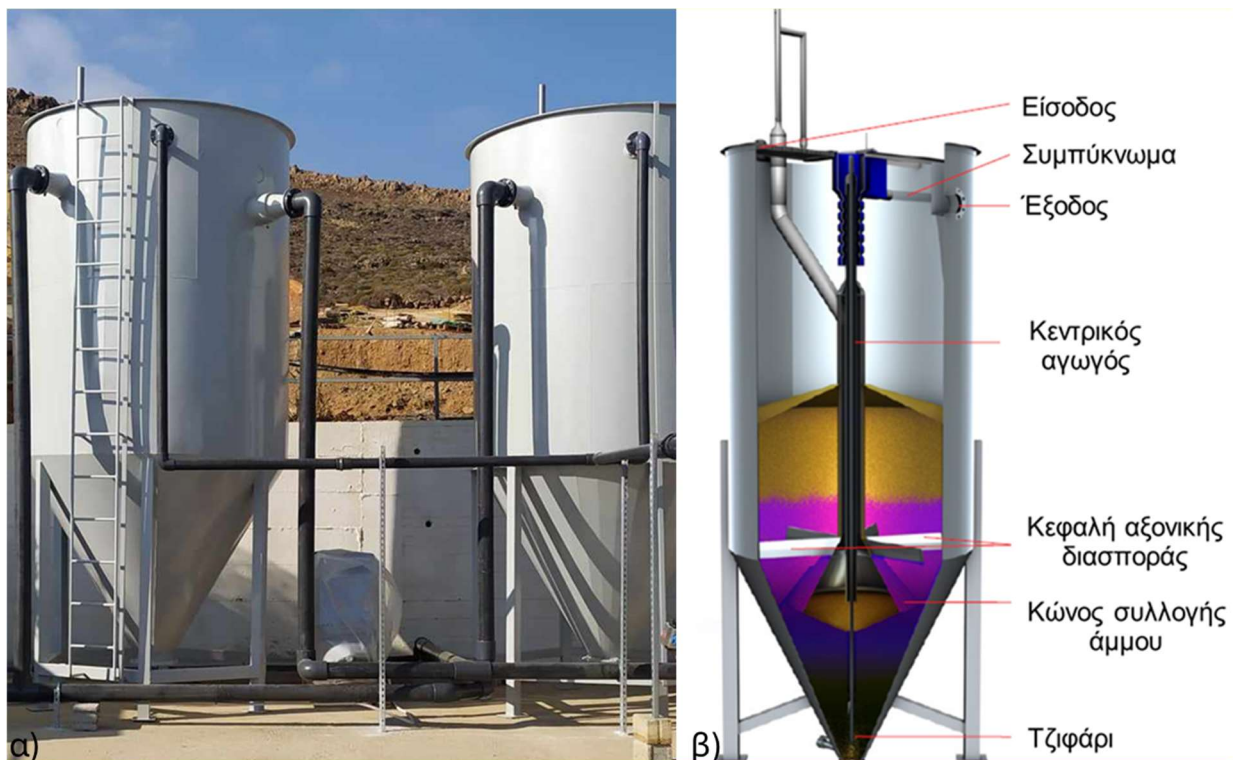


Σχήμα 2.12: α, β) και γ) φωτογραφίες ενός PBSF (Envoqua Water Technologies, 2014).

Η εισαγωγή παλμών αέρα συντελεί στην ανοδική προώθηση όγκου αέρα, ο οποίος διερχόμενος από την κλίνη διασπά το επιφανειακό στρώμα στερεών που έχει σχηματισθεί κατά τη διήθηση των αποβλήτων από το πάνω προς το κάτω μέρος της κλίνης, ανανεώνοντας έτσι την επιφάνεια της άμμου. Καθώς διαταράσσεται το στρώμα των στερεών, μερικά από τα παγιδευμένα υλικά διανέμονται στο μίγμα πάνω από το στρώμα άμμου, αλλά τα περισσότερα στερεά παγιδεύονται μέσα στη κλίνη της άμμου. Το φίλτρο συνεχίζει να λειτουργεί με ασυνεχείς παλμούς μέχρι η πτώση πίεσης να φτάσει στο τελικό επιτρεπτό όριο. Στη συνέχεια το φίλτρο λειτουργεί σε έναν συμβατικό κύκλο αντίστροφης πλύσης για την απομάκρυνση των στερεών από την άμμο (Dugan, 1983). Τα διηθημένα απόβλητα απομακρύνονται από το κάτω μέρος του φίλτρου και οδηγούνται για περαιτέρω επεξεργασία.

2.4.2.2 Αυτοκαθαριζόμενα Αμμόφιλτρα Ανοδικής Ροής (Continuous Backwash Upflow Media Filters, CBUMFs)

Η τεχνολογία των CBUMFs (Σχήμα 2.13) αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1970 για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών σε επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Αρχικά, τα απόβλητα εισέρχονται στο κάτω μέρος του CBUMF (Σχήμα 2.13), και κατανέμονται ομοιόμορφα στα άνω στρώματα της κλίνης μέσω των βραχιόνων διανομής, μιας κωνικής διάταξης κατανομής εισόδου. Τα εισερχόμενα λύματα ακολουθούν ανοδική πορεία μέσω της άμμου. Τα επεξεργασμένα λύματα εξέρχονται από το πάνω μέρος του CBUMF μέσω θυροφράγματος υπερχειλίσης και οδηγούνται στα επόμενα στάδια επεξεργασίας, ενώ τα αιωρούμενα στερεά παγιδεύονται και συγκρατούνται στην άμμο.



Σχήμα 2.13: α) Φωτογραφία των CBUMFs που σχεδίασε και κατασκεύασε το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών, Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας, β) Σχηματική απεικόνιση του CBUMF (Franchi et al., 2012).

Η άμμος και τα παγιδευμένα στερεά κινούνται με μικρή ταχύτητα καθοδικά προς το κωνικό τμήμα του φίλτρου. Με χρήση αντλίας ανοδικής ροής αέρα (τζιφάρι), η ακάθαρτη άμμος ανέρχεται στον κεντρικό σωλήνα του φίλτρου, όπου η άμμος διαχωρίζεται από τα στερεά. Τα στερεά απομακρύνονται (ως συμπύκνωμα) από το άνω μέρος της διάταξης έκπλυσης, ενώ η άμμος, έχοντας μεγαλύτερο ειδικό βάρος, καθιζάνει και αναδιανέμεται ομοιόμορφα στην κορυφή της κλίνης. Πρόκειται για μια συνεχή διεργασία, κατά της διάρκεια της οποίας το φίλτρο τροφοδοτείται συνεχώς με απόβλητα, ενώ συνεχώς παράγεται διήθημα και συμπύκνωμα. Το ύψος της κλίνης άμμου παραμένει σταθερό. Ανάλογα με την εφαρμογή και το είδος των λυμάτων, μπορεί να τροφοδοτηθεί κροκιδωτικό στην κλίνη της άμμου, για να αυξήσει την απόδοση της διήθησης (Chan et al., 2017; Franchi et al., 2012; Tchobanoglous et al., 2003). Τα βασικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα CBUMFs σε σύγκριση με τα συμβατικά φίλτρα άμμου αντίστροφης πλύσης περιλαμβάνουν (Chan et al., 2017; Franchi et al., 2012; Tchobanoglous et al., 2003):

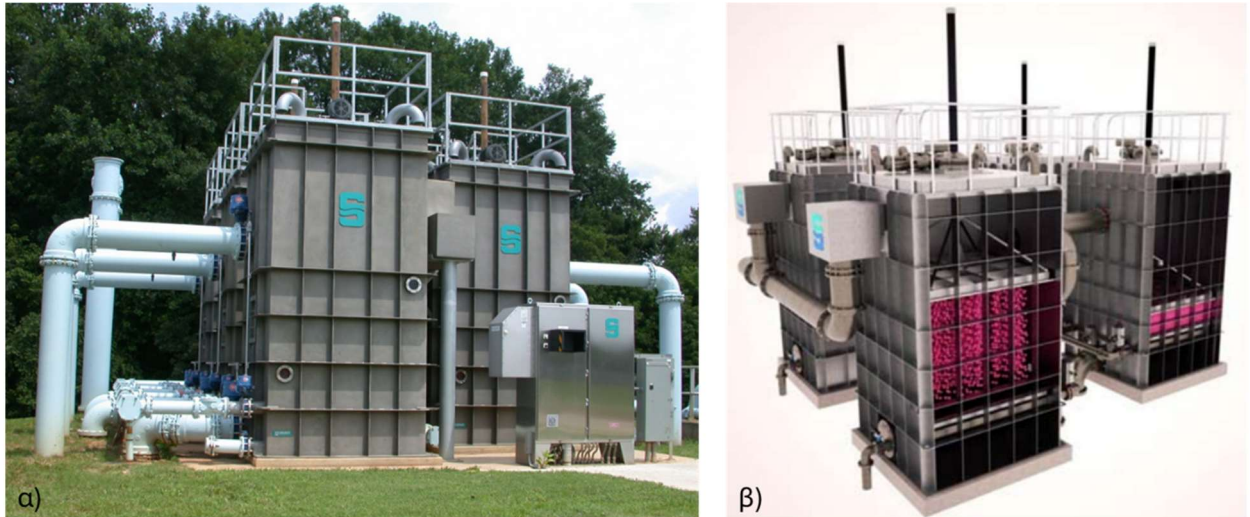


- Συμπαγή εγκατάσταση.
- Αδιάκοπη λειτουργία και επεξεργασία.
- Συνεχή παραγωγή συμπυκνώματος.
- Συνεχόμενη αντίστροφη πλύση.
- Απουσία αντλιών αντίστροφης πλύσης.
- Μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- Μικρό χώρο τοποθέτησης.



2.4.2.3 Φίλτρα Συνθετικού Μέσου (Synthetic Medium Filters, CMFs)

Τα CMFs (Σχήμα 2.14) είναι συμπαγή και εύκολα προσαρμόσιμα φίλτρα για πολλές εφαρμογές στην επεξεργασία νερού και λυμάτων. Το μέσο διήθησης των CMFs κατασκευάζεται συνήθως από σουλφίδιο πολυφαινυλενίου και έχει διάμετρο πόρων περίπου 30-40 mm (Tchobanoglous et al., 2003).



Σχήμα 2.14: α) Φωτογραφία του CMF, β) Σχηματική απεικόνιση στο εσωτερικό του CMF (Parkson, 2024).

Η λειτουργία του CMF βασίζεται σε τρεις κύκλους λειτουργίας: τον κύκλο διήθησης, τον κύκλο πλύσης και τον κύκλο έκπλυσης των υγρών αποβλήτων. Κατά τη διάρκεια του κύκλου διήθησης, τα εισερχόμενα απόβλητα εισάγονται από τον πυθμένα του CMF και ρέουν μέσω του διηθητικού μέσου, το οποίο συγκρατείται και συμπιέζεται από δύο πορώδεις διάτρητες πλάκες. Τα διηθημένα απόβλητα απομακρύνονται από το πάνω μέρος του CMF και οδηγούνται για περαιτέρω επεξεργασία. Κατά την έναρξη του κύκλου πλύσης, η επάνω η διάτρητη πλάκα ανυψώνεται μηχανικά από το κάτω προς το πάνω μέρος του CMF, ενώ η κάτω πλάκα παραμένει σταθερή. Το απόβλητο συνεχίζει να ρέει προς το εσωτερικό του CMF με χαμηλότερη υδραυλική φόρτιση σε σχέση με τη κανονική λειτουργία του φίλτρου και χαρακτηρίζεται στο στάδιο αυτό ως το νερό πλύσης του φίλτρου. Παράλληλα, εισάγεται διαδοχικά αέρας στο κάτω μέρος της χαμηλότερης διάτρητης πλάκας του CMF, προκαλώντας παλμική κίνηση στο διηθητικό μέσο. Κατά την παλμική κίνηση αναπτύσσονται δυνάμεις διάτμησης και τριβής μεταξύ των κόκκων του διηθητικού μέσου και των αποβλήτων. Κατά τη λήξη του κύκλου πλύσης, το νερό πλύσης απομακρύνεται από το CMF και οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία. Προκειμένου το CMF να λειτουργήσει σε κανονικές συνθήκες μετά την ολοκλήρωση του κύκλου πλύσης, η ανυψωμένη πορώδης πλάκα επιστρέφει στην αρχική της θέση, και η εκροή έκπλυσης απομακρύνεται από το φίλτρο και οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία (Tchobanoglous et al., 2003). Στο Σχήμα 2.15 παρουσιάζονται οι κύκλοι διήθησης, πλύσης και έκπλυσης του CMF.



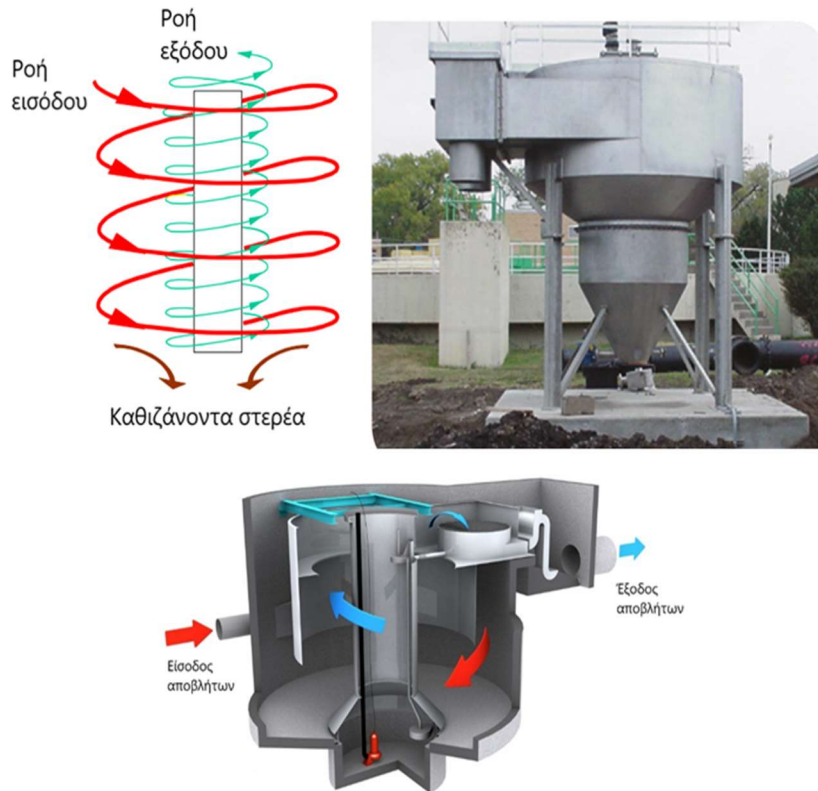


Σχήμα 2.15: Σχηματική απεικόνιση των κύκλων διήθησης, πλύσης και έκπλυσης του CMF (Fitzpatrick et al., 2011).

2.4.3 Υδροδυναμικοί Διαχωριστές Στροβιλισμού (Hydrodynamic Vortex Separators, HDVSs)

Οι HDVSs (Σχήμα 2.16) είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των πρωτοβάθμιων αιωρούμενων στερεών από τα υγρά απόβλητα. Σε αντίθεση με τη συμβατική επεξεργασία, η οποία βασίζεται αποκλειστικά στην καθίζηση με βαρύτητα, οι HDVS χρησιμοποιούν τόσο τη βαρύτητα, όσο και τις φυγόκεντρες δυνάμεις για να επιτύχουν καλύτερους ρυθμούς διαχωρισμού στερεών-υγρού και έτσι προσφέρουν μεγαλύτερη απόδοση σε σημαντικά μικρότερο αποτύπωμα σε σύγκριση με τις ΔΠΚ (Andoh et al., 2001). Στη δεκαετία του 1960, οι HDVSs χρησιμοποιήθηκαν αρχικά στην Αγγλία για την αφαίρεση άμμου και άλλων ευμεγεθών σωματιδίων. Από το 2002, περίπου 1.500 HDVSs έχουν αναπτυχθεί παγκοσμίως για την επεξεργασία όμβριων υδάτων, αστικών και βιομηχανικών λυμάτων (Andoh and Saul, 2003). Κατά την εισαγωγή των αποβλήτων στον θάλαμο του διαχωριστή επικρατεί μια σπειροειδής ροή σε όλο το μήκος της διαδρομής των αποβλήτων. Τα ευμεγέθη σωματίδια συλλέγονται μέσω της κεντρικής χοάνης συλλογής στο κάτω μέρος του διαχωριστή και στη συνέχεια απομακρύνονται, ενώ τα επεξεργασμένα λύματα εξέρχονται από το πάνω μέρος του HDVS (Andoh et al., 2001).





Σχήμα 2.16: Σχηματική απεικόνιση ενός HDVS (Andoh et al., 2002; Hydro International, 2019).

Σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι HDVs δεν αποτελούνται από κινούμενα μέρη και συνεπώς έχουν ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης, το λειτουργικό κόστος των HDVS τείνει να είναι αρκετά χαμηλό σε σύγκριση με τη συμβατική επεξεργασία (Lema and Martinez, 2017). Η απόδοση απομάκρυνσης στερεών ενός HDVS εξαρτάται όχι μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, αλλά και από τη φύση και τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων λυμάτων (Weiß, 1997).

2.4.4 Υδροκυκλώνες

Οι υδροκυκλώνες είναι συσκευές διαχωρισμού που χρησιμοποιούν φυγόκεντρη δύναμη για να διαχωρίσουν τα εισερχόμενα στερεά με βάση την πυκνότητά τους. Οι υδροκυκλώνες είναι μια τεχνολογία που έχει χαμηλό κόστος αρχικής επένδυσης. Επιπλέον, οι υδροκυκλώνες έχουν μικρό αποτύπωμα χώρου κατά την εγκατάστασή τους και καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια κατά τη λειτουργία τους (Ali-Zade et al., 2008; Arterburn, 1982; Bayo et al., 2015; Farias et al., 2011; Ni et al., 2019; Partin, 2019).

Το Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών του Πολυτεχνείου Κρήτης σχεδίασε και κατασκεύασε έναν υδροκυκλώνα από ανοξείδωτο χάλυβα ASI 304. Ο υδροκυκλώνας (Σχήμα 2.17) στη συνέχεια εγκαταστάθηκε στην έξοδο της πρωτοβάθμιας καθίζησης της ΕΕΛ Χανίων προκειμένου να διερευνηθεί η απόδοσή του ως προς την απομάκρυνση των TSS, BOD₅ και COD από πρωτοβάθμια αστικά λύματα.

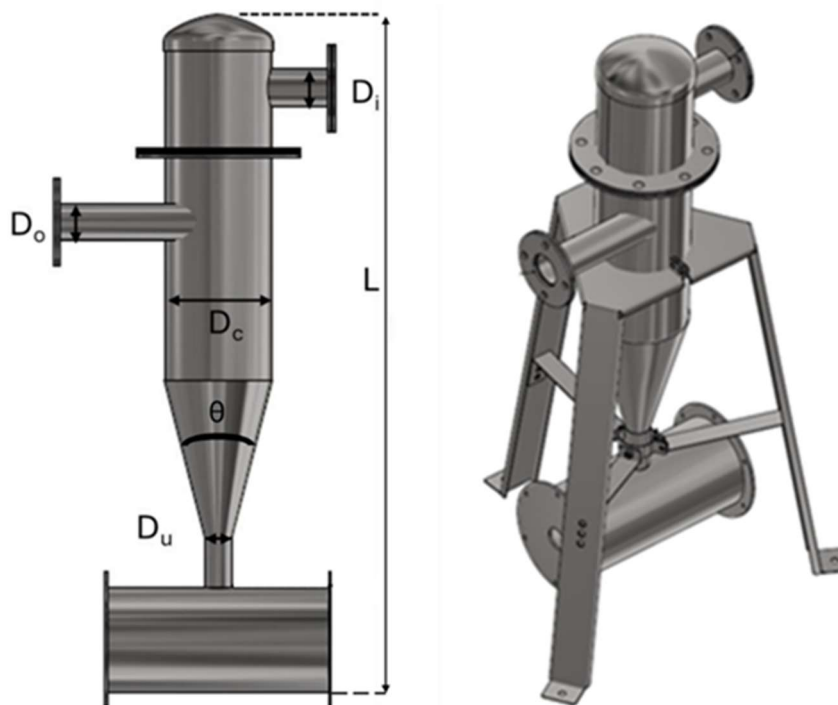




Σχήμα 2.17: Διάταξη υδροκυκλώνα στην ΕΕΛ Χανίων.

Ο υδροκυκλώνας (Σχήμα 2.18) αποτελείται από έναν ανεστραμμένο κώνο και έναν κοίλο κύλινδρο στην κορυφή. Η λειτουργία του υδροκυκλώνα βασίζεται στη φυγόκεντρη δύναμη που προκύπτει στο εσωτερικό του καθώς το υγρό εισέρχεται εφαπτομενικά. Τα βαρύτερα σωματίδια συλλέγονται στον θάλαμο συλλογής, ακολουθώντας μια σπειροειδή διαδρομή κοντά στα τοιχώματα και οδηγούνται προς κατάλληλη επεξεργασία. Το διαυγές υγρό στη συνέχεια απομακρύνεται από το άνω τμήμα του υδροκυκλώνα και συνεχίζει την επεξεργασία του στη δεξαμενή αερισμού. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υδροκυκλώνα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.





Σχήμα 2.18: Σχηματική απεικόνιση υδροκυκλώνα.

Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά υδροκυκλώνα.

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα
Μέγιστη παροχή	50	(m ³ /h)
Μέση παροχή	21	(m ³ /h)
Διάμετρος υδροκυκλώνα, D _c	186	(mm)
Ύψος υδροκυκλώνα, L	1052	(mm)
Διάμετρος εισόδου, D _i	26,5	(mm)
Διάμετρος εξόδου D _o	26,5	(mm)
Διάμετρος υπορροής, D _u	13,25	(mm)
Υλικό κατασκευής	Ανοξείδωτος χάλυβας, 304	-

Οι ποσοστιαίες απομακρύνσεις για τα TSS υπολογίσθηκαν από 9% έως 48%, με μέσο όρο 33% για την επεξεργασία πρωτοβάθμιων αστικών λυμάτων στην ΕΕΛ Χανίων. Ως προς την απομάκρυνση του BOD₅, οι ποσοστιαίες απομακρύνσεις προσδιορίστηκαν μεταξύ 6-42% με μέση τιμή 19%. Ωστόσο, σημαντική ήταν η μείωση του COD των πρωτοβάθμιων λυμάτων, η οποία κυμαινόταν από 2-39% (13% μέση τιμή) (Tsamoutsoglou et al., 2024). Οι Tsamoutsoglou et al. 2024 υποστηρίζουν ότι αυτή ήταν η πρώτη επιστημονική μελέτη που πραγματοποιήθηκε παγκοσμίως για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενός υδροκυκλώνα στην επεξεργασία πρωτοβάθμιων αστικών λυμάτων.



2.5 Σύγκριση πρωτοβάθμιων συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων με συμβατική επεξεργασία

Στους Πίνακες 2.2 και 2.3 παρουσιάζεται η σύγκριση των ΑΡΤΤ με τη συμβατική πρωτοβάθμια επεξεργασία καθώς και οι επιπτώσεις των ΑΡΤΤ στην εξοικονόμηση ενέργειας και στις εκπομπές GHG σε ΕΕΛ.



Πίνακας 2.2: Σύγκριση APTT με συμβατική επεξεργασία (Blanca et al., 2000; Brown, 1987ψCH2MHIL, 2004; Lema and Martinez, 2017; Tsamoutsoglou et al., 2024).

Παράμετροι	ΔΠΚ	CEPT με ΔΠΚ	RBFs	RDFs and DFs	HDVSS	ΔΚ με λαμέλλες	CEPT με ΔΚ με λαμέλλες	Actiflo®	Densadeg®	CBUMFs	CMFs	PBSFs	Υδροκυκλώνες
Απομάκρυνση TSS, (%)	40-60	70-80	40-60	40-60	60-65	50-70	70-80	70-90	70-90	40-60	50-70	40-60	9-48
Απομάκρυνση BOD ₅ , (%)	25-40	40-60	25-40	15-30	30-40	30-50	40-60	35-60	35-60	15-30	15-30	15-30	6-42
Απομάκρυνση Ολικού Αζώτου (Total Nitrogen, TN), (%)	<10	10-20	<10	-	-	15-30	15-20	25-30	25-35	10-20	15-20	15-20	-
Απομάκρυνση Ολικού Φωσφόρου (Total Phosphorus, TP) (%)	16-20	60-80	15-20	-	15-20	30-40	60-75	92-96	88-95	15-25	30-40	30-40	-
Επιφανειακή φόρτιση, (m ³ /m ² d)	2-5	2-5	17-70	2-150	4-10	10-30	30-40	60-200	75-100	2-10	2-8	4-10	200
Προσθήκη χημικών	Όχι	Ναι	Προαιρετική	Προαιρετική	Προαιρετική	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	ΝΑΙ	Όχι	Όχι	Όχι
Συγκέντρωση ιλύος (g/m ³)	10.000-25.000	20.000-30.000	30.000-200.000	600-1.400	30.000-40.000	15.000-25.000	20.000-35.000	10.000-15.000	25.000-40.000	10.000-20.000	10.000-20.000	10.000-20.000	-
Αποτύπωμα χώρου	Μεγάλο	Μεγάλο	Μικρό	Μικρό	Μικρό	Μεσαίο	-	Μεγάλο	Μεγάλο	Μικρό	Μεσαίο	Μεσαίο	Μικρό
Συντήρηση	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Μέτρια	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Επίπεδο ωριμότητας	Εδραιωμένη τεχνολογία	Εδραιωμένη τεχνολογία	Μερικώς εδραιωμένη τεχνολογία	Μερικώς εδραιωμένη τεχνολογία	Μερικώς εδραιωμένη τεχνολογία	Εδραιωμένη τεχνολογία	Εδραιωμένη τεχνολογία	Μερικώς εδραιωμένη τεχνολογία	Μερικώς εδραιωμένη τεχνολογία	Μερικώς εδραιωμένη τεχνολογία	Μερικώς εδραιωμένη τεχνολογία	Μερικώς εδραιωμένη τεχνολογία	Εδραιωμένη τεχνολογία



2.6 Επιπτώσεις των APTT στην επεξεργασία αστικών λυμάτων

2.6.1 Επιπτώσεις στις απαιτήσεις αερισμού

Η εφαρμογή των APTT οδηγεί σε σημαντική απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και οργανικού φορτίου ανάντη της δεξαμενής αερισμού. Αξίζει να σημειωθεί ότι απομακρύνεται σωματιδιακό BOD₅ κατά την εφαρμογή των APTT, το οποίο είναι πολύ πιο δύσκολο και πιο δαπανηρό να απομακρυνθεί βιολογικά, σε σχέση με το διαλυτό BOD₅. Η απομάκρυνση του σωματιδιακού BOD₅ ανάντη της βιολογικής επεξεργασίας έχει σημαντικό αντίκτυπο στις απαιτήσεις αερισμού, καθώς επηρεάζει τον ρυθμό πρόσληψης οξυγόνου και το διαθέσιμο θρεπτικό υπόστρωμα των μικροοργανισμών κατά τη βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων. Έτσι, το μειωμένο οργανικό φορτίο και η υψηλή αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών ανάντη της βιολογικής επεξεργασίας οδηγούν σε μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις της δεξαμενής αερισμού και κατ' επέκταση του συνόλου της μονάδας (Caliskaner et al., 2018, 2017, 2016, 2014; Lema and Martinez, 2017; Mansell et al., 2018). Οι Gori et al. 2013 διερεύνησαν τον αντίκτυπο των APTT στη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Οι Scott et al. 2015 σύγκριναν τη ΔΠΚ με ένα RBF, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις σε αερισμό και το δυναμικό ανάκτησης ενέργειας της αναερόβιας χώνευσης της ιλύος. Τα αποτελέσματα των δύο μελετών έδειξαν ότι η εφαρμογή των APTT μειώνει τη ζήτηση ενέργειας στη δευτεροβάθμια επεξεργασία, ενώ παράλληλα αυξάνει το δυναμικό παραγωγής ενέργειας με αναερόβια χώνευση και μειώνει το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα στις ΕΕΛ (Gori et al., 2013; Scott et al., 2015).

2.6.2 Επιπτώσεις στην παραγωγή και την αναερόβια αποικοδόμηση της ιλύος

Με την αφαίρεση ενός μεγάλου ποσοστού κλάσματος των αιωρούμενων στερεών πριν τη δεξαμενή αερισμού, η συνολική παραγωγή πρωτοβάθμιας ιλύος τείνει να αυξάνεται. Η αφαίρεση μεγάλου ποσοστού οργανικού κλάσματος κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, σηματοδοτεί την αύξηση του δυναμικού παραγωγής ενέργειας από τα απόβλητα κατά την μετατροπή των σύνθετων οργανικών ενώσεων σε μεθάνιο (CH₄) και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στο στάδιο της μεθανογένεσης της αναερόβιας χώνευσης. Η αναερόβια χώνευση είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος σταθεροποίησης της ιλύος, η οποία παράγει ταυτόχρονα βιοαέριο (Athanasoulia et al., 2012). Από την άλλη, η αφαίρεση μικρού ποσοστού κλάσματος των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού υλικού κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, οδηγεί στην περαιτέρω αύξηση του CO₂ στην δεξαμενή αερισμού. Έτσι, με την μεγάλη απομάκρυνση των TSS πριν τη δεξαμενή αερισμού, απαιτείται λιγότερη ενέργεια από τους μικροοργανισμούς για την βιοαποικοδόμηση του οργανικού φορτίου των λυμάτων και ταυτόχρονα μειώνονται οι εκπομπές των GHG (Lema and Martinez, 2017).

Η βιοδιασπασσιμότητα της δευτεροβάθμιας ιλύος είναι γνωστό ότι είναι χαμηλότερη από την πρωτοβάθμια ιλύ. Μια υψηλότερη αναλογία δευτεροβάθμιας ιλύος προς πρωτοβάθμια ιλύ σε έναν αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας ανά μονάδα μάζας, σε σύγκριση με έναν αντιδραστήρα με υψηλότερη αναλογία πρωτοβάθμιας ιλύος (Lema and Martinez, 2017).

Η περιεκτικότητα σε στερεά και η χημική σύνθεση της ιλύος ποικίλλει σημαντικά μεταξύ του τύπου και της λειτουργίας της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας. Οι Paulsrud et al. 2014 συνέλλεξαν δείγματα ιλύος από 19 ΕΕΛ χρησιμοποιώντας ένα RBF ως σύστημα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας και από 10 ΕΕΛ με συμβατική επεξεργασία. Υπολόγισαν ότι το ποσοστιαίο εύρος των Ολικών Στερεών (Total Solids, TS) για 19 δείγματα PSS ήταν 13,6-36,9%, ενώ το εύρος των TS για τα 10 δείγματα ιλύος από ΔΠΚ κυμαίνονταν από 0,5-6,6% TS. Επίσης, κατά μέσο όρο, το κλάσμα Πτητικών Στερεών (Volatile Solids, VS) των PSS ήταν υψηλότερο σε σχέση με την ιλύ από τη συμβατική επεξεργασία με μέσες τιμές 0,92 και 0,81 αντίστοιχα (Paulsrud et al., 2014).

Στη μελέτη τους, οι Scott et al. 2015 εξέτασαν τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των PSS από ένα



RBF και από μία ΔΠΚ. Διαπίστωσαν ότι η χρήση RBF στην επεξεργασία των αστικών λυμάτων επιτρέπει την ταυτόχρονη πάχυνση και αφυδάτωση της πρωτοβάθμιας ιλύος. Η μειωμένη περιεκτικότητα σε υγρασία των PSS, σε αντίθεση με τη ιλύ που παράγεται με τη συμβατική επεξεργασία επιτρέπει υψηλότερους ρυθμούς τροφοδοσίας και μεγαλύτερη δυναμικότητα σε ένα αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης (Scott et al., 2015).

2.6.3 Επιπτώσεις στην απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών

Τα RBFs μπορούν να απομακρύνουν μικρότερα σωματίδια σε σχέση τη συμβατική επεξεργασία με ή χωρίς την προσθήκη χημικών. Έχει αποδειχθεί ότι τα RBFs δεν απομακρύνουν το μη σωματιδιακό BOD₅. Όταν λαμβάνει χώρα η προσθήκη κροκιδωτικών σε RBFs ένα μικρό μέρος του κολλοειδούς ή ημιδιαλυτού BOD₅ μπορεί να δεσμευτεί, πιθανότατα με προσρόφηση ή προσκόλληση στα μεγαλύτερα σωματίδια του υμένα που έχει δημιουργηθεί πάνω στον ιμάντα των RBFs. Τα RBFs σε συνδυασμό με την προσθήκη κροκιδωτικών δεν είναι δύναται να απομακρύνουν κάποιο κλάσμα διαλυτού BOD₅. (TROJAN Technologies, 2015). Έτσι, κατά την λειτουργία των RBFs, οι πλειονότητα των εύκολα αποικοδομήσιμων ενώσεων άνθρακα μεταπίπτουν από την πρωτοβάθμια στη δευτερογενή επεξεργασία, χωρίς να επηρεάζονται οι αναγκαίες αναλογίες C:P στην καταντή βιολογική επεξεργασία των λυμάτων (Sarathy et al., 2015). Οι Rusten et al. 2016 κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η επεξεργασία αποβλήτων με RBFs με ανοίγματα πόρων 33 μm δεν επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στην απονιτροποίηση κατά τη βιολογική επεξεργασία αστικών λυμάτων, καθώς οι ρυθμοί απονιτροποίησης των ανεπεξέργαστων λυμάτων και των λυμάτων με την επεξεργασία με RBFs ήταν $0,96 \pm 0,18$ και $0,91 \pm 0,35$ g NO₃-N/m²d, αντίστοιχα (Rusten et al., 2016).

2.6.4 Επιπτώσεις στις απαιτήσεις ενέργειας και στα αέρια του θερμοκηπίου

Οι εκτιμώμενες επιπτώσεις των APTT στην μείωση της ενέργειας και στις εκπομπές των GHG σε υφιστάμενες ή νέες ΕΕΛ εξαρτώνται από το είδος των πρωτοβάθμιων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται, και από τη φύση των λυμάτων. Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.3, προκύπτει το συμπέρασμα ότι αυξάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας με την αύξηση της απομάκρυνσης των TSS σε αστικά λύματα, με την παράλληλη μείωση των εκπομπών GHG (Lema and Martinez, 2017).

Πίνακας 2.3: Επιπτώσεις των APTT στην εξοικονόμηση ενέργειας και στις GHG (Lema and Martinez, 2017).

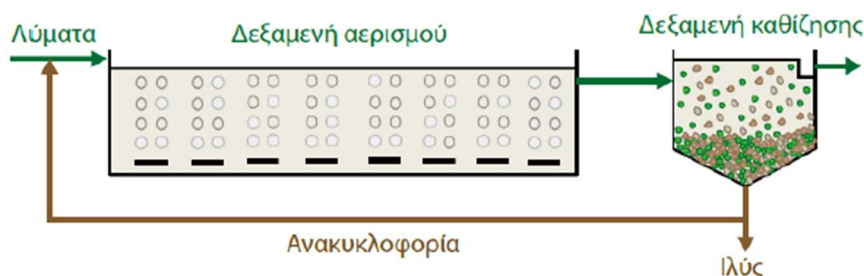
Αποδόσεις των APTT	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή
Απομάκρυνση TSS, (%)	20–30	40–60	70–90
Απομάκρυνση BOD ₅ , (%)	<10	20–40	40–60
Απομάκρυνση N, (%)	<5	10–20	25–30
Απομάκρυνση P, (%)	<10	15–30	80–90
Επιπτώσεις των APTT στην καταντή επεξεργασία	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή
Εξοικονόμηση ενέργειας στον αερισμό, (10 ³ kWh/m ³)	5–10	10–20	20–30
Μείωση CO ₂ στην αναερόβια χώνευση (t CO ₂ / m ³)	20–35	40–65	75–100
Συνολική μείωση CO ₂ στην ΕΕΛ, (t CO ₂ / m ³)	25–45	50–85	95–130



Κεφάλαιο 3: Βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων με τη διεργασία της ενεργού ιλύος

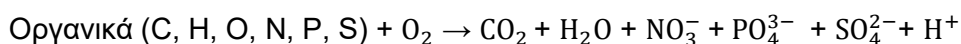
3.1 Ορισμός της διεργασίας

Η διεργασία της ενεργού ιλύος είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Federation, 2008; Jenkins and Wanner, 2014; Jeppsson, 1996). Η διεργασία αναπτύχθηκε το 1914 από τους ερευνητές Edward Arden and William Lockett στο Μάντσεστερ της Αγγλίας (Jenkins and Wanner, 2014). Ένα συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος (Σχήμα 3.1) περιλαμβάνει μια δεξαμενή αερισμού και μια Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης (ΔΔΚ) (Von Sperling, 2007; Χρυσικόπουλος, 2013). Κύριοι στόχοι της διεργασίας είναι η οξείδωση των διαλυμένων και σωματιδιακών βιοαποικοδομήσιμων συστατικών σε αποδεκτά τελικά προϊόντα, η συσσωμάτωση και απομάκρυνση των μη καθιζανόντων κolloειδών στερεών, και η απομάκρυνση οργανικού φορτίου και θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου) (Στάμου and Βογιατζής, 1994).



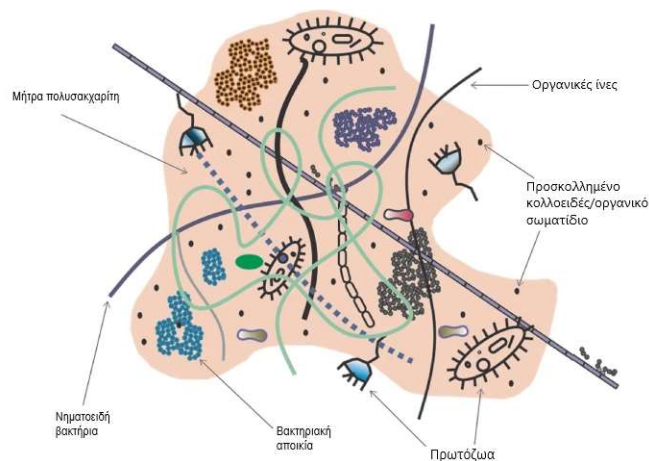
Σχήμα 3.1: Συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος (Χρυσικόπουλος, 2013).

Στη δεξαμενή αερισμού τροφοδοτούνται τα υγρά απόβλητα και αναμιγνύονται με την ενεργό ιλύ, ενώ παράλληλα παρέχεται το απαιτούμενο οξυγόνο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών (Χρυσικόπουλος, 2013). Η ενεργός ιλύς αποτελείται από βιολογικές κροκίδες που είναι μήτρες μικροοργανισμών, οργανικού και ανόργανου υλικού. Οι μικροοργανισμοί περιλαμβάνουν βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα και υψηλότερες μορφές ζώων όπως τροχοφόρα, προνύμφες εντόμων και σκουλήκια (Shammas, 2009). Μια πλήρης οξείδωση των οργανικών ουσιών μπορεί να εκφραστεί ως (Shammas, 2009):



Η συσώρευση βακτηρίων σε βιολογικές κροκίδες είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της διεργασίας ενεργού ιλύος. Οι βιολογικές κροκίδες οδηγούνται από τη δεξαμενή αερισμού στη ΔΔΚ, όπου κατακάθονται και το υπερκείμενο υγρό ρέει προς την έξοδο. Η συγκέντρωση της βιομάζας στον πυθμένα της ΔΔΚ αποτελεί την ενεργό ιλύ. Ως αποτέλεσμα της ανακυκλοφορίας της ιλύος, η συγκέντρωση των Αιωρούμενων Στερεών Μικτού Υγρού (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS), στη δεξαμενή αερισμού παραμένει υψηλή (Von Sperling, 2007). Η βιομάζα διαχωρίζεται στη ΔΔΚ λόγω της ιδιότητά της να κροκιδώνεται και να καθιζάνει. Αυτό οφείλεται στην παραγωγή μιας ζελατινώδους μήτρας, η οποία επιτρέπει τη προσκόλληση των βακτηρίων, των πρωτόζωων και άλλων μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για την απομάκρυνση της οργανικής ύλης, με τη δημιουργία των βιολογικών κροκίδων. Οι βιολογικές κροκίδες μεμονωμένα είναι πολύ μεγαλύτερες από τους μικροοργανισμούς, γεγονός που διευκολύνει την καθίζησή τους (Σχήμα 3.2) (Von Sperling, 2007).

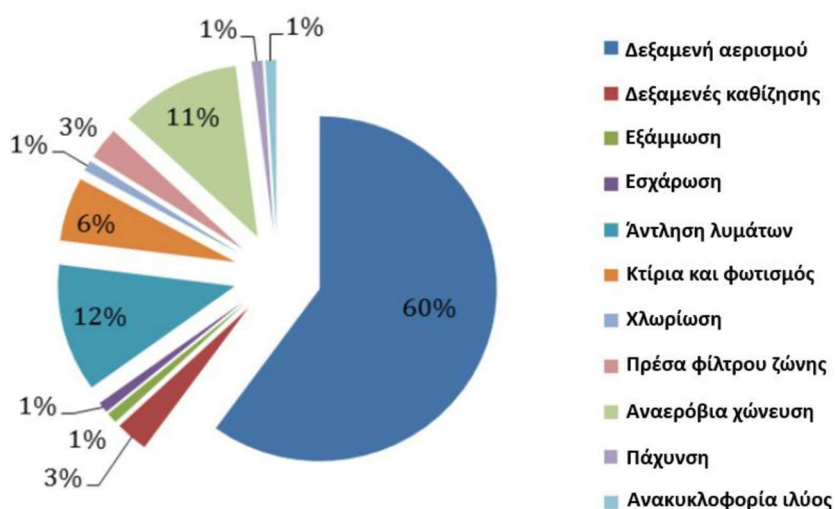




Σχήμα 3.2: Σχηματική απεικόνιση βιολογικής κροκίδας στη διεργασία ενεργού ιλύος (Widajarno et al., 2022).

Ανάλογα με το σχεδιασμό και τη συγκεκριμένη εφαρμογή, μια ΕΕΛ ενεργού ιλύος μπορεί να επιτύχει βιολογική απομάκρυνση αζώτου (N) και βιολογική αφαίρεση φωσφόρου (P), εκτός από την απομάκρυνση οργανικών ουσιών άνθρακα (Jeppsson, 1996).

Η δεξαμενή αερισμού είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος του ενεργειακού κόστους στις ΕΕΛ, με την κατανάλωση ενέργειας να αποτελεί περίπου το 50-60% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. (Σχήμα 3.3) (Soares et al., 2017).



Σχήμα 3.3: Ποσοστιαία κατανομή ενέργειας σε ΕΕΛ (Soares et al., 2017).



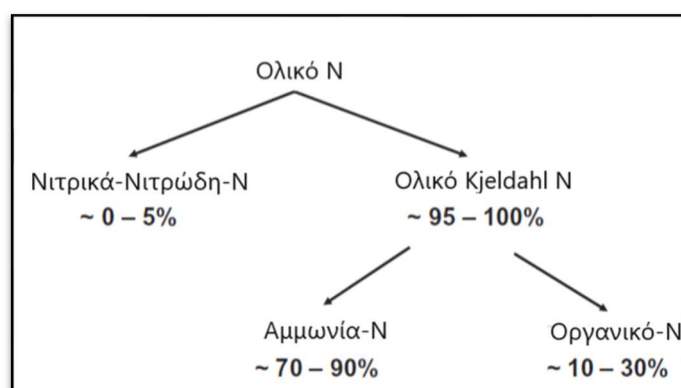
3.2 Βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών (αζώτου, φωσφόρου)

3.2.1 Βιολογική απομάκρυνση αζώτου

Το άζωτο είναι ένα βασικό μακροθρεπτικό συστατικό του οποίου η ενδογένεση και η διαθεσιμότητα επηρεάζουν το χερσαίο και το θαλάσσιο περιβάλλον (Vitousek et al., 1997). Από τα θρεπτικά συστατικά που απεκκρίνονται από τον άνθρωπο, μπορεί να βρεθεί το 85 έως 90% του αζώτου στα ούρα με το υπόλοιπο να σχετίζεται με κόπρανα (Larsen and Gujer, 1996).

Το άζωτο στα αστικά λύματα είναι εξαιρετικά βιοδιαθέσιμο (Howarth and Marino, 2006). Παρόλο που το άζωτο είναι ένα βασικό συστατικό των δομικών στοιχείων της ζωής, η υπερβολική εναπόθεση διαφόρων μορφών αζώτου σε χερσαία και ωκεάνια οικοσυστήματα προκαλεί ευτροφισμό και ρύπανση των υπόγειων υδάτων (Robertson and Kuenen, 1992). Παρόλο που υπάρχουν διάφοροι διεργασίες για την απομάκρυνση του αζώτου από τα υγρά απόβλητα, τόσο με φυσικοχημικές όσο και με βιολογικές διεργασίες, η διεργασία ενεργού ιλύος έχει αναδειχθεί ως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη διεργασία για την απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου από τα λύματα (Jenkins and Wanner, 2014).

Το άζωτο (Σχήμα 3.4) είναι ένα βασικό στοιχείο που εμπλέκεται στους βιογεωχημικούς κύκλους. Οι αζωτούχες ενώσεις στα υγρά απόβλητα αποτελούνται κυρίως από ανόργανο αμμωνιακό άζωτο, το οποίο μπορεί να υπάρχει σε αέρια (NH_3) και ιοντική μορφή (NH_4^+) και το οργανικό άζωτο (ουρία, αμινοξέα και άλλες οργανικές ενώσεις με αμινομάδα). Μερικές φορές τα υγρά απόβλητα περιέχουν ίχνη οξειδωμένων μορφών αζώτου, κυρίως νιτρωδών (NO_2^-) και νιτρικών (NO_3^-). Το άθροισμα των συγκεντρώσεων οργανικού και του αμμωνιακού αζώτου ονομάζεται Ολικό κατά Kjeldahl Άζωτο (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) (Van Haandel and Van Der Lubbe, 2007).



Σχήμα 3.4: Μορφές αζώτου στα αστικά λύματα (Jenkins and Wanner, 2014).

Λόγω των διαφόρων μετασχηματισμών που υφίστανται, τα είδη αζώτου μετατρέπονται γρήγορα από τη μία κατάσταση οξείδωσης στην άλλη. Η κατάσταση οξείδωσης του μπορεί να κυμαίνεται από -3,0 για οργανικό άζωτο έως +5,0 για τα νιτρικά άλατα. Τα διάφορα είδη αζώτου συνοψίζονται στον Πίνακα 3.1 (Federation, 2011).



Πίνακας 3.1: Οξειδωτικές καταστάσεις αζώτου (Madigan et al., 2006).

Είδη	Οξειδωτική κατάσταση
Οργανικό άζωτο (R-NH ₂)	-3
Αμμωνία (NH ₃)	-2
Αέριο άζωτο (N ₂)	0
Υποξείδιο του αζώτου (N ₂ O)	+1
Μονοξείδιο το αζώτου (NO)	+2
Νιτρώδη (NO ₂ ⁻)	+3
Διοξείδιο το αζώτου (NO ₂)	+4
Νιτρικά (NO ₃ ⁻)	+5

Η βιολογική νιτροποίηση είναι η διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων στη δεξαμενή αερισμού και έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή των αζωτούχων ενώσεων των υγρών αποβλήτων σε νιτρικό άζωτο. Αυτή η διεργασία αποτελείται από τέσσερα διακριτά στάδια (Van Haandel and Van Der Lubbe, 2007):

- Αμμωνιοποίηση
- Αφομίωση
- Νιτροποίηση
- Απονιτροποίηση

Αμμωνιοποίηση

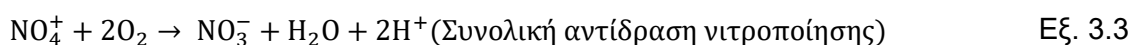
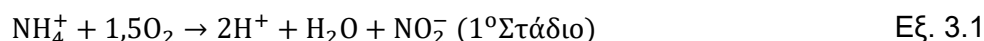
Η αμμωνιοποίηση είναι μια διαδικασία με την οποία το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε ανόργανο, σε απλές αμμωνιακές μορφές. Τα ετερότροφα βακτήρια συνεισφέρουν στην αμμωνιοποίηση, η οποία αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη νιτροποίηση (Madigan et al., 2006).

Αφομίωση

Στο στάδιο της αφομίωσης πραγματοποιείται μερική δέσμευση του αζώτου (υπό μορφή αμμωνίας) από τους μικροοργανισμούς με σκοπό την παραγωγή βιομάζας. Το αμμωνιακό άζωτο είναι η προτιμώμενη αφομοιωτική πηγή αζώτου για βακτήρια στη διεργασία ενεργού ιλύος επειδή βρίσκεται στην ίδια κατάσταση οξείδωσης όπως η βιομάζα (Grady Jr and Lim, 1999; Hoover and Porges, 1952; Rittmann and McCarty, 2001).

Νιτροποίηση

Η νιτροποίηση είναι η διαδικασία βιολογικής οξείδωσης της αμμωνίας δύο σταδίων κατά την οποία αυτότροφα βακτήρια οξειδώνουν τα αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺) σε νιτρώδη (NO₂⁻) και στη συνέχεια σε νιτρικά (NO₃⁻). Η οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη (νιτρωδοποίηση) πραγματοποιείται από αυτότροφα νιτρωδοποιητικά βακτήρια (nitrosomonas), και η μετατροπή νιτρωδών σε νιτρικά (νιτρικοποίηση) πραγματοποιείται κυρίως από αυτότροφα νιτρικοποιητικά βακτήρια (nitrobacter) (Federation, 2011; Robertson and Kuenen, 1992). Η οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη μπορεί να περιγραφεί από τις ακόλουθες αντιδράσεις (Hoseinzadeh, 2019):

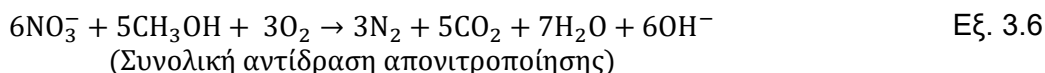
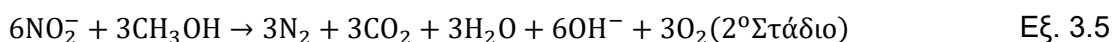
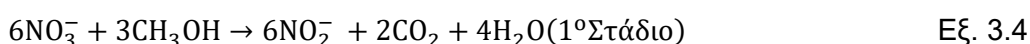


Τα περισσότερα νιτροποιητικά βακτήρια που βρίσκονται σε συμβατικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων είναι αυτότροφοι μικροοργανισμοί επειδή συνθέτουν κυτταρικό υλικό από ανόργανο άνθρακα (HCO_3^- υπό τυπικές συνθήκες λειτουργίας). Η οξείδωση της αμμωνίας ή των νιτρικών παρέχει την ενέργεια που απαιτείται για την κυτταρική σύνθεση. Αυτά τα βακτήρια είναι υποχρεωτικά αερόβια επειδή αναπτύσσονται μόνο όταν υπάρχει διαθέσιμο Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO). Η απουσία DO για μικρές περιόδους, ωστόσο, δεν είναι θανατηφόρα επειδή τα νιτροποιητικά βακτήρια προσαρμόζονται και επιβιώνουν κάτω από χαμηλό DO και χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας (Geets et al., 2006; Painter, 1970).

Απονιτροποίηση

Μετά τη μετατροπή της πλειονότητας των αζωτούχων ενώσεων των υγρών αποβλήτων σε νιτρικά, λαμβάνει χώρα η απονιτροποίηση, η οποία είναι η βιολογική μετατροπή των νιτρικών σε αέριο άζωτο. Η απονιτροποίηση ή η αναγωγή νιτρικών σε αέριο άζωτο πραγματοποιείται υπό ανοξικές συνθήκες και εξαρτάται από την παραγωγή νιτρικών κατά τη διεργασία νιτροποίησης υπό αερόβιες συνθήκες (Federation, 2011).

Σε αντίθεση με τη νιτροποίηση, ένα σχετικά ευρύ φάσμα βακτηρίων μπορεί να επιτύχει την απονιτροποίηση. Οι απονιτροποιητές είναι σε αφθονία στα περισσότερα φυσικά περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των αστικών λυμάτων και ιλύες (Henze Christensen and Harremoës, 1977). Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι τα απονιτροποιητικά βακτήρια είναι δυνητικά αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν είτε οξυγόνο είτε νιτρικά ως τελικό δέκτη ηλεκτρονίων. Στην πραγματικότητα, τα απονιτροποιητικά βακτήρια μπορούν να ευδοκιμήσουν σε αερόβια περιβάλλοντα λόγω της ικανότητάς τους να χρησιμοποιούν το οξυγόνο και να οξειδώνουν αποτελεσματικά τα οργανικά υλικά (Tiedje et al., 1983). Εάν υπάρχουν σε αφθονία, τόσο οξυγόνο όσο και νιτρικά, τότε οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν κατά προτίμηση το οξυγόνο ως τελικό δέκτη ηλεκτρονίων επειδή αποδίδει περισσότερη ενέργεια από τα νιτρικά ή τα νιτρώδη. Η διαδικασία απονιτροποίησης περιλαμβάνει τη μεταφορά ηλεκτρονίων από το δότη ηλεκτρονίων (δηλαδή το υπόστρωμα άνθρακα) στον δέκτη ηλεκτρονίων (δηλαδή οξυγόνο, νιτρικά ή νιτρώδη). Ο δότης ηλεκτρονίων, θα μπορούσε να είναι είτε το οργανικό υπόστρωμα στα ακατέργαστα λύματα είτε ένα υπόστρωμα που προστίθεται στην πηγή. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη εξωτερική πηγή άνθρακα είναι η μεθανόλη. Η απονιτροποίηση περιγράφεται από τις ακόλουθες αντιδράσεις (Hoseinzadeh, 2019):

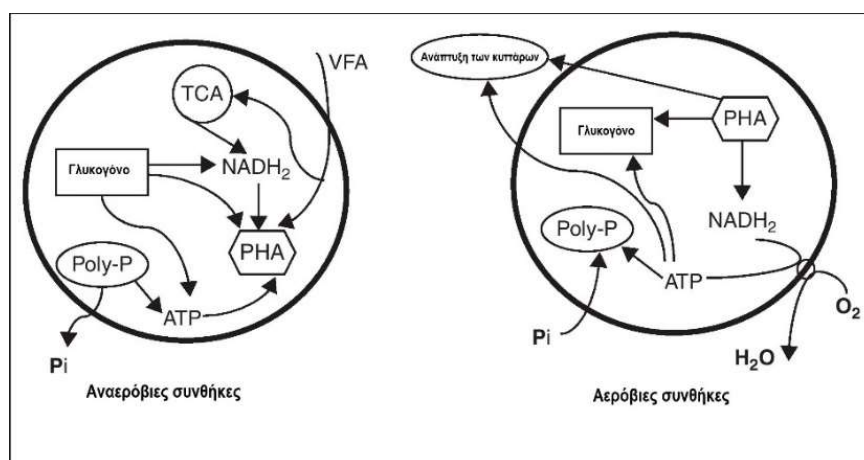


3.2.2 Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου

Στη δεκαετία του 1950, οι Greenberg et al. 1955 απέδειξαν πειραματικά ότι διεργασία της ενεργού ιλύος θα μπορούσε να απορροφήσει φωσφορικό άλας σε επίπεδο πέραν των φυσιολογικών απαιτήσεων μικροβιακής ανάπτυξης. Οι Gopalakrishnan and Srinath 1963 πραγματοποιώντας μια σειρά πειραμάτων τύπου batch, παρατήρησαν ότι οι συγκεντρώσεις διαλυτού φωσφόρου μπορούσαν να μειωθούν σε λιγότερο από 1 mg/L μετά από έντονο αερισμό, σε ΕΕΛ στην Ουάσιγκτον των Ηνωμένων Πολιτειών.

Η βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που εξαρτάται από την ανάπτυξη συγκεκριμένων μικροοργανισμών γνωστοί ως Μικροοργανισμοί Συσσώρευσης Πολυφωσφορικών (Polyphosphate Accumulating Organisms, PAOs) που συσσωρεύουν φωσφορικά άλατα και αποθηκεύουν φώσφορο ως πολυφωσφορικό (πολυ-P), μέσω της διαδικασίας που ονομάζεται ενισχυμένη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου (Daigger et al., 1999; Federation, 2011; Robertson and Kuenen, 1992). Παρόλου που η ικανότητα πρόσληψης φωσφόρου είναι ευρέως διαδεδομένη μεταξύ των βακτηρίων, μόνο οι PAOs προλαμβάνουν σε υψηλές ποσότητες (έως 12% σε σύγκριση με 3% (σε ξηρό βάρος) των μη-PAOs) χρησιμοποιώντας O_2 , NO_3^- , NO_2^- , ως τελικούς δέκτες ηλεκτρονίων (Nielsen et al., 2012).

Υπό αναερόβιες συνθήκες, οι PAOs προσλαμβάνουν πηγές άνθρακα όπως Πτητικά Λιπαρά Οξέα (Volatile Fatty Acids, VFAs) και τα αποθηκεύουν ενδοκυτταρικά ως πολυφωσφορικά (poly-P) ή πολυ υδροξυοξέα (Tchobanoglous et al., 2003). Υπό αερόβιες συνθήκες, η εσωτερικά αποθηκευμένη πηγή δρα ως ενεργειακό απόθεμα που επιτρέπει στα βακτήρια να προσλαμβάνουν οξικό άλας υπό αναερόβιες συνθήκες, αποθηκευοντάς το ως Πολύ(3-ύδροξυ-Βουτυρικού) (Poly-(3-Hydroxy Butyrate, PHB) εστέρα και άλλα πολυ υδροξυοξέα (Daigger et al., 1999). Το αποθηκευμένο PHB μεταβολίζεται, παρέχοντας τον άνθρακα και την ενέργεια από την οξείδωση, για την κυτταρική ανάπτυξη.



Σχήμα 3.5: Σχηματική απεικόνιση αναερόβιου και αερόβιου μεταβολισμού των PAOs (Yuan et al., 2012).

Ο αποθηκευμένος φώσφορος απομακρύνεται από τη ΔΔΚ μέσω της ιλύος. Συνήθως, η ενεργός ιλύ στη διεργασία ενεργού ιλύος περιέχει 1,5% έως 2,0% φώσφορο σε ξηρή βάση. Στις διεργασίες ενισχυμένης απομάκρυνσης φωσφόρου, ωστόσο, η περιεκτικότητα της ιλύος σε φώσφορο μπορεί να είναι πολύ υψηλότερη (Tchobanoglous et al., 2003).



3.3 Συστήματα ενεργού ιλύος

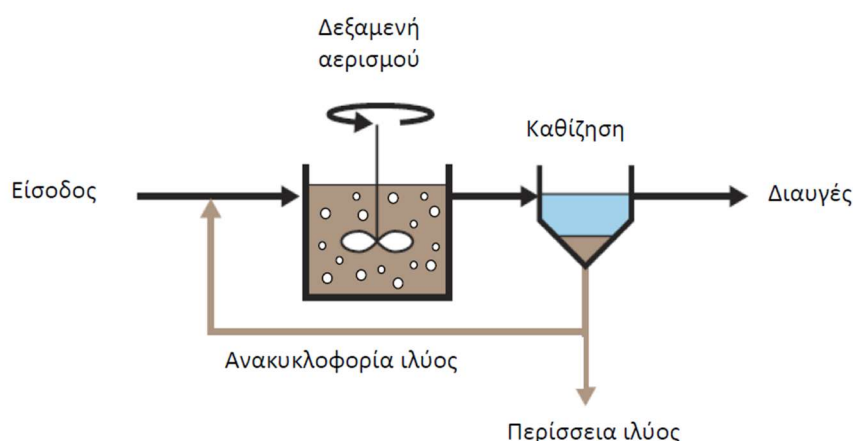
Τα συστήματα ενεργού ιλύος διακρίνονται σε (Metcalf et al., 1991):

- Πλήρους μίξης
- Εμβολικής ροής
- Αντιδραστήρες Διαλείπουσας Λειτουργίας (Sequencing Batch Reactors)

3.3.1 Συστήματα ενεργού ιλύος πλήρους μίξης

Η διεργασία ενεργού ιλύος πλήρους μίξης είναι μια διεργασία που χρησιμοποιεί έναν αντιδραστήρα συνεχούς ροής με ανάμειξη. Τα υγρά απόβλητα από την πρωτοβάθμια επεξεργασία καθώς και η ανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος εισάγονται συνήθως στη δεξαμενή αερισμού. Η συγκέντρωση θρεπτικών, αιωρούμενων στερεών και οξυγόνου είναι σταθερή σε ολόκληρη τη δεξαμενή αερισμού. Η συγκεκριμένη διεργασία έχει ένα πλεονέκτημα στη διάλυση υψηλών φορτίων που υπάρχουν στην επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων. Είναι εύκολη στη λειτουργία, αλλά είναι επιρρεπής σε μικρές υδραυλικές φορτίσεις που προάγουν την ανάπτυξη νηματοειδών βακτηρίων, οδηγώντας σε προβλήματα διόγκωσης ιλύος (Metcalf et al., 1991; Wang et al., 2005).

Στη διεργασία ενεργού ιλύος πλήρους μίξης (Σχήμα 3.6) χρησιμοποιείται μια ορθογώνια δεξαμενή αερισμού. Η ενεργός ιλύς συλλέγεται από τη ΔΔΚ. Μέρος της ιλύος ανακυκλοφορείται στη δεξαμενή αερισμού, ενώ το υπόλοιπο οδηγείται στη γραμμή επεξεργασίας της ιλύος. Το αναμιγμένο υγρό αερίζεται και λαμβάνει χώρα σύνθεση και αναπνοή με την οργανική ύλη να οξειδώνεται. Το μικτό υγρό έχει MLSS από 1.500 έως 4.000 mg/L (Metcalf et al., 1991; Wang et al., 2005).



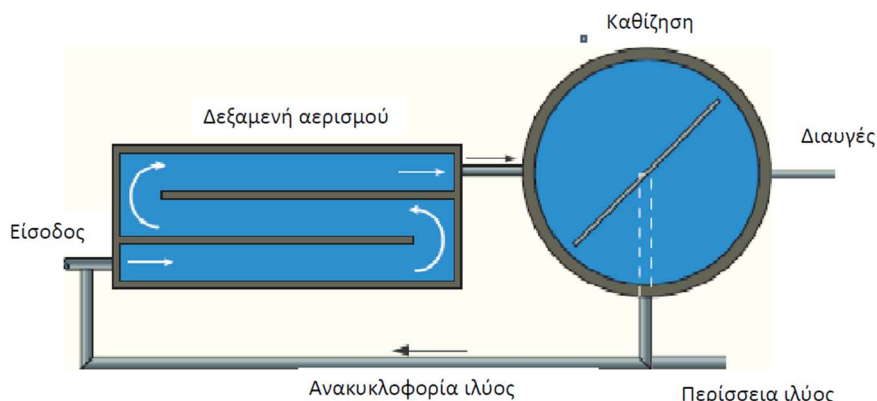
Σχήμα 3.6: Διεργασία ενεργού ιλύος πλήρους ανάμειξης (Γκίκας, 2020).



3.3.2 Συστήματα ενεργού ιλύος εμβολικής ροής

3.3.2.1 Διεργασία ενεργού ιλύος εμβολικής ροής

Το υπερκείμενο υγρό της πρωτοβάθμιας καθίζησης καθώς και η ανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος εισέρχονται στη δεξαμενή αερισμού (Σχήμα 3.7). Ο αερισμός πραγματοποιείται είτε μηχανικά είτε με διάχυση, και εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής. Συνήθως, υπάρχουν 3-5 διαδρομές. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται στη ΔΔΚ (Metcalf et al., 1991; Wang et al., 2005).



Σχήμα 3.7: Διεργασία ενεργού ιλύος εμβολικής ροής (Γκίκας, 2020).

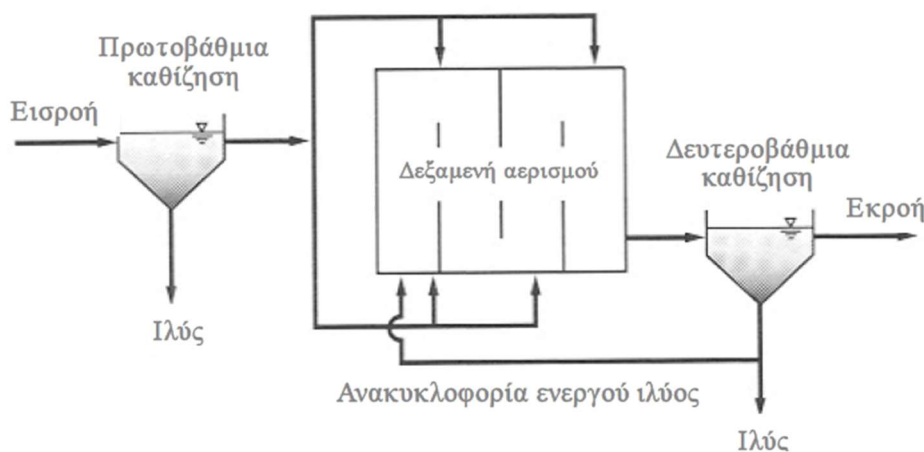
3.3.2.2 Διεργασία ενεργού ιλύος με αερισμό υψηλού ρυθμού

Ο αερισμός υψηλού ρυθμού είναι μια παραλλαγή της συμβατικής διεργασίας εμβολικής ροής στην οποία χαμηλές συγκεντρώσεις MLSS συνδυάζονται με υψηλά οργανικά φορτία εισόδου στη δεξαμενή αερισμού. Το σύστημα υψηλών ρυθμών χαρακτηρίζεται από σύντομο χρόνο παραμονής, υψηλό λόγο ανακυκλοφορίας και υψηλό λόγο F/M. Σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα εμβολικής ροής ή πλήρους μίξης, τα συστήματα υψηλών ρυθμών έχουν χαμηλότερη απόδοση στην απομάκρυνση του BOD₅ και των TSS. Η διασφάλιση σταθερής λειτουργίας είναι ζωτικής σημασίας λόγω των σημαντικών φορτίων εισόδου, ενώ είναι επίσης απαραίτητο να επιτευχθεί επαρκής ανάμιξη και αερισμός των λυμάτων (Metcalf et al., 1991; Wang et al., 2005).

3.3.2.3 Διεργασία ενεργού ιλύος βηματικής τροφοδοσίας

Η βηματική τροφοδοσία είναι μια τροποποίηση της συμβατικής διεργασίας εμβολικής ροής κατά την οποία το υπερκείμενο υγρό από την πρωτοβάθμια καθίζηση εισάγεται από 3-4 σημεία τροφοδοσίας (Σχήμα 3.8) στη δεξαμενή αερισμού με σκοπό την εξισορρόπηση του λόγου F/M. Η συγκέντρωση των MLSS είναι υψηλή και κυμαίνεται από 5.000 έως 9.000 mg/L στη πρώτη δίοδο, με χαμηλότερης συγκεντρώσεις στις επόμενες διόδους (1.500-4.000 mg/L). Η διεργασία της βηματικής τροφοδοσίας είναι αποτελεσματική σε περιπτώσεις υγρών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις TSS (Metcalf et al., 1991; Wang et al., 2005).

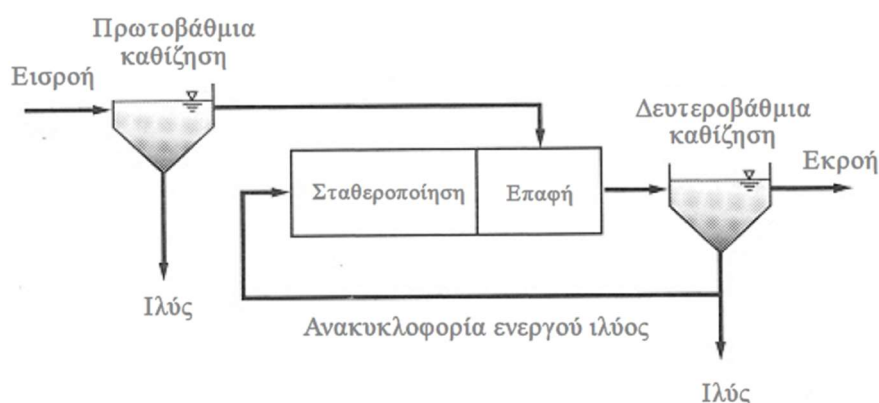




Σχήμα 3.8: Διεργασία ενεργού ιλύος βηματικής τροφοδοσίας (Γκίκας, 2020).

3.3.2.4 Διεργασία ενεργού ιλύος με επαφή σταθεροποίησης

Η διεργασία ενεργού ιλύος με επαφή σταθεροποίησης χρησιμοποιεί δύο ξεχωριστές δεξαμενές ή δύο διαμερίσματα για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και τη σταθεροποίηση της ενεργού ιλύος (Σχήμα 3.9). Η ανακυκλοφορούσα ιλύς εισέρχεται αρχικά σε αεριζόμενη δεξαμενή και στη συνέχεια αναμειγνύεται με το υπερκείμενο υγρό της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Η ζώνη επαφής χαρακτηρίζεται από ταχεία απομάκρυνση του διαλυτού BOD₅. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται στη ΔΔΚ (Qasim, 2017).

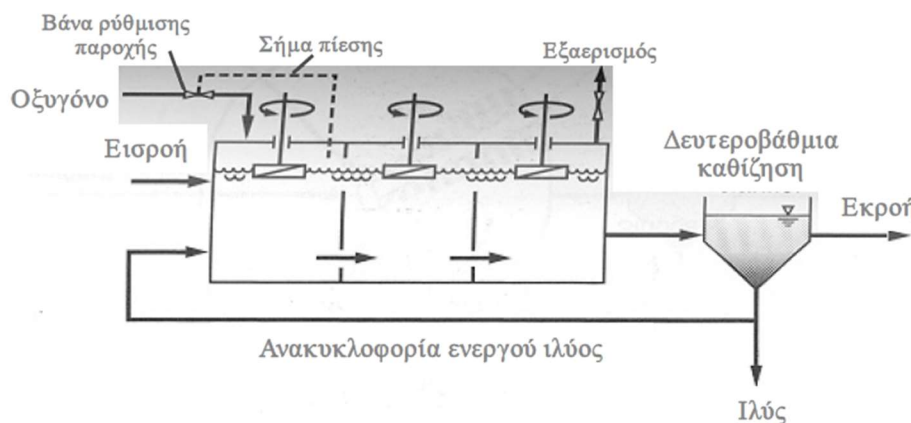


Σχήμα 3.9: Διεργασία ενεργού ιλύος με επαφή σταθεροποίησης (Γκίκας, 2020).

3.3.2.5 Διεργασία ενεργού ιλύος με οξυγόνο υψηλής καθαρότητας

Η διεργασία ενεργού ιλύος με οξυγόνο υψηλής καθαρότητας (Σχήμα 3.10) πραγματοποιείται σε έναν αντιδραστήρα κλειστής βαθμίδας. Στο πρώτο στάδιο, εισάγεται η εισροή λυμάτων, η ανακυκλοφορούσα ιλύς και το οξυγόνο υψηλής καθαρότητας, όπου συνολικά χρησιμοποιούνται τρία με τέσσερα στάδια. Από το ένα στάδιο στο άλλο, η ροή αερίου και μικτού υγρού μεταφέρονται ταυτόχρονα. Η μερική πίεση του οξυγόνου μεταβάλλεται από 40-60% στο πρώτο στάδιο έως 20% στο τελευταίο στάδιο (Qasim, 2017).

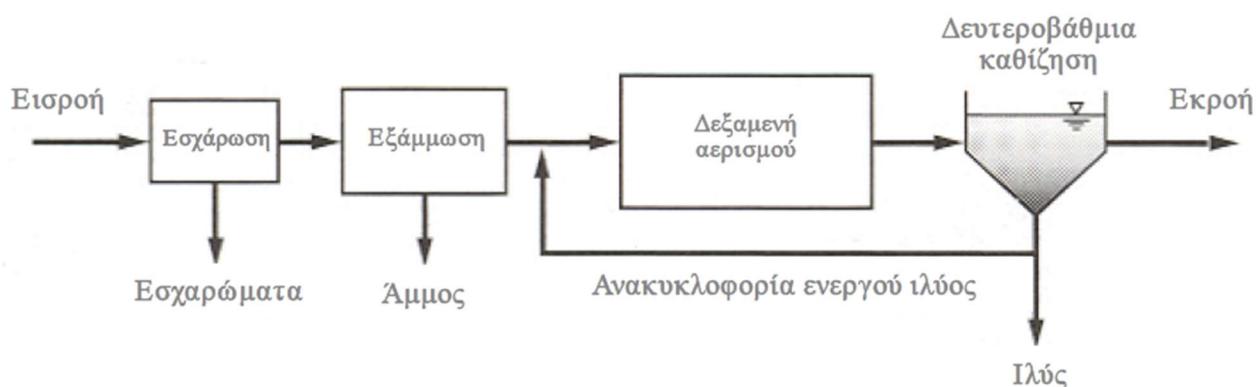




Σχήμα 3.10: Διεργασία ενεργού ιλύος με οξυγόνο υψηλής καθαρότητας (Γκίκας, 2020).

3.3.2.6 Διεργασία ενεργού ιλύος με παρατεταμένο αερισμό

Παρόμοια διεργασία με τη συμβατική εμβολική ροή είναι ο παρατεταμένος αερισμός (Σχήμα 3.11). Η συγκεκριμένη διεργασία απαιτεί χαμηλό οργανικό φορτίο και εκτεταμένο χρόνο παραμονής στη δεξαμενή αερισμού και λειτουργεί στη φάση της ενδογενούς αναπνοής της καμπύλης ανάπτυξης. Ο σχεδιασμός του συστήματος αερισμού διέπεται από απαιτήσεις ανάμειξης σε αντίθεση με τη ζήτηση οξυγόνου, λόγω του εκτεταμένου Χρόνου Κατακράτησης Στερεών (Solids Retention Time, SRT) (20 έως 40 d) και του Υδραυλικού Χρόνου Παραμονής (Hydraulic Retention time, HRT) 18-36 h. Δεν απαιτείται πρωτοβάθμια καθίζηση για τη συγκεκριμένη διεργασία ενεργού ιλύος. Οι ΔΔΚ χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό της ενεργού ιλύος (Metcalf et al., 1991; Qasim, 2017; Wang et al., 2005).

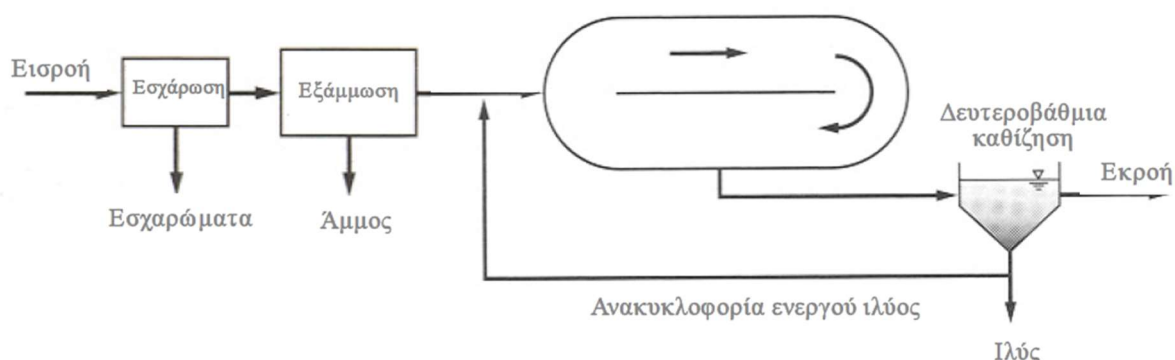


Σχήμα 3.11: Διεργασία ενεργού ιλύος με παρατεταμένο αερισμό (Γκίκας, 2020).

3.3.2.7 Διεργασία ενεργού ιλύος με οξειδωτική τάφρο

Η διεργασία ενεργού ιλύος με οξειδωτική τάφρο (Σχήμα 3.12) αποτελείται από ένα οβάλ κανάλι που είναι εξοπλισμένο με μηχανισμούς μηχανικού αερισμού και ανάδευσης. Τα υγρά απόβλητα εισάγονται στη δεξαμενή μαζί με την ανακυκλοφορούσα ιλύς. Η δεξαμενή και τα συστήματα αερισμού έχουν σχεδιαστεί για να εξασφαλίζουν ομοιόμορφη ροή στο κανάλι, επιτρέποντας στην ενέργεια που χρησιμοποιείται για τον αερισμό να αναδύει αποτελεσματικά ένα σύστημα με σχετικά σύντομο υδραυλικό χρόνο παραμονής. Η μέθοδος αερισμού/ανάμειξης δημιουργεί ταχύτητα 0,25-0,30 m/s στο κανάλι, η οποία είναι επαρκής για τη διατήρηση της ενεργού ιλύος σε αιώρηση. Σε αυτές τις ταχύτητες του καναλιού, το μικρό υγρό ολοκληρώνει μια κυκλική πορεία εντός της δεξαμενής σε 5-15 min. Οι ΔΔΚ χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό της ενεργού ιλύος (Metcalf et al., 1991; Qasim, 2017; Wang et al., 2005).





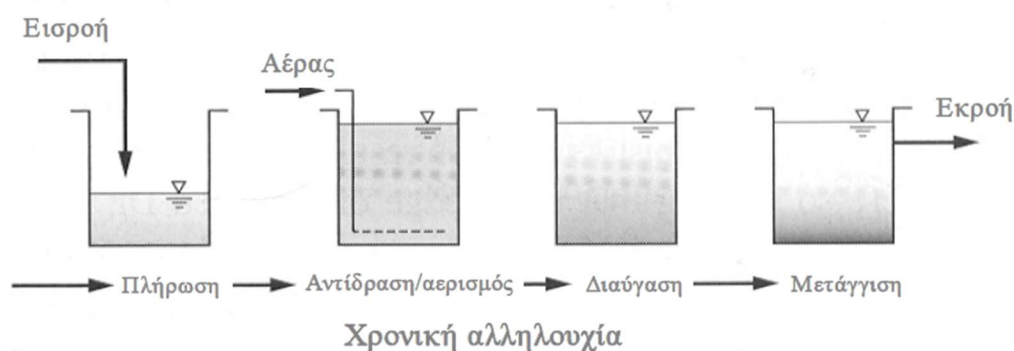
Σχήμα 3.12: Διεργασία ενεργού ιλύος με οξειδωτική τάφρο (Γκίκας, 2020).

3.3.2.8 Σύστημα Αερισμού Αντίστροφης Ροής (Countercurrent aeration system, CCAS™)

Η διεργασία CCAS™ χρησιμοποιεί ένα σύστημα αερισμού όπου οι διαχυτές αέρα είναι προσαρτημένοι στην κάτω πλευρά μιας περιστρεφόμενης γέφυρας μέσα σε μια κυκλική δεξαμενή αερισμού. Η κυκλική κίνηση της γέφυρας, η οποία ξεπερνά την ταχύτητα του περιεχομένου της δεξαμενής αερισμού, έχει ως αποτέλεσμα τη διανομή μικρών φυσαλίδων σε μια σαρωτική κίνηση που ακολουθεί πίσω από την κίνηση της γέφυρας. Όταν η ροή του αέρα σταματά, η κίνηση που δημιουργείται από τους διαχυτές παράγει επαρκή ενέργεια ανάμιξης για να διατηρήσει σε αιώρηση το περιεχόμενο της δεξαμενής. Η διεργασία CCAS™ λειτουργεί εντός εύρους DO από 0,7 έως 1,0 mg/L. Μια χαμηλή συγκέντρωση DO είναι επαρκής για τη νιτροποίηση σε υψηλούς SRTs. Επιπλέον, η δημιουργία ανοξικών συνθηκών διευκολύνει επίσης την απονιτροποίηση (Metcalf et al., 1991; Qasim, 2017; Wang et al., 2005).

3.3.3 SBR

Ο SBR είναι ένας αντιδαστήρας εναλλασόμενων φάσεων (Σχήμα 3.13) που περιλαμβάνει ένα μονοβάθμιο αντιδραστήρα πλήρους ανάμιξης στον οποίο συμβαίνουν όλα τα στάδια της ενεργού ιλύος. Για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο δεξαμενές. Αυτό διασφαλίζει ότι όταν μια δεξαμενή φτάσει στη μέγιστη χωρητικότητά της ή όταν η άλλη μεταβαίνει από τη φάση αντίδρασης στη καθίζηση των στερεών και στην απομάκρυνση της εκροής, η επεξεργασία μπορεί να συνεχιστεί χωρίς διακοπή. Ένας τυπικός κύκλος αποτελείται από μια περίοδο πλήρωσης 3 h, ακολουθούμενη από μια διαδικασία διαύγασης 30 min και μια μετάγγιση 30 min του υπερκείμενου υγρού. Κατά κανόνα δεν απαιτείται δευτεροβάθμια καθίζηση (Metcalf et al., 1991; Qasim, 2017; Wang et al., 2005).



Σχήμα 3.13: Διεργασία ενεργού ιλύος SBR (Γκίκας, 2020).



Οι τυπικές παράμετροι σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται συνήθως στις διεργασίες ενεργού ιλύος παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.



Πίνακας 3.2: Τυπικές παράμετροι σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται συνήθως στις διεργασίες ενεργού ιλύος (Metcalf et al., 1991).

Διεργασία	Τύπος αντιδραστήρα	SRT, (d)	F/M, (kg BOD ₅ /kg MLSS)	Ογκομετρικό φορτίο, (kg·BOD ₅ / m ³ ·d)	MLSS, (mg/L)	Χρόνος παραμονής, (h)	Ποσοστό ανακυκλοφορίας, (%)
Αερισμός υψηλού ρυθμού	Εμβολικής ροής	0.5-2	1,5-2,0	1,2-2,4	200-1000	1,5-3	100-150
Επαφή σταθεροποίησης	Εμβολικής ροής	5-10	0,2-0,6	1,0-1,3	1000-3000*	0,5-1	50-150
		-	-	-	6000-10000**	2-4	-
Οξυγόνο υψηλής καθαρότητας	Εμβολικής ροής	1-4	0,5-1,0	1,3-3,2	2.000-5.000	1-3	25-50
Συμβατική εμβολική ροή	Εμβολικής ροής	3-15	0,2-0,4	0,3-0,7	1.000-3.000	4-8	25-75
Βηματική τροφοδοσία	Εμβολικής ροής	3-15	0,2-0,4	0,7-1,0	1.500-4.000	3-5	25-75
Πλήρους ανάμειξης	Πλήρους μείξης	3-15	0,2-0,6	0,3-1,6	1.500-4.000	3-5	25-100
Παρατεταμένος αερισμός	Εμβολικής ροής	20-40	0,05-0,15	0,1-0,3	2.000-6.000	18-36	75-150
Οξειδωτική τάφρος	Εμβολικής ροής	15-30	0,04-0,10	0,1-0,3	3.000-5.000	15-30	75-150
SBR	Διαλ/ντος έργου	10-30	0,04-0,10	0,1-0,3	2.000-5.000	15-40	-
CCAS™	Εμβολικής ροής	10-30	0,04-0,10	0,1-0,3	2.000-4.000	15-40	25-75

* Στην δεξαμενή επαφής

** Στην δεξαμενή σταθεροποίησης



Τα πλεονεκτήματα και οι μειονεκτήματα των διεργασιών ενεργού ιλύος παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διεργασιών ενεργού ιλύος (Metcalf et al., 1991).

Διεργασία	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πλήρους ανάμιξης	<ul style="list-style-type: none"> Δοκιμασμένη τεχνολογία Προσαρμόζεται σε πολλούς τύπους υγρών αποβλήτων Μεγάλη ικανότητα διάλυσης για απότομα και τοξικά φορτία Ομοιόμορφη απαίτηση σε οξυγόνο Σχετικά απλός σχεδιασμός Κατάλληλη για όλους τύπους αεριστήρων 	<ul style="list-style-type: none"> Ευαίσθητη στη διόγκωση της ιλύος λόγω νηματοειδών
Συμβατική εμβολική ροή	<ul style="list-style-type: none"> Δοκιμασμένη τεχνολογία Μπορεί να πετύχει υψηλότερα επίπεδα απομάκρυνσης αμμωνίας από τη διεργασία πλήρους ανάμιξης Προσαρμόζεται σε πολλά λειτουργικά σχήματα συμπεριλαμβανομένης της βηματικής τροφοδοσίας, των φρεατίων επιλογής και των ανοξικών/αερόβιων διεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> Ο σχεδιασμός και η λειτουργία για ρυθμιζόμενο αερισμό είναι περίπλοκος Μπορεί να είναι δύσκολο να ταιριάζει η παροχή και η απαίτηση σε οξυγόνο στην πρώτη δίοδο
Υψηλού ρυθμού	<ul style="list-style-type: none"> Απαιτεί λιγότερο όγκο δεξαμενής αερισμού από ότι η συμβατική διεργασία εμβολικής ροής 	<ul style="list-style-type: none"> Έχει λιγότερη σταθερή λειτουργία, παράγει χαμηλότερη ποιότητα εκροής Δεν είναι κατάλληλη για νιτροποίηση Έχει υψηλότερη παραγωγή ιλύος Οι υψηλές παροχές αιχμής μπορούν να διαταράξουν τη λειτουργία με το ξέπλυμα των MLSS
Επαφή σταθεροποίηση	<ul style="list-style-type: none"> Απαιτεί μικρότερους όγκους αερισμού Χειρίζεται τις ροές βροχερού καιρού, χωρίς απώλειες MLSS 	<ul style="list-style-type: none"> Έχει μικρή ή καθόλου δυνατότητα για νιτροποίηση
Βηματική τροφοδοσία	<ul style="list-style-type: none"> Κατανέμει το φορτίο εισόδου για να παρέχει ομοιόμορφη απαίτηση σε οξυγόνο Οι ροές αιχμής βροχερού καιρού μπορούν να παρακαμφθούν στην τελευταία δίοδο για να ελαχιστοποιηθεί το φορτίο των στερεών στη δεξαμενή καθίζησης Ευέλικτη λειτουργία Προσαρμόζεται σε πολλά λειτουργικά σχήματα συμπεριλαμβανομένων των ανοξικών/αερόβιων διεργασιών 	<ul style="list-style-type: none"> Η λειτουργία είναι περισσότερο περίπλοκη Η χωριστή ροή δε μετράται συνήθως ή δεν είναι γνωστή με ακρίβεια Περισσότερο περίπλοκος σχεδιασμός της διεργασίας και του συστήματος αερισμού
Παρατεταμένος αερισμός	<ul style="list-style-type: none"> Δυνατή η υψηλή ποιότητα εκροής Σχετικά απλός σχεδιασμός και λειτουργία Δυνατότητα χειρισμού απότομων τοξικών φορτίων Καλά σταθεροποιημένη ιλύς, χαμηλή παραγωγή βιοστερεών 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή ενέργεια αερισμού Σχετικά μεγάλες δεξαμενές αερισμού Υιοθετείται κυρίως από μικρές ΕΕΛ
Οξυγόνο υψηλής	<ul style="list-style-type: none"> Απαιτεί σχετικά μικρό όγκο δεξαμενών 	<ul style="list-style-type: none"> Περιορισμένη δυνατότητα



καθαρότητας	<ul style="list-style-type: none"> αερισμού Εκπέμπει λιγότερες Πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile organic compounds, VOCs) και άλλα αέρια Γενικά παράγει ιλύ με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης Η λειτουργία και ο έλεγχος του DO είναι σχετικά απλός Προσαρμόζεται σε πολλούς τύπους υγρών αποβλήτων 	<ul style="list-style-type: none"> για νιτροποίηση Πιο περίπλοκα μηχανήματα στην εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη συντήρηση Προβλήματα αφρισμού Οι υψηλές ροές αιχμής μπορούν να διαταράξουν τη λειτουργία με το ξέπλυμα των MLSS
Οξειδωτική τάφος	<ul style="list-style-type: none"> Πολύ αξιόπιστη διεργασία, απλή στη λειτουργία Ικανή να επεξεργάζεται απότομες εναλλαγές φορτίου/τοξικά φορτία χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα εκροής Οικονομική διεργασία για μικρές ΕΕΛ Χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια από τον παρατεταμένο αερισμό Προσαρμόζεται στην απομάκρυνση των θρεπτικών Δυνατή η υψηλή ποιότητα εκροής Καλά σταθεροποιημένη ιλύς, χαμηλή παραγωγή βιοστερεών 	<ul style="list-style-type: none"> Μεγάλες απαιτήσεις σε χώρο Διόγκωση σε χαμηλό F/M Απαιτεί περισσότερη ενέργεια αερισμού από την επεξεργασία με εμβολική ροή Είναι πιο δύσκολη η επέκταση της δυναμικότητας της μονάδας
SBR	<ul style="list-style-type: none"> Η διεργασία είναι απλοποιημένη, δεν είναι απαραίτητη η ανακυκλοφορία ιλύος και οι ΔΔΚ Συμπαγείς εγκαταστάσεις Ευέλικτη λειτουργία, η απομάκρυνση των θρεπτικών μπορεί να επιτευχθεί με λειτουργικές αλλαγές Μπορεί να λειτουργήσει ως φρεάτιο επιλογής για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα της διόγκωσης της ιλύος Η καθίζηση ευνοεί το διαχωρισμό των στερεών Εφαρμόσιμη για μια ποικιλία μεγεθών μονάδων 	<ul style="list-style-type: none"> Ο έλεγχος της διεργασίας είναι περίπλοκος Οι υψηλές παροχές αιχμής μπορούν να διατάξουν τη λειτουργία εκτός αν έχουν ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό Η αποβολή σε φάσεις μπορεί να απαιτεί την εξισορρόπηση πριν από τη διήθηση και την απολύμανση Απαιτούνται περισσότερα προσόντα για τη συντήρηση των μηχανημάτων, τις συσκευές παρακολούθησης και τις αυτόματες βαλβίδες Ορισμένοι σχεδιασμοί χρησιμοποιούν λιγότερο αποδοτικές συσκευές αερισμού
CCAS™	<ul style="list-style-type: none"> Είναι δυνατή η υψηλή ποιότητα εκροής Οι αποδόσεις στη μεταφορά του οξυγόνου είναι υψηλότερες από τα συμβατικά συστήματα αερισμού Καλά σταθεροποιημένη ιλύς, χαμηλή παραγωγή βιοστερεών Ο σχεδιασμός της διεργασίας μπορεί να τροποποιηθεί για να συμπεριλάβει και την απομάκρυνση των θρεπτικών 	<ul style="list-style-type: none"> Απαιτούνται λεπτοεσχάρες για να παρεμποδισθεί το φράξιμο των διαχυτήρων Η διεργασία μπορεί να καλύπτεται από δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας



Κεφάλαιο 4: Περιγραφή των ΕΕΛ Μάρπησσας, Πάρος και ΕΕΛ Κυπερούντας, Κύπρος

4.1 Περιγραφή της υφιστάμενης ΕΕΛ Μάρπησσας, Πάρος

4.1.1 Γενικά

Η Πάρος βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο, νοτιοανατολικά της Αττικής και ανήκει στο νομό Κυκλάδων. Είναι στο κέντρο του νησιώτικου συγκροτήματος των Κυκλάδων, με έκταση 195 km² και σχήμα ελλειψοειδές. Το μέγιστο υψόμετρο της Πάρου φτάνει τα 771 m. Η ΕΕΛ Μάρπησσας (Σχήμα 4.1) βρίσκεται στην περιοχή «Καμινάκι» της ανατολικής πλευράς του νησιού της Πάρου και απέχει σε ευθεία απόσταση περίπου 500 m βόρεια-βορειοανατολικά του οικισμού Πίσω Λιβάδι και περίπου 1.100 m ανατολικά του οικισμού της Μάρπησσας.



Σχήμα 4.1: Δορυφορική εικόνα– ακριβής θέση υφιστάμενης ΕΕΛ Μάρπησσας.

Με βάση την εφαρμογή του «Προγράμματος Καλλικράτης» η περιοχή εγκατάστασης της ΕΕΛ Μάρπησσας εντάσσεται εντός :

- Της Τοπικής Κοινότητας Μάρπησσας.
- Του Δήμου Πάρου.
- Της Περιφερειακής Ενότητας Πάρου.
- Της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου.

Γεωγραφικές συντεταγμένες έργου

Σύμφωνα και με τα αναφερόμενα στην υπ' αριθμ. Πρωτ. 16835/27-03-2019 εκδοθείσα Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΑΕΠΟ) (ΑΔΑ : 6ΞΥΜΟΡ1Ι-Υ2Φ), το γήπεδο της ΕΕΛ Μάρπησσας βρίσκεται σε γεωγραφικό μήκος και πλάτος:

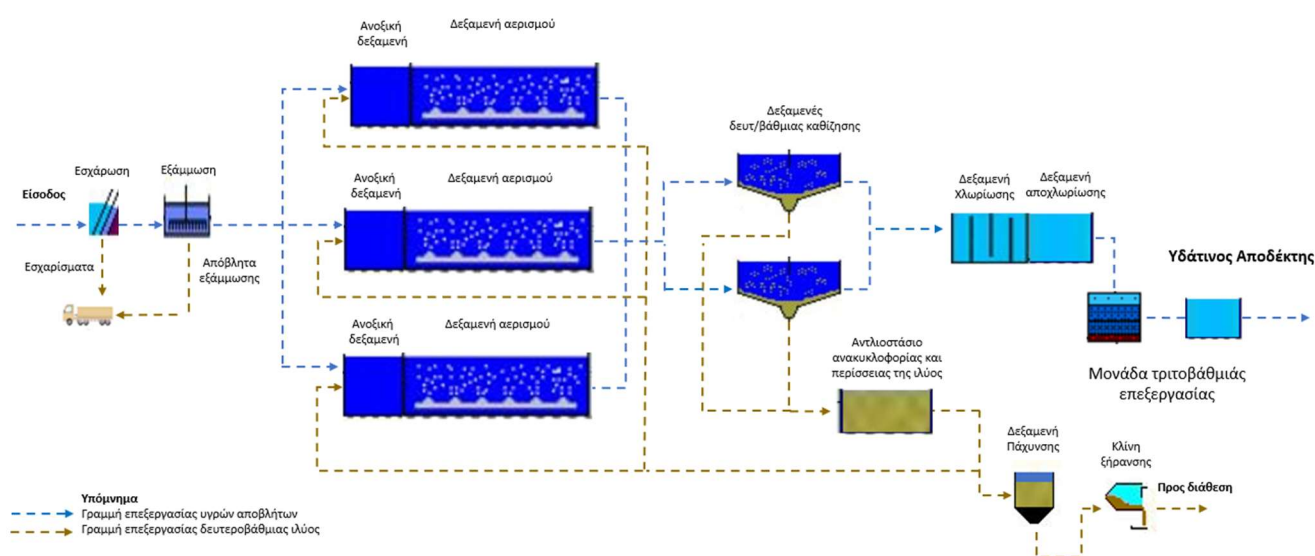
- Βάσει του Παγκόσμιου Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς 1984 (WGS84) σε: $\varphi = 37^{\circ} 2' 34,78''$ και $\lambda = 25^{\circ} 15' 48,36''$
- Βάσει του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ 87) σε : $X = 612206,188$ και $Y = 4100100,153$



Το έτος 1995 κατασκευάστηκε η ΕΕΛ Μάρπησσας για την εξυπηρέτηση των κατοίκων της πρώην Κοινότητας Μάρπησσας. Η εγκατάσταση, η οποία σήμερα βρίσκεται σε λειτουργία, έχει κατασκευαστεί σε έκταση 4,5 στρεμμάτων. Η πρόσβαση γίνεται μέσω της επαρχιακής οδού Παροικιάς – Πίσω Λιβάδι και εν συνεχεία μέσω δευτερευόντος οδικού δικτύου από τον οικισμό του Πίσω Λιβαδίου. Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) Πάρου είναι υπεύθυνη για την ομαλή λειτουργία και συντήρηση των υφιστάμενων έργων.

Η ΕΕΛ Μάρπησσας εξυπηρετεί Ισοδύναμο Πληθυσμό (ΙΠ) 5.000 κατοίκων, και έχει σχεδιαστεί για μέση ημερήσια παροχή $866,5 \text{ m}^3/\text{d}$ και BOD_5 $416,3 \text{ kg/d}$. Τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα απολυμαίνονται με προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου (NaClO) και κατόπιν διατίθενται στην θάλασσα με υποθαλάσσιο αγωγό. Η παραγόμενη ιλύς μεταφέρεται στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) Πάρου-Αντιπάρου έπειτα από την αφυδάτωσή της σε κλίνη ξήρανσης.

Η λειτουργία των υφιστάμενων έργων της ΕΕΛ Μάρπησσας βασίζεται στην μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού (Σχήμα 4.2). Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, τα λύματα, μετά από εσχαρισμό και εξάμμωση, εισέρχονται στην δεξαμενή αερισμού, χωρίς πρωτοβάθμια επεξεργασία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σημαντικές απαιτήσεις σε αερισμό και συνεπώς αυξημένη ενεργειακή δαπάνη.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ροής ΕΕΛ Μάρπησσας.

Η υφιστάμενη ΕΕΛ έχει σχεδιαστεί για τα υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία σχεδιασμού του Πίνακα 4.1.

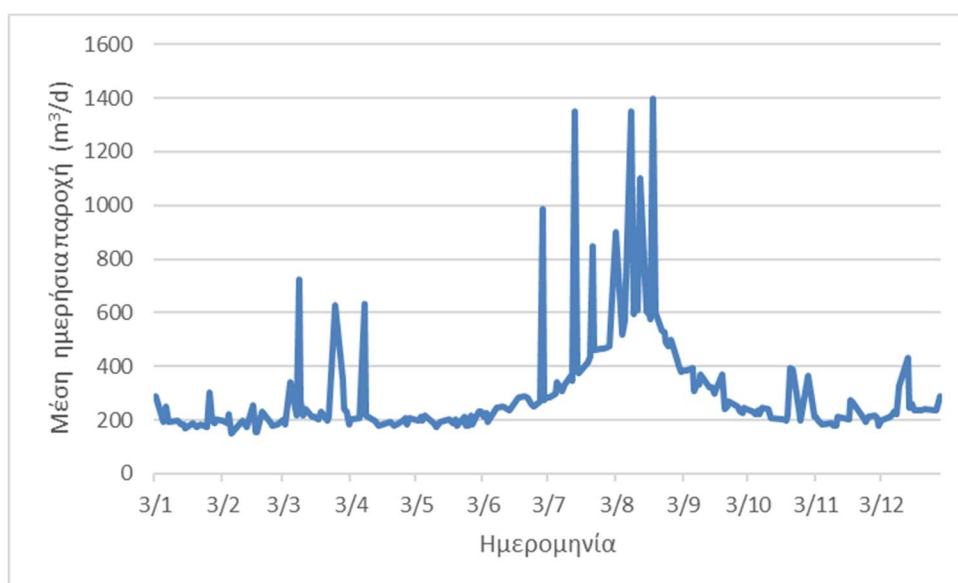


Πίνακας 4.1: Παράμετροι υφιστάμενης ΕΕΛ Μάρπησσας.

Δεδομένα εισόδου		Παρούσα φάση	
		Χειμώνας	Καλοκαίρι
Πληθυσμός	IK	1.500	5.000
Μέση ημερήσια παροχή	m ³ /d	86,5	866,5
Μέγιστη ημερήσια παροχή	m ³ /d	160	1.220
Παροχή αιχμής	m ³ /h	60	120
BOD ₅	kg/d	58,0	416,3
	mg/L	364	341
TSS	kg/d	71,0	483,2
	mg/L	445	396
TN	kg/d	9,0	62,4
	mg/L	56	51
TP	kg/d	4,5	15,0
	mg/L	28	12
VSS/SS	%	0,75	0,75
Θερμοκρασία, T	οC	15,0	25,0

Τα λύματα από τους οικισμούς Πίσω Λιβάδι, Λογαρά και Μάρπησσα καταλήγουν στην εγκατάσταση μέσω του υφιστάμενου αντλιοστασίου προσαγωγής, που χωροθετείται νοτιοανατολικά του γηπέδου της ΕΕΛ και μέσω του φρεατίου, που χωροθετείται στο βόρειο άκρο του γηπέδου και στο οποίο καταλήγουν βαρυτικά τα λύματα από τους οικισμούς Πρόδρομος και Μάρμαρα. Στην εγκατάσταση διοχετεύονται και βοθρολύματα, καθώς υπάρχει ξεχωριστή προεπεξεργασία και αποθήκευσή τους πριν την προσαγωγή τους στις γραμμές επεξεργασίας.

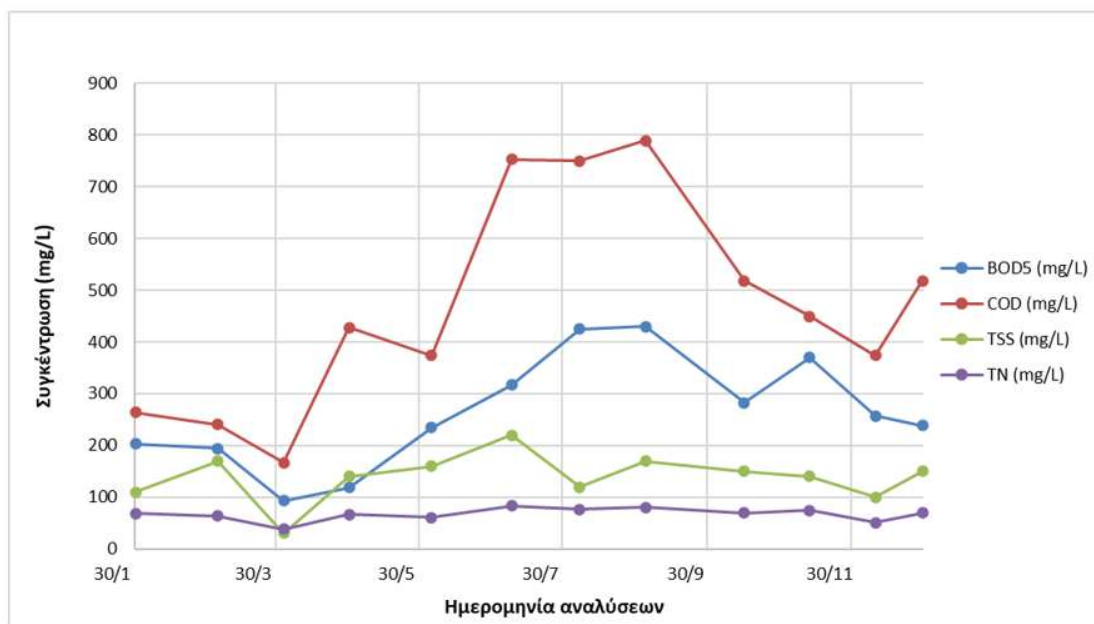
Στο Διάγραμμα 4.1 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης ημερήσιας παροχής στην ΕΕΛ Μάρπησσας για το έτος 2023. Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 4.1, η ΕΕΛ αντιμετωπίζει προβλήματα αυξημένης ροής τους καλοκαιρινούς μήνες με αποτέλεσμα την ατελή επεξεργασία των λυμάτων.



Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα διακύμανσης μέσης ημερήσιας παροχής για το έτος 2023.



Οι παράμετροι που παρακολουθούνται στα υγρά απόβλητα κατά την είσοδό τους στην ΕΕΛ περιλαμβάνουν βασικές αναλύσεις (BOD₅, COD, TSS, TN, κτλ.) Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 4.2.



Διάγραμμα 4.2: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εισόδου στην ΕΕΛ Μάρτησας για το έτος 2023.

Όρια εκροής

Σύμφωνα με τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς όρους (αρ. πρωτ. 16835/27-03- 2019), τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων εκροής της ΕΕΛ (είδος και ποσότητες παραγόμενων προϊόντων) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Όρια εκροής ΕΕΛ Μάρτησας.

Παράμετρος	Τιμή
BOD ₅	< 25 mg/l
COD	< 100 mg/l
TSS	< 40 mg/l
Διαλυμένα Ολικά Στερεά (Total Dissolved Solids, TDS)	< 1.500 mg/l
TN	< 10 mg/l
TP	< 1 mg/l
Λίπη – Έλαια	= 0
DO	> 5 mg/l
pH	6 – 9,5
Θερμοκρασία	< 30 °C
Απορρυπαντικά (βιοδιασπώμενα κατά 80%)	< 5 mg/l
Πιθανός Αριθμός Κολοβακτηριδίων (ΠΑΚ)	< 70 / 100 mL στις ακτές



Συνοπτικά, η ΕΕΛ Μάρπησσας περιλαμβάνει τις εξής επιμέρους μονάδες:

- Αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης
- Φρεάτιο εισόδου και θραύσης ενέργειας
- Μονάδα προεπεξεργασίας (εσχάρωση, φρεάτιο by pass, εξάμμωση – λιπосуλλογή)
- Μεριστή παροχής
- Φρεάτιο διανομής και μονάδα βιολογικής επεξεργασίας και σταθεροποίησης ιλύος, (με τρεις επιμέρους υπομονάδες), με ταυτόχρονη νιτροποίηση – απονιτροποίηση,
- Μεριστής παροχής προς δεξαμενές καθίζησης.
- ΔΔΚ, (δύο κυκλικές δεξαμενές διαφορετικής διαμέτρου)
- Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος
- Φρεάτιο λιπών και αφρών
- Μονάδα απολύμανσης (χλωρίωση - αποχλωρίωση) – οικίσκος χλωρίωσης
- Παχυντής ιλύος
- Κλίνη ξήρανσης ιλύος
- Μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων και οικίσκο H/M εξοπλισμού βοθρολυμάτων
- Κτίριο διοίκησης
- Δίκτυα εξυπηρέτησης εγκαταστάσεων
- Δεξαμενή νερού
- Δεξαμενή επεξεργασμένων λυμάτων
- Οικίσκος φυσητήρων



4.1.2 Μονάδες επεξεργασίας

Προσαγωγή λυμάτων

Τα λύματα φτάνουν στην εγκατάσταση μέσω του καταθλιπτικού αγωγού που ξεκινά από το αντλιοστάσιο ανύψωσης, που έχει κατασκευαστεί στη θέση του προϋπάρχοντος τελικού φρεατίου αποχέτευσης σε απόσταση 500 m περίπου από την ΕΕΛ και καταλήγει σε πιεζοθραυστικό φρεάτιο. Το αντλιοστάσιο είναι εξοπλισμένο με δύο υποβρύχιες αντλίες οι οποίες λειτουργούν εναλλάξ με κατάλληλο αυτοματισμό. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργεί μόνο μία αντλία, ενώ σε έκτακτες συνθήκες τίθεται σε λειτουργία και η εφεδρική αντλία. Η ενεργοποίηση και παύση των αντλιών ελέγχεται από φλοτεροδιακόπτες.

Στο παρακείμενο του αντλιοστασίου φρεάτιο έχει τοποθετηθεί χονδροεσχάρα με διάκενο 60 mm για την προστασία των αντλιών. Το αντλιοστάσιο διαθέτει υπερχειλίση ασφαλείας (by pass) η οποία καταλήγει στο φρεάτιο φόρτισης του υποθαλάσσιου αγωγού.

Τέλος, εντός του γηπέδου της ΕΕΛ έχει κατασκευαστεί φρεάτιο, όπου καταλήγουν βαρυτικά λύματα από τους οικισμούς Πρόδρομος και Μάρμαρα. Τα λύματα από το αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης και από το φρεάτιο οδηγούνται στη μονάδα προεπεξεργασίας.

Προκαταρκτική επεξεργασία

Η μονάδα προεπεξεργασίας είναι σχεδιασμένη για παροχή αιχμής ίση με $120 \text{ m}^3/\text{h}$ και αποτελείται από μία αυτόματη τοξωτή εσχάρα με διάκενο 20 mm και μία χειρωνακτικά καθοριζόμενη παρακαμπτήρια εφεδρική εσχάρα με διάκενο 30 mm σε παράπλευρο κανάλι. Σε περίπτωση βλάβης ή έμφραξης της αυτόματης εσχάρας τα λύματα υπερχειλίζουν προς το παρακείμενο κανάλι της απλής εσχάρας. Η τοξωτή εσχάρα είναι εφοδιασμένη με ένα κτένι για τον καθαρισμό της. Τα στερεά που παρακρατούνται συλλέγονται σε διάτρητο καλάθι στράγγισης και απομακρύνονται σε ειδικό δοχείο αποθήκευσης για αποκομιδή. Κατάντη της εσχάρωσης και ανάντη της εξάμμωσης υπάρχει φρεάτιο παράκαμψης όλης της εγκατάστασης.

Στη συνέχεια τα λύματα οδηγούνται με βαρύτητα στον αεριζόμενο αμμοσυλλέκτη-λιπτοσυλλέκτη. Η άμμος που καθιζάνει στον πυθμένα του εξάμωτη απομακρύνεται με αεραντλία σε παρακείμενη μικρή κλίνη ξήρανσης. Η αφαίρεση του λίπους γίνεται με χειρισμό θυροφράγματος και τα λίπη οδηγούνται σε φρεάτιο από το οποίο περιοδικά απάγονται με βυτίο. Μετά την προκαταρκτική επεξεργασία, τα λύματα οδηγούνται στην βιολογική επεξεργασία.

Βιολογική επεξεργασία

Στη συνέχεια τα λύματα οδηγούνται στο φρεάτιο βιολογικής επεξεργασίας με το οποίο γίνεται ο μερισμός στις τρεις δεξαμενές. Για την απομόνωση των δεξαμενών το φρεάτιο είναι εφοδιασμένο με τρία θυροφράγματα. Τα λύματα οδηγούνται καταρχάς στις ανοξικές δεξαμενές και στη συνέχεια στις δεξαμενές αερισμού. Ο αερισμός επιτυγχάνεται με διάχυση. Αναλυτικότερα η βιολογική επεξεργασία (για την νιτροποίηση, απονιτροποίηση και απομάκρυνση του οργανικού φορτίου) αποτελείται από:

α) Από βιολογικό αντιδραστήρα: τρεις παράλληλες γραμμές συνολικού όγκου (1.200 m^3). Κάθε γραμμή διαθέτει ανοξική ζώνη ενεργού όγκου 90 m^3 και αερόβια ζώνη ενεργού όγκου 310 m^3 . Στην ανοξική ζώνη έχουν εγκατασταθεί αναδευτήρες, ενώ στην αερόβια ζώνη διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας. Η δυναμικότητα του συστήματος αερισμού είναι $50 \text{ kg O}_2/\text{h}$. Έχουν εγκατασταθεί έξι φυσητήρες (ένας για κάθε δεξαμενή και τρεις εφεδρικοί) δυναμικότητας $560 \text{ m}^3/\text{h}$, έκαστη. Το μικτό υγρό μέσω υπερχειλιστή συγκεντρώνεται στο κανάλι συλλογής πριν οδηγηθεί στο αντλιοστάσιο εσωτερικής ανακυκλοφορίας. Για τη στέγαση των φυσητήρων έχει κατασκευασθεί κτίριο διαστάσεων κάτοψης $8,45 \times 3,60 \text{ m}$. Στο ενιαίο και για τις τρεις γραμμές αντλιοστάσιο εσωτερικής ανακυκλοφορίας, έχουν εγκατασταθεί δύο αντλίες δυναμικότητας $76 \text{ m}^3/\text{h}$, που με ανεξάρτητους αγωγούς οδηγούν το νιτροποιημένο ανάμικτο υγρό στις τρεις ανοξικές ζώνες.



β) Από δύο ΔΔΚ: Μία κυκλική δεξαμενή διαμέτρου 13 m και μία κυκλική δεξαμενή διαμέτρου 8 m οι οποίες τροφοδοτούνται από το κέντρο μέσω τύμπανου εισόδου που είναι σχεδιασμένο για να επιβραδύνει την ροή των υγρών. Η μικρή δεξαμενή χρησιμοποιείται κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ τη θερινή περίοδο χρησιμοποιούνται είτε και οι δύο δεξαμενές (συνολική επιφάνεια καθίζησης 183 m²) είτε μόνο η μεγάλη δεξαμενή, ανάλογα με την εισερχόμενη παροχή.

γ) Από ένα αντλιοστάσιο ιλύος: Το αντλιοστάσιο έχει κατασκευαστεί ανάμεσα στις δύο ΔΔΚ και έχουν εγκατασταθεί δύο αντλίες ανακυκλοφορίας δυναμικότητας 90 m³/h και δύο αντλίες περισσειας δυναμικότητας 10 m³/h.

Απολύμανση των λυμάτων

Τα διαυγασμένα λύματα από τις ΔΔΚ οδηγούνται με βαρύτητα στη δεξαμενή απολύμανσης. Για την απολύμανση των λυμάτων χρησιμοποιείται διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl). Η δεξαμενή επαφής είναι μαιανδρικής μορφής, συνολικού ενεργού όγκου περίπου 70 m³ (με τρία κανάλια μήκους 12,70 m, πλάτους 0,90 m το καθένα και βάθους υγρού 2,10 m). Η αποθήκευση του υποχλωριώδους νατρίου γίνεται σε πλαστικό δοχείο 1.000 L. Η δοσομέτρηση του απολυμαντικού γίνεται με μία αντλία ρυθμιζόμενης παροχής, δυναμικότητας 0-10 L/h. Μετά την χλωρίωση των λυμάτων προβλέπεται η αποχλωρίωση με διάλυμα θειώδους νατρίου (Na₂SO₃). Η αποθήκευσή του γίνεται σε πλαστικό δοχείο 850 L. Η ανάμιξη του διαλύματος με τα λύματα γίνεται με μηχανικό αναδευτήρα που λειτουργεί συνεχόμενα.

Στη συνέχεια τα λύματα υπερχειλίζουν σε αντλιοστάσιο ανύψωσης των επεξεργασμένων και από εκεί είτε απευθείας με αγωγό από PVC/6 atm, διαμέτρου Φ200 οδηγούνται προς τον υποθαλάσσιο αγωγό.

Για τη στέγαση του απαραίτητου για την χλωρίωση και αποχλωρίωση εξοπλισμού έχει κατασκευασθεί οικίσκος εξωτερικών διαστάσεων 6,65 m x 3,60 m και ύψους 2,85 m με τρία χωρίσματα για την τοποθέτηση των δοχείων, των δοσομετρικών αντλιών και του υποπίνακα.

Επεξεργασία ιλύος

Η περίσσεια ιλύς οδηγείται μέσω του αντλιοστασίου ιλύος σε κυκλική δεξαμενή πάχυνσης διαμέτρου 4,50 m. Η υπερχειλίση του παχυντή οδηγείται με βαρύτητα στο κανάλι κατάντη της εξάμμωσης. Η συμπυκνωμένη ιλύς μέσω κοχλιωτών αντλιών οδηγείται από τον παχυντή σε κλίνη ξήρανσης διαστάσεων 6,70 x 8,00 m.

Μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων

Για την υποδοχή των βοθρολυμάτων έχει κατασκευαστεί ένα φρεάτιο εκκένωσης. Τα βοθρολύματα καταλήγουν σε δεξαμενή ενεργού όγκου 30 m³, όπου είναι εγκατεστημένο σύστημα διάχυσης με διαχυτήρες χονδρής φουσαλίδας. Στη δεξαμενή βοθρολυμάτων είναι εγκατεστημένο αντλητικό συγκρότημα δυναμικότητας 8 m³/h για την ελεγχόμενη διοχέτευση των βοθρολυμάτων στη μονάδα προκαταρκτικής επεξεργασίας των λυμάτων, (δύο αντλίες βοθρολυμάτων). Στην οροφή της δεξαμενής βοθρολυμάτων έχει κατασκευασθεί οικίσκος εξυπηρέτησης διαστάσεων 2,50 x 2,00 m για την τοποθέτηση εντός αυτού των δύο φυσητήρων και του υποπίνακα 3.



Κτίριο διοίκησης/εργαστήριο

Για την εξυπηρέτηση του προσωπικού και τη στέγαση του χώρου γραφείου ελέγχου, του εργαστηρίου και των χώρων υγιεινής, έχει κατασκευασθεί κτίριο διοίκησης διαστάσεων κάτοψης 5,60 x 7,70 m. Στο γραφείο ελέγχου βρίσκεται εγκατεστημένος ο κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας, ο υποπίνακας 4, ο πίνακας ελέγχου και οι πίνακες εσωτερικού και εξωτερικού φωτισμού. Το εργαστήριο είναι εξοπλισμένο με εργαστηριακό πάγκο, νιπτήρα και τα εργαστηριακά όργανα.

Οικίσκος

Στο χώρο ανάμεσα στο κτίριο διοίκησης και στην υφιστάμενη γραμμή του βιολογικού αντιδραστήρα έχει κατασκευαστεί οικίσκος, ο οποίος στεγάζει το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος της εγκατάστασης. Οι εξωτερικές διαστάσεις του οικίσκου είναι ίσες με 3,40 m x 4,55 m και ύψος 2,50 m.

4.1.3 Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις

Ηλεκτρικοί πίνακες

Ο κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας εγκατεστημένος στο κτίριο διοίκησης. Είναι μεταλλικός από χαλυβδόελασμα DKP πάχους 2 mm, τύπου πεδίου, στεγανός IP44 και περιλαμβάνει:

- Γενικό τριπολικό διακόπτη 400 A.
- Ενδεικτικές λυχνίες για τις τρεις φάσεις RST.
- Βολτόμετρο 0 - 500V διαστάσεων 96 x 96 mm και μεταγωγικό.
- Διακόπτη βολτομέτρου.
- Τρία αμπερόμετρα 0 - 400 A.
- Γενικές ασφάλειες 400 A.
- Μερικό διακόπτη ΥΠ1 3x160 A και ασφάλειες 3x125 A.
- Μερικό διακόπτη ΥΠ2 3x125 A και ασφάλειες 3x100 A.
- Μερικό διακόπτη ΥΠ4 3x35 A και ασφάλειες 3x40 A.
- Μερικό διακόπτη εξωτερικού φωτισμού 3x40A και ασφάλειες 3x35A.
- Μερικό διακόπτη εσωτερικού φωτισμού 3x40A και ασφάλειες 3x35A.

Πίνακας ελέγχου

Ο κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας /πίνακας ελέγχου τροφοδοτεί τους εξής πίνακες :

Υποπίνακα 1

Τροφοδοτεί τα εξής μηχανήματα:

- Φυσητήρες αερισμού
- Αντλίες συμπυκνωμένης ιλύος
- Ξέστρο παχυντή
- Δύο εξωτερικούς ρευματοδότες

Υποπίνακα 2

Τροφοδοτεί τα εξής μηχανήματα:

- Ξέστρα καθίζησης
- Αντλίες ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος
- Χλωριωτές
- Δοσομετρικές αντλίες αποχλωρίωσης
- Αναδευτήρες παρασκευής Na_2SO_3
- Αναδευτήρες μίξης Na_2SO_3 λυμάτων
- Αντλίες ανύψωσης καθαρισμένων λυμάτων, αντλίες ποτίσματος και αντλίες ύδρευσης.



- Έναν εξωτερικό ρευματοδότη.

Υποπίνακας 3

- Αντλίες και φουσητήρες βοθρολυμάτων

Υποπίνακας 4

Τροφοδοτεί τα εξής μηχανήματα:

- Αυτόματη εσχάρα
- Ηλεκτροβάνα air lift άμμου
- Αναδευτήρες απονιτροποίησης
- Αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας

Πίνακα εξωτερικού φωτισμού- Πίνακα εσωτερικού φωτισμού

Στο αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης είναι εγκατεστημένος επίσης ανεξάρτητος πίνακας που τροφοδοτεί τις αντλίες ανύψωσης.

Ηλεκτρολογικά

Όλα τα καλώδια είναι άνθυγρου τύπου ισχύς ΝΥΥ. Τα καλώδια που είναι υπόγεια έχουν τοποθετηθεί εντός σωλήνων PVC. Επίσης έχει κατασκευαστεί σύστημα γείωσης. Το τρίγωνο γείωσης έχει κατασκευαστεί από τρία ηλεκτρόδια από γαλβανισμένο σιδηροσωλήνα διαμέτρου 21/2" μήκους 2,5 m έκαστο.

4.1.4 Εγκατεστημένος Η/Μ εξοπλισμός

Ο εγκατεστημένος Η/Μ εξοπλισμός της ΕΕΛ Μάρπησσας παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Η/Μ εξοπλισμός της ΕΕΛ Μάρπησσας.

Μονάδα επεξεργασίας	Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός
Φρεάτιο άφιξης - αντλιοστάσιο εισόδου	α) αντλίες <ul style="list-style-type: none">• Αριθμός αντλιών: 2• Κατασκευαστής: FLYGT• Τύπος: 3153.185 272• Παροχή αντλιών (m³/h): 60• Μανομετρικό: 43,0 m• Ισχύς (kW): 22,7/20 β) εσχάρα <ul style="list-style-type: none">• Τύπος: επίπεδη χειροκαθαριζόμενη• Πλάτος (m): 0,40• Διάκενα (mm): 60• Υλικό κατασκευής: ανοξείδωτος χάλυβας
Εσχάρωση	α) αυτοκαθαριζόμενη εσχάρα <ul style="list-style-type: none">• Τύπος: Ε.Κ. ΣΩΤΗΡΧΟΣ κεκλιμένη• Πλάτος (m): 0,40• Διάκενα (mm): 20• Υλικό κατασκευής: ανοξείδωτος χάλυβας β) σταθερή εσχάρα <ul style="list-style-type: none">• Τύπος: επίπεδη χειροκαθαριζόμενη• Πλάτος (m): 0,40• Διάκενα (mm): 30• Υλικό κατασκευής: ανοξείδωτος χάλυβας



Εξάμμωση – Λιποσυλλογή	<p>α) αεραντλίες άμμου (air lift pumps)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός αντλιών: 2 • Τύπος: air lift • Φυσητήρες αεραντλιών : 2 • Παροχή αέρα: 40 L/min • Παροχή λυμάτων: 100 L/min • Μανομετρικό φυσητήρα: 0,5 m <p>β)_διαχυτήρες</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός διαχυτήρων: 2 • Διαχυτήρες: χοντρή φυσαλίδας κεραμικοί • Κατασκευαστής διαχυτήρα: SIDA Ιταλίας • Μήκος διαχυτήρα: 1 m • Παροχή αέρα/ τεμάχιο: έως 25 m³/h <p>γ) διαχωριστικό πτερύγιο λιποσυλλέκτη</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 1 • Διάμετρος κοχλία (mm): Ανοξείδωτος χάλυβας 304 • Πάχος (mm): 2 • Διαστάσεις (m): 3,00 x 0,70
Δεξαμενή αερισμού	<p>α) αεριστήρες</p> <ul style="list-style-type: none"> • Σύστημα αερισμού: φυσητήρες – διαχυτήρες • Διαχυτήρες: λεπτής φυσαλίδας μεμβράνη • Κατασκευαστής διαχυτήρα: SIDA Ιταλίας • Τύπος διαχυτήρα: PLATE Φ250, RUBBER SI • Αριθμός διαχυτήρων: 360 • Φυσητήρες αερισμού: 6 • Κατασκευαστής φυσητήρων: Robuchi RB70V • Παροχή φυσητήρα: 560 m³/h στα 5,50 m • Ισχύς φυσητήρα: 15 kW <p>β) Απονιτροποίηση – Αναδευτήρες</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 3 • Τύπος: Flygt SR 4630 • Στροφές: 705 rpm • Ισχύς: 1,50 kW <p>γ) Αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 2 • Κατασκευαστής : ROBOT ΟΛΛΑΝΔΙΑΣ (RT 4040 FE) • Παροχή: 76 m³/h
ΔΔΚ	<p>α) Ξέστρο</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός : 1+1 (μικρή δεξαμενή) • Κατασκευαστής : Ε. Κ. ΣΩΤΗΡΧΟΣ • Μήκος γέφυρας: 7 m (4m για μικρή δεξαμενή) • Πλάτος γέφυρας: 0,76m • Ισχύς: 0,37 kW
Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος	<p>α) Αντλίες ανακυκλοφορίας</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 2 • Τύπος: 3102.185 461 • Κατασκευαστής : FLYGT • Παροχή: 90 m³/h • Μανομετρικό: 8,0 m • Ισχύς: 4,5 kW <p>β) Αντλιοστάσιο περίσσειας ιλύος</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 2 • Τύπος: RW2110BE-V • Κατασκευαστής : ROBOT ΟΛΛΑΝΔΙΑΣ • Παροχή: 10 m³/h • Ισχύς: 14 kW



Πάχυνση ιλύος	<p>α) Διάμετρος παχυντή: 7 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • Centraldrive Thickener • Ισχύς: 0,7 kW <p>β) Αντλίες παχυμένης ιλύος</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 2 • Τύπος: Screw pumps (κοχλιωτές) • Κατασκευαστής : Hellas Electric • Παροχή: 2 m³/h στα 20m • Ισχύς: 1,10 kW
Χλωρίωση	<p>α) δοσομετρική αντλία χλωρίωσης</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 2 • Κατασκευαστής : Pulsator • Τύπος: E-Plus • Παροχή: 0-7 L/h <p>β) δοσομετρική αντλία αποχλωρίωσης</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 2 • Κατασκευαστής : Pulsator • Τύπος: E-Plus • Παροχή: 0-7 L/h <p>γ) δοχείο χλωρίου</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 1 • Όγκος: 200 L <p>δ) δοχείο Na₂SO₃</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 1 • Όγκος: 850 L • Αναδευτήρας παρασκευής Na₂SO₃ • Αριθμός: 1 <p>ε) αναδευτήρας μίξης λυμάτων με Na₂SO₃</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός: 1 • Κατασκευαστής : Ελληνικό μηχανουργείο
Μονάδα βοθρολυμάτων	<p>α) αριθμός διαχυτήρων: 20</p> <ul style="list-style-type: none"> • Διαχυτήρες: χτένι, χοντρή φουσαλίδα Σκληρό PVC • Κατασκευαστής διαχυτήρα: ECOPLANTS Ιταλίας • Παροχή αέρα/ τεμάχιο: Έως 8 m³/h <p>β) φυσητήρες</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αντλίες: 2 • Κατασκευαστής : FPZ Ιταλίας • Τύπος: Πλευρικού καναλιού • Παροχή: 64 m³/h • Μανομετρικό: 3,5 m • Ισχύς: 2,2 kW <p>γ) αντλία</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αντλίες: 2 • Κατασκευαστής: FLYGT • Τύπος: 3085.172 253 • Παροχή: 8 m³/h • Μανομετρικό: 22 m • Ισχύς: 3,0/2,5 kW



4.1.5 Λειτουργικά προβλήματα υφιστάμενης ΕΕΛ Μάρπησσας

Η εγκατάσταση λειτουργεί πλησίον των ορίων σχεδιασμού, επιτυγχάνοντας μειωμένες αποδόσεις σε οργανικό φορτίο, αιωρούμενα στερεά και άζωτο. Λόγω της αναμενόμενης αύξησης της παροχής των λυμάτων της ΕΕΛ (δεδομένης της έντονης τουριστικής ανάπτυξης του νησιού και της επικείμενης σύνδεσης των οικισμών Λευκών-Κώστου) έχει κριθεί επιτακτική η ανάγκη επέκτασης των εγκαταστάσεων ώστε η απόδοση των μονάδων να παραμείνει υψηλή, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των ορίων εκροής, ενώ με την επέκταση του δικτύου αποχέτευσης αναμένεται διπλασιασμός της εισερχόμενης παροχής.

4.2 Περιγραφή της υφιστάμενης ΕΕΛ Κυπερούντας, Κύπρος

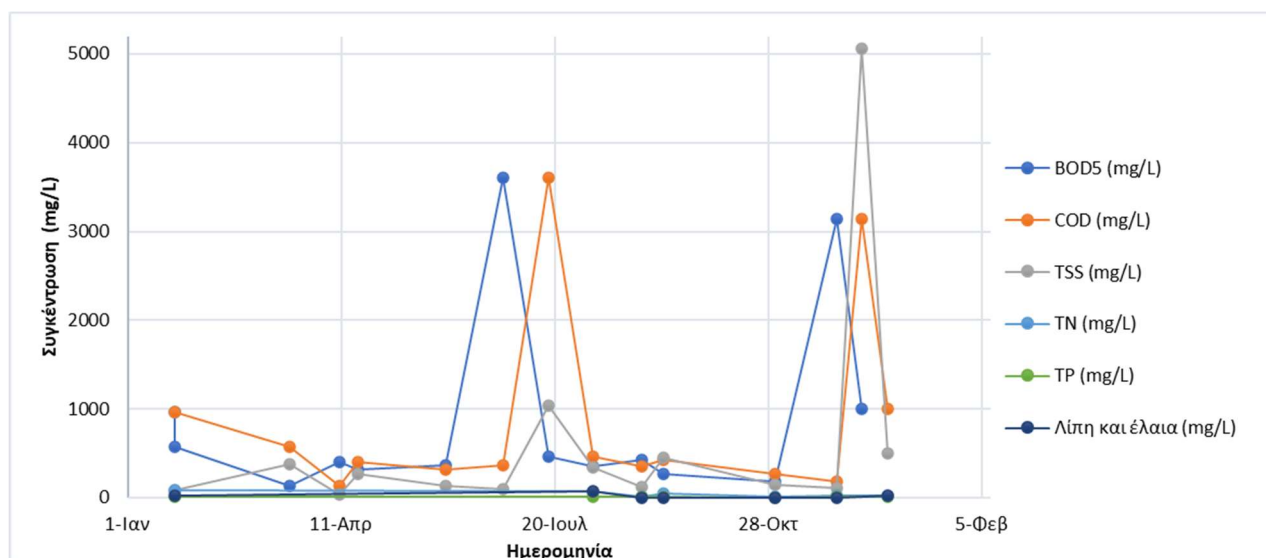
4.2.1 Γενικά

Η υφιστάμενη ΕΕΛ έχει κατασκευαστεί σε έκταση 10 στρεμμάτων και βρίσκεται σε απόσταση 500 m ανατολικά του οικισμού Κυπερούντας. Η πρόσβαση στην ΕΕΛ γίνεται μέσω του οδικού δικτύου της περιοχής και εν συνεχεία μέσω αγροτικού δρόμου μήκους περίπου 300 m από το οδικό δίκτυο. Η εγκατάσταση σχεδιάστηκε για εξυπηρετούμενο πληθυσμό 2.400 ΙΚ, για μέση ημερήσια παροχή 300 m³/d και για εισερχόμενο BOD₅ 210 kg/d. Ωστόσο, κατά τους θερινούς μήνες η παροχή που δέχεται είναι μεγαλύτερη από την παροχή σχεδιασμού, ενώ με την επέκταση του δικτύου αποχέτευσης αναμένεται διπλασιασμός της εισερχόμενης παροχής. Η υφιστάμενη ΕΕΛ έχει σχεδιαστεί για τα υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία σχεδιασμού του Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία-ΕΕΛ Κυπερούντας.

Παράμετρος	Τιμή
Μέση ημερήσια παροχή	300 m ³ /d
Συγκέντρωση BOD ₅	700 mg/L
Φορτίο BOD ₅	210 kg/d

Οι κύριες παράμετροι που παρακολουθούνται στα υγρά απόβλητα κατά την είσοδό τους στην ΕΕΛ περιλαμβάνουν αναλύσεις: BOD₅, COD, TSS, TN, TP και λίπη έλαια. Τα εργαστηριακά αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων της ΕΕΛ παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 4.3.



Διάγραμμα 4.3: Αποτελέσματα δειγματοληψιών εισόδου στην ΕΕΛ Κυπερούντας για την περίοδο 2023.



Οι παράμετροι ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων πρέπει να συμμορφώνονται με τα ανώτατα όρια του Πίνακα 4.5, τα οποία έχουν καθοριστεί στην άδεια απόρριψης αποβλήτων της ΕΕΛ Κυπερούντας.

Πίνακας 4.5: Παράμετροι ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων.

Παράμετρος	Ανώτατα όρια
BOD ₅ ¹	10 mg/L*
COD	70 mg/L*
TSS	70 mg/L*
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	2500 μS/cm
Λίπη και Έλαια	5 mg/L
Εντερικά Κολοβακτηρίδια	5 E.Coli / 100mL
pH	6,5-8,5
Υπολειμματικό Χλώριο	1 mg/L**

4.2.2 Περιγραφή της υφιστάμενης ΕΕΛ

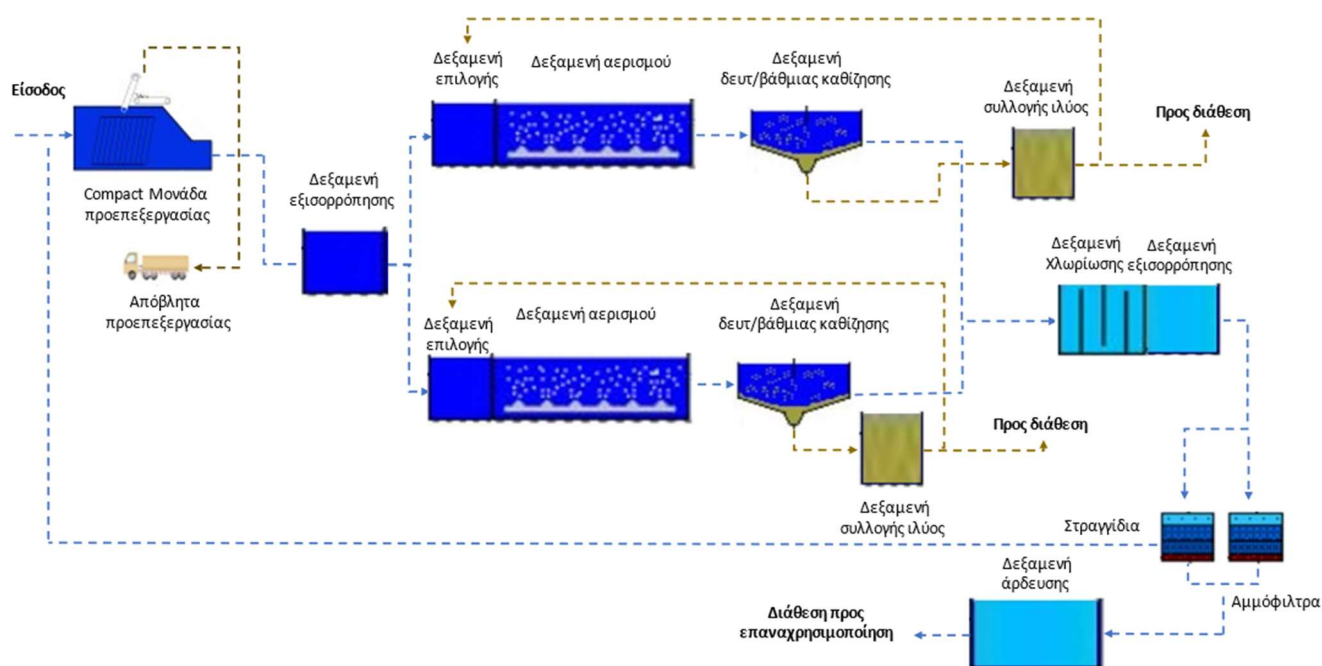
Η ΕΕΛ Κυπερούντας λειτουργεί με τη διεργασία ενεργού ιλύος παρατεταμένου αερισμού και περιλαμβάνει προεπεξεργασία, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία (δεν διαθέτει πρωτοβάθμια καθίζηση, με το σύνολο των αιωρούμενων στερεών να επεξεργάζεται στη δεξαμενή αερισμού). Η προεπεξεργασία αποτελείται από συστήματα εσχάρωσης, αμμοσυλλογής και λιποσυλλογής. Μετά την προεπεξεργασία, τα λύματα συλλέγονται στη δεξαμενή εξισορρόπησης απ' όπου αντλούνται προς δύο δεξαμενές αερισμού για βιολογική επεξεργασία. Ακολούθως διοχετεύονται σε δύο δεξαμενές καθίζησης. Τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα χλωριώνονται σε δεξαμενή χλωρίωσης και στη συνέχεια φιλτράρονται μέσω αμμόφιλτρων προτού καταλήξουν στη δεξαμενή άρδευσης (irrigation tank). Τα τριτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα διοχετεύονται και αποθηκεύονται σε χωμάτινη δεξαμενή χωρητικότητας 45.000 m³ από όπου αντλούνται για άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου (άρδευση του κοινοτικού πάρκου, του κήπου του νοσοκομείου και 2 γηπέδων ποδοσφαίρου). Η παραγόμενη ιλύς αποθηκεύεται στη δεξαμενή συλλογής ιλύος και από εκεί μεταφέρεται σε υγρή μορφή για περαιτέρω επεξεργασία στον κεντρικό σταθμό επεξεργασίας οικιακών βοθρολυμάτων, βιομηχανικών αποβλήτων, περίσσειας υγρής λάσπης και στραγγισμάτων στην περιοχή Βατί. Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της ΕΕΛ Κυπερούντας.

¹ Η μέθοδος ανάλυσης του BOD₅ να γίνεται με παρεμποδιστή νιτροποίησης.

* Ο ανώτατος επιτρεπτός αριθμός δειγμάτων που αποκλίνουν σε σχέση με τον αριθμό των δειγμάτων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε έτους είναι 2 δείγματα.

** το κατώτατο όριο των επεξεργασμένων λυμάτων, ως προς την παράμετρο υπολειμματικό χλώριο είναι 0,5 mg/L.





Σχήμα 4.3: Διάγραμμα ροής ΕΕΛ Κυπερούντας.

Προσαγωγή λυμάτων

Το 40% των ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων μεταφέρονται από το αποχετευτικό δίκτυο του Συμβουλίου Αποχετεύσεων Κυπερούντας (ΣΑΚ) στο αντλιοστάσιο της κοινότητας Κυπερούντας, και στη συνέχεια μέσω κλειστών αγωγών στο αντλιοστάσιο εισόδου της ΕΕΛ για την επεξεργασία τους. Το αντλιοστάσιο της κοινότητας βρίσκεται σε απόσταση 400 m από την ΕΕΛ και είναι εξοπλισμένο με σύστημα εσχάρωσης με διάκενο 50 mm για την προστασία των αντλιών, καθώς και με τέσσερις υποβρύχιες αντλίες. Το αντλιοστάσιο της κοινότητας έχει σχεδιαστεί για τα υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία σχεδιασμού του Πίνακα 4.6 και βρίσκεται στεγασμένο σε κτίριο με διαστάσεις 5,0 m (μήκος) x 4,0 m (πλάτος) x 2,4 m (ύψος).

Πίνακας 4.6: Υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία αντλιοστασίου Κοινότητας.

Παράμετρος	Τιμή
Μέση παροχή	180 m ³ /d or 7,5 m ³ /h
Παροχή αιχμής	22,5 m ³ /h
Στατικό ύψος	36 m
(μεταξύ του αντλιοστασίου της κοινότητας και αντλιοστασίου ΕΕΛ)	
Μήκος αντλιοστασίου	400 m

Από την άλλη, το 60% των ανεπεξέργαστων λυμάτων οδηγείται βαρυτικά από το αποχετευτικό δίκτυο της περιοχής στο αντλιοστάσιο ανύψωσης της ΕΕΛ για την επεξεργασία τους. Το αντλιοστάσιο ανύψωσης είναι εξοπλισμένο με δύο υποβρύχιες αντλίες οι οποίες δύο λειτουργούν εναλλάξ με κατάλληλο αυτοματισμό. Στη συνέχεια, τα λύματα οδηγούνται στη μονάδα προεπεξεργασίας της εγκατάστασης. Τα χαρακτηριστικά του αντλιοστασίου ανύψωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά αντλιοστασίου ανύψωσης.

Μέγεθος	Τιμή
Μήκος	4,90 m
Πλάτος	3,70 m
Βάθος	3,40 m
Όγκος	61,64 m ³



Βοθρολύματα

Η υφιστάμενη ΕΕΛ εκτός από αστικά λύματα, δέχεται βοθρολύματα από το νοσοκομείο της Κυπερούντας, καθώς επίσης και βοθρολύματα από οικίες της κοινότητας. Ένα μέρος των λυμάτων που παράγονται από το νοσοκομείο μεταφέρονται με τρία βυτιοφόρα, δύο φορές την εβδομάδα. Το υπόλοιπο μέρος επεξεργάζεται στο σύστημα νοσοκομειακών αποβλήτων του νοσοκομείου. Αναλύσεις των νοσοκομειακών βοθρολυμάτων περιέχονται στον Πίνακα 4.8 για το έτος 2023.

Πίνακας 4.8: Αναλύσεις βοθρολυμάτων από το νοσοκομείο Κυπερούντας.

Παράμετρος	Συγκέντρωση
BOD ₅	165 mg/L
COD	410 mg/L
Υδράργυρος	< 0,010 mg/L
Κάδμιο	< 0,002 mg/L
TN	67,4 mg/L
TP	9,13 mg/L

Από την άλλη πλευρά, οι ποσότητες των βοθρολυμάτων από οικίες της κοινότητας που δεν είναι ενωμένες με το αποχετευτικό δίκτυο αντιστοιχούν σε 1-2 βυτιοφόρα των 15 m³ ανά εβδομάδα. Αναλύσεις των οικιακών βοθρολυμάτων περιέχονται στο παρακάτω Πίνακα 4.9 για το έτος 2023.

Πίνακας 4.9: Αναλύσεις βοθρολυμάτων από την Κοινότητα της Κυπερούντας.

Παράμετρος	Συγκέντρωση (mg/L)
BOD ₅	800 mg/L
COD	1.600 mg/L
SS	2.000 mg/L
FOG	100 mg/L
TN	150 mg/L
TP	45 mg/L

Τόσο τα νοσοκομειακά όσο και τα αστικά βοθρολύματα διοχετεύονται σε ξεχωριστό σύστημα προεπεξεργασίας (septage receiving system) και στη συνέχεια σε προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης όγκου 40 m³. Από εκεί τα λύματα αντλούνται στο σύστημα προεπεξεργασίας της ΕΕΛ.

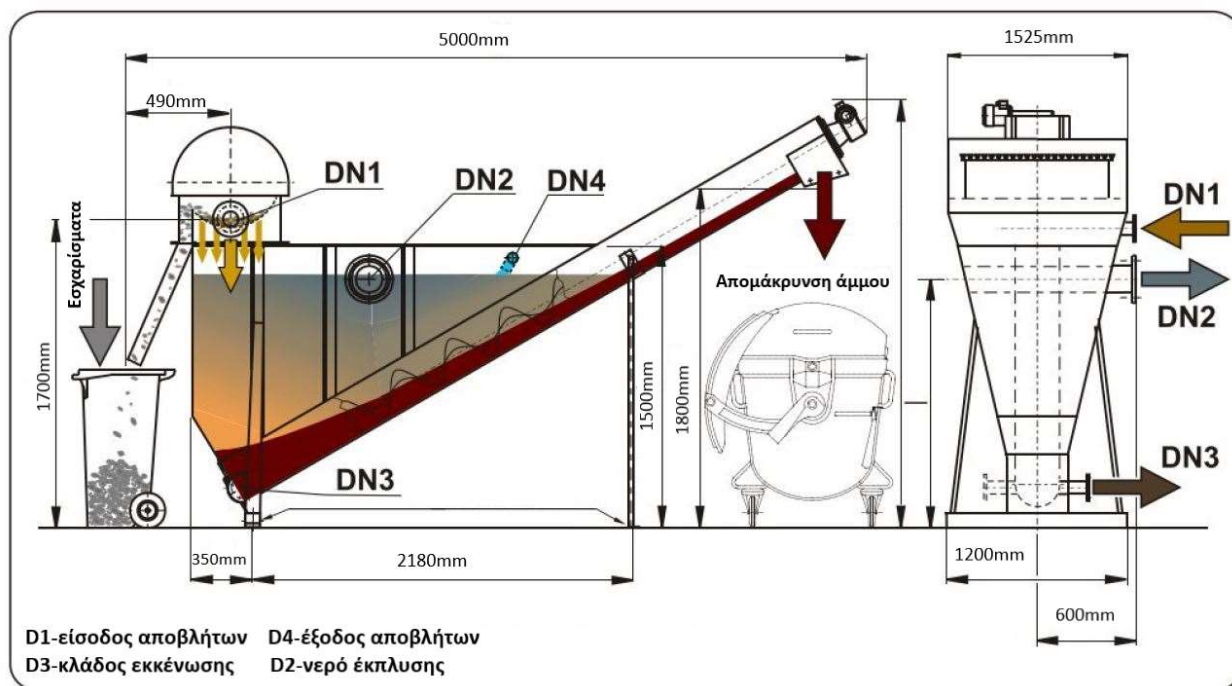
Η μονάδα υποδοχής και προεπεξεργασίας βοθρολυμάτων (septage receiving system) περιλαμβάνει:

- Ένα στόμιο εκκένωσης και ειδικό ταχυσύνδεσμο για τη σύνδεση των βυτιοφόρων.
- Μια δικλείδα απομόνωσης του αγωγού εκκένωσης των βυτιοφόρων.
- Χειροκαθαριζόμενη χονδροεσχάρα.
- Δεξαμενή αποθήκευσης (προαερισμού και ανάμιξης βοθρολυμάτων).
- Αντλητικό συγκρότημα βοθρολυμάτων για την παροχέτευση αυτών στη μονάδα προεπεξεργασίας.



Προκατασκευασμένη (compact) μονάδα προεπεξεργασίας

Από το αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης, τα λύματα οδηγούνται στην προκατασκευασμένη (compact) μονάδα προεπεξεργασίας (Σχήμα 4.4) δυναμικότητας 36 m³/h. Η μονάδα αποτελείται από αυτοκαθαριζόμενο περιστρεφόμενο κόσκινο λεπτοεσχάρωσης και διατάξεις αμμοσυλλογής και λιποσυλλογής. Η λειτουργία της μονάδας προεπεξεργασίας στοχεύει αφενός μεν στην παγίδευση των χονδροειδών και στερεών αδιάλυτων σωματιδίων, αφετέρου δε στην ταυτόχρονη απομάκρυνση σωματιδίων άμμου και λιπών.



Σχήμα 4.4: Compact μονάδα προεπεξεργασίας της ΕΕΛ.

Τα στερεά ρεύματα αποβλήτων του συστήματος προεπεξεργασίας παραδίδονται σε δανειοδοτημένους συλλέκτες-μεταφορείς σε αδειοδοτημένες εγκαταστάσεις. Για το έτος 2023, η ποσότητα των εσχαρισμάτων προς απομάκρυνση ισούταν με 160 kg, ενώ ο όγκος των λιπών ήταν 222 m³.

Δεξαμενή εξισορρόπησης

Μετά την προεπεξεργασία, τα λύματα συλλέγονται στη δεξαμενή εξισορρόπησης, η οποία είναι εξοπλισμένη με τέσσερις υποβρύχιες αντλίες (2 εφεδρικές), δυναμικότητας 19 m³/h. Τα χαρακτηριστικά της δεξαμενής παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.10. Στη δεξαμενή εξισορρόπησης είναι εγκατεστημένο σύστημα προαερισμού για την αποφυγή ανοξικών συνθηκών και επικαθίσεων στο εσωτερικό της.

Πίνακας 4.10: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά δεξαμενής εξισορρόπησης.

Μέγεθος	Τιμή
Μήκος	1,00 m
Πλάτος	1,50 m
Βάθος	3,50 m
Όγκος	5,25 m ³



Βιολογική επεξεργασία

Στη συνέχεια, τα λύματα αντλούνται στις δεξαμενές επιλογής, οι οποίες στοχεύουν στον περιορισμό της ανάπτυξης ανεπιθύμητων νηματοειδών βακτηριδίων στα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Έπειτα, τα λύματα καταλήγουν μέσω βαρύτητας στις δύο δεξαμενές αερισμού με σκοπό να λάβουν οι μικροοργανισμοί το απαραίτητο οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών ουσιών. Στις δεξαμενές αερισμού είναι εγκατεστημένοι 64 συνολικά διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας. Μετά τις δεξαμενές αερισμού το μικτό υγρό κατευθύνεται στις δύο ΔΔΚ όπου οι μικροοργανισμοί καθιζάνουν, ενώ τα επεξεργασμένα λύματα υπερχειλίζουν από περιμετρικούς τριγωνικούς υπερχειλιστές και οδηγούνται στο φρεατίου εξόδου. Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών επιλογής, αερισμού και δευτεροβάθμιας καθίζησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4.11: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά δεξαμενής επιλογής, αερισμού και ΔΔΚ.

Τύπος δεξαμενής	Δεξαμενή επιλογής	Δεξαμενή αερισμού	ΔΔΚ
Αριθμός	2	2	2
Μήκος	1,00 m	18,70 m	4,50 m
Πλάτος	5,55 m	5,55 m`	4,50 m
Βάθος	4,10 m	4,00 m	4,90 m
Συνολικός όγκος	45,51 m ³	830,28 m ³	91,23 m ³

Αποθήκευση ιλύος

Η καθιζάνουσα ιλύς αντλείται από τις ΔΔΚ και μεταφέρεται σε δύο δεξαμενές προσωρινής αποθήκευσης. Ένα μέρος της καθιζάνουσας ιλύος επανακυκλοφορεί μέσω αεραντλίων προς τις δεξαμενές επιλογής, ενώ ένα άλλο μέρος μεταφέρεται για περαιτέρω επεξεργασία σε υγρή μορφή στον κεντρικό σταθμό επεξεργασίας οικιακών βοθρολυμάτων, βιομηχανικών αποβλήτων, περίσσειας υγρής λάσπης και στραγγισμάτων στην περιοχή Βατί. Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών προσωρινής αποθήκευσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.12.

Πίνακας 4.12: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά δεξαμενών αποθήκευσης της ιλύος.

Χαρακτηριστικά	1 ^η Δεξαμενή αποθήκευσης της ιλύ	2 ^η Δεξαμενή αποθήκευσης της ιλύ
Μήκος	1,35 m	6,10 m
Πλάτος	9,25 m	1,90 m
Βάθος	4,20 m	4,20 m
Συνολικός όγκος	52,45 m ³	48,68 m ³

Απολύμανση των λυμάτων

Τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα στη συνέχεια οδηγούνται στη δεξαμενή χλωρίωσης με ορθογωνική κάτοψη και διαμήκη μαιανδρική διάταξη. Για την απολύμανση των λυμάτων χρησιμοποιείται διάλυμα υποχλωριώδους ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$). Μετά την χλωρίωση των λυμάτων τα επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται σε διάταξη διήθησης για περαιτέρω επεξεργασία. Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών χλωρίωσης και εξισορρόπησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.13.



Πίνακας 4.13: Βασικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών χλωρίωσης και εξισορρόπησης.

Τύπος δεξαμενής	Δεξαμενή χλωρίωσης	Δεξαμενή εξισορρόπησης
Αριθμός	1	1
Μήκος	3,40 m	6,95 m
Πλάτος	3,70 m	3,70 m
Βάθος	3,00 m	2,90 m
Συνολικός όγκος	37,74 m ³	74,57 m ³

Τριτοβάθμια επεξεργασία

Τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα από τις ΔΔΚ οδηγούνται σε διάταξη διήθησης για περαιτέρω επεξεργασία. Η διάταξη διήθησης αποτελείται από δύο αμμόφιλτρα όπου τα χαρακτηριστικά τους παρατίθενται στον Πίνακα 4.14.

Πίνακας 4.14: Βασικά χαρακτηριστικά αμμόφιλτρων.

Αριθμός φίλτρων	Πρώτο φίλτρο	Δεύτερο φίλτρο
Κατασκευαστής	CULLIGAN	HYDRO-DOUBLE
Τύπος	OFSY WGR 36	HY-DF 08
Παροχή	9,1 m ³ /h	8,8 m ³ /h
Αντίστροφη πλύση	40,08 m ³ /h	16 m ³ /h
Πίεση λειτουργίας	(1,8-6) 10 ⁵ Pa	(1,8-6) 10 ⁵ Pa
Θερμοκρασία λειτουργίας	(5-55) °C	(5-55) °C

Διάθεση λυμάτων

Τα τριτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα από τη δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης αντλούνται και αποθηκεύονται σε χωμάτινη δεξαμενή με γεωμεμβράνη, χωρητικότητας 45.000 m³ από όπου αντλούνται για άρδευση χώρων πρασίνου (άρδευση του κοινοτικού πάρκου, του κήπου του νοσοκομείου και δύο γηπέδων ποδοσφαίρου). Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.15.

Πίνακας 4.15: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης.

Μέγεθος	Τιμή
Μήκος	9,05 m
Πλάτος	3,70 m
Βάθος	3,00 m
Συνολικός όγκος	100,46 m ³

Κτίριο διοίκησης-βοηθητικές κτιριακές εγκαταστάσεις

Για την εξυπηρέτηση του προσωπικού καθώς και τη στέγαση του χώρου γραφείων ελέγχου και των χώρων υγιεινής, έχει κατασκευασθεί κτίριο διοίκησης διαστάσεων κάτοψης 6,10 m (μήκος) x 3,80 m (πλάτος) x 2,80 m (ύψος).

Ο κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας της ΕΛΛ βρίσκεται στεγασμένος σε κτίριο με διαστάσεις 3,85 m (μήκος) x 3,80 m (πλάτος) x 2,80 m (ύψος), ενώ υπάρχει και κτίριο μηχανοστασίου διαστάσεων 3,65



m (μήκος) x 4,10 m (πλάτος) x 2,80 m (ύψος), Τέλος, το κτίριο που εξυπηρετεί τις ανάγκες του εργαστηρίου της ΕΕΛ έχει τις εξής διαστάσεις: 2,85 m (μήκος) x 3,80 m (πλάτος) x 2,80 m (ύψος).

Εγκατεστημένος Η/Μ εξοπλισμός και ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις

Στον Πίνακα 4.16 παρουσιάζεται ο Η/Μ εξοπλισμός στην ΕΕΛ Κυπερούντας, ενώ στον Πίνακα 4.17 ο Η/Μ του αντλιοστασίου της Κοινότητας.



Πίνακας 4.16: Εγκατεστημένος Η/Μ εξοπλισμός στην ΕΕΛ Κυτερούνας.

Μονάδα	Εξοπλισμός	Κατασκευαστής	Μοντέλο
Αντλιοστάσιο εισόδου-αρχικής ανύψωσης	αντλία1	FLYGT	NP3069.160 curve 272
	αντλία2	FLYGT	NP3069.160 curve 272
Σύστημα εσχάρωσης	εσχάρα	FONTANA	IHPE-10
	μοτέρ	NORD	CZ-10400 PRAHA
	μοτέρ	NORD	SK 63L/4
Δεξαμενή εξισορρόπησης	αντλία1	HOMA	Barracuda GRP 26D
	αντλία2	HOMA	Barracuda GRP 26D
	αντλία3	HOMA	Barracuda GRP 26D
	αντλία4	HOMA	Barracuda GRP 26D
Σύστημα συλλογής βοθρολυμάτων (septage receiving system)	αντλία	ROTOMEC	50TR3
	μηχανοκίνητη βαλβίδα	-	AT20110-SI2A
	αεροσυμπιεστής		LB24F
Ροόμετρο	ροόμετρο	KHRONE	NL-3313 LC
Δεξαμενή αερισμού	φυσητήρας 1	LUTOS	DI 50-7
	μοτέρ 1	BROOK HANSEN	DA 160-MJ
	φυσητήρας 2	LUTOS	DI 50-7
	μοτέρ 2	BROOK HANSEN	DA 160-MJ
	φυσητήρας 3	EMMERTHAL	GM 15L
	μοτέρ 3	AERZENER	3-160M2
	ψηφιακός ελεγκτής DO μετρητής DO	SEKO	K100MP
	μετρητής DO	SEKO	S423 OPT PVC
Χλωρίωση	αντλία χλωρίωσης	SEKO	TEKBA EMM603MNH00B00
	αντλία χλωρίωσης	PROMINENT	CNPA0704PVT200A01
	αναδευτήρας χλωρίου	BONANI	S63B4
	αντλία ανακυκλοφορίας	GRUNDFOS	CM10-2 A-R-A-E-AVBE
	ψηφιακός ελεγκτής χλωρίου	SEKO	K500CLWM0000
	μετρητής χλωρίου	SEKO	9900101150
Τριτοβάθμια επεξεργασία – γραμμή επεξεργασίας 1	αντλία τροφοδοσίας φίλτρου 1	CALPEDA	A65-150A/C
	αντλία τροφοδοσίας φίλτρου 2	CALPEDA	A65-150A/C
	αντλία τροφοδοσίας φίλτρου 3	CALPEDA	A65-150A/C
	φίλτρο 1	CULLIGAN	OFSY 36
	φίλτρο 2	CULLIGAN	OFSY 36
	φίλτρο 3	CULLIGAN	OFSY 36
Τριτοβάθμια επεξεργασία –	αντλία τροφοδοσίας φίλτρου 1	CALPEDA	A65-150A/C



γραμμή επεξεργασίας 2	αντλία τροφοδοσίας φίλτρου 2	CALPEDA	A65-150A/C
	αντλία τροφοδοσίας φίλτρου 3	CALPEDA	A65-150A/C
	φίλτρο 1	CULLIGAN	OFSY 36
	φίλτρο 2	CULLIGAN	OFSY 36
	Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση	αντλία	FRANKLIN ELECTRIC
Ροόμετρο στην έξοδο	ροόμετρο 1	OMEGA G2	SDC-DN65
	ροόμετρο 2	OMEGA G2	SDC-DN65
Πλυστικό μηχανήμα υψηλής πίεσης	Πλυστικό μηχανήμα υψηλής πίεσης	KARCHER	K4
Γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος	ηλεκτρογεννήτρια	FG WILSON	P90

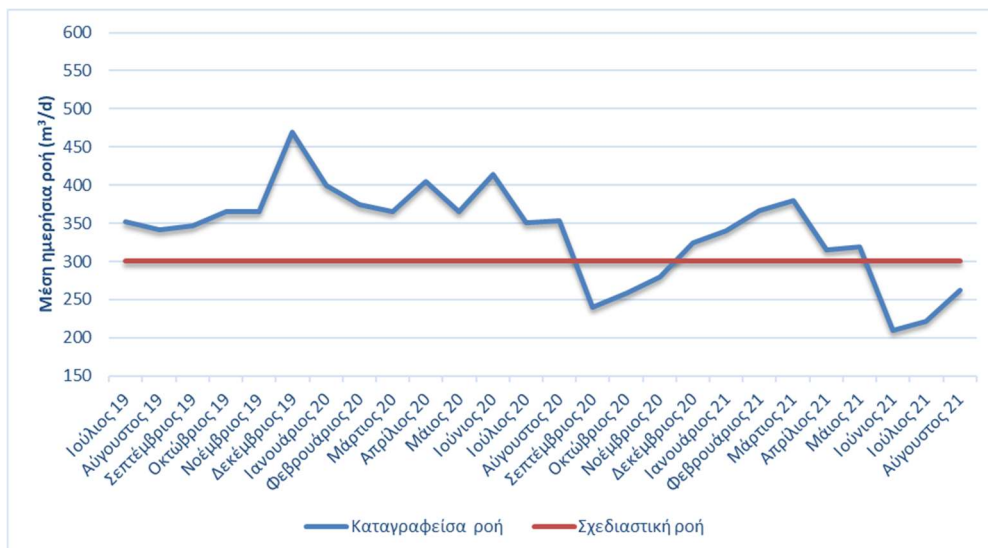
Πίνακας 4.17: Εγκατεστημένος Η/Μ εξοπλισμός στο αντλιοστάσιο της Κοινότητας.

Μονάδα	Εξοπλισμός	Κατασκευαστής	Μοντέλο
Φρεάτιο άφιξης	αντλία 1	FLYGT	DP3045.181 curve 230
	αντλία 2	FLYGT	-
Σύστημα εσχάρωσης	εσχάρα	FONTANA	IHPE
	μοτέρ	NORD	SK 3382AFBH-80LIA
	μοτέρ	NORD	-
Αντλιοστάσιο ανύψωσης	αντλία 1	HOMA	Barracuda GRP 111D
	αντλία 2	HOMA	Barracuda GRP 111D
Γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος	ηλεκτρογεννήτρια	FG WILSON	P40

4.2.3 Λειτουργικά προβλήματα υφιστάμενων έργων

Η υφιστάμενη ΕΕΛ αντιμετωπίζει προκλήσεις λόγω υπερφόρτωσης, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας επεξεργασίας των λυμάτων. Κατά τους θερινούς μήνες η παροχή που δέχεται η ΕΕΛ είναι μεγαλύτερη από την παροχή σχεδιασμού, ενώ με την επέκταση του δικτύου αποχέτευσης αναμένεται διπλασιασμός της εισερχόμενης παροχής. Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.4 η μέση ημερήσια εισερχόμενη ποσότητα λυμάτων που δέχεται η ΕΕΛ κυμαίνεται τους περισσότερους μήνες σε τιμές πολύ μεγαλύτερες από τα 300 m³/d που είναι η μέση σχεδιαστική ημερήσια παροχή.





Διάγραμμα 4.4: Καταγραφείσα και σχεδιαστική ροή-ΕΕΛ Κυπερούντας για το έτος 2021.

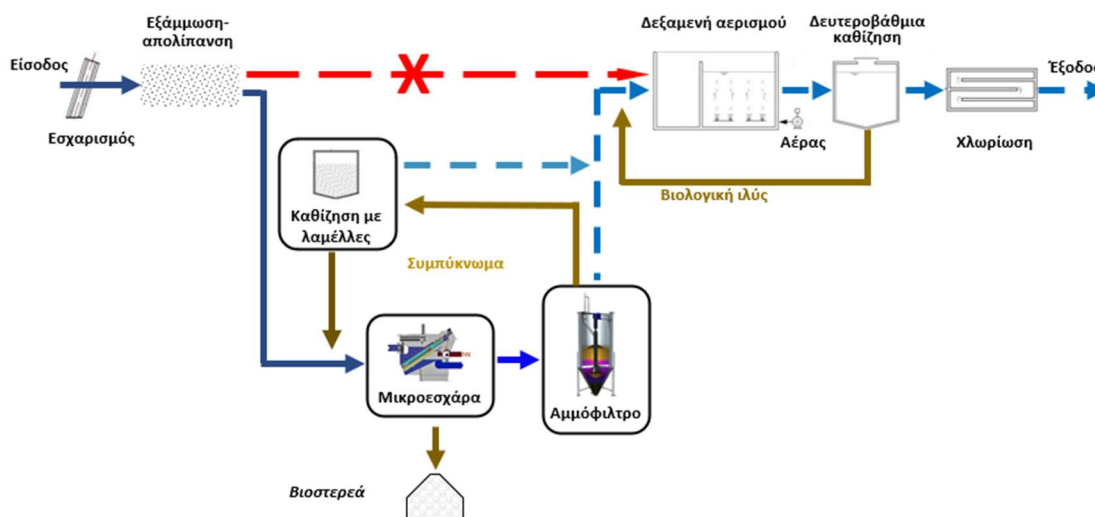
Επίσης, ένα επιπλέον πρόβλημα που αντιμετωπίζει η υφιστάμενη ΕΕΛ συνδέεται με την υψηλή βροχοπτώση. Τους μήνες κατά τους οποίους υπάρχει βροχοπτώση στην περιοχή η μέση ημερήσια εισερχόμενη παροχή είναι ακόμη πιο ψηλή, γεγονός που αποδεικνύει εισροή βρόχινων υδάτων στο σύστημα αποχέτευσης της κοινότητας τα οποία καταλήγουν στην ΕΕΛ. Συχνά, κατά τους μήνες με υψηλή βροχοπτώση, καταγράφονται πολύ υψηλές ημερήσιες παροχές, που φτάνουν τα 800 m³/d με 900 m³/d. Τις ημέρες αυτές η ΕΕΛ τροφοδοτείται με παροχές μεγαλύτερες ακόμη και από την παροχή αιχμής γεγονός που επηρεάζει την απόδοση της ΕΕΛ, αφού ποσότητα στερεών (βιομάζα) παρασύρεται από τις ΔΔΚ της ΕΕΛ στις κατάντη δεξαμενές, βουλώνοντας τα φίλτρα και απαιτείται στη συνέχεια καθαρισμός των δεξαμενών.



Κεφάλαιο 5: Σχεδιασμός, κατασκευή και δημιουργία λογισμικού των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στις ΕΕΛ Μάρπησσας, Πάρος και Κυπερούντας, Κύπρος

5.1 Εισαγωγή

Πολλές ΕΕΛ λειτουργούν με αυξημένες υδραυλικές παροχές ή αυξημένο φορτίο εισόδου, με συνέπεια την ατελή επεξεργασία των λυμάτων. Το φαινόμενο είναι σοβαρό κατά τους θερινούς μήνες, σε ΕΕΛ που εξυπηρετούν τουριστικές περιοχές. Οι κύριες εναλλακτικές λύσεις (κατασκευή δεξαμενής καθίζησης, επέκταση της ΕΕΛ, αναβάθμιση της ΕΕΛ σε Αντιδραστήρα Βιοφίλμ Κινούμενης Κλίνης (Moving Bed Biofilm Reactor, MBBR) ή Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών (Membrane Bio-Reactor, MBR)), απαιτούν σημαντικές δομικές αλλαγές σε υφιστάμενες ΕΕΛ (μεγάλα κόστη, νέα δέσμευση γης, γεγονός απαγορευτικό σε νησιά ή σε περιοχές οικολογικού ενδιαφέροντος). Επίσης, οι συμβατικές διεργασίες επεξεργασίας λυμάτων καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας τα οποία συνήθως δεν είναι διαθέσιμα σε νησιά. Συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης μέγιστης δυναμικότητας 2.500/1.800 m³/d αποβλήτων σχεδιάστηκαν και εγκαταστάθηκαν ανάντη της βιολογικής επεξεργασίας στις ΕΕΛ Μάρπησσας, Πάρος και Κυπερούντας. Η καινοτομικότητα των συστημάτων (Σχήμα 5.1) έγκειται στην πρώιμη απομάκρυνση των πρωτοβάθμιων στερεών από τα λύματα, πριν αυτά εισέλθουν στην δεξαμενή αερισμού. Στο πρώτο βήμα της επεξεργασίας των εισερχόμενων λυμάτων του Σχήματος 5.1, χρησιμοποιείται ένα μικροκόσκινο το οποίο απομακρύνει το 40-60% των TSS (ανάλογα με την αρχική σύσταση των αποβλήτων και τον τύπο του μικροκόσκινου ενώ παράλληλα απομακρύνεται 25-40% του BOD₅. Στη συνέχεια, τα απόβλητα μετά την επεξεργασία τους με μικροκοσκίνιση οδηγούνται στη μονάδα αμμοφίλτρασης για την περαιτέρω μείωση των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού από τα λύματα, πριν αυτά εισέλθουν στη δεξαμενή αερισμού. Το συμπύκνωμα από το αμμόφιλτρο οδηγείται για περαιτέρω συμπύκνωση σε διάταξη καθίζησης με λαμέλλες, ενώ τα διηθημένα λύματα οδηγούνται στη δεξαμενή αερισμού για βιολογική επεξεργασία.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.

Το Κεφάλαιο 5 επιδιώκει στο σχεδιασμό και στην κατασκευή των πιλοτικών μονάδων στην ΕΕΛ Μάρπησσας και την ΕΕΛ Κυπερούντας. Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 5 αποτυπώνονται όλα τα συστήματα και υποσυστήματα των πιλοτικών μονάδων, καθώς και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Κατασκευάστηκαν επίσης διαγράμματα ροής και παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι απαιτούμενοι αυτοματισμοί και η συνδεσμολογία όλων των επιμέρους μονάδων των δύο πιλοτικών συστημάτων. Τέλος, έγινε παρουσίαση του λογικού διαγράμματος παρακολούθησης του Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (Programmable Logic Controller, PLC).



Επιδίωξη ήταν να σχεδιαστούν, να κατασκευαστούν και να εγκατασταθούν σε υφιστάμενες ΕΕΛ συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης σε πιλοτική (pilot scale) και όχι σε εργαστηριακή κλίμακα (lab scale) για την αναβάθμιση υπερφορτωμένων ΕΕΛ με σκοπό τη διαχείριση αυξημένου φορτίου εισόδου και τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Η τεχνολογία των πιλοτικών συστημάτων στις δύο ΕΕΛ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν «καλή πρακτική» για όλες τις ΕΕΛ στα νησιά της Ελλάδας και στην Κύπρο που εξετάζουν σενάρια επέκτασης παλαιών ΕΕΛ. Ωστόσο, δημιουργήθηκε λογισμικό για την διαστασιολόγηση και τη προσομοίωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ΕΕΛ διαφορετικής δυναμικότητας.

5.2 Διαστασιολόγηση, κατασκευή και εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Μάρπησσας

5.2.1 Διαστασιολόγηση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Μάρπησσας

5.2.1.1 Μονάδα μικροκόσκινσης

Η διαστασιολόγηση του μικροκόσκινου έγινε για την ικανοποίηση των κριτηρίων του Πίνακα 5.1 και είναι τύπου RBF. Τα λύματα εισέρχονται στο μικροκόσκινο με φυσική ροή από το σύστημα προεπεξεργασίας της μονάδας. Το μικροκόσκινο λειτουργεί αυτόματα σε 24ωρη βάση, είναι κλειστού τύπου προς αποφυγή οσμών και εκτίναξης σταγονιδίων στον περιβάλλοντα χώρο και φέρει σύστημα διαχωρισμού του διηθημένου αποβλήτου. Το μικροκόσκινο είναι πλήρως αυτοματοποιημένο και ελέγχεται από PLC. Τα κριτήρια σχεδιασμού του μικροκόσκινου είναι τα ακόλουθα:

- Μέση ημερήσια παροχή αποβλήτων προς επεξεργασία = $1.200 \text{ m}^3/\text{d}$,
- Μέγιστη ημερήσια παροχή αποβλήτων προς επεξεργασία = $3.600 \text{ m}^3/\text{d}$
- Απόδοση ως προς την απομάκρυνση TSS σε ανεπεξέργαστα λύματα, άνω του 30%, σε σχέση και με την ποιότητα των υγρών αποβλήτων
- Απόδοση ως προς την απομάκρυνση του BOD_5 (σε ανεπεξέργαστα λύματα, άνω του 20%, σε σχέση και με την ποιότητα υγρών αποβλήτων
- Περιεκτικότητα παραγόμενης ιλύος σε στερεά, άνω του 30% (αναλόγως της φύσης των υγρών αποβλήτων)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μικροκόσκινου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1:

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά μικροκόσκινου

Παράμετρος	Τιμή
Υλικό κατασκευής	Ανοξείδωτος χάλυβας ASI 304
Μέγιστη εισερχόμενη παροχή	$3.600 \text{ m}^3/\text{d}$
Μέση εισερχόμενη παροχή	$1.200 \text{ m}^3/\text{d}$
Τανιόφιλτρο	Ανοξείδωτο πλέγμα $250 \mu\text{m}$
Διαστάσεις	Μήκος: 2,582 m Πλάτος: 1,880 m Ύψος: 3,587 m
Κινητήρες	Ισχύ ηλεκτροκινητήρα κίνησης ταινίας: 1kW Ισχύ ηλεκτροκινητήρα κοχλία συμπίεσης: 1 kW Μοτέρ για την κλίση του ιμάντα: 1 kW

Υλικά κατασκευής

Το μικροκόσκινο είναι κατασκευασμένο κατά το μεγαλύτερο μέρος από ανοξείδωτο χάλυβα ASI 316. Όλα τα εξαρτήματα, συμπεριλαμβανομένων των κοχλίων σύνδεσης (μπουλόνια, ροδέλες, παξιμάδια, κ.λπ.) είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα ASI 304. Ο ιμάντας του μικροκόσκινου είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτη μεταλλική σίτα AISI 316 με διάμετρο πόρων $250 \mu\text{m}$.



Τροφοδοσία, λειτουργία και εκροή των διαυγών

Η τροφοδοσία των υγρών αποβλήτων στο μικροκόσκινο γίνεται από φλαντζωτή οπή διαμέτρου 343 mm. Τα λύματα αρχικά εισέρχονται σε θάλαμο φόρτισης από όπου ρέουν στον ιμάντα διήθησης. Ο θάλαμος φόρτισης φέρει σταθμήμετρο και οπή υπερχειλίσσης διαμέτρου ίδιας με αυτή της οπής εισόδου. Τα διηθημένα λύματα (διαυγή) οδεύουν εκτός του μικροκόσκινου δια μέσω φλαντζωτής οπής πλησίον του πυθμένα της. Ο ιμάντας περιστρέφεται με χρήση ηλεκτροκινητήρα, όσο θα υπάρχει παροχή στο μικροκόσκινο. Ο ρυθμός κύλισης εξαρτάται από τη στάθμη του υγρού στον θάλαμο φόρτισης όπου είναι συνάρτηση της εισερχόμενης παροχής των αποβλήτων. Επίσης, υπάρχει η πρόβλεψη μηχανικής ρύθμισης της κλίσης του ιμάντα διήθησης.

Παροχή νερού έκπλυσης

Για την έκπλυση του ιμάντα υπάρχει παροχή βιομηχανικού ύδατος με ελάχιστη πίεση δικτύου 5 bar από το υφιστάμενο δίκτυο της ΕΕΛ Μάρπησσας. Το νερό τροφοδοτείται στο σύστημα υγρής έκπλυσης του μικροκόσκινου (μπεκ ψεκασμού).

Παροχή πεπιεσμένου αέρα

Το μικροκόσκινο είναι επίσης εξοπλισμένο με σύστημα καθαρισμού του ιμάντα με πεπιεσμένο αέρα. Ο καθαρισμός του ιμάντα γίνεται με ψεκασμό αέρα και επικουρικά με ψεκασμό με νερό.

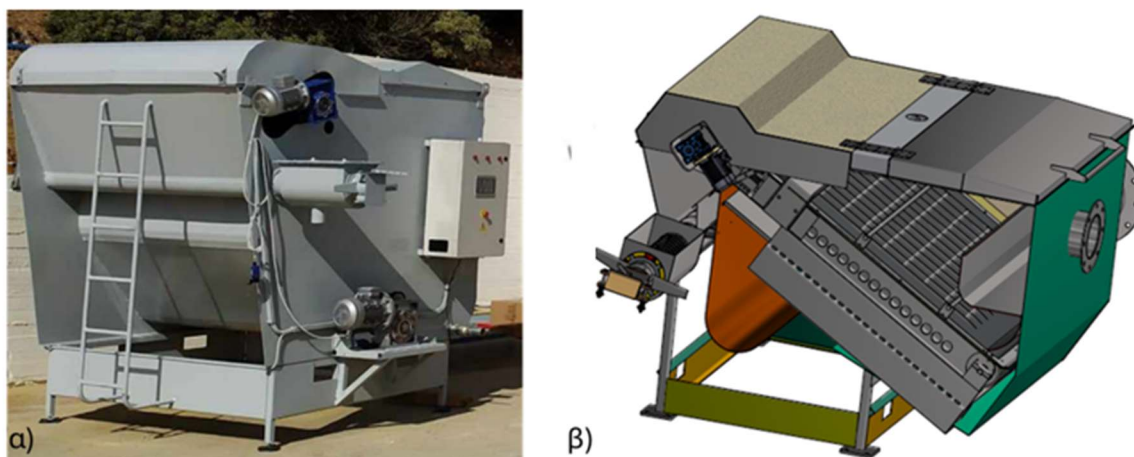
Σύστημα αφυδάτωσης και απομάκρυνσης των PSS

Τα παραγόμενα PSS συλλέγονται από τον ιμάντα σε σκάφη ενσωματωμένη στο μικροκόσκινο. Στον πυθμένα της σκάφης υπάρχει κοχλίας συμπίεσης, κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα ASI 316, οποίος καταλήγει σε μηχανικό σύστημα αφυδάτωσης των PSS.

Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

Η καλωδίωση της μονάδας δρομολογείται από τα κουτιά διακλάδωσης (τοποθετημένα στο κύριο σώμα του μηχανήματος) στα σημεία κατανάλωσης ενέργειας. Η σχηματική απεικόνιση του μικροκόσκινου παρουσιάζεται στην Σχήμα 5.2:





Σχήμα 5.2: α) Φωτογραφία του μικροκόσκινου που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών του Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας β) σχηματική απεικόνιση μικροκόσκινου κατά τον σχεδιασμό.

5.2.1.2: Αντλιοστάσιο (θάλαμος συγκέντρωσης-δεξαμενή άντλησης προς την μονάδα αμμοφίλτρανσης)

Εξαιτίας της υψομετρικής διαφοράς δεν ήταν δυνατόν τα λύματα να φτάσουν με φυσική ροή από το μικροκόσκινο στη μονάδα αμμοφίλτρανσης. Έτσι, απαιτήθηκε η κατασκευή αντλιοστασίου, όπου συγκεντρώνεται η έξοδος του μικροκόσκινου και τα λύματα αντλούνται προς τη μονάδα αμμοφίλτρανσης. Η κατασκευή του αντλιοστασίου συνοδεύεται με τον απαραίτητο υδραυλικό εξοπλισμό για την απρόσκοπτη λειτουργία του, καθώς και με το σύνολο του απαραίτητου ηλεκτρολογικού υλικού.

Η μέση ημερήσια παροχή του αντλιοστασίου καθορίστηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης σε συνεργασία με την ΔΕΥΑ Πάρου στα $1.200 \text{ m}^3/\text{d}$, με παροχή ωριαίας αιχμής $104 \text{ m}^3/\text{h}$ που αντιστοιχεί σε $(2.500 \text{ m}^3/\text{d})$. Τα απόβλητα εισέρχονται βαρυτικά στο αντλιοστάσιο από το μικροκόσκινο και εξέρχονται με χρήση τριών αντλιών (μία εφεδρική), η κάθε μία από τις οποίες θα τροφοδοτεί ένα αμμόφιλτρο. Οι αντλίες είναι υποβρύχιου τύπου, κατάλληλες για άντληση λυμάτων, με μέγιστη παροχή $55 \text{ m}^3/\text{h}$ σε μανομετρικό 10 m, ονομαστικής ισχύος 3,7 kW (έκαστη). Είναι τριφασικές (380 Volt) με συχνότητα λειτουργίας στα 50 Hz και ρυθμιστή στροφών με inverter.

Ο ωφέλιμος όγκος του αντλιοστασίου είναι $10,5 \text{ m}^3$ δηλαδή το αντλιοστάσιο έχει ελάχιστο χρόνο παραμονής περίπου 5,7 min (κατά την ώρα παροχής αιχμής). Οι εσωτερικές διαστάσεις του αντλιοστασίου είναι 2 m (μήκος) x 2 m (πλάτος) x 3,5 m (βάθος) από τη στάθμη του εδάφους. Η κατασκευή του παράπλευρου τοιχώματος και του πυθμένα είναι εξ' ολοκλήρου από οπλισμένο σκυρόδεμα C16/20 πάχους 25cm και 30cm αντίστοιχα, με οπλισμό B 500c. Για την αποφυγή συγκέντρωσης επικαθήσεων, ο πυθμένας του αντλιοστασίου κατασκευάστηκε κεκλιμένος ως προς τη μία πλευρά του, με κλίση 15%. Το αντλιοστάσιο φέρει σύστημα υπερχειλίσης σε ύψος 30 cm από την επιφάνειά του. Επίσης, φέρει αποσπώμενο χαλύβδινο κάλυμμα.

Το αντλιοστάσιο είναι εξοπλισμένο με σύστημα μέτρησης στάθμης με υπερήχους. Η παροχή των αντλιών ρυθμίζεται ανάλογα με τη στάθμη των λυμάτων εντός του αντλιοστασίου, ώστε αναλόγως να τροφοδοτείται το ένα ή και τα δύο αμμόφιλτρα. Η παροχή προς τα αμμόφιλτρα θα γίνεται εναλλάξ, κατά τις περιόδους που δε υπάρχει αρκετή ροή για να τροφοδοτήσει και τα δύο αμμόφιλτρα ταυτόχρονα. Επιπλέον, για λόγους ασφαλείας τοποθετήθηκαν κατάλληλοι φλοτεροδιακόπτες για τη διακοπή λειτουργίας των αντλιών οι οποίοι τις προστατεύουν από λειτουργία εν ξηρώ.



Ο αγωγός κατάθλιψης των αντλιών προς τα αμμόφιλτρα είναι κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας HDPE 10 atm, διαμέτρου Φ100. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντλιοστασίου.

Πίνακας 5.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του αντλιοστασίου.

Παράμετρος	Τιμή
Αριθμός αντλιών	3
Μήκος	2 m
Πλάτος	2 m
Βάθος	3,5 m
Αγωγός κατάθλιψης λυμάτων	Φ100
Υψόμετρο ανώτατης στάθμης ακαθάρτων (m)	3,2 m
Υψόμετρο κατώτερης στάθμης ακαθάρτων, για προστασία των αντλιών (m)	0,5 m
Μέγιστη παροχή αντλίας	55 m ³ /h
Μανομετρικό λειτουργίας για τη μέγιστη παροχή	10m
Κέλυφος κινητήρα & αντλίας	Χυτοσίδηρος EN-GJL-250
Ονομαστική ισχύ αντλίας	3,7 kW
Πτερωτή	Χυτοσίδηρος EN-GJL-250
Αξονας	Ανοξείδωτος χάλυβας SUS420J2 (EN-X30Cr13)
Μηχανικός στυπιοθλίπτης	Silicon carbide
Αντλούμενο υγρό	Ανεπεξέργαστα λύματα
Μέγιστη θερμοκρασία	40 °C

5.2.1.3 Μονάδα αμμοφίλτρανσης

Από το αντλιοστάσιο τα λύματα οδηγούνται στη μονάδα αμμοφίλτρανσης η οποία αποτελείται από δύο CBUMFs. Η μονάδα αμμοφίλτρανσης ελέγχεται από το PLC της εγκατάστασης. Η διαστασιολόγηση της μονάδας έγινε για την ικανοποίηση των παρακάτω κριτηρίων:

- Μέγιστη ωριαία παροχή αποβλήτων, $Q_{\max} = 104 \text{ m}^3/\text{h}$
- Μέγιστη μέση ημερήσια παροχή αποβλήτων, $Q_{\text{average}} = 1.200 \text{ m}^3/\text{h}$
- Μέγιστη επιφανειακή φόρτιση, $E\Phi = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$
- Εκτιμώμενη συγκέντρωση στερεών στην είσοδο, $\text{TSS} = 100\text{-}300 \text{ mg/L}$
- Παροχή συμπυκνώματος, $Q_{\text{rejected}} = 5\text{-}10\%$ της εισερχόμενης παροχής
- Αριθμός φίλτρων = 2

Η επιφάνεια του αμμόφιλτρου ανέρχεται σε:

$$A = \frac{Q_{\max}}{E\Phi} \rightarrow A = \frac{2.500 \text{ m}^3/\text{d} \cdot (1/24 \text{ d/h})}{15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}} \rightarrow A \cong \frac{6,94 \text{ m}^2}{2 \text{ φίλτρα}} = \frac{3,47 \text{ m}^2}{\text{φίλτρο}}$$

Η διάμετρος του αμμόφιλτρου, με συντελεστή ασφαλείας 10% ανέρχεται σε:

$$d = 2 \cdot \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5} \rightarrow d = 2 \cdot \left(\frac{3,47 \text{ m}^2}{\pi}\right)^{0,5} \cdot 1,1 \rightarrow d = 2,2 \text{ m}$$

Έστω ότι το 5% της εισερχόμενης παροχής των αποβλήτων αντιπροσωπεύει την παροχή του συμπυκνώματος, τότε η μέγιστη ωριαία παροχή του συμπυκνώματος του αμμόφιλτρου ανέρχεται σε:

$$Q_{\text{rejected}} = Q_{\max} \cdot 5\% \rightarrow Q_{\text{rejected}} = 2.500 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 0,05 = 125 \text{ m}^3/\text{d}$$



Έστω ότι το 10% της εισερχόμενης παροχής των αποβλήτων αντιπροσωπεύει την παροχή του συμπυκνώματος, τότε η μέγιστη ωριαία παροχή του συμπυκνώματος του αμμόφιλτρου ανέρχεται σε:

$$Q_{\text{rejected}} = Q_{\text{max}} \cdot 10\% \rightarrow Q_{\text{rejected}} = 2.500 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 0,1 = 250 \text{ m}^3/\text{d}$$

Έτσι, η μέγιστη ωριαία παροχή του συμπυκνώματος του αμμόφιλτρου εκτιμάται από 125 έως 250 m³/d.

Το συμπύκνωμα από τα αμμόφιλτρα οδηγείται για περαιτέρω συμπύκνωση σε διάταξη καθίζησης με λαμέλλες, και ακολούθως στην είσοδο του μικροκόσκινου, για απομάκρυνση των κροκιδωμένων στερεών, ενώ τα επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται στη δεξαμενή αερισμού για βιολογική επεξεργασία, μέσω φρεατίου συγκέντρωσης διαστάσεων 1 m (μήκος), 1 m (πλάτος), 1,5 m (βάθος), κατασκευασμένο από σκυρόδεμα C20/25, οπλισμού S 500.

Για την παροχή πεπιεσμένου αέρα στο αμμόφιλτρο χρησιμοποιείται φυσητήρας εμβολοφόρος παροχής περίπου 120 L/min. Για την εξυπηρέτηση και των αναγκών του μικροκόσκινου σε αέρα, έχει προταθεί η χρήση φυσητήρα με παροχή τουλάχιστον 150L/min, σε μανομετρικό 10m.

Το αμμόφιλτρο αποτελείται από χαλαζιακή άμμο, κοκκομετρίας 1-2 mm και με συντελεστή ομοιομορφίας 1,2-1,8 mm, μέχρι περίπου το ήμισυ του ύψους του.

Ο αγωγός εισόδου έχει διάμετρο Φ 100 HDPE, PN 10, ενώ οι αγωγοί εξόδου και συμπυκνώματος έχουν διάμετρο Φ 160, PN 10 και Φ 100, PN 10 με υλικό κατασκευής PVC-U, αντίστοιχα.

Στη μονάδα αμμοφίλτρασης προστίθεται Χλωριούχου Πολυαλουμινίου (Polyaluminum Chloride PAC) ως κροκιδωτικό. Οι εκτιμήσεις της ετήσιας κατανάλωσης κροκιδωτικού στη μονάδα αμμοφίλτρασης βασίζονται σε δοσολογία που έχει εκτιμηθεί με εργαστηριακές δοκιμές κροκιδώσης. Κατόπιν εργαστηριακών δοκιμών, εκτιμήθηκε ότι απαιτούνται 0,3 mL εμπορικού διαλύματος PAC ανά 1 L δείγματος αποβλήτων (πρωτοβάθμια εκροή). Έτσι, για τη μέση ημερήσια παροχή λυμάτων 1.200 m³/d για τη θερινή περίοδο, και 860 m³/d για τη χειμερινή (μέση ετήσια παροχή 172.800 m³) απαιτούνται 51.840 L/y κροκιδωτικού. Βάση της πυκνότητας του PAC που είναι 1,33 kg/L προκύπτει ότι περιέχονται 68.947 kg/y.

Για τη δοσομέτρηση χρησιμοποιείται μία περισταλτική δοσομετρική αντλία ανά αμμόφιλτρο δυναμικότητας έως 15 L/h στα 10 bar, που καταθλίβει στον καταθλιπτικό αγωγό τροφοδοσίας του αμμόφιλτρου και η οποία είναι συνδεδεμένη με το inverter της αντλίας για να παροχετεύει κροκιδωτικό μέσω εύκαμπτου σωλήνα κατά αναλογία με την παροχή.

Η λειτουργία της μονάδας είναι συνεχής, όσο υπάρχουν λύματα εντός του αντλιοστασίου. Το διήθημα υπερχειλίζει στο άνω μέρος του αμμόφιλτρου και ακολούθως εκρέει από το αμμόφιλτρο μέσω ειδικής σωλήνωσης. Κατά τη διάρκεια της παροχής, στον πυθμένα των φίλτρων παροχετεύεται κατάλληλη ποσότητα αέρα για την άνοδο της άμμου από τον πυθμένα προς την ειδική διάταξη στο άνω μέρος του αμμόφιλτρου, όπου απομακρύνονται οι ρύποι και παροχετεύονται ως συμπύκνωμα μέσω ειδικής σωλήνωσης. Κατά τη διάρκεια συνεχούς λειτουργίας η κλίνη της άμμου αναδιανέμεται στην κορυφή της κλίνης κατά μέσο όρο 4 έως 8 φορές ανά 24 ώρες. Για τη δυνατότητα καθαρισμού κοντά στον πυθμένα, το φίλτρο είναι εξοπλισμένο στο κωνικό μέρος με ακροφύσια αέρα.

Το φίλτρο είναι κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 πάχους 3 mm. Τα ποδαρικά του φίλτρου είναι κατασκευασμένα από κοινό χάλυβα βαμμένο με εποξειδική βαφή.



Πίνακας 5.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας αμμοφίλτρασης για την ΕΕΛ Μάρπησσας

Παράμετροι	Μονάδα	Μονάδες μέτρησης
Παροχή σχεδιασμού (μέση/μέγιστη)	1.200/2.500	m ³ /d
Επιφανειακή φόρτιση σχεδιασμού (μέγιστη)	15	m ³ / m ² h
Αριθμός φίλτρων	2	-
Επιφάνεια φίλτρου	3,47	m ²
Διάμετρος φίλτρου	2,2	m
Ύψος φίλτρου	4,8	m
Απαιτούμενη ποσότητα άμμου ανά φίλτρο	24	t
Εύρος παροχής συμπυκνώματος	125-250	m ³ /d
Σύστημα παροχής αέρα		-
Τύπος αεροσυμπιεστή	Εμβολοφόρος	-
Αεροφυλάκιο	500	L
Αναρρόφηση	600	L/min
Χαρακτηριστικά άμμου		-
Τύπος άμμου	Πυριτική άμμος	-
Κοκκομετρία άμμου	1-2	mm
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,2-1,8	mm

Η διάταξη αμμοφίλτρασης στην ΕΕΛ Μάρπησσας παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.3:



β)



Σχήμα 5.3: α) Φωτογραφία των CBUMFs που σχεδιάστηκαν από το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών του Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας β) σχηματική απεικόνιση των CBUMFs κατά τον σχεδιασμό.

5.2.1.4 Διαστασιολόγηση δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες

Η διάταξη καθίζησης δέχεται το συμπύκνωμα των CBUMFs με αγωγό ονομαστικής διαμέτρου Φ 100, από PVC-υ PN 10. Το υπερκείμενο ρέει βαρυτικά προς φρεάτιο και ακολούθως προς την δεξαμενή αερισμού με αγωγό ονομαστικής διαμέτρου Φ 60, από PVC-υ PN 10, ενώ η παραγόμενη ιλύς εξέρχεται από τον πυθμένα της δεξαμενής και οδεύει βαρυτικά προς την είσοδο της ΕΕΛ, με αγωγό ονομαστικής διαμέτρου Φ 150, από PVC-υ, PN 10. Η εκκένωση της ιλύος γίνεται με σύστημα ηλεκτροβάνας που ελέγχεται με σύστημα μέτρησης της στάθμης ιλύος. Το υλικό κατασκευής της δεξαμενής με λαμέλλες είναι από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304. Τα ποδαρικά της καθίζησης είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα 304 με εποξειδική βαφή. Η διαστασιολόγηση της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες έγινε για την ικανοποίηση των παρακάτω κριτηρίων:

- Μέγιστη συνολική παροχή στη διάταξη των λαμελλών, $Q = 290 \text{ m}^3/\text{d}$
- Επιφανειακή φόρτιση (για μέγιστη παροχή), $E\Phi = 5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$
- Ο αριθμός Reynolds εντός των λαμελλών δεν πρέπει να υπερβαίνει το 800, για εξασφάλιση συνθηκών γραμμικής ροής.
- Πλάτος δεξαμενής, $w_{\text{tank}} = 2,4 \text{ m}$

Η είσοδος των αποβλήτων γίνεται αρχικά σε αναδύομενη δεξαμενή, στην οποία προστίθεται κατάλληλη ποσότητα κροκιδωτικού. Εντός της δεξαμενής επικρατούν συνθήκες ηρεμίας και οι νιφάδες ιλύος αποχωρίζονται του νερού και καθιζάνουν προς τον πυθμένα της δεξαμενής. Στο θάλαμο ανάμιξης λαμβάνει χώρα σε συνθήκες ήπιας ανάδευσης με τα εξής κριτήρια σχεδιασμού:

- Απαιτούμενος χρόνος παραμονής = 10 – 25 min
- Απαιτούμενη κλίση ταχύτητας ανάδευσης = $10 - 100 \text{ s}^{-1}$

Ο απαιτούμενος όγκος του θαλάμου κροκίδωσης υπολογίστηκε ως:

$$V = Q_{\text{max}} \cdot t \rightarrow V = 290 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 12 \text{ min} \rightarrow V = 2,4 \text{ m}^3$$

Συνεπώς, ο θάλαμος κροκίδωσης των δύο διαμερισμάτων έχει τις εξής διαστάσεις:

- Μήκος = 1,27
- Πλάτος = 1,88
- Βάθος = 1,01

Για την αποτελεσματική διασπορά του κροκιδωτικού, απαιτείται η βραδεία ανάμιξή του με τα λύματα, η οποία εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση αναδευτήρα κάθετου άξονα με προπέλλα. Βάσει της απαιτούμενης κλίσης ταχύτητας ανάδευσης, η απορροφούμενη ισχύς του αναδευτήρα είναι:

$$G = \left(\frac{P}{\mu \cdot V} \right)^{1/2} \rightarrow P = \mu V G^2 \rightarrow P = 1,307 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \cdot 4,2 \text{ m}^2 = 384,2 \text{ W}$$

όπου: P = απορροφούμενη ισχύς αναδευτήρα (W)

- G = κλίση ταχύτητας ανάδευσης, (70 s^{-1})
- μ = συνεκτικότητα νερού, $1,307 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} (@10^\circ\text{C})$
- V = όγκος θαλάμου κροκίδωσης (m^3)

Έτσι, επιλέχθηκαν δύο (2) αναδευτήρες, μοναδιαίας απορροφούμενης ισχύος 0,4 kW.



Θεωρώντας ΕΦ ίση με $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$, η επιφάνεια της διάταξης καθίζησης υπολογίστηκε ως εξής:

$$A = \frac{Q_{\max}}{E\Phi} \rightarrow A = \frac{290 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 1/24 \text{ d/h}}{5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}} \rightarrow A \cong 2,4 \text{ m}^2$$

Επιλέγοντας πλάτος της δεξαμενής ίσο με $2,4 \text{ m}$, τότε το μήκος της της διάταξης καθίζησης ανέρχεται σε:

$$L_{\text{tank}} = \frac{A_{\text{tank}}}{W_{\text{tank}}} \rightarrow L_{\text{tank}} = \frac{2,4 \text{ m}^2}{2,4 \text{ m}} = 1 \text{ m}$$

Ο ελάχιστος χρόνος παραμονής της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες προκύπτει ως εξής:

$$t = \frac{V}{Q_{\max}} \rightarrow t = \frac{3,045 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m}}{290 \text{ m}^3/\text{d}} = 36 \text{ min}$$

Το κάθετο ύψος των λαμελλών είναι 1 m και η τοποθέτησή τους γίνεται με κλίση 60° ώστε το έκαστο στοιχείο να έχει μήκος $1,155 \text{ m}$. Το νερό το οποίο διανέμεται από την κροκίδωση εισέρχεται στις γραμμές καθίζησης με χαμηλές ταχύτητες. Ανάντη των λαμελλών τοποθετείται πλαστικό πέτασμα καθοδήγησης της ροής του νερού ώστε αυτό να διέλθει μέσα από τα μπλοκ των λαμελλών με κατ'αντιρροή. Η φορά αυτή του νερού ευνοεί την πρόσκρουση των κροκίδων στα μπλοκ των λαμελλών και την συνεπακόλουθη κατακρήμνιση και καθίζησή τους. Το επεξεργασμένο απόβλητο συγκεντρώνεται σε ένα υπερχειλιστή και μεταβαίνει προς τα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Η ιλύς η οποία διαχωρίζεται εντός των λαμελλών, ολισθαίνει προς τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης και συγκεντρώνεται από ένα σύστημα συλλογής ιλύος. Για την καλύτερη απόδοση της δεξαμενής είναι σημαντικό να υπάρχει αρκετό βάθος νερού. Για το λόγο αυτό η δεξαμενή διαθέτει ωφέλιμο βάθος 3 m . Το συνολικό ύψος της δεξαμενής καθίζησης είναι στα $3,045 \text{ m}$. Γνωρίζοντας την επιφάνεια της δεξαμενής ($2,4 \text{ m}^2$) και το κάθετο ύψος το μπλόκ λαμελλών (1 m), ο όγκος της δεξαμενής προκύπτει ίσο με $2,4 \text{ m}^3$.

Η ταχύτητα ροής εντός των λαμελλών προκύπτει από την εξίσωση:

$$V_\theta = \frac{E\Phi}{A \cdot \sin\theta} \rightarrow v_\theta = \frac{5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}}{2,4 \cdot \sin 60} = 4,8 \text{ m/h}$$

Έστω, ότι η υδραυλική διάμετρος, D , ισούται με $0,045 \text{ m}$. Η υδραυλική ακτίνα, R_h , υπολογίζεται ίση με $D = 4R \rightarrow R = D/4 = 0,011 \text{ m}$. Ο αριθμός Reynolds ανέρχεται ως εξής:

$$N_R = \frac{v_\theta \cdot R_h}{\mu} = \frac{1,33 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,011 \text{ m}}{1,23 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 12$$

Ο αριθμός Reynolds θα πρέπει να είναι κάτω από 800 (Lahnsteiner, 2020).

Ο αριθμός Froude ανέρχεται ως εξής:

$$Fr = \frac{v_\theta^2}{g \cdot R_h} = \frac{(1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m/s})^2}{9,86 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,011 \text{ m}} = 2,07 \cdot 10^2$$



Η στρωτή ροή δεν επιτυγχάνεται αμέσως όταν το νερό εισέρχεται στους σωλήνες αλλά μετά από το μήκος μετάβασης L_t που δίνεται από τον τύπο Schiller (Twort et al., 2000):

$$L_t = 0,0288 \cdot N_R \cdot D \rightarrow L_t = 0,0288 \cdot 12 \cdot 0,045 \text{ m} = 0,016 \text{ m}$$

Όπου:

- L_t = μήκος μετάβασης
- N_R = αριθμός Reynolds ιδανικά πρέπει να είναι μικρότερος από 280 (Lahnsteiner, 2020)
- D = υδραυλική διάμετρος, m

Το μήκος στο οποίο λαμβάνει χώρα η καθίζηση δίνεται από την εξίσωση (Lahnsteiner, 2020) :

$$L_s = L - L_t$$

όπου:

- L = συνολικό μήκος σωλήνα
- L_s = μήκος καθίζησης σωλήνα

Το μήκος της λαμέλλας L επιλέγεται ίσο με 1,155 m. Συνεπώς, το ύψος καθίζησης του σωλήνα ανέρχεται ως εξής:

$$L_s = L - L_t = 1,155 \text{ m} - 0,016 \text{ m} = 1,14 \text{ m}$$

Σύμφωνα με τους Committee et al. 1999 και Lahnsteiner 2020 η απόδοση των δεξαμενών καθίζησης με λαμέλλες βελτιώνεται σημαντικά με τιμές L/D από 20 έως 40 πάνω από 20 Έτσι, λοιπόν για L ίσο με 1,155 m και D ίσο με 0,017, ο λόγος L_s/D είναι ίσο με 26.

Η καθίζηση πραγματοποιείται στο μήκος που έπεται του μήκους μετάβασης και τα καθιζάνοντα σωματίδια διατηρούν όλα τα σωματίδια με ταχύτητα καθίζησης μικρότερη από (Lahnsteiner, 2020):

$$V_s = \frac{V_\theta \cdot k}{\sin\theta + [L_s/d \cos\theta]}$$

Όπου

- V_θ = ταχύτητα καθίζησης, m/h
- V_θ = ταχύτητα ροής στις λαμέλλες, m/h
- k = σταθερά (1,33 εξαγωνικούς σωλήνες (Lahnsteiner, 2020))
- d = υδραυλική ακτίνα, m

$$V_s = \frac{V_\theta \cdot k}{\sin\theta + [L_s/d \cdot \cos\theta]} \rightarrow V_s = \frac{4,8 \text{ m/h} \cdot 1,33}{\sin 60 + [1,14/0,045 \cdot \cos 60^\circ]} = 0,5 \text{ m/h}$$

Η μέγιστη ποσότητα της ιλύος από την καθίζηση με λαμέλλες δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$P = Q_{\max} \cdot TSS \cdot R \cdot 10^{-5}$$



Όπου:

- P = η ποσότητα της ιλύος (kg/d)
- Q_{\max} = η μέγιστη παροχή στις λαμέλλες (m^3/d)
- TSS = μέση συγκέντρωση των TSS των εισερχόμενων λυμάτων στη δεξαμενή (mg/L)

R = ποσοστό απομάκρυνσης στερεών (%), 40 % (Lahnsteiner, 2020)

$$P = Q_{\max} \cdot SS \cdot R \cdot 10^{-5} \rightarrow P = 290 \text{ m}^3/d \cdot 900 \text{ mg/L} \cdot 0,4 \cdot 10^{-5} \rightarrow P = 10 \text{ kg/d}$$

Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των μπλόκ λαμελλών είναι πολυπροπυλένιο με σταθεροποιητή προστασίας από την ηλιακή ακτινοβολία. Τα χαρακτηριστικά των μπλόκ λαμελλών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4:

Πίνακας 5.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά μπλόκ λαμελλών (module).

Παράμετρος	Τιμή
Κάθετο ύψος στοιχείου (module)	1 m
Πλάτος στοιχείου (module)	1 m
Μήκος στοιχείου (module)	1 m
Πάχος λαμέλλας:	1 mm
Υδραυλική διάμετρος	45 mm \pm 1 mm
Ειδική επιφάνεια	11 m ²
Υδραυλική ακτίνα	1,1 cm
Κλίση	60°

Στην Σχήμα 5.4 παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες.



β)



Σχήμα 5.4: Φωτογραφία της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από το εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών του Πολυτεχνείου Κρήτης στην ΕΕΛ Μάρπησσας β) σχηματική απεικόνιση της δεξαμενής κατά τον σχεδιασμό.

5.2.1.5 Λειτουργικό διάγραμμα ροής της πιλοτικής διάταξης

Η πιλοτική διάταξη δέχεται στην είσοδο όλη την παροχή της ΕΕΛ Μάρπησσας. Τα λύματα μετά την προεπεξεργασία τους καταλήγουν με άντληση στη μονάδα μικροκοσκίνισης. Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα παράκαμψης του συστήματος με χρήση χειροκίνητων βανών απομόνωσης. Η διάταξη δε έχει δικό της παροχόμετρο, και λαμβάνει όμως σήμα από το παροχόμετρο εισόδου που θα εγκατασταθεί στην ΕΕΛ Μάρπησσας. Το σύνολο της παροχής διέρχεται από το μικροκόσκινο, το οποίο διαθέτει υπερχειλίση, για την περίπτωση αυξημένης παροχής ή παροχής ιδιαίτερα βεβαρημένης σε αιωρούμενα στερεά, τα οποία θα φράζουν το ταινιόφιλτρο. Επίσης, το μικροκόσκινο διαθέτει σύστημα μέτρησης στάθμης στον θάλαμο αρχικής φόρτισης. Έτσι, ένας αναλογικός αισθητήρας στάθμης, ο οποίος, σε προκαθορισμένο ύψος αποβλήτων στον θάλαμο φόρτισης, ξεκινάει την λειτουργία του μικροκόσκινου και ο ρυθμός περιστροφής του ιμάντα διήθησης αυξάνεται καθώς ανεβαίνει η στάθμη στο θάλαμο αρχικής φόρτισης. Επιπλέον, η κλίση του ταινιόφιλτρου εντός του μικροκόσκινου μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα με ειδικό ηλεκτρικό μηχανισμό. Η απομάκρυνση του διηθήματος (PSS) γίνεται με ψεκασμό αέρα και επικουρικά με ψεκασμό με νερό με τη χρήση ηλεκτροβάνας. Το σύστημα ψεκασμού αέρα λειτουργεί κατά την περίοδο κύλισης του ιμάντα διήθησης. Η εκκίνηση του ψεκασμού αέρα θα γίνεται συνεχώς με την έναρξη κύλισης του ιμάντα. Ο μεταφορικός κοχλίας ξεκινάει παράλληλα με την έναρξη του ταινιόφιλτρου. Τα στραγγίδια που προέρχονται από τον μεταφορικό κοχλία, καθώς και τα υπολείμματα νερού και αέρα από τον καθαρισμό του ιμάντα διήθησης μεταφέρονται στο κανάλι άντλησης των αποβλήτων προς το μικροκόσκινο. Ωστόσο, κατά τη διακοπή λειτουργίας του μικροκόσκινου πραγματοποιείται με προγραμματισμό ένας κύκλος πλύσης του ιμάντα διήθησης με νερό και αέρα.

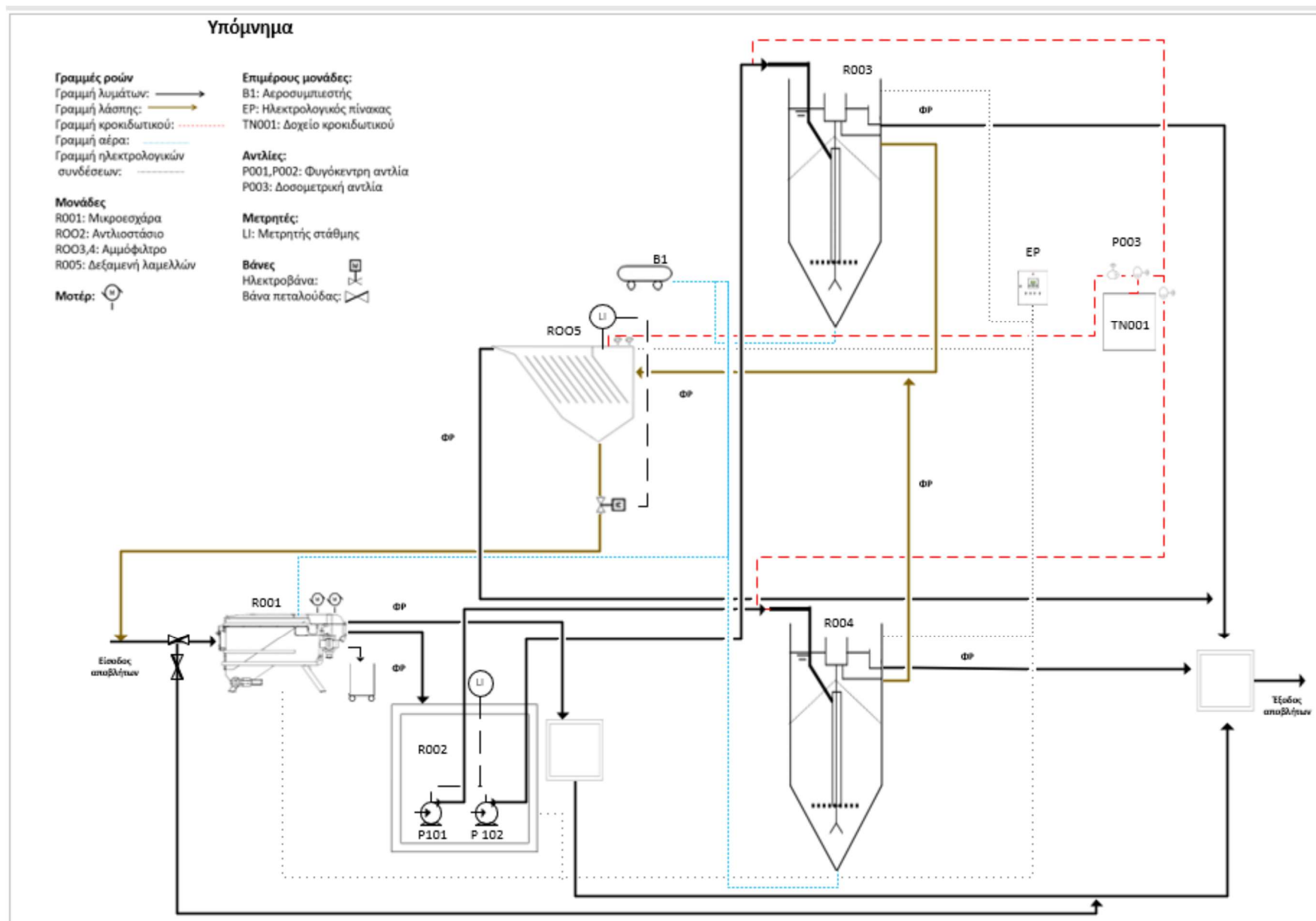
Το διήθημα ρέει βαρυτικά προς υπόγειο αντλιοστάσιο, στο οποίο μετράται η στάθμη με χρήση σταθμήμετρου με υπερήχους. Από το αντλιοστάσιο, τα λύματα αντλούνται με χρήση δύο αντλιών υγρού θαλάμου ελεγχόμενες από inverter, προς το κάθε φίλτρο. Η παροχή των αντλιών ρυθμίζεται ανάλογα με τη στάθμη των λυμάτων εντός του αντλιοστασίου, ώστε αναλόγως να τροφοδοτείται το ένα ή και τα δύο αμμόφιλτρα. Η παροχή προς τα αμμόφιλτρα θα γίνεται εναλλάξ, κατά τις περιόδους που δε θα υπάρχει αρκετή ροή για να τροφοδοτήσει και τα δύο αμμόφιλτρα ταυτόχρονα. Επιπλέον, για λόγους ασφαλείας τοποθετήθηκαν κατάλληλοι φλοτεροδιακόπτες για τη διακοπή λειτουργίας των αντλιών οι οποίοι τις προστατεύουν από λειτουργία εν ξηρώ. Τα λύματα εισέρχονται στο κάτω μέρος της κλίνης άμμου και ακολουθούν ανοδική πορεία δια μέσω της κλίνης, για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Ακολουθώντας υπερχειλίζουν προς ένα φρεάτιο και καταλήγουν στη δεξαμενή αερισμού της ΕΕΛ. Κατά τη διάρκεια παροχής λυμάτων, τα αμμόφιλτρα τροφοδοτούνται συνεχώς με αέρα (στο κάτω μέρος του κώνου), ώστε να επιτυγχάνεται σταδιακή ανύψωση της άμμου, η οποία υφίσταται καθαρισμό σε ειδική στατική διάταξη στο άνω μέρος του φίλτρου, όπου διαχωρίζονται τα στερεά και σχηματίζουν το ρεύμα συμπυκνώματος, το οποίο ρέει βαρυτικά προς την δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες, για περαιτέρω συμπύκνωση. Παράλληλα, και κατά αναλογία ως προς την παροχή κάθε φίλτρου, δοσομετράται ποσότητα κροκιδωτικού (σε περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητο). Ωστόσο, με σκοπό τη μη διακοπτόμενη λειτουργία των φίλτρων, πραγματοποιείται, με τη χρήση ηλεκτροβάνας, επιστροφή μέρους των διαβιβασθέντων υγρών στο αντλιοστάσιο στο οποίο συγκεντρώνεται η έξοδος του μικροκόσκινου. Τα αμμόφιλτρα φέρουν, κοντά στον πυθμένα, ακροφύσια αέρια ώστε η άμμος να ρευστοποιείται σε περίπτωση που πακτωθεί. Η εκκίνηση και η διακοπή των αντλιών τροφοδοσίας των αμμόφιλτρων καθώς και η λειτουργία της ηλεκτροβάνας καθορίζεται από τους μετρητές στάθμης στο αντλιοστάσιο εξόδου του μικροκόσκινου.

Στην είσοδο της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες υπάρχει παροχόμετρο ηλεκτρομαγνητικού τύπου για τη μέτρηση παροχής συμπυκνώματος των αμμόφιλτρων. Η διάταξη καθίζησης με λαμέλλες είναι χωρισμένη σε δύο μέρη: Στο θάλαμο ανάδευσης, ρέει το συμπύκνωμα των αμμόφιλτρων και προστίθεται κροκιδωτικό με χρήση δύο δοσομετρικών αντλιών για τη συσσωμάτωση των αιωρούμενων. Μετά το θάλαμο ανάδευσης το υγρό υπερχειλίζει στο θάλαμο καθίζησης, όπου με τη βοήθεια λαμελλών διαχωρίζεται το διαυγές και οδεύει βαρυτικά σε φρεάτιο και ακολουθώντας στη



δεξαμενή αερισμού της ΕΕΛ. Η παραγόμενη ιλύς ρέει βαρυτικά προς την είσοδο της προεπεξεργασίας της ΕΕΛ με χρήση ηλεκτροβάνας η οποία εκκινείται από σταθμήμετρο ιλύος τοποθετημένο στο άνω μέρος του θαλάμου καθίζησης. Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται το λειτουργικό διάγραμμα ροής (P&I) της πιλοτικής διάταξης, το οποίο σχεδιάστηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης.





Σχήμα 5.5: Λειτουργικό διάγραμμα ροής (P&I) των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην ΕΕΛ Μάρπησας.



5.2.1.6 Γενικές αρχές σχεδιασμού του συστήματος αυτοματισμού

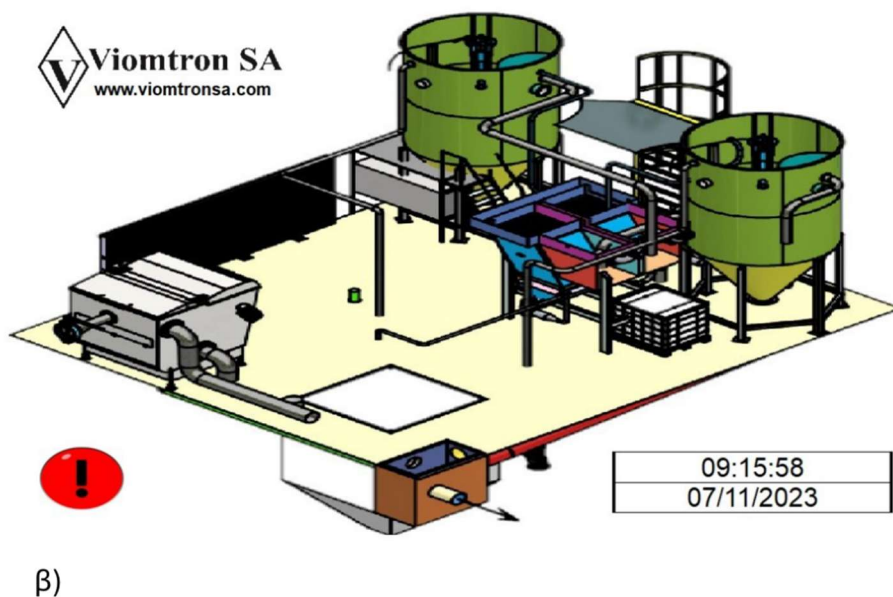
Οι στόχοι του συστήματος αυτοματισμού και ελέγχου περιλαμβάνουν τη διαχείριση όλων των ψηφιακών και αναλογικών σημάτων μέτρησης και ελέγχου, την εκτέλεση αλγορίθμων ελέγχου, την αυτόματη λειτουργία των μονάδων υπό κανονικές συνθήκες, την υποστήριξη του χειριστή ώστε να έχει πλήρη και συνεχή έλεγχο των συστημάτων και να μπορεί να παρεμβαίνει κεντρικά ή τοπικά στη ρύθμιση της διαδικασίας και της λειτουργίας κάθε μονάδας. Στη μονάδα τοποθετήθηκαν τα απαραίτητα όργανα ελέγχου (Πίνακας 5.5), που επιτηρούν πλήρως τις διεργασίες επεξεργασίας των λυμάτων.

Πίνακας 5.5: Όργανα μέτρησης πιλοτικής μονάδας.

Όργανο μέτρησης	Θέση
Μετρητής στάθμης με υπερήχους	Αντλιοστάσιο ανύψωσης προς αμμόφιλτρα
Μέτρηση παροχής συμπυκνώματος	Στην είσοδο της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες
Μέτρηση στάθμης	Μικροκόσκινο
Μετρητής στάθμης ιλύος	Δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες

5.2.1.7 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση

Η ΕΕΛ Μάρπησσας διαθέτει ολοκληρωμένη ηλεκτρολογική εγκατάσταση ισχυρών και ασθενών ρευμάτων, με υποσταθμό διανομής και κεντρικό σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου, που εξυπηρετεί τις υφιστάμενες μονάδες λειτουργίας. Για την πλήρη λειτουργία του εξοπλισμού που εγκαταστάθηκε απαιτήθηκε η προμήθεια και εγκατάσταση ενός πλήρους κεντρικού ηλεκτρολογικού πίνακα σύμφωνου προς τις απαιτήσεις του προς εγκατάσταση εξοπλισμού καθώς και όλων των απαιτούμενων ηλεκτρολογικών εργασιών σύνδεσης των μονάδων με τον κεντρικό πίνακα. Στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζεται ο ηλεκτρολογικός πίνακας και το PLC της πιλοτικής μονάδας.



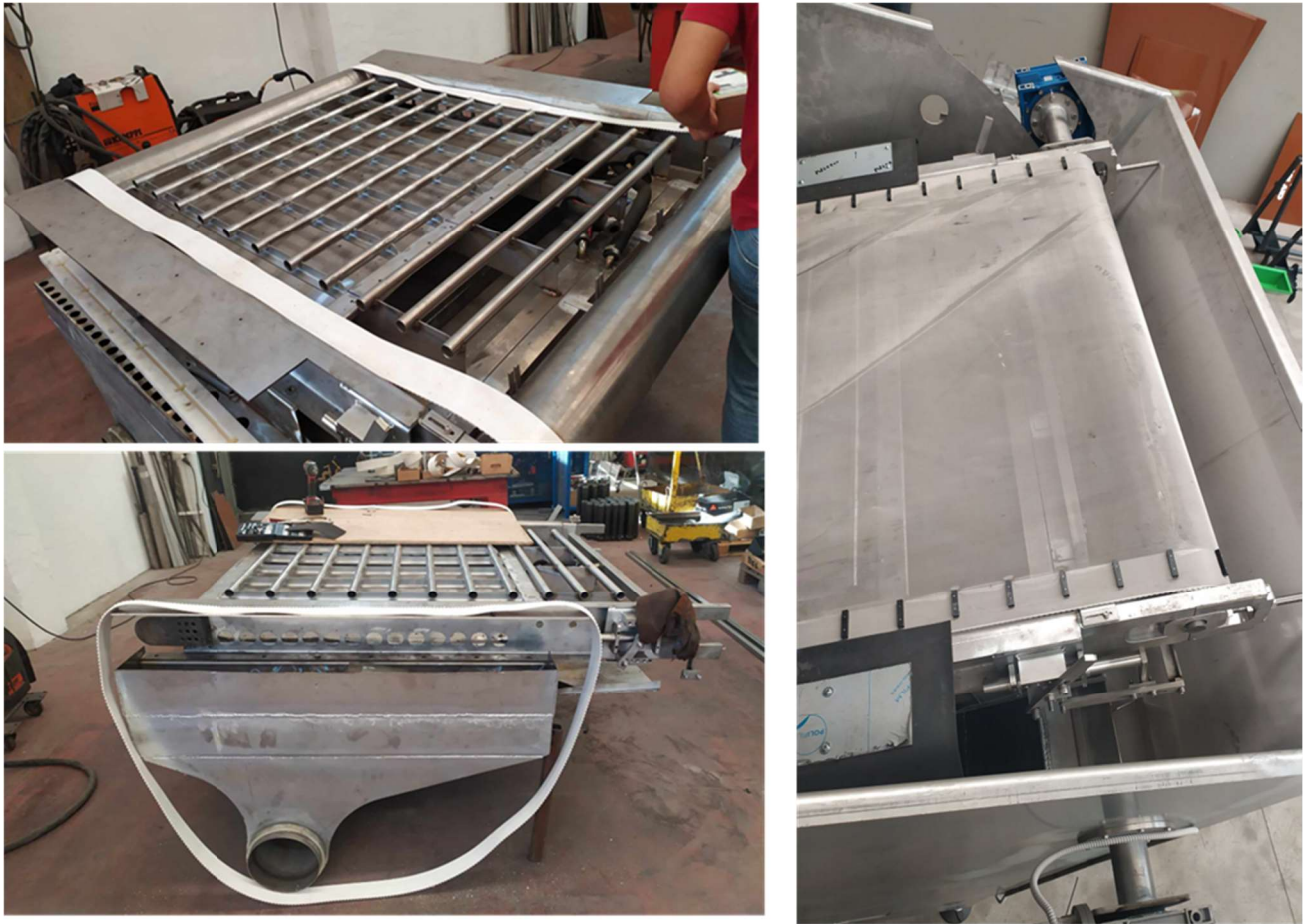
Σχήμα 5.6: α) Ηλεκτρολογικός πίνακας πιλοτικής μονάδας, β) αρχική οθόνη στο PLC που απεικονίζεται η πιλοτική μονάδα.



5.2.2 Κατασκευή και εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Μάρπησσας

Ο υποψήφιος διδάκτορας συνεργάστηκε με το συνεργαζόμενο μηχανουργείο προσφέροντας οδηγίες και επιστημονική υποστήριξη σε όλη τη διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής και εγκατάστασης του νέου εξοπλισμού στην ΕΕΛ Μάρπησσας. Στο Σχήμα 5.7 απεικονίζονται φωτογραφίες κατά την κατασκευή του μικροκόσκινου στο μηχανουργείο.





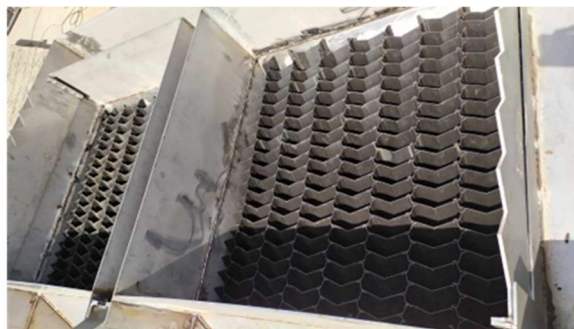
Σχήμα 5.7: Φωτογραφίες κατά την κατασκευή του μικροκόσκινου.

Στο Σχήμα 5.8 απεικονίζονται φωτογραφίες κατά την κατασκευή του CBUMF στο μηχανουργείο.



Σχήμα 5.8: Φωτογραφίες κατά την κατασκευή του CBUMF.

Στο Σχήμα 5.9 απεικονίζονται φωτογραφίες κατά την κατασκευή της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες στο μηχανουργείο.



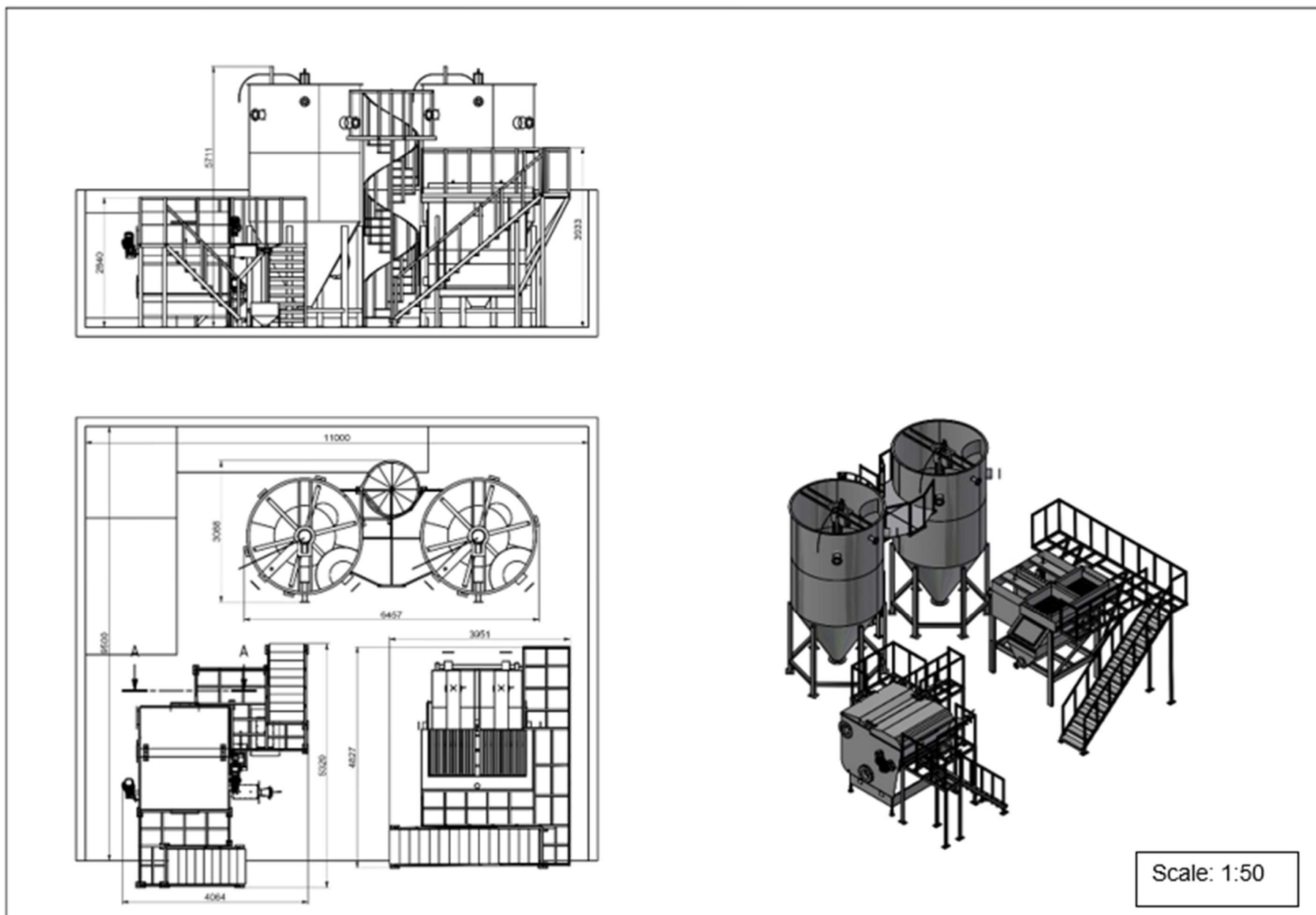
Σχήμα 5.9: Φωτογραφίες κατά την κατασκευή της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες.

Ο εξοπλισμός της πιλοτικής μονάδας εγκαταστάθηκε σε υφιστάμενο οικόπεδο της ΕΕΛ Μάρπησσας. Η τελική όψη της πιλοτικής μονάδας απεικονίζεται στο Σχήμα 5.10.



Σχήμα 5.10: Τελική άποψη πιλοτικού συστήματος.

Στο σχήμα 5.11 παρουσιάζεται η κάτοψη του πιλοτικού συστήματος στην ΕΕΛ Μάρπησσας.



Σχήμα 5.11: Κάτοψη πιλοτικού συστήματος στην ΕΕΛ Μάρπησσας.

5.3 Διαστασιολόγηση, κατασκευή και εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας

5.3.1 Διαστασιολόγηση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας

5.3.1.1 Μικροκόσκινο

Τα λύματα εισέρχονται στο μικροκόσκινο με φυσική ροή από το σύστημα compact προεπεξεργασίας της μονάδας. Το μικροκόσκινο λειτουργεί αυτόματα σε 24ωρη βάση, φέρει σύστημα διαχωρισμού του διηθημένου αποβλήτου. Η διαστασιολόγηση του μικροκόσκινου έγινε για την ικανοποίηση των κριτηρίων του Πίνακα 5.7. Τα κριτήρια σχεδιασμού, σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής του Πολυτεχνείου Κρήτης, του μικροκόσκινου είναι τα ακόλουθα:

- Μέση ημερήσια παροχή αποβλήτων προς επεξεργασία = 600 m³/d
- Μέγιστη ημερήσια παροχή αποβλήτων προς επεξεργασία = 1.800 m³/d
- Απόδοση ως προς την απομάκρυνση TSS σε ανεπεξέργαστα λύματα, άνω του 30%, σε σχέση και με την ποιότητα των υγρών αποβλήτων
- Απόδοση ως προς την απομάκρυνση του BOD₅ (σε ανεπεξέργαστα λύματα, άνω του 20%, σε σχέση και με την ποιότητα υγρών αποβλήτων
- Περιεκτικότητα παραγόμενης ιλύος σε στερεά, άνω του 15% (αναλόγως της φύσης των υγρών αποβλήτων)

Το μικροκόσκινο που εγκαταστάθηκε στην ΕΕΛ Κυπερούντας προμηθεύτηκε από την εταιρεία FILCO, η οποία εδρεύει στη Δανία. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μικροκόσκινου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6:

Πίνακας 5.6: Χαρακτηριστικά μικροκόσκινου.

Παράμετρος	Τιμή
Υλικό κατασκευής	Ανοξείδωτος χάλυβας ASI 304
Μέγιστη εισερχόμενη παροχή	1.800 m ³ /d
Μέση εισερχόμενη παροχή	600 m ³ /d
Τανιόφιλτρο	Ανοξείδωτο πλέγμα 250 μm
Διαστάσεις	Μήκος: 2,105 m Πλάτος: 1,010 m Ύψος: 0,8042 m
Κινητήρες	Ισχύ ηλεκτροκινητήρα κίνησης ταινίας: 0,25 kW Ισχύ ηλεκτροκινητήρα κοχλίας συμπίεσης: 0,75 kW

Υλικά κατασκευής

Το μικροκόσκινο είναι κατασκευασμένο κατά το μεγαλύτερο μέρος από ανοξείδωτο χάλυβα ASI 304. Ο ιμάντας του μικροκόσκινου είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτη μεταλλική σίτα AISI 316 με διάμετρο πόρων 250 μm. Όλα τα εξαρτήματα, συμπεριλαμβανομένων των κοχλίων σύνδεσης κλπ (μπουλόνια, ροδέλες, παξιμάδια κ.λπ.) είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα ASI 304.

Τροφοδοσία, λειτουργία και εκροή των διαυγών

Η τροφοδοσία του μικροκόσκινου γίνεται με φυσική ροή από το υφιστάμενο compact σύστημα προεπεξεργασίας, το οποίο τροφοδοτείται με αντλίες από το τελευταίο αντλιοστάσιο πριν τον σταθμό επεξεργασίας λυμάτων. Τα λύματα εισέρχονται από φλαντζωτή οπή διαμέτρου Φ 200. Τα λύματα αρχικά εισέρχονται σε θάλαμο φόρτισης από όπου ρέουν στον ιμάντα διήθησης. Ο θάλαμος φόρτισης φέρει σταθμήμετρο και οπή υπερχείλισης διαμέτρου ίδιας με αυτή της οπής εισόδου. Το μικροκόσκινο εκκινείται αυτόματα με την εκκίνηση των αντλιών τροφοδοσίας, και σταματά αυτόματα λίγα δευτερόλεπτα μετά την παύση λειτουργίας τους.



Τα διηθημένα λύματα (διαυγή) οδεύουν εκτός του μικροκόσκινου δια μέσω φλαντζωτής οπής πλησίον του πυθμένα της. Ο ιμάντας κυλιέται με χρήση ηλεκτροκινητήρα, όσο υπάρχει παροχή στο μικροκόσκινο. Ο ρυθμός κύλισης εξαρτάται από την στάθμη του υγρού στον θάλαμο φόρτισης. Ο σχεδιασμός του μικροκόσκινου είναι τέτοιος ώστε ο ιμάντας διήθησης, μετά την έκπλυσή του να μην έρχεται σε επαφή με το διηθημένο απόβλητο.

Παροχή νερού έκπλυσης

Για την έκπλυση του ιμάντα υπάρχει παροχή βιομηχανικού ύδατος με ελάχιστη πίεση δικτύου 5 bar. Το νερό τροφοδοτείται στο σύστημα υγρής έκπλυσης του μικροκόσκινου (μπεκ ψεκασμού). Η παροχή του νερού έκπλυσης εξαρτάται από την φόρτιση του μικροκόσκινου με λύματα και από τα χαρακτηριστικά των λυμάτων.

Παροχή πεπιεσμένου αέρα

Το μικροκόσκινο είναι επίσης εξοπλισμένο με σύστημα καθαρισμού του ιμάντα με πεπιεσμένο αέρα, ως το κύριο μέσο καθαρισμού του ιμάντα.

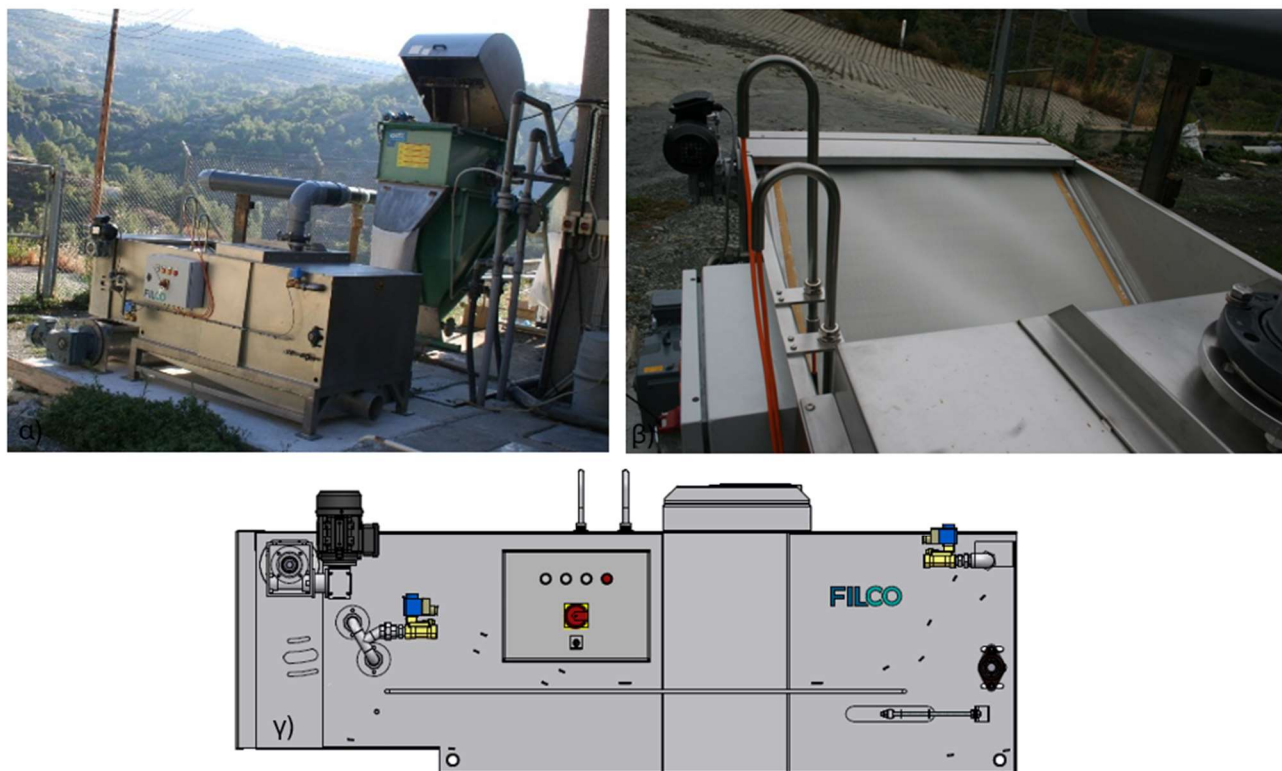
Σύστημα αφυδάτωσης και απομάκρυνσης των PSS

Εξαιτίας της πολυπλοκότητας στην κατασκευή των μικροκόσκινων, το σύστημα μικροκοσκίνισης στην ΕΕΛ Κυπερούντας δεν διέθετε αρχικά σύστημα πάχυνσης και αφυδάτωσης των απομακρυσμένων πρωτοβάθμιων στερεών. Παρόλα αυτά, σχεδιάστηκε ένα ανεξάρτητο σύστημα πάχυνσης και αφυδάτωσης το οποίο ενσωματώθηκε στο μικροκόσκινο της ΕΕΛ Κυπερούντας με σκοπό την προσομοίωση των RBF ως προς την παραγωγή της ποιότητας των βιοστερεών. Παρόλα αυτά, εξαιτίας των υψηλών σχεδιαστικών απαιτήσεων των RBF, το σύστημα αφυδάτωσης του μικροκόσκινου στην ΕΕΛ Κυπερούντας, έχει χαμηλότερη απόδοση ως προς τη περιεκτικότητα των παραγόμενων PSS σε σύγκριση με τα μικροκόσκινα τύπου RBF.

Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

Η καλωδίωση της μονάδας δρομολογείται από τα κουτιά διασταύρωσης - τοποθετημένα στο κύριο σώμα του μηχανήματος - στα σημεία κατανάλωσης ενέργειας. Η σχηματική απεικόνιση του μικροκόσκινου παρουσιάζεται στην Σχήμα 5.12.





Σχήμα 5.12: α) Φωτογραφία μικροκόσκινου στην ΕΕΛ Κυπερούντας, β) φωτογραφία ιμάντα μικροκόσκινου και γ) σχηματική απεικόνιση μικροκόσκινου κατά τον σχεδιασμό.

5.3.1.2 Μονάδα αμμοφίλτρασης

Τα επεξεργασμένα λύματα από την έξοδο του μικροκόσκινου προωθούνται μέσω της υφιστάμενης δεξαμενής εξισορρόπησης στο αμμόφιλτρο. Η μονάδα αμμοφίλτρασης κατασκευάστηκε από την εταιρεία συντήρησης της ΕΕΛ Κυπερούντας στην Κύπρο. Η λειτουργία της μονάδας είναι συνεχής. Η μονάδα αμμοφίλτρασης κατασκευάστηκε από την εταιρεία συντήρησης της ΕΕΛ Κυπερούντας, υπό τις υποδείξεις του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η διαστασιολόγηση της μονάδας έγινε για την ικανοποίηση των παρακάτω κριτηρίων, σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής που εκπονήθηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης:

- Μέγιστη ημερήσια παροχή αποβλήτων, $Q_{\text{average}} = 600 \text{ m}^3/\text{d}$
- Μέγιστη επιφανειακή φόρτιση, $E\Phi = 9 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Παροχή συμπυκνώματος, $Q_{\text{rejected}} = 5\text{-}10\%$ της εισερχόμενης παροχής
- Αριθμός φίλτρων: 1

Η επιφάνεια του αμμόφιλτρου ανέρχεται σε:

$$A = \frac{Q_{\text{max}}}{E\Phi} \rightarrow A = \frac{600 \text{ m}^3/\text{d} \cdot (1/24 \text{ d/h})}{9 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}} \rightarrow A \cong 2,78 \text{ m}^2$$

Η διάμετρος του αμμόφιλτρου, με συντελεστή ασφαλείας 10% ανέρχεται σε:

$$d = 2 \cdot \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5} \rightarrow d = 2 \cdot \left(\frac{2,78 \text{ m}^2}{\pi}\right)^{0,5} \cdot 1,1 \rightarrow d = 2 \text{ m}$$



Έστω ότι το 5% της εισερχόμενης παροχής των αποβλήτων αντιπροσωπεύει την παροχή του συμπυκνώματος, τότε η μέγιστη ωριαία παροχή του συμπυκνώματος του αμμόφιλτρου ανέρχεται σε:

$$Q_{\text{rejected}} = Q_{\text{max}} \cdot 5\% \rightarrow Q_{\text{rejected}} = 600 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 0,05 = 30 \text{ m}^3/\text{d}$$

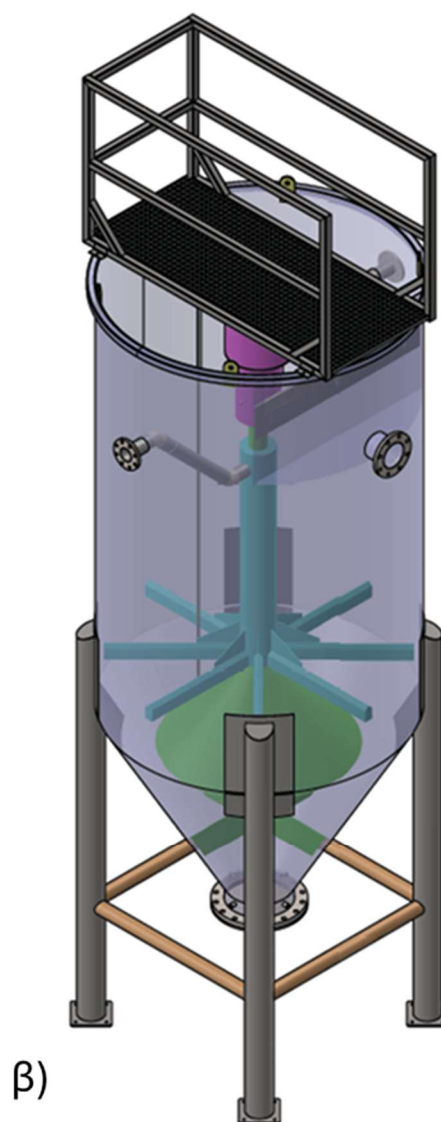
Έστω ότι το 10% της εισερχόμενης παροχής των αποβλήτων αντιπροσωπεύει την παροχή του συμπυκνώματος, τότε η μέγιστη ωριαία παροχή του συμπυκνώματος του αμμόφιλτρου ανέρχεται σε:

$$Q_{\text{rejected}} = Q_{\text{max}} \cdot 10\% \rightarrow Q_{\text{rejected}} = 600 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 0,1 = 60 \text{ m}^3/\text{d}$$

Έτσι, η μέγιστη ωριαία παροχή του συμπυκνώματος του αμμόφιλτρου κυμαίνεται από 30 έως 60 m³/d.

Τα λύματα κατευθύνονται στο κάτω μέρος του αμμόφιλτρου (Σχήμα 5.13), και διανέμονται ομοιόμορφα στο στρώμα της κλίνης άμμου μέσω 6 βραχιόνων διανομής, μιας κωνικής διάταξης κατανομής εισόδου. Τα εισερχόμενα λύματα ακολουθούν ανοδική πορεία μέσω της κλίνης άμμου. Τα επεξεργασμένα λύματα εξέρχονται από το πάνω μέρος του αμμόφιλτρου μέσω θυροφράγματος υπερχείλισης, και οδηγούνται στα επόμενα στάδια επεξεργασίας, ενώ τα αιωρούμενα στερεά παγιδεύονται και συγκρατούνται στην άμμο.





Σχήμα 5.13: α) Φωτογραφία του αμμόφιλτρου στην ΕΕΛ Κυπερούντας β) σχηματική απεικόνιση του αμμόφιλτρου κατά τον σχεδιασμό.

Με χρήση αντλίας ανοδικής ροής αέρα (τζιφάρι) η ακάθαρτη άμμος ανέρχεται στον κεντρικό σωλήνα του φίλτρου, όπου η άμμος διαχωρίζεται από τα στερεά, με χρήση παθητικού συστήματος καθαρισμού σε διάταξη μαιανδρικής ροής. Πάνω από το σημείο παροχής αέρα υπάρχει κωνική διάταξη, για την ομοιόμορφη ροή της άμμου. Τα στερεά απομακρύνονται (ως συμπύκνωμα) από το άνω μέρος της διάταξης έκπλυσης, ενώ η άμμος, έχοντας μεγαλύτερο ειδικό βάρος, καθιζάνει και αναδιανέμεται ομοιόμορφα στην κορυφή της κλίνης. Με αυτό τον τρόπο, η άμμος και τα παγιδευμένα στερεά κινούνται με μικρή ταχύτητα καθοδικά προς τον πυθμένα του φίλτρου. Κατά τη διάρκεια συνεχούς λειτουργίας ότι η κλίνη της άμμου αναδιανέμεται στην κορυφή της κλίνης κατά μέσο όρο 4 έως 8 φορές ανά 24 ώρες. Για τη δυνατότητα καθαρισμού κοντά στον πυθμένα, το φίλτρο είναι εξοπλισμένο στο κωνικό μέρος με ακροφύσια αέρα. Ανάλογα με την εφαρμογή και το είδος των λυμάτων, μπορεί να τροφοδοτηθεί κροκιδωτικό στην κλίνη της άμμου, για να αυξήσει την απόδοση της διήθησης.

Το συμπύκνωμα από το αμμόφιλτρο οδηγείται για περαιτέρω συμπύκνωση σε διάταξη καθίζησης με λαμέλλες, ενώ τα διηθημένα λύματα οδηγούνται με φυσική ροή στη δεξαμενή αερισμού για βιολογική επεξεργασία, μέσω της υφιστάμενης δεξαμενής επιλογής.

Για τη παροχή πεπιεσμένου αέρα στο αμμόφιλτρο χρησιμοποιείται εμβολοφόρος φυσητήρας ο οποίος παροχετεύει κατάλληλη ποσότητα αέρα για την ανακύκλωση της άμμου. Το αμμόφιλτρο είναι



γεμάτο μέχρι περίπου το ήμισυ του ύψους του με χαλαζιακή άμμο, κοκκομετρίας 1-2 mm, με συντελεστή ομοιομορφίας 1,2-1,8 mm.

Ο αγωγός εισόδου έχει διάμετρο Φ 80 και να είναι κατασκευασμένος από PVC-U, PN 10, ενώ οι αγωγοί εξόδου του διηθήματος και του συμπυκνώματος έχουν διάμετρο Φ 120, PN 10 και Φ 80, PN 10, αντίστοιχα, κατασκευασμένοι από PVC-U.

Στη μονάδα αμμοφίλτρασης προστίθεται, με χρήση δοσομετρικής αντλίας διάλυμα PAC, στην κατάλληλη αναλογία, για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του φίλτρου. Η παροχή της δοσομετρικής αντλίας να είναι ρυθμιζόμενη.

Το αμμόφιλτρο είναι κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 πάχους 3 mm. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας αμμοφίλτρασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7, σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής που εκπονήθηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης:

Πίνακας 5.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας αμμοφίλτρασης.

Παράμετροι	Μονάδα	Μονάδες μέτρησης
Παροχή σχεδιασμού (μέγιστη)	600	m ³ /d
Επιφανειακή φόρτιση σχεδιασμού (μέγιστη)	9	m ³ /m ² h
Αριθμός φίλτρων	1	-
Επιφάνεια φίλτρου	2,78	m ²
Διάμετρος φίλτρου	2,0	m
Ύψος φίλτρου	6,4	m
Απαιτούμενη ποσότητα άμμου	24	t
Εύρος παροχής συμπυκνώματος	30-60	m ³ /d
Σύστημα παροχής αέρα		-
Τύπος αεροσυμπιεστή	Εμβολοφόρος	-
Αεροφυλάκιο	200	L
Αναρρόφηση	400	L/min
Χαρακτηριστικά άμμου		-
Τύπος άμμου	Πυριτική άμμος	-
Κοκκομετρία άμμου	1-2	mm
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,2-1,8	mm

5.3.1.3. Διαστασιολόγηση δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες

Η δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες δέχεται το συμπύκνωμα από το αμμόφιλτρο με αγωγό ονομαστικής διαμέτρου Φ 65, από PVC-U, PN 10. Το συμπύκνωμα του αμμόφιλτρου συγκεντρώνεται σε πλαστική δεξαμενή 1,5 m³, όπου αντλείται προς τη δεξαμενή καθίζησης με τη βοήθεια κατάλληλης αντλίας ελικοειδούς άξονα (monorump). Το υπερκείμενο ρέει βαρυτικά προς την υφιστάμενη δεξαμενή επιλογής και ακολούθως προς την δεξαμενή αερισμού με αγωγό ονομαστικής διαμέτρου Φ65, από PVC-u, PN 10, ενώ η παραγόμενη ιλύς εξέρχεται από τον πυθμένα της δεξαμενής και οδεύει βαρυτικά προς το αντλιοστάσιο εισόδου, με αγωγό ονομαστικής διαμέτρου Φ65, από PVC-u, PN 10. Η εκκένωση της ιλύος γίνεται με σύστημα ηλεκτροβάνας που ελέγχεται με σύστημα μέτρησης της στάθμης ιλύος. Η δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες κατασκευάστηκε από την εταιρεία συντήρησης της ΕΕΛ Κυπερούντας, υπό τις υποδείξεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Το υλικό κατασκευής της δεξαμενής με λαμέλλες είναι ανοξείδωτος χάλυβας AISI 304. Η είσοδος των αποβλήτων γίνεται αρχικά σε αναδευόμενη δεξαμενή, στην οποία προστίθεται ποσότητα κροκιδωτικού, σε περιπτώσεις που απαιτείται. Ακολούθως, το υγρό εισέρχεται στον θάλαμο των λαμελλών με ανοδική φορά, ενώ η παραγόμενη ιλύς ολισθαίνει προς τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης και συγκεντρώνεται σε θάλαμο συλλογής ιλύος. Οι λαμέλλες έχουν κλίση 60°, ως προς την οριζόντιο, και είναι κατασκευασμένες από πολυπροπυλένιο με σταθεροποιητή προστασίας



από την ηλιακή ακτινοβολία. Η διαστασιολόγηση της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες έγινε για την ικανοποίηση των παρακάτω κριτηρίων, σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής που εκπονήθηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης:

- Μέγιστη συνολική παροχή στη διάταξη των λαμελλών, $Q_{\max} = 3,5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Επιφανειακή φόρτιση (για μέγιστη παροχή), $E\Phi = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Ο αριθμός Reynolds εντός των λαμελλών δεν πρέπει να υπερβαίνει το 800, για εξασφάλιση συνθηκών γραμμικής ροής.
- Πλάτος δεξαμενής, $w_{\text{tank}} = 1 \text{ m}$

Στο θάλαμο ανάμιξης λαμβάνει χώρα σε συνθήκες ήπιας ανάδευσης με τα εξής κριτήρια σχεδιασμού:

- Απαιτούμενος χρόνος παραμονής = 10 - 25 min
- Απαιτούμενη κλίση ταχύτητας ανάδευσης = $10 - 100 \text{ s}^{-1}$

Ο απαιτούμενος όγκος του θαλάμου κροκίδωσης υπολογίζεται ως:

$$V = Q_{\max} \cdot t \rightarrow V = 3,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 12 \text{ min} \rightarrow V = 0,7 \text{ m}^3$$

Συνεπώς, ο θάλαμος κροκίδωσης των δύο διαμερισμάτων προβλέπεται να έχεις τις εξής διαστάσεις:

- Μήκος = 0,7
- Πλάτος = 1,0
- Βάθος = 1,0

Για την αποτελεσματική διασπορά του πρόσθετου κροκιδωτικού, απαιτείται η βραδεία ανάμιξή του με τα λύματα, η οποία εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση αναδευτήρα κάθετου άξονα με προπέλλα.

Βάσει της απαιτούμενης κλίσης ταχύτητας ανάδευσης, η απορροφούμενη ισχύς του αναδευτήρα είναι:

$$G = \left(\frac{P}{\mu \cdot V} \right)^{1/2} \rightarrow P = \mu V G^2 \rightarrow P = 1,307 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \cdot 0,7 \text{ m}^2 \cdot 70 \text{ s}^{-1} = 64 \text{ W}$$

όπου:

- P = απορροφούμενη ισχύς αναδευτήρα (W)
- G = κλίσης ταχύτητας ανάδευσης, (70 s^{-1})
- μ = συνεκτικότητα νερού, $1,307 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} (@10^\circ\text{C})$
- V = όγκος θαλάμου κροκίδωσης (m^3)

Επιλέχθηκαν δύο (2) αναδευτήρες, μοναδιαίας απορροφούμενης ισχύος 0,2 kW.

Θεωρώντας $E\Phi$ ίση με $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$, η επιφάνεια της διάταξης καθίζησης υπολογίζεται ως εξής:

$$A = \frac{Q_{\max}}{E\Phi} \rightarrow A = \frac{84 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 1/24 \text{ d/h}}{3,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}} \rightarrow A \cong 1 \text{ m}^2$$

Επιλέγοντας πλάτος της δεξαμενής ίσο με 2,4 m, τότε το μήκος της της διάταξης καθίζησης ανέρχεται σε:

$$L_{\text{tank}} = \frac{A_{\text{tank}}}{W_{\text{tank}}} \rightarrow L_{\text{tank}} = \frac{1 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 1 \text{ m}$$



Ο ελάχιστος χρόνος παραμονής της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες προκύπτει ως εξής:

$$t = \frac{V}{Q_{\max}} \rightarrow t = \frac{2,8 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}}{84 \text{ m}^3/\text{d}} = 48 \text{ min}$$

Το ύψος των λαμελλών είναι 1,155 m και η τοποθέτησή τους γίνεται με κλίση 60° ώστε έκαστο στοιχείο να έχει μήκος 1 m. Το νερό το οποίο διανέμεται από την κροκίδωση εισέρχεται στις γραμμές καθίζησης με χαμηλές ταχύτητες και περνά μέσα στα συναρμολογημένα στοιχεία. Ανάντη των λαμελλών τοποθετείται πλαστικό πέτασμα καθοδήγησης της ροής του νερού ώστε αυτό να διέλθει μέσα από τα μπλοκ των λαμελλών με κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω. Η φορά αυτή του νερού ευνοεί την πρόσκρουση των κροκίδων στα μπλοκ των λαμελλών και την συνεπακόλουθη κατακρήμνιση και καθίζησή τους. Για την καλύτερη απόδοση της δεξαμενής είναι σημαντικό να υπάρχει αρκετό βάθος νερού. Το συνολικό ύψος της δεξαμενής καθίζησης προβλέπεται στα 2,8 m.

Η ταχύτητα ροής εντός των λαμελλών προκύπτει από την εξίσωση:

$$V_{\theta} = \frac{E\Phi}{A \cdot \sin\theta} \rightarrow v_{\theta} = \frac{3,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}}{1 \cdot \sin 60} = 3,3 \text{ m/h}$$

Έστω, ότι η υδραυλική διάμετρος, D , ισούται με 0,068 m. Η υδραυλική ακτίνα, R_h , υπολογίζεται ίση με $D = 4R \rightarrow R = D/4 = 0,017 \text{ m}$.

Ο αριθμός Reynolds ανέρχεται ως εξής:

$$N_R = \frac{v_{\theta} \cdot R_h}{\mu} = \frac{9,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,011 \text{ m}}{1,23 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 13$$

Ο αριθμός Reynolds θα πρέπει να είναι κάτω από 800 (Lahnsteiner, 2020).

Ο αριθμός Froude ανέρχεται ως εξής:

$$Fr = \frac{v_{\theta}^2}{g \cdot R_h} = \frac{\left(9,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{9,86 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,011 \text{ m}} = 60,7 > 10^{-5}$$

Η στρωτή ροή δεν επιτυγχάνεται αμέσως όταν το νερό εισέρχεται στους σωλήνες αλλά μετά από το μήκος μετάβασης L_t που δίνεται από τον τύπο Schiller (Twort et al., 2000)

$$L_t = 0,0288 \cdot N_R \cdot D \rightarrow L_t = 0,0288 \cdot 13 \cdot 0,045 \text{ m} = 0,025 \text{ m}$$

Όπου:

- L_t = μήκος μετάβασης
- N_R = αριθμός Reynolds ιδανικά πρέπει να είναι μικρότερος από 280
- D = υδραυλική διάμετρος, m

Το μήκος στο οποίο λαμβάνει χώρα η καθίζηση δίνεται από την εξίσωση (Lahnsteiner, 2020) :

$$L_s = L - L_t$$



όπου:

- L = συνολικό μήκος σωλήνα
- L_s = μήκος καθίζησης σωλήνα

Το μήκος της λαμέλλας L επιλέγεται ίσο με 1,155 m. Συνεπώς, το ύψος καθίζησης του σωλήνα ανέρχεται ως εξής:

$$L_s = L - L_t = 1,155 \text{ m} - 0,025 \text{ m} = 1,13 \text{ m}$$

Σύμφωνα με τους Committee et al. 1999 και Lahnsteiner 2020 η απόδοση της καθίζησης με λαμέλλες βελτιώνεται σημαντικά με Τιμές L/D από 20 έως 40/ πάνω από 20. Έτσι, λοιπόν για L ίσο με 1,155 m και D ίσο με 0,017, ο λόγος L_s/D είναι ίσο με 25.

Η καθίζηση πραγματοποιείται στο μήκος που έπεται του μήκους μετάβασης και τα καθιζάνοντα σωματίδια διατηρούν όλα τα σωματίδια με ταχύτητα καθίζησης μικρότερη από (Lahnsteiner, 2020):

$$V_s = \frac{V_\theta \cdot k}{\sin\theta + [L_s/d \cos\theta]}$$

Όπου

- V_θ = ταχύτητα καθίζησης, m/h
- V_θ = ταχύτητα ροής στις λαμέλλες, m/h
- k = σταθερά (1,33 εξαγωγικούς σωλήνες (Lahnsteiner, 2020))
- d = υδραυλική ακτίνα, m

$$V_s = \frac{V_\theta \cdot k}{\sin\theta + [L_s/d \cdot \cos\theta]} \rightarrow V_s = \frac{3,3 \text{ m/h} \cdot 1,33}{\sin 60 + [1,13/0,045 \cdot \cos 60^\circ]} = 0,3 \text{ m/h}$$

Η μέγιστη παροχή της ιλύος από την καθίζηση με λαμέλλες δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$P = Q_{\max} \cdot TSS \cdot R \cdot 10^{-5}$$

Όπου,

P = η ποσότητα της ιλύος (kg/d)

Q_{\max} : η παροχή στις λαμέλλες (m^3/d)

TSS = μέση συγκέντρωση των TSS εισερχόμενων λυμάτων στη λαμέλλα (mg/L)

R = ποσοστό απομάκρυνσης στερεών (%)

$$P = Q_{\max} \cdot SS \cdot R \cdot 10^{-5} \rightarrow P = 84 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 900 \text{ mg/L} \cdot 0,4 \cdot 10^{-5} \rightarrow P = 3 \text{ kg/d}$$

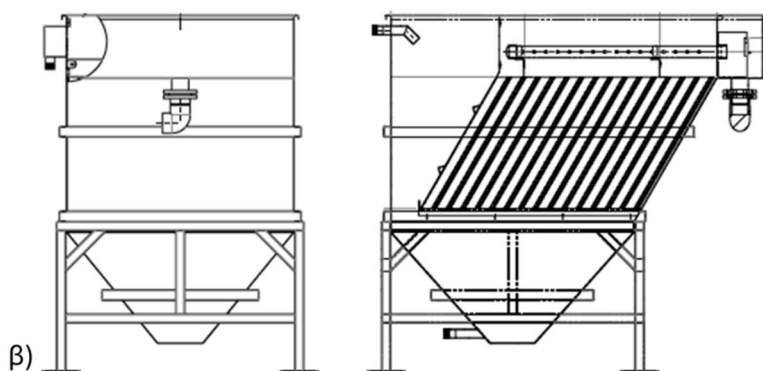
Εντός της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες τοποθετήθηκαν δύο μπλόκ λαμελλών. Τα χαρακτηριστικά των μπλόκ λαμελλών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8:



Πίνακας 5.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά μπλόκ λαμελών (module).

Παράμετρος	Τιμή
Υλικό κατασκευής	πολυπροπυλένιο
Ύψος στοιχείου (module)	1 m
Πλάτος στοιχείου (module)	0,5 m
Μήκος στοιχείου (module)	1 m
Πάχος έκαστου προφίλ:	1 mm
Υδραυλική διάμετρος	0,068 m
Υδραυλική ακτίνα	0,017 m
Κλίση	60°

Στην Σχήμα 5.14 παρουσιάζεται η δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες στην ΕΕΛ Κυπερούντας.



Σχήμα 5.14: Φωτογραφία της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες στην ΕΕΛ Κυπερούντας β) σχηματική απεικόνιση δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες κατά τον σχεδιασμό.

5.3.1.4 Λειτουργικό διάγραμμα ροής της πιλοτικής διάταξης

Τα λύματα αρχικά εισέρχονται στο υφιστάμενο αντλιοστάσιο εισόδου, από το οποίο αντλούνται προς το υφιστάμενο compact σύστημα προεπεξεργασίας και ακολούθως οδεύουν με φυσική ροή προς το μικροκόσκινο. Η έξοδος του μικροκόσκινου ρέει βαρυτικά προς την υφιστάμενη δεξαμενή εξισορρόπησης. Σε περίπτωση που για κάποιο χρονικό διάστημα το μικροκόσκινο δεν μπορεί να ανταποκριθεί στην παροχή εισόδου, το απόβλητο υπερχειλίζει προς τη δεξαμενή εξισορρόπησης. Ωστόσο, εάν το πρόβλημα επιμένει ή εάν για κάποιο λόγο το μικροκόσκινο τεθεί εκτός λειτουργίας, τα λύματα παροχετεύονται απευθείας προς τη δεξαμενή εξισορρόπησης (με χρήση ηλεκτροβάνας), παρακάμπτοντας το μικροκόσκινο. Εφόσον δηλαδή στο αντλιοστάσιο ανύψωσης τροφοδοτούνται λύματα που δεν έχουν επεξεργαστεί με το μικροκόσκινο, γίνεται παράκαμψη του αμμόφιλτρου, και από τη δεξαμενή εξισορρόπησης τα λύματα τροφοδοτούνται απευθείας στη δεξαμενή επιλογής και από εκεί στη δεξαμενή αερισμού, με χρήση ηλεκτροβανών.

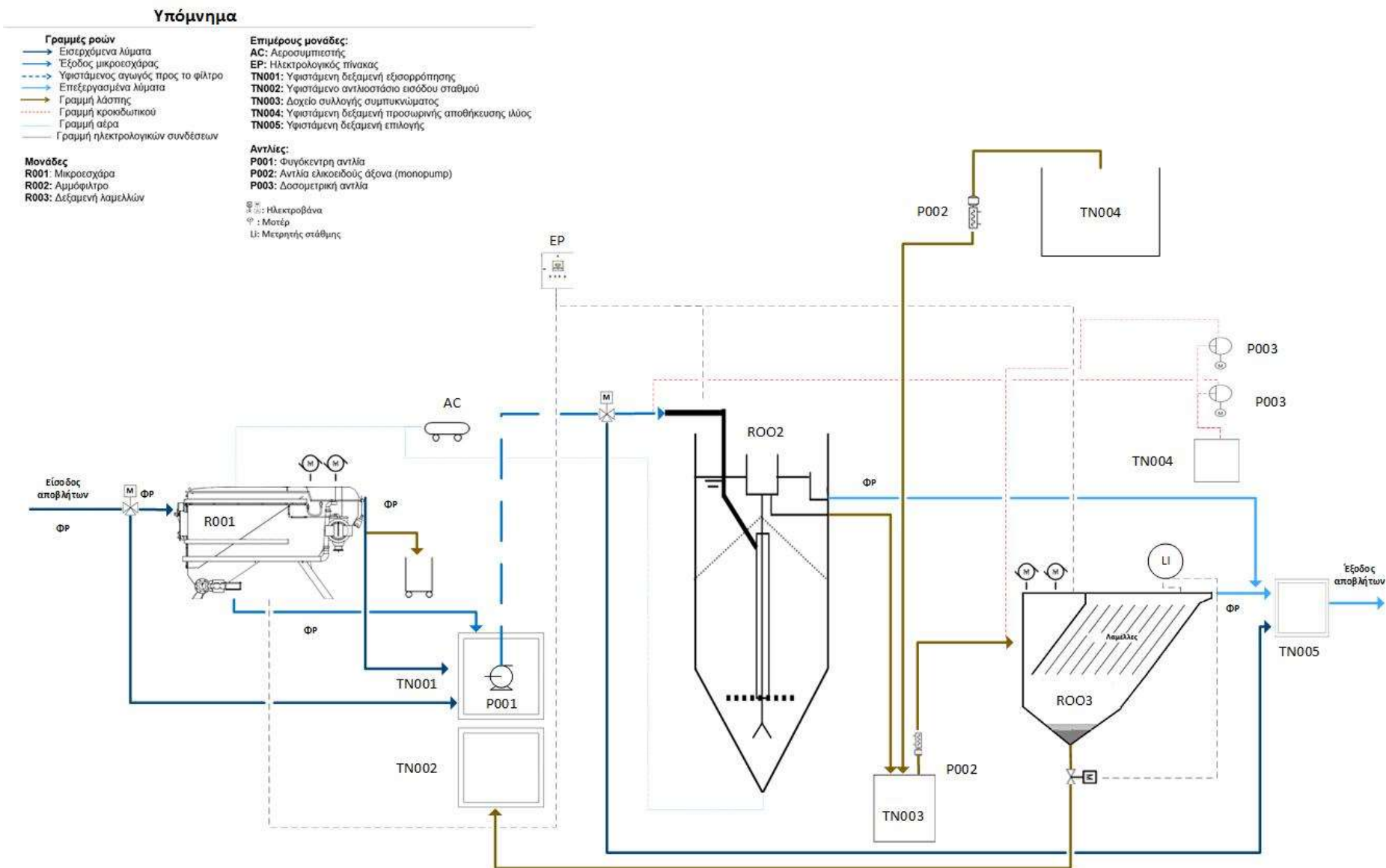
Για την μέτρηση της παροχής στην είσοδο του μικροκόσκινου γίνεται έλεγχος είτε με παροχόμετρο είτε ηλεκτρονικά με βάση τη λειτουργία των αντλιών. Το μικροκόσκινο διαθέτει σύστημα μέτρησης στάθμης, στον θάλαμο αρχικής φόρτισης. Το ταινιόφιλτρο κυλιέται από ηλεκτροκινητήρα, η ταχύτητα του οποίου σχετίζεται με την στάθμη του υγρού στον θάλαμο φόρτισης.

Ο καθαρισμός του ταινιόφιλτρου στο μικροκόσκινο γίνεται με ψεκασμό με αέρα και επικουρικά με ψεκασμό με νερό. Το σύστημα ψεκασμού νερού ή αέρα λειτουργεί κατά την περίοδο κύλισης του ιμάντα διήθησης.

Από το υφιστάμενο αντλιοστάσιο εξισορρόπησης, τα λύματα αντλούνται με χρήση υφιστάμενων αντλιών υγρού θαλάμου προς στο φίλτρο. Τα λύματα παροχετεύονται στο κάτω μέρος της κλίνης άμμου και ακολουθούν ανοδική πορεία δια μέσω της κλίνης άμμου, για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Ακολούθως υπερχειλίζουν προς την υφιστάμενη δεξαμενή επιλογής και καταλήγουν βαρυτικά στην δεξαμενή αερισμού της ΕΕΛ. Κατά τη διάρκεια παροχής, το αμμόφιλτρο τροφοδοτείται με αέρα (στο κάτω μέρος του κώνου), ώστε να επιτυγχάνεται σταδιακή ανύψωση της άμμου, η οποία υφίσταται καθαρισμό σε ειδική στατική διάταξη στο άνω μέρος του φίλτρου, όπου διαχωρίζονται τα στερεά και σχηματίζουν το ρεύμα συμπυκνώματος, το οποίο συλλέγεται βαρυτικά σε δεξαμενή συλλογής συμπυκνώματος, από την οποία αντλείται προς την δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες, για περαιτέρω συμπύκνωση. Παράλληλα, και κατά αναλογία ως προς την παροχή του αμμόφιλτρου, δοσομετράται ποσότητα κροκιδωτικού (σε περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητο) το οποίο τροφοδοτείται στην σωλήνωση εισόδου των λυμάτων.

Η διάταξη καθίζησης με λαμέλλες είναι χωρισμένη σε δύο μέρη: Στον θάλαμο ανάδευσης όπου εισέρχεται το συμπύκνωμα του φίλτρου και προστίθεται κροκιδωτικό. Μετά τον θάλαμο ανάδευσης το υγρό υπερχειλίζει στο θάλαμο καθίζησης, όπου με τη βοήθεια λαμελλών διαχωρίζεται το διαυγές και οδεύει βαρυτικά στη δεξαμενή επιλογής και ακολούθως στη δεξαμενή αερισμού της ΕΕΛ. Η παραγόμενη ιλύς ρέει βαρυτικά προς το αντλιοστάσιο εισόδου της εγκατάστασης, με χρήση ηλεκτροβάνας η οποία εκκινείται από σταθμήμετρο ιλύος τοποθετημένο στο άνω μέρος του θαλάμου καθίζησης. Η όλη διάταξη, με τους αυτοματισμούς της φαίνεται στο P&I της εγκατάστασης στην Σχήμα 5.15, το οποίο σχεδιάστηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης.





Σχήμα 5.15: Λειτουργικό διάγραμμα ροής της πιλοτικής διάταξη στην ΕΕΛ Κυπερούντας.



5.3.1.5 Όργανα μέτρησης πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας

Από τους τοπικούς ηλεκτρικούς πίνακες του εκάστοτε μηχανήματος (όπου υπάρχουν) γίνεται η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας και ταυτόχρονα ο έλεγχος του εξοπλισμού της επιμέρους μονάδας. Το σύστημα αυτοματισμού βρίσκεται σε ανεξάρτητο πεδίο του ηλεκτρικού πίνακα διανομής. Στην πιλοτική μονάδα τοποθετήθηκαν τα απαραίτητα όργανα ελέγχου (Πίνακας 5.9), που επιτηρούν πλήρως τις διεργασίες επεξεργασίας των λυμάτων.

Πίνακας 5.9: Όργανα μέτρησης πιλοτικής μονάδας.

Όργανο μέτρησης	Θέση
Παροχόμετρο ΕΕΛ	Χρησιμοποιείται το υφιστάμενο
Μέτρηση στάθμης	Μικροκόσκινο
Μετρητής στάθμης ιλύος	Δεξαμενή καθίζηση με λαμέλλες

5.3.1.6 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση

Για την πλήρη λειτουργία του εξοπλισμού που εγκαταστάθηκε απαιτήθηκε η προμήθεια και εγκατάσταση ενός πλήρους κεντρικού ηλεκτρολογικού πίνακα σύμφωνου προς τις απαιτήσεις του προς εγκατάσταση εξοπλισμού καθώς και όλων των απαιτούμενων ηλεκτρολογικών εργασιών σύνδεσης των μονάδων με τον κεντρικό πίνακα. Το σύνολο των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων εκτελέστηκε σύμφωνα με τη 16 η έκδοση των Κανονισμών του Βρετανικού Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (IEE Wiring Regulations), του περί Ηλεκτρισμού Νόμου, Κεφ. 170 και τους Κανονισμούς και Γενικούς Όρους Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου.

5.3.2 Κατασκευή και εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας

Ο υποψήφιος διδάκτορας συνεργάστηκε με την εταιρεία συντήρησης του σταθμού Κυπερούντας, προσφέροντας οδηγίες και επιστημονική υποστήριξη σε όλη τη διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής, εγκατάστασης και λειτουργίας του εξοπλισμού. Ο χώρος στον οποίο τοποθετήθηκε το μικροκόσκινο, και περί αυτού, καλύφθηκε με οπλισμένο σκυρόδεμα. Το συνολικό εμβαδό του σκυροδέματος ήταν περίπου διαστάσεων 3 m (πλάτος) επί 6 m (μήκος). Επίσης, κατασκευάστηκε βάση για το αμμόφιλτρο, σε κατάλληλο ύψος, ώστε η έξοδος του διηθήματος να οδεύει με φυσική ροή προς την υφιστάμενη δεξαμενή επιλογής. Η τελική όψη του εγκατεστημένου συστήματος απεικονίζεται στο Σχήμα 5.16.





Σχήμα 5.16: Τελική άποψη πιλοτικού συστήματος στην ΕΕΛ Κυτερούντας.

5.4 Λογισμικό διαστασιολόγησης και προσομοίωσης των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

5.4.1 Εισαγωγή

Το λογισμικό αναπτύχθηκε με σκοπό τη διαστασιολόγηση και προσομοίωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης ώστε να επιτρέψει την εφαρμογή των καινοτόμων λύσεων σε ευρύτερη κλίμακα (scale-up). Το λογισμικό επιτρέπει επίσης την εκτίμηση της μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων για κάθε ΕΕΛ μετά την εφαρμογή των καινοτόμων τεχνολογιών.

Η δημιουργία του λογισμικού αυτού έχει γίνει σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic (net framework 6) και σε περιβάλλον εργασίας Visual Studio 2022. Έτσι, είναι συμβατό για χρήση με την πλειοψηφία των σημερινών προσωπικών υπολογιστών που διαθέτουν Windows περιβάλλον εργασίας. Συνεπώς μπορεί να εγκατασταθεί σε υπολογιστές χρηστών που ασχολούνται με την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, παρέχοντας τη δυνατότητα στον χρήστη να το αξιοποιήσει ποικιλοτρόπως. Το πρόγραμμα ενσωματώνει διάφορους ελέγχους για την προστασία του χρήστη από πιθανά λάθη εισαγωγής δεδομένων. Σχετικά μηνύματα σφαλμάτων μπορούν να εμφανιστούν ανά πάσα στιγμή ενημερώνοντας το χρήστη για τα λάθη του. Ο χρήστης καλείται να εισάγει προσεκτικά τα αριθμητικά δεδομένα με τα οποία θέλει να κάνει διαστασιολόγηση και προσομοίωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης σε ΕΕΛ.

5.4.2 Απαιτήσεις και εγκατάσταση για το ANELIXI Software

Οι απαιτήσεις για τον προσωπικό υπολογιστή του κάθε χρήστη είναι οι ακόλουθες:

- Windows 11 έκδοση 21H2 ή νεότερη: Home, Pro, Pro Education, Pro for Workstations, Enterprise και Education
- Windows 10 έκδοση 1909 ή νεότερη: Home, Professional, Education και Enterprise.
- Windows Server 2022: Standard και Datacenter.
- Windows Server 2019: Standard και Datacenter.
- Windows Server 2016: Standard και Datacenter.
- Επεξεργαστής 64 bit 1,8 GHz ή ταχύτερος. Τετραπύρηνος ή καλύτερος συνιστάται. Οι επεξεργαστές ARM δεν υποστηρίζονται.
- Τουλάχιστον 4 GB μνήμης RAM.
- Windows 365: Τουλάχιστον 2 vCPU και 8 GB μνήμης RAM. Συνιστώνται 4 vCPU και 16 GB μνήμης RAM.
- Χώρος στον σκληρό δίσκο: Τουλάχιστον 850 MB έως 210 GB διαθέσιμου χώρου, ανάλογα με τις δυνατότητες που είναι εγκατεστημένες.
- Κάρτα γραφικών που υποστηρίζει ελάχιστη ανάλυση οθόνης WXGA
- (1366x768)
- Η ελάχιστη ανάλυση προϋποθέτει ότι το ζουμ, οι ρυθμίσεις DPI και η κλιμάκωση κειμένου έχουν οριστεί στο 100%. Εάν δεν οριστεί στο 100%, η ελάχιστη ανάλυση θα πρέπει να κλιμακωθεί ανάλογα. Για παράδειγμα, αν ορίσετε τη ρύθμιση εμφάνισης των Windows "Κλίμακα και διάταξη" στο Surface Book, το οποίο διαθέτει φυσική οθόνη 3000x2000, στο 200%, τότε το ANELIXI Software θα δει μια λογική ανάλυση οθόνης 1500x1000, ικανοποιώντας την ελάχιστη απαίτηση 1366x768.



Απαιτούμενες βιβλιοθήκες του λογισμικού

Το λογισμικό απαιτεί να είναι ήδη εγκατεστημένη η έκδοση **.NETFramework 6** στον υπολογιστή.

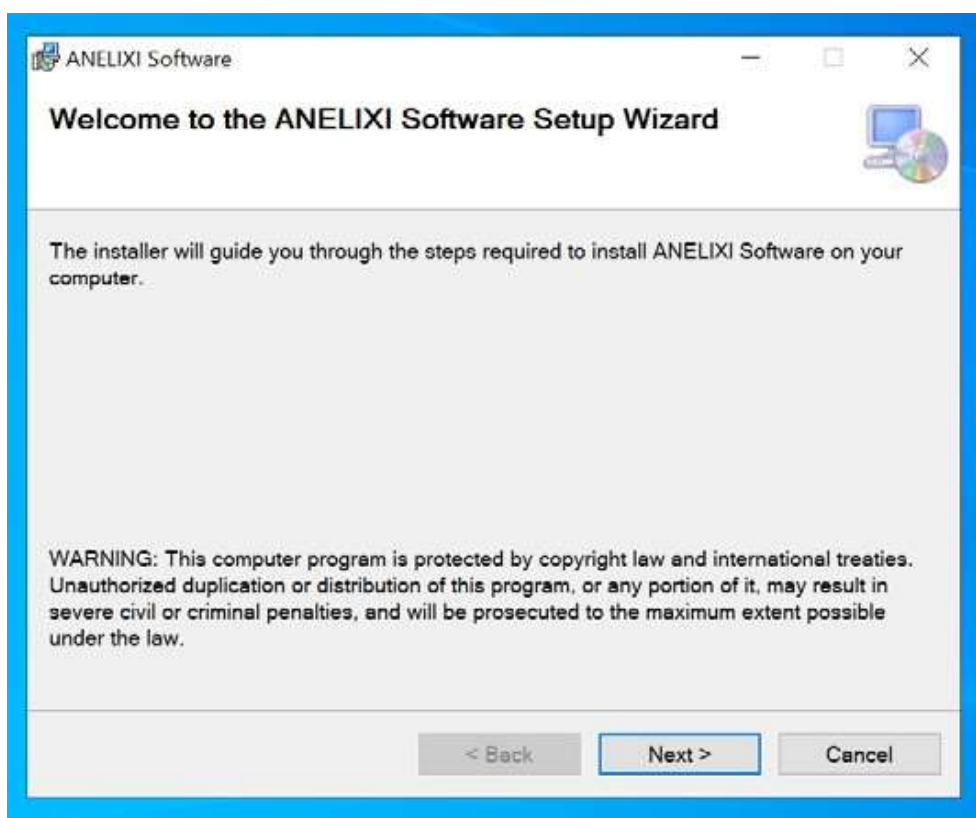
Εγκατάσταση του λογισμικού

Το λογισμικό μπορεί να εγκατασταθεί με την χρήση του αρχείου εγκατάστασης “ANELIXI Software installer.msi” όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.17.

Name	Date modified	Type	Size
ANELIXI Software installer.msi	26/10/2023 12:51 μμ	Windows Installer Package	65.868 KB

Σχήμα 5.17: Εμφανίζεται το αρχείο με το οποίο θα γίνει η εγκατάσταση του προγράμματος.

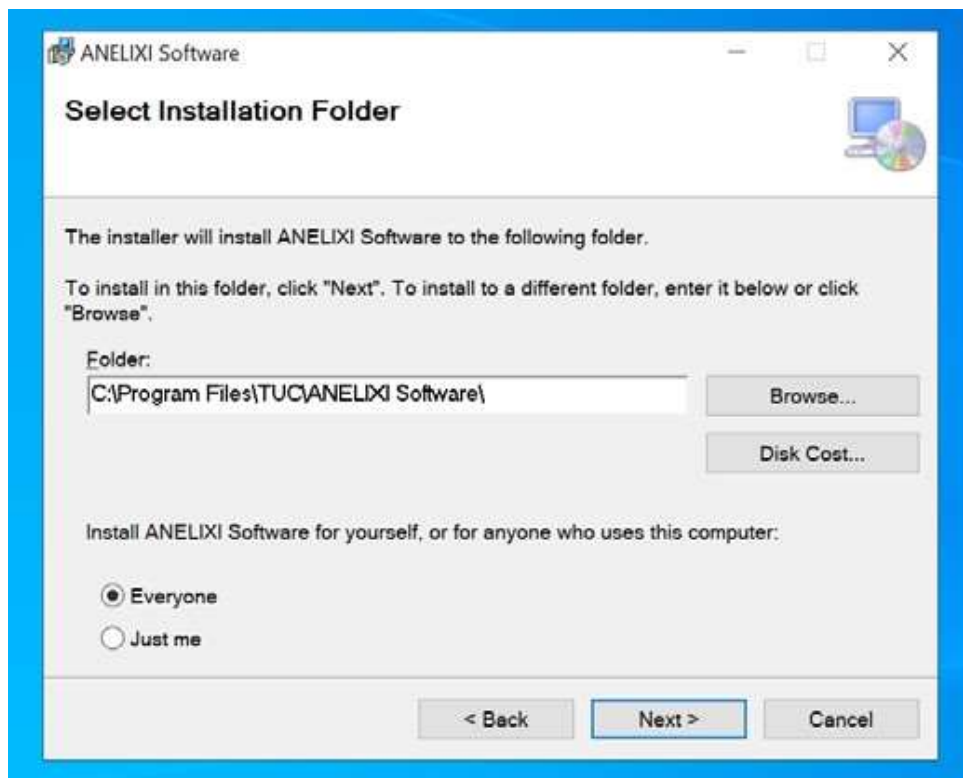
Αφού ο χρήστης το εκτελέσει θα του εμφανιστεί ο οδηγός εγκατάστασης που με φιλικό τρόπο θα τον καθοδηγήσει στην εγκατάσταση του προγράμματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.18.



Σχήμα 5.18: Παρουσιάζεται ο οδηγός εγκατάστασης του λογισμικού.

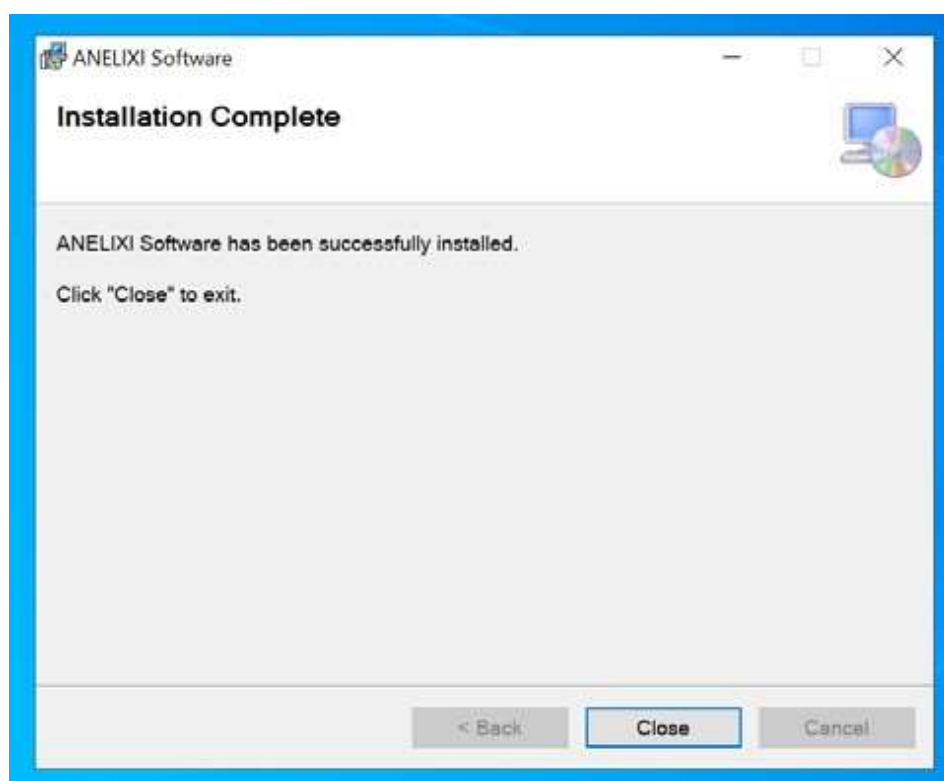
Στην συνέχεια ο οδηγός θα κάνει διάφορες ερωτήσεις στον χρήστη σχετικές κατά το στάδιο εγκατάστασή του λογισμικού (Σχήμα 5.19).





Σχήμα 5.19: Παρουσιάζεται ο οδηγός εγκατάστασης του λογισμικού.

Με το τέλος του οδηγού εγκατάστασης (Σχήμα 5.20), θα προστεθούν στο σύστημα τα απαραίτητα εικονίδια για την εκκίνηση του λογισμικού αλλά και για την απεγκατάστασή του.



Σχήμα 5.20: Παρουσιάζεται το τέλος του οδηγού εγκατάστασης του λογισμικού.





Search, sort, and filter by drive. If you would like to uninstall or move an app, select it from the list.

ANELIXI Software

Sort by: Name

Filter by: All drives

1 app found



ANELIXI Software

154 MB

26/10/2023

Σχήμα 5.21: Παρουσιάζονται τα εικονίδια για την εκκίνηση του προγράμματος.

Με το τέλος της εγκατάστασης του προγράμματος έχει γίνει δημιουργία εικονιδίου επιφάνειας εργασίας του λογισμικού (Σχήμα 5.21). Συνεπώς μπορεί να πραγματοποιηθεί η εκτέλεσή του κάνοντας «κλικ» στο εικονίδιο αυτό. Μετά την επιτυχή εκτέλεση του προγράμματος θα εμφανιστεί η αρχική καρτέλα του λογισμικού.

5.4.3 Αρχική καρτέλα

Το πρόγραμμα αποτελείται από καρτέλες στις οποίες ο χρήστης μπορεί να μεταβεί ανά πάσα στιγμή αρκεί να κάνει κλικ σε μια από αυτές. Η πρώτη και αρχική καρτέλα που βλέπει ο χρήστης είναι η καρτέλα στην οποία ο χρήστης ενημερώνεται για τους στόχους του λογισμικού.

5.4.4 Καρτέλα εισαγωγή δεδομένων

Στην καρτέλα με τίτλο «Εισαγωγή δεδομένων» (Σχήμα 5.22) ο χρήστης επιλέγει τη μείωση των αιωρούμενων στερεών που επιθυμεί για την ΕΕΛ και αφού εισάγει τα απαιτούμενα δεδομένα, το λογισμικό διαστασιολογεί και προσομοιώνει ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε χρήστη τις τεχνολογίες, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μαθηματικές εξισώσεις. Ωστόσο, το λογισμικό μπορεί να προσφέρει περισσότερες πληροφορίες για τις νέες τεχνολογίες, αν ο χρήστης εισάγει περισσότερα δεδομένα.

ANELIXI Software

Λογισμικό ANELIXI Εισαγωγή δεδομένων Μικροεσχάρα Ισοζύγιο μάζας Πληροφορίες

Εισαγωγή δεδομένων χρήστη

Τι ποσοστό μείωσης των αιωρούμενων στερεών στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού θα εξυπηρετούσε καλύτερα την ΕΕΛ σας, 40-60% ή 60-85% *;

40-60%

A.A.	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες
1	Q _{max} (in)		m ³ /d
2	Q _{average} (in)		m ³ /d
3	TSS (in)		mg/L
4**	BOD ₅ (in)		mg/L
5**	Μέση ηλεκτρική κατανάλωση ΕΕΛ		kWh/yr

*Επιλέγοντας το μικρότερο ποσοστό (40-60%), συνιστάται μόνο η χρήση μικροεσχάρας.

Υπολογισμός

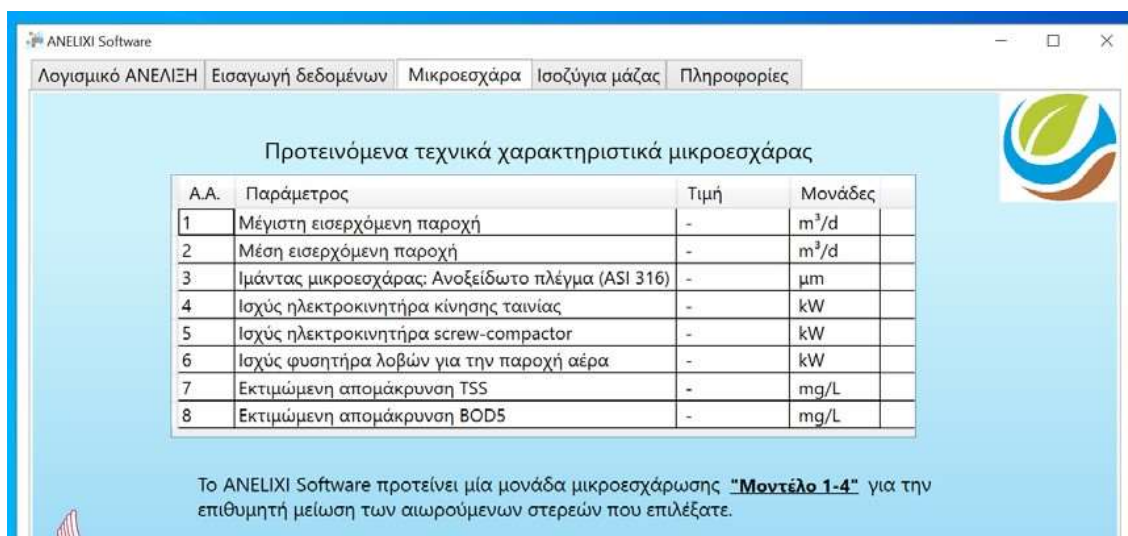
** Αν συμπληρώσετε τα πεδία θα σας προσφέρουν πιο πολλές πληροφορίες

Σχήμα 5.22: Παρουσιάζεται η καρτέλα «Εισαγωγή Δεδομένων» του λογισμικού.



5.4.5 Καρτέλα μικροεσχάρα

Με βάση τα δεδομένα που έδωσε ο χρήστης στην καρτέλα «Εισαγωγή δεδομένων» και αφού κάνει κλικ στο πλήκτρο «Υπολογισμός», το λογισμικό διαστασιολογεί και προσομοιώνει ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε χρήστη, την τεχνολογία μικροκοσκίνισης, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μαθηματικές εξισώσεις και παρουσιάζει τα αποτελέσματα στην καρτέλα «Μικροεσχάρα» (Σχήμα 5.23). Το μικροκόσκινο αναφέρεται ως "μικροεσχάρα" στο λογισμικό. Ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε χρήστη, υπάρχουν τέσσερα διαθέσιμα μοντέλα μικροεσχάρωσης.



A.A.	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες
1	Μέγιστη εισερχόμενη παροχή	-	m ³ /d
2	Μέση εισερχόμενη παροχή	-	m ³ /d
3	Ιμάντας μικροεσχάρας: Ανοξείδωτο πλέγμα (AS1 316)	-	μm
4	Ισχύς ηλεκτροκινητήρα κίνησης ταινίας	-	kW
5	Ισχύς ηλεκτροκινητήρα screw-compactor	-	kW
6	Ισχύς φυσητήρα λοβών για την παροχή αέρα	-	kW
7	Εκτιμώμενη απομάκρυνση TSS	-	mg/L
8	Εκτιμώμενη απομάκρυνση BOD5	-	mg/L

Το ANELIXI Software προτείνει μία μονάδα μικροεσχάρωσης "**Μοντέλο 1-4**" για την επιθυμητή μείωση των αιωρούμενων στερεών που επιλέξατε.

Σχήμα 5.23: Παρουσιάζεται η καρτέλα "μικροεσχάρα" του λογισμικού.

5.4.6 Καρτέλα αμμόφιλτρο

Με βάση τα δεδομένα που έδωσε ο χρήστης στην καρτέλα «Εισαγωγή δεδομένων», το λογισμικό διαστασιολογεί και προσομοιώνει, αν είναι απαραίτητο και αμμόφιλτρο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην αντίστοιχη καρτέλα «Αμμόφιλτρο» (Σχήμα 5.24). Σημείωση αν δεν είναι απαραίτητη η χρήση του αμμόφιλτρου τότε η σχετική καρτέλα δεν εμφανίζεται καθόλου.



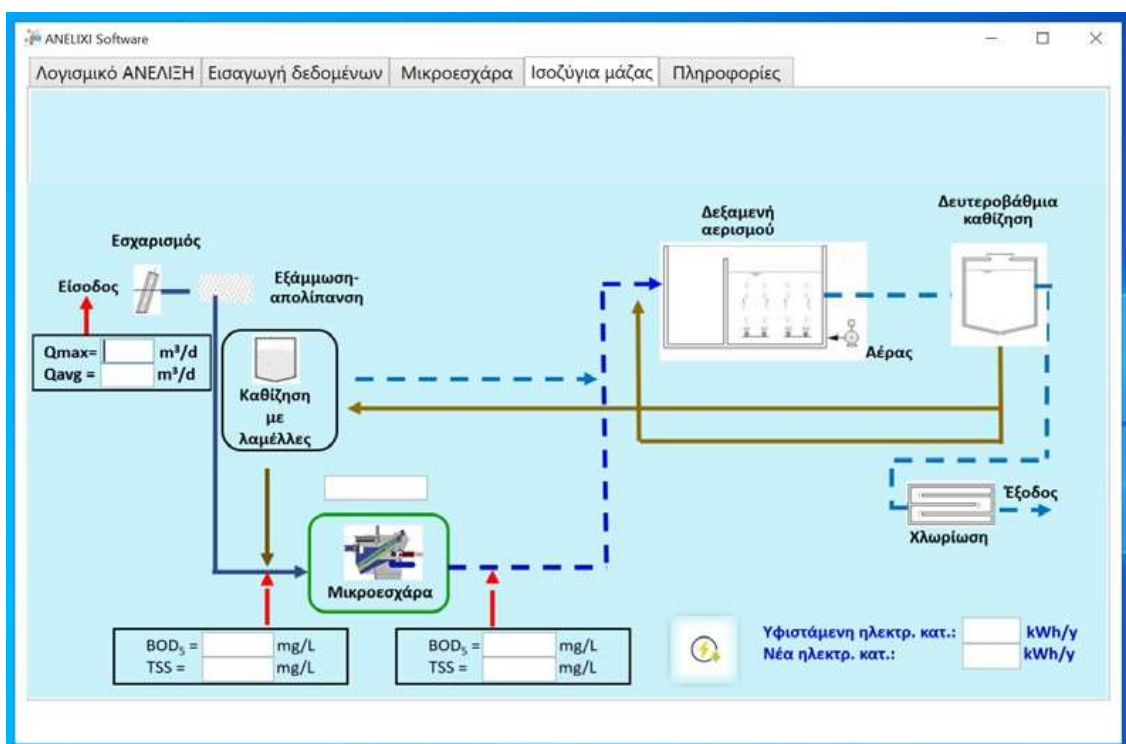
A.A.	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες
1	Qμέγιστη συνολική (εισ.)	-	m ³ /d
2	Qμέση συνολική (εισ.)	-	m ³ /d
3	Επιφανειακή φόρτιση σχεδιασμού	-	m ³ /(m ² d)
4	Αριθμός φίλτρων	-	τιμχ.
5	Επιφάνεια ανα φίλτρο	-	m ²
6	Διάμετρος ανα φίλτρο	-	m
7	Ύψος φίλτρου	-	m
8	Απαιτούμενη ποσότητα άμμου ανά φίλτρο	-	m ³
9	Εκτιμώμενη απομάκρυνση TSS	-	mg/l
10	Εκτιμώμενη απομάκρυνση BOD ₅	-	mg/l
11	Εκτιμώμενη ποσότητα κροκιδωτικού	-	kg/yr
12	Κόστος κροκιδωτικού	-	€/kg
13	Κόστος κροκιδωτικού στο έτος	-	€/yr
14	Εκτ. παροχή συμπυκνώματος	-	m ³ /d

Σχήμα 5.24: Παρουσιάζεται η καρτέλα «Αμμόφιλτρο» του λογισμικού.



5.4.7 Καρτέλα ισοζύγια μάζας

Αφού ολοκληρωθεί η παρουσίαση των τεχνικών χαρακτηριστικών της «Μικροεσχάρας» και του «Αμμόφιλτρου» ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την καρτέλα «Ισοζύγια Μάζας» όπου μπορεί να δει σχηματικά όλα τα αποτελέσματα (Σχήμα 5.25).



Σχήμα 5.25: Παρουσιάζεται η καρτέλα «Ισοζύγιο μάζας» του λογισμικού για ποσοστό μείωσης αιωρούμενων στερεών 40-60%.

5.4.8 Παράδειγμα εκτέλεσης του λογισμικού

Παρακάτω παρουσιάζεται μια εκτέλεση του λογισμικού παρουσιάζοντας τα ισοζύγια μάζας για ΕΕΛ μέγιστης ημερήσιας δυναμικότητας 2.600 m³/d. Στο Σχήμα 26α φαίνεται η εισαγωγή δεδομένων, και στο Σχήμα 26β φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας.



ANELIXI Software

Λογισμικό ANELIXH Εισαγωγή δεδομένων Μικροεσχάρα Αμμόφιλτρο Ισοζύγια μάζας Πληροφορίες

Εισαγωγή δεδομένων χρήστη

Τι ποσοστό μείωσης των αιωρούμενων στερεών στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού θα εξυπηρετούσε καλύτερα την ΕΕΛ σας, 40-60% ή 60-85% *;


60-85% ▾

A.A.	Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες
1	Qmax (in)	2600	m ³ /d
2	Qaverage (in)	1400	m ³ /d
3	TSS (in)	800	mg/L
4**	BOD ₅ (in)	580	mg/L
5**	Μέση ηλεκτρική κατανάλωση ΕΕΛ	40980	kWh/yr

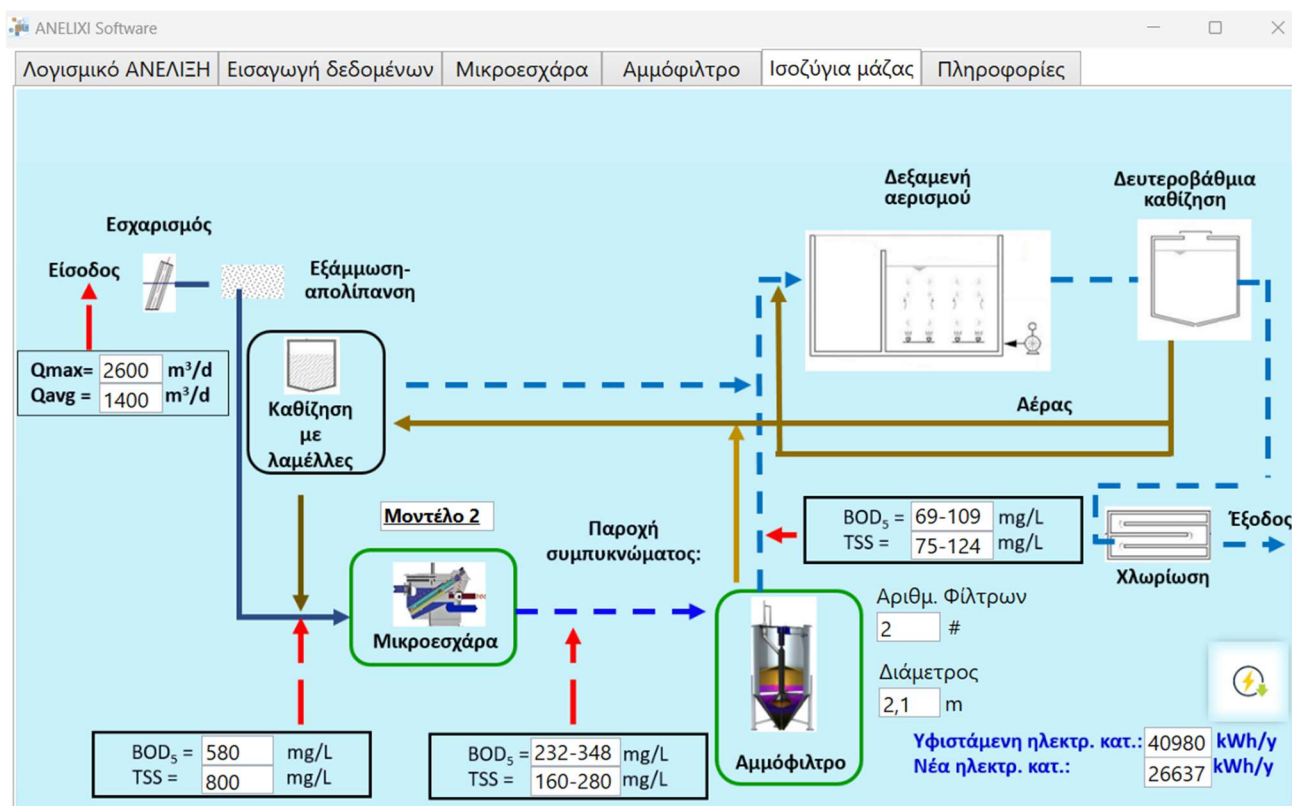
*Επιλέγοντας το μικρότερο ποσοστό (40-60%), συνιστάται μόνο η χρήση μικροεσχάρας.

Υπολογισμός

** Αν συμπληρώσετε τα πεδία θα σας προσφέρουν πιο πολλές πληροφορίες



Σχήμα 5.26 α: Εισαγωγή δεδομένων.



Σχήμα 5.26 β: Ισοζύγια μάζας.

Σχήμα 5.26: α, β: Παρουσιάζεται εκτέλεση των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας με τη χρήση του λογισμικού για ποσοστό μείωσης αιωρούμενων στερεών 60-85%.



Κεφάλαιο 6: Προκαταρκτικά πειράματα, έλεγχος λειτουργίας και προσομοίωση πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

6.1 Εισαγωγή

Το Κεφάλαιο 6 επικεντρώθηκε αρχικά στα προκαταρκτικά πειράματα που έγιναν κατά τη φάση σχεδιασμού των πιλοτικών μονάδων στις ΕΕΛ Μάρπησας και Κυπερούντας. Αναλυτικότερα, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τον προσδιορισμό των TSS, του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (Total Organic Carbon, TOC), της Θερμογόνου Δύναμης (Heating Value, HV) των αιωρούμενων στερεών, της αναλογίας C:H:N:O και του μεγέθους των σωματιδίων στα υγρά απόβλητα στην είσοδο των δύο ΕΕΛ, πριν την εφαρμογή των τεχνολογιών αναβάθμισης. Ο βασικότερος στόχος του Κεφαλαίου 6 είναι η διερεύνηση και αξιολόγηση αποδοτικότητας των διεργασιών μικροκοσκίνισης, αμμοφίλτρανσης και καθίζησης με λαμέλλες στην ΕΕΛ Κυπερούντας. Πραγματοποιήθηκαν πειραματικές αναλύσεις σε κάθε στάδιο της πιλοτικής μονάδας με σκοπό την αξιολόγηση της αποδοτικότητας του νέου εξοπλισμού, αλλά και την ποσοτικοποίηση των οφελών που προκύπτουν από τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας και τη βελτίωση της ποιότητας των επεξεργασμένων εκροών στην υπερφορτωμένη ΕΕΛ. Δυστυχώς, ως αποτέλεσμα των εργασιών για την κατασκευή αποχετευτικού δικτύου στις Λεύκες και Κώστος και δικτύου μεταφοράς από τα δύο χωριά και διαφόρων εργασιών συντήρησης του υφιστάμενου εξοπλισμού στην ΕΕΛ Μάρπησας, η πιλοτική διάταξη των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης εγκαταστάθηκε σε προσωρινή θέση στην οποία δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν πειραματικές αναλύσεις έως ότου ολοκληρωθούν οι εργασίες στο χώρο της ΕΕΛ. Ωστόσο, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα κατά τις Δοκιμές Αποδοχής Εργοστασίου (Factory Acceptance Test, FAT) που έλαβαν χώρα στην ΕΕΛ Θριασίου για το μικροκόσκινο που εγκαταστάθηκε στην ΕΕΛ Μάρπησας. Τέλος, εφαρμόστηκε ένα αριθμητικό μοντέλο για την προσομοίωση των συγκεντρώσεων των TSS στην έξοδο του μικροκόσκινου και του αμμόφιλτρου, λαμβάνοντας υπόψη ως δεδομένα εισόδου των μοντέλων τα πειραματικά δεδομένα και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των νέων τεχνολογιών στην ΕΕΛ Κυπερούντας.

6.2 Δειγματοληψίες και αναλυτικές μέθοδοι

Για την αξιολόγηση της απόδοσης του πιλοτικού συστήματος στην ΕΕΛ Κυπερούντας αξιολογήθηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (TSS, BOD₅, COD, TN και TP) στην είσοδο, στα ενδιάμεσα στάδια και στην έξοδο της πιλοτικής διάταξης στην ΕΕΛ Κυπερούντας. Επίσης, συγκρίθηκαν οι παράμετροι ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων (TSS, BOD₅, COD) πριν και μετά την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

6.2.1 Μέτρηση TSS

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν μια ποικιλία στερεών υλικών από απορρίμματα έως κολλοειδή υλικά. Τα TS χωρίζονται στα TSS και τα TDS. Τα TSS αποτελούν το τμήμα των TS που παραμένουν σε φίλτρο από ίνες γυαλιού με πόρους από 0,45 μέχρι 2 μm . Αντίστοιχα τα TDS είναι αυτά που κατά την διαδικασία της διήθησης περνάνε από του πόρους του φίλτρου (George Tchobanoglous et al., 2003). Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των TSS, έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο 2540 D. των Clesceri et al. 1998. Αρχικά, για τη μέτρηση των TSS των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα (whatman glass microfiber filters, Grade 934 0,45 μm) στηριζόμενα σε διαμορφωμένα αλουμινόχαρτα τα οποία αρχικά θερμαινόντουσαν για 60 λεπτά σε φούρνο σε θερμοκρασία 103-105 °C. Στη συνέχεια ζυγίζονταν σε ζυγαριά ακριβείας, διηθούνταν σε 20 mL δείγματος (ανάλογα την οπτική πυκνότητα του δείγματος) και θερμαινόντουσαν ξανά σε φούρνο. Τέλος, τοποθετούνταν σε αφυγραντήρα για λίγα λεπτά και ζυγίζονταν για τελευταία φορά. Η διαφορά του βάρους από το κάθε φιλτράκι ανά 20mL δείγματος ήταν και το τελικό αποτέλεσμα της τιμής των TSS, εκφρασμένο σε mg/L TSS.



6.2.2 Μέτρηση BOD₅

Η εκτέλεση του πειράματος BOD είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, καθώς απαιτεί 20 ημέρες για να εξακριβωθεί το 95-99% του BOD_u. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται το BOD₅, το οποίο αναφέρεται στη βιοχημική απαίτηση οξυγόνου που προσδιορίζεται κατά τις αρχικές 5 ημέρες του πειράματος, που διεξάγεται σε θερμοκρασία 20°C. Ο έλεγχος του BOD₅ βασίζεται σε ακριβείς μετρήσεις του DO στην αρχή και στο τέλος του πειράματος, το οποίο συμβαίνει μετά από μια περίοδο επώασης πέντε ημερών στους 20°C. Η διαφορά στη συγκέντρωση του DO μετά από αυτήν την πενθήμερη περίοδο υποδηλώνει τη «απαίτηση οξυγόνου» που απαιτείται για την αναπνοή των μικροοργανισμών που υπάρχουν στο δείγμα. Χρησιμοποιώντας κατάλληλους μαθηματικούς τύπους, προκύπτει τελικά το BOD₅ του δείγματος. Για τον προσδιορισμό του BOD₅ ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με τη μέθοδο BOD₅ 5210B των Clesceri et al. 1998. Χρησιμοποιήθηκε αραιώση 1:60, δηλαδή σε 750 mL απιονισμένου νερού έγινε προσθήκη 12,5 mL δείγματος. Στο δείγμα έγινε προσθήκη των απαραίτητων buffers:

- 1 mL φωσφορικού διαλύματος (το οποίο περιέχει σε 1 L νερού 8,5 gr K₂HPO₄, 21,7 gr K₂HPO₄, και 1,7 gr NH₄CL)
- 1 mL διαλύματος θεικού μαγνησίου (το οποίο περιέχει σε 1 L νερού 22,5 gr 1 mL MgSO₄ 7H₂O)
- 1 mL διαλύματος χλωριούχου ασβεστίου (το οποίο περιέχει σε 1 L νερού 27,5 gr CaCl₂)

Αφού έγινε η προσθήκη του αναστολέα νιτροποίησης έτσι ώστε το μετρούμενο BOD₅ να έχει μόνο οργανική προέλευση, το δείγμα αεριζόταν μηχανικά για 4-5 λεπτά μέχρι η μετρούμενη συγκέντρωση οξυγόνου να δείξει τιμή πάνω από τα 7 mg/L. Με την πάροδο 5 ημερών σε θάλαμο επώασης, γινόταν μέτρηση της συγκέντρωσης οξυγόνου.

6.2.3 Μέτρηση COD, TKN, TP

Για τις συγκεκριμένες μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια (kit) της εταιρείας HACH τα οποία περιέχουν τα κατάλληλα αντιδραστήρια ανάλογα με το είδος της μέτρησης. Το δείγμα τοποθετούνταν αραιωμένο, εφόσον χρειαζόταν, μέσα στο κατάλληλο kit (στο σωστό εύρος συγκεντρώσεων) και σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναγραφόταν στο κουτί των αντιδραστηρίων. Στη συνέχεια, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στον θερμοαντιδραστήρα (LT 200) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το οποίο οριοθετούνταν από τις αναγραφόμενες οδηγίες του κουτιού του kit. Τέλος, αφού κρύωνε το κάθε φιαλίδιο, τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο (DR 1900) το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση.

6.2.4 Προσδιορισμός κατανομής σωματιδίων

Η κατανομή μεγέθους των αιωρούμενων στερεών στα υγρά απόβλητα προσδιορίστηκε με κατάλληλο αναλυτή κατανομής μεγέθους σωματιδίων, ο οποίος βασίζει τη λειτουργία του στη σκέδαση ακτινών λέιζερ. Ο αναλυτής είναι σχεδιασμένος για τη μέτρηση τεμαχιδίων των οποίων η κοκκομετρία κυμαίνεται μεταξύ 0,02 – 2.000 microns (αναλόγως τη φύση του προς εξέταση υλικού).

Το δείγμα εισάγεται στον αναλυτή είτε μορφή υδατικού αιωρήματος είτε σε ξηρή μορφή. Η ποσότητα του δείγματος που πρέπει μετριέται ποικίλλει ανάλογα με τον δείκτη συσκότισης, ο οποίος πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερος από δέκα για να είναι ακριβής η μέτρηση. Αυτή η ένδειξη παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των σωματιδίων που έχουν εισαχθεί στο όργανο. Παρόλο που στην πραγματικότητα τα σχήματα των μετρούμενων στερεών μπορεί να διαφέρουν, τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανάγονται σε ισοδύναμες σφαιρικές διαμέτρους. Πριν από την εισαγωγή του προς ανάλυση δείγματος το δείγμα ανακινείται ελαφρά για να διασφαλιστεί ότι είναι σχετικά ομοιογενές στη σύστασή του. Έτσι, από το μπροστινό μέρος του οργάνου εισάγεται στο όργανο, μαζί με την προσθήκη νερού. Στο θάλαμο εισαγωγής δείγματος υπάρχει συνεχής ανάδευση και η χρήση



υπερήχων μπορεί να επιλεγεί για την αποσύνθεση τυχόν συσσωματωμάτων που μπορεί να έχουν σχηματιστεί στον θάλαμο. Η χρήση των υπερήχων δεν έδειξε σημαντική διαφοροποίηση στα αποτελέσματα και ως εκ τούτου δεν χρησιμοποιήθηκε. Στη συνέχεια, τα απόβλητα τροφοδοτούνται στις κυψέλες του οργάνου, τις οποίες διαπερνά μία μια ευθυγραμμισμένη ακτίνα λέιζερ. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων εμφανίζονται και αποθηκεύονται σε υπολογιστή. Το όργανο μέτρησης κατανομής των σωματιδίων (Σχήμα 6.1) που χρησιμοποιήθηκε είναι το Malvern Mastersizer 2000.



Σχήμα 6.1: Όργανο μέτρησης διαμέτρων σωματιδίων- Malvern Mastersizer 2000.

6.2.5 Στοιχειακή ανάλυση

Ο αναλυτής (Σχήμα 6.2) λειτουργεί με την αρχή δυναμικής ανάφλεξης/καύσης του δείγματος παρουσία οξυγόνου. Αρχικά, παρέχεται οξυγόνο στη στήλη χαλαζία και η κάψουλα κασσίτερου πέφτει μετά από λίγα δευτερόλεπτα. Το περιβάλλον μέσα στη στήλη είναι εξαιρετικά οξειδωτικό και αυτό συμβάλλει στην πλήρη καύση του δείγματος. Η θερμοκρασία αυξάνεται στους 1.800 °C, οπότε το δείγμα καίγεται. Η μεταφορά των αερίων της καύσης από τη στήλη χαλαζία στον αέριο χρωματογράφο πραγματοποιείται με τη χρήση του ήλιου. Κατά τη διάρκεια της καύσης παράγονται τα ακόλουθα αέρια: N₂, CO₂, H₂O και SO₂, τα οποία διαχωρίζονται στον χρωματογράφο και στη συνέχεια ανιχνεύονται από έναν ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας. Τα ποσοστά (%) αζώτου, άνθρακα και υδρογόνου που περιέχονται στα δείγματα δοκιμής υπολογίζονται με τη βοήθεια του ανιχνευτή και κατάλληλου λογισμικού.



Σχήμα 6.2: Στοιχειακός αναλυτής Flash 2000 Series, Thermo Fischer Scientific.



Λόγω του γεγονότος ότι τα δείγματα αποβλήτων ήταν σε υγρή κατάσταση από τις δύο ΕΕΛ, φυγοκεντρήθηκαν για 15 λεπτά για να μετατραπούν σε κατάλληλη κατάσταση για τη συγκεκριμένη ανάλυση. Στη συνέχεια, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν στον ειδικό φούρνο στους 105°C για περίπου μια μέρα, ώστε να αποξηραθούν. Μια αντιπροσωπευτική ποσότητα 10 mg ζυγίστηκε για καθένα από τα ξηρά δείγματα και στη συνέχεια τοποθετήθηκε σε μια κάψα κασσίτερου πριν τοποθετηθεί στο δειγματολήπτη.

6.2.6 Μέτρηση HV

Η HV ενός καυσίμου ορίζεται ως η ενέργεια που εκλύεται κατά την πλήρη καύση και τέλεια καύση του με οξυγόνο, με τα προϊόντα και τα αντιδρώντα να βρίσκονται στους 25 °C. Η HV διακρίνεται σε HHV και Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη (Lower Heating Value, LHV). Όταν στα προϊόντα καύσης το νερό βρίσκεται σε υγρή κατάσταση, η HV ονομάζεται HHV, καθώς δεν έχει απορροφηθεί ενέργεια. Όταν στα προϊόντα καύσης το νερό βρίσκεται σε αέρια κατάσταση (υδρατμοί), η HV ονομάζεται LHV, αφού το νερό έχει απορροφήσει ενέργεια και η HV έχει μικρότερη τιμή.

Στις αναλύσεις των δειγμάτων από την ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυπερούντας, μετρήθηκε η HHV, εκφρασμένη σε τιμές MJ/kg. Λόγω του γεγονότος ότι τα δείγματα αποβλήτων ήταν σε υγρή κατάσταση, φυγοκεντρήθηκαν για 15 λεπτά για να μετατραπούν σε παχύτερη κατάσταση κατάλληλη για τη συγκεκριμένη ανάλυση. Στη συνέχεια, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν στον ειδικό φούρνο στους 105°C για περίπου μια μέρα, ώστε να αποξηραθούν. Μια αντιπροσωπευτική ποσότητα 1g ζυγίστηκε για καθένα από τα ξηρά δείγματα και στη συνέχεια τοποθετήθηκε στο θερμιδόμετρο για την έναρξη της διαδικασίας μέτρησης της HV. Η διαδικασία επαναλήφθηκε συνολικά τρεις φορές για κάθε δείγμα, κάτι που ήταν απαραίτητο για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των μετρήσεων. Το θερμιδόμετρο (Σχήμα 6.3) που χρησιμοποιήθηκε ήταν το XRY-1A Oxygen Bomb Calorimeter.



Σχήμα 6.3: Θερμιδόμετρο-XRY-1A Digital Oxygen Bomb Calorimeter.



6.2.7 Προσομοίωση πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

6.2.7.1 Προσομοίωση μικροκόσκινου

Η μαθηματική προσομοίωση μπορεί να χρησιμεύσει ως συμπληρωματική προσέγγιση στην πειραματική έρευνα και μπορεί να συμβάλει στην πρόοδο της κατανόησης των συστημάτων πρωτοβάθμιας διήθησης (Fernandes del Pozo et al., 2022). Η διεξαγωγή της προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Mathematica, το οποίο περιέχει ισχυρές λειτουργίες για την εύρεση των καλύτερων παραμέτρων, έτσι ώστε το μοντέλο που παρέχεται από τον χρήστη να ταιριάζει με ένα δεδομένο σύνολο πειραματικών στοιχείων. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, η μέθοδος NonlinearModelFit που χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο "LevenbergMarquardt" χρησιμοποιήθηκε για τη προσομοίωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης. Η συγκέντρωση λυμάτων TSS του μικροκόσκινου προσομοιώθηκε σύμφωνα με την εξίσωση 6.1 (Ranjan et al., 2018):

Εξ. 6.1

$$[TSS]_{\text{filtered}}(t) = [TSS]_{\text{in}} \cdot e^{-k \cdot [TSS]_{\text{in}}(t)} \cdot e^{-\gamma \cdot V_N(t)}$$

όπου $[TSS]_{\text{filtered}}(t)$ (mg/L) είναι η συγκέντρωση των TSS στην έξοδο, $[TSS]_{\text{in}}$ (mg/L) είναι η συγκέντρωση των TSS στην είσοδο; k (L/mg) είναι ένας εκθέτης για τη σταθερή επίδραση της αντίστασης του σχηματισμένου υμένα στα TSS των διηθημένων αποβλήτων; γ (m²/m³) είναι ένας εκθέτης που δηλώνει τη διαφορετική επίδραση της αντίστασης του σχηματισμένου υμένα στα TSS στην έξοδο κατά μήκος του ιμάντα διήθησης; και V_N (m³/m²) (όγκος/επιφάνεια) είναι ο αθροιστικός όγκος των διηθημένων αποβλήτων. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τη προσομοίωση του RBF παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

6.2.7.2 Προσομοίωση CBUMF

Η συγκέντρωση λυμάτων των TSS του αμμόφιλτρου προσομοιώθηκε σύμφωνα με την εξίσωση 6.2 (Yao et al., 1971):

Εξ. 6.2

$$C_{\text{out}} = C_{\text{in}} \cdot e^{-\lambda \cdot L} \quad \lambda = \frac{3 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \eta \cdot a}{2 \cdot d_m}$$

όπου $[C_{\text{out}}]$ (mg/L) είναι η συγκέντρωση των TSS στην έξοδο, $[C_{\text{in}}]$ (mg/L) είναι η συγκέντρωση των TSS στην είσοδο, L [m] είναι το βάθος της κλίνης του αμμόφιλτρου, λ [m⁻¹] είναι ο συντελεστής φίλτρου, d_m [m] είναι η διάμετρος του διηθητικού μέσου, ε [-] είναι το πορώδες της κλίνης του φίλτρου, a [-] είναι η αποτελεσματικότητα προσκόλλησης, η [-] είναι ο συντελεστής μεταφοράς. Οι τιμές των παραμέτρων της προσομοίωσης του αμμόφιλτρου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.



Πίνακας 6.1: Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης μικροκόσκινου και αμμόφιλτρου.

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Αναφορά
Μικροκόσκινο			
V_N	750	m^3/m^2	(Sherratt et al., 2017)
Αμμόφιλτρο			
L	4	m	-
d_m	0,002	m	-
ε	0,41	-	-
a	1	-	(Ncube et al., 2018)

6.3 Αποτελέσματα προκαταρκτικών πειραμάτων κατά το σχεδιασμό των νέων τεχνολογιών

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των TSS της ΕΕΛ Μάρπησσας για δείγμα το οποίο συλλέχθηκε από το κανάλι εξόδου της μονάδας προεπεξεργασίας πριν την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα μετρήσεων TSS.

Δείγμα	TSS (mg/L)
5/10/2022	240
10/10/2022	170
15/10/2022	194
Μέσος όρος	201
Τυπική απόκλιση	± 29

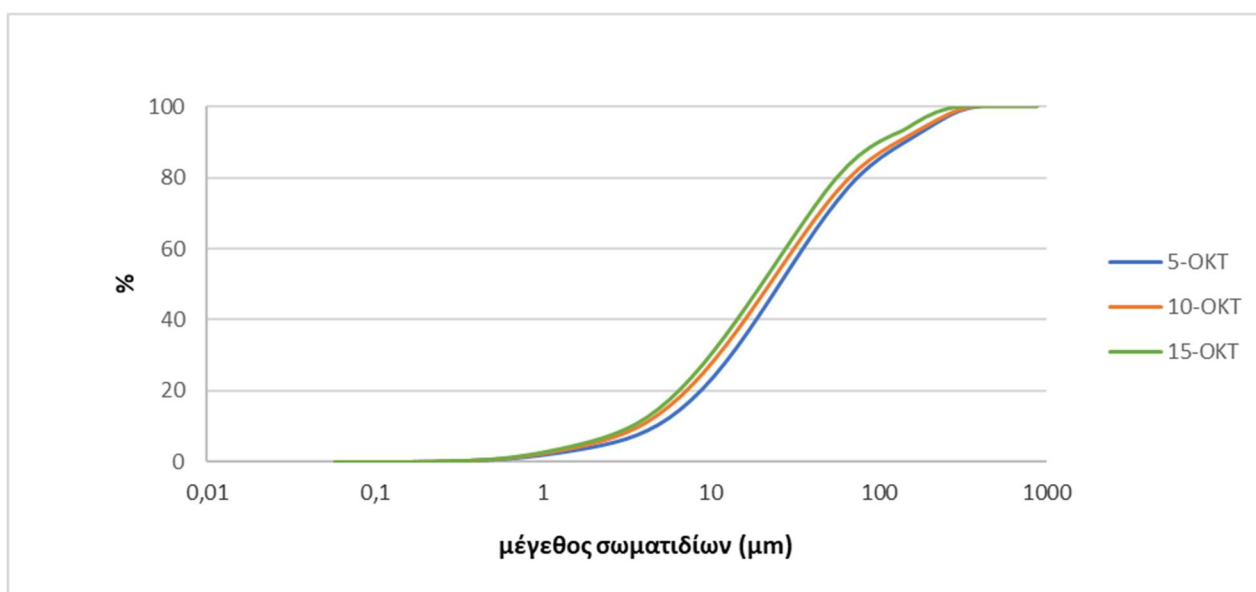
Στον Πίνακα 6.3 παρατίθενται οι τιμές της HHV των πρωτοβάθμιων αιωρούμενων στερεών που μετρήθηκαν για δείγμα από το κανάλι εξόδου της μονάδας προεπεξεργασίας της ΕΕΛ Μάρπησσας πριν την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.



Πίνακας 6.3: Τιμές HHV των αιωρούμενων στερεών της ΕΕΛ Μάρπησσας.

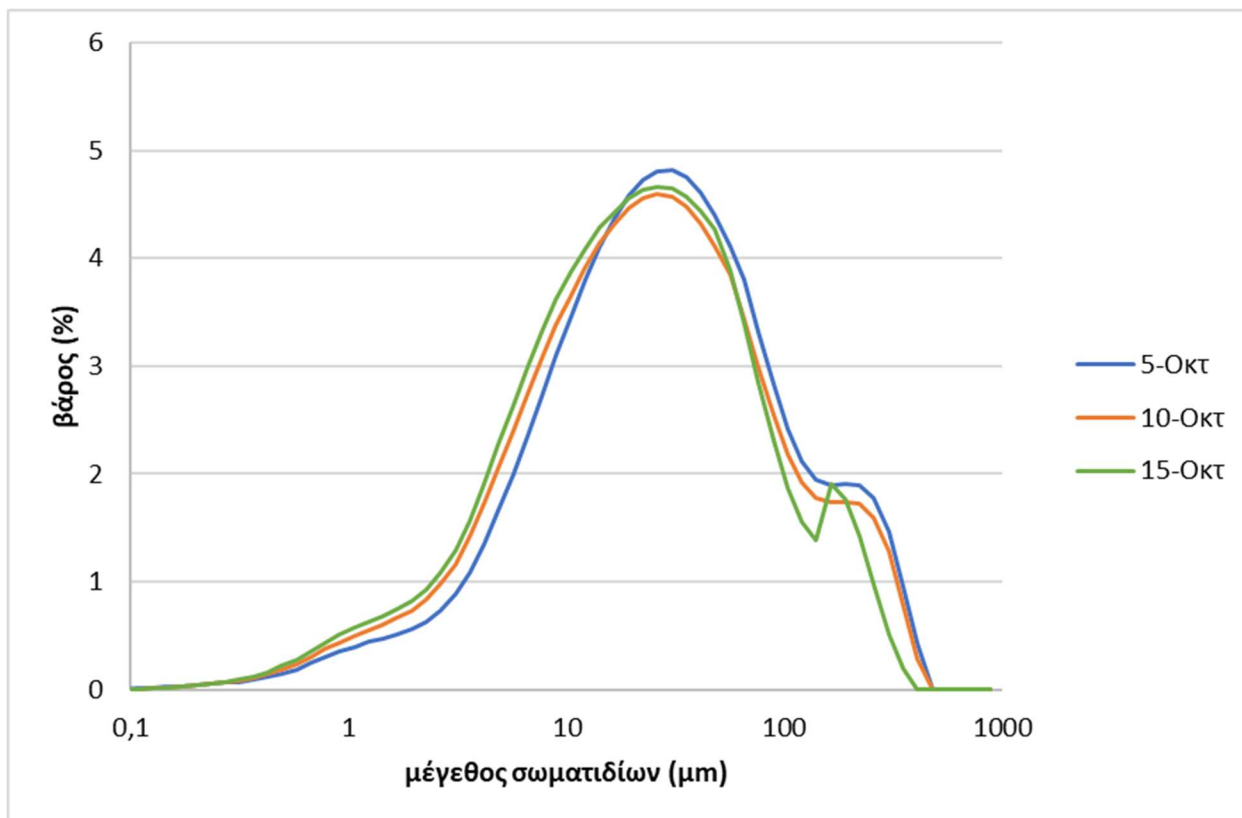
Παράμετρος	Τιμή
HHV	25,91 MJ/kg
HHV	24,79 MJ/kg
HHV	22,65 MJ/kg
Μέσος όρος	24,45 MJ/kg \pm 0,81
Τυπική απόκλιση	\pm 1,66

Για την κάθε μέτρηση που πάρθηκε προκύπτουν δύο διαγράμματα κατανομής σωματιδίων. Στο πρώτο (Διάγραμμα 6.1) παρουσιάζεται το μέγεθος των σωματιδίων σε συνάρτηση με το επί τοις 100 βάρος τους, ενώ στο δεύτερο (Διάγραμμα 6.2) (αθροιστικώς διερχόμενο) παρουσιάζεται το μέγεθος των σωματιδίων σε συνάρτηση με το ποσοστό επί τοις 100 διέλευσης του δείγματος.



Διάγραμμα 6.1: Κατανομή μεγέθους αιωρούμενων στερεών.





Διάγραμμα 6.2: Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό.

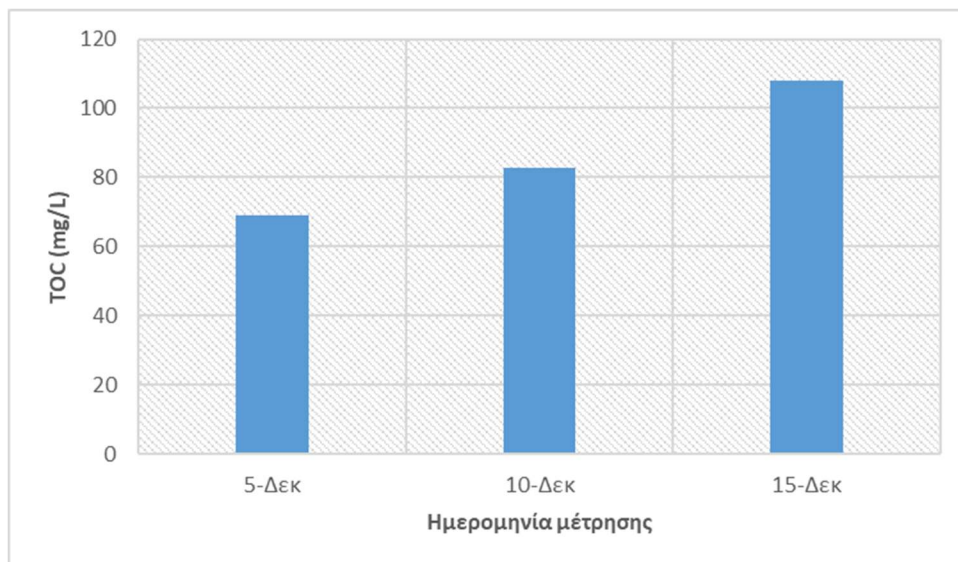
Για τους δείκτες κατανομής d_{10} , d_{50} , d_{90} όλων των μετρήσεων, καταγράφονται οι τιμές τους και υπολογίζονται ο μέσος όρος και η τυπική τους απόκλιση. Τα στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4, για την ΕΕΛ Μάρπησας. Η μεταβολή τους παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.1 και 6.2.

Πίνακας 6.4: Τιμές δεικτών d_{10} , d_{50} , d_{90} .

Δείγμα	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)
5/10/2022	4,67	24,56	103,11
10/10/2022	3,68	21,97	81,84
15/10/2022	3,32	20,38	92,97
Μέσος όρος	3,89	22,31	92,64
Τυπική απόκλιση	$\pm 0,57$	$\pm 1,73$	$\pm 8,69$

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων TOC για τα τρεις δειγματοληψίες παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 6.3 με τις συγκεντρώσεις TOC να κυμαίνονται μεταξύ 69-108 mg /L πριν την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών για την ΕΕΛ Μάρπησας.





Διάγραμμα 6.3: Αποτελέσματα μέτρησης TOC.

Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης των αιωρούμενων στερεών των υγρών αποβλήτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5 πριν την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

Πίνακας 6.5: Χημική σύσταση και λόγος C/N αιωρούμενων στερεών στην ΕΕΛ Μάρπησσα.

Δείγμα	% N	% C	% H	% O	C/N
5/10/2022	1,83	36,90	5,15	18,25	20,14
10/10/2022	4,48	68,50	8,81	28,66	15,29
15/10/2022	1,76	46,79	6,01	37,81	26,54
Μέσος όρος	1,83	36,90	5,15	18,24	20,14
Τυπική απόκλιση	± 1,26	± 13,20	± 1,56	± 7,99	± 4,61

Στον Πίνακα 6.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των TSS της ΕΕΛ Κυπερούντα για δείγμα το οποίο συλλέχθηκε από το κανάλι εξόδου της μονάδας προεπεξεργασίας πριν την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.



Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα μετρήσεων TSS.

Δείγμα	TSS (mg/L)
5/10/2022	840
10/10/2022	880
15/10/2022	1.190
Μέσος όρος	970
Τυπική απόκλιση	± 156

Στον Πίνακα 6.7 παρατίθενται οι τιμές της HHV των πρωτοβάθμιων αιωρούμενων στερεών που μετρήθηκαν για δείγμα από το κανάλι εξόδου της μονάδας προεπεξεργασίας της ΕΕΛ Κυπερούντας, πριν την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

Πίνακας 6.7: Τιμές HHV των αιωρούμενων στερεών της ΕΕΛ Κυπερούντας.

Παράμετρος	Τιμή
HHV	20,66 MJ/kg
HHV	22,53 MJ/kg
HHV	22,20 MJ/kg
Μέσος όρος	21,8 MJ/kg ± 0,81
Τυπική απόκλιση	± 0,81

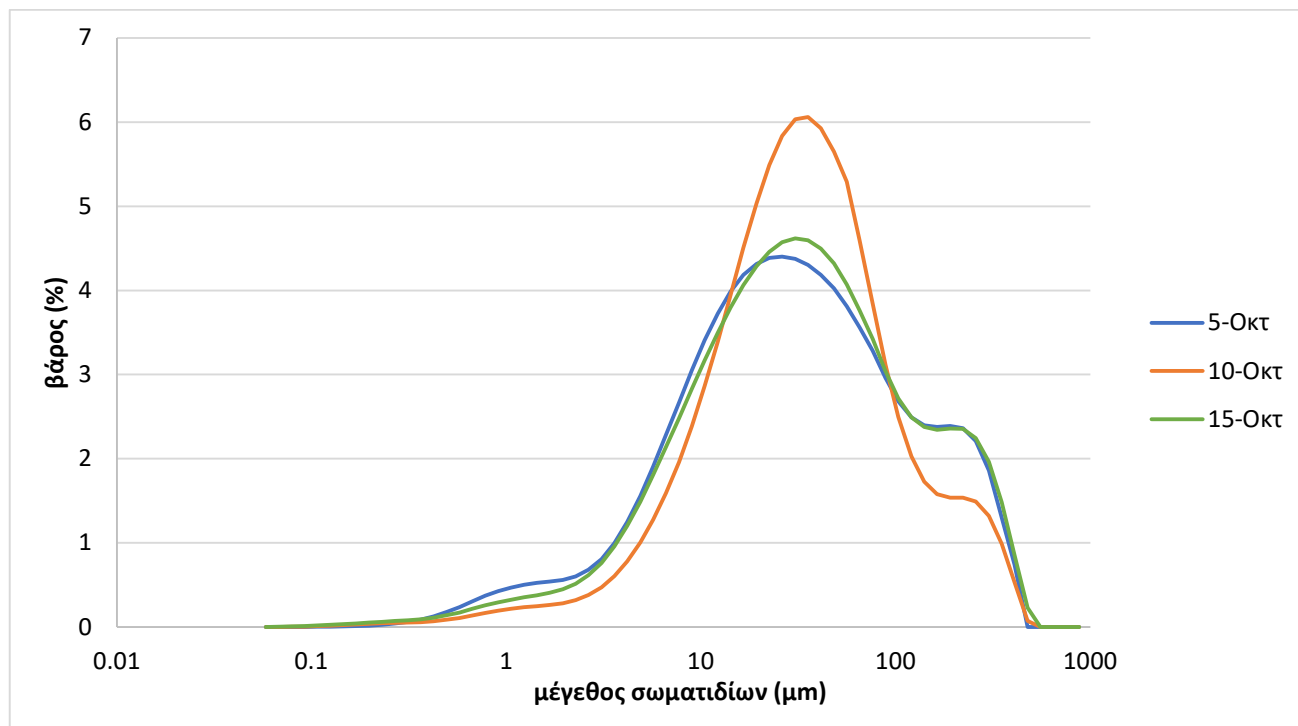
Για τους δείκτες κατανομής d_{10} , d_{50} , d_{90} όλων των μετρήσεων, καταγράφονται οι τιμές τους και υπολογίζονται ο μέσος όρος και η τυπική τους απόκλιση. Τα στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.8 για την ΕΕΛ Κυπερούντας.

Πίνακας 6.8: Τιμές δεικτών d_{10} , d_{50} , d_{90} .

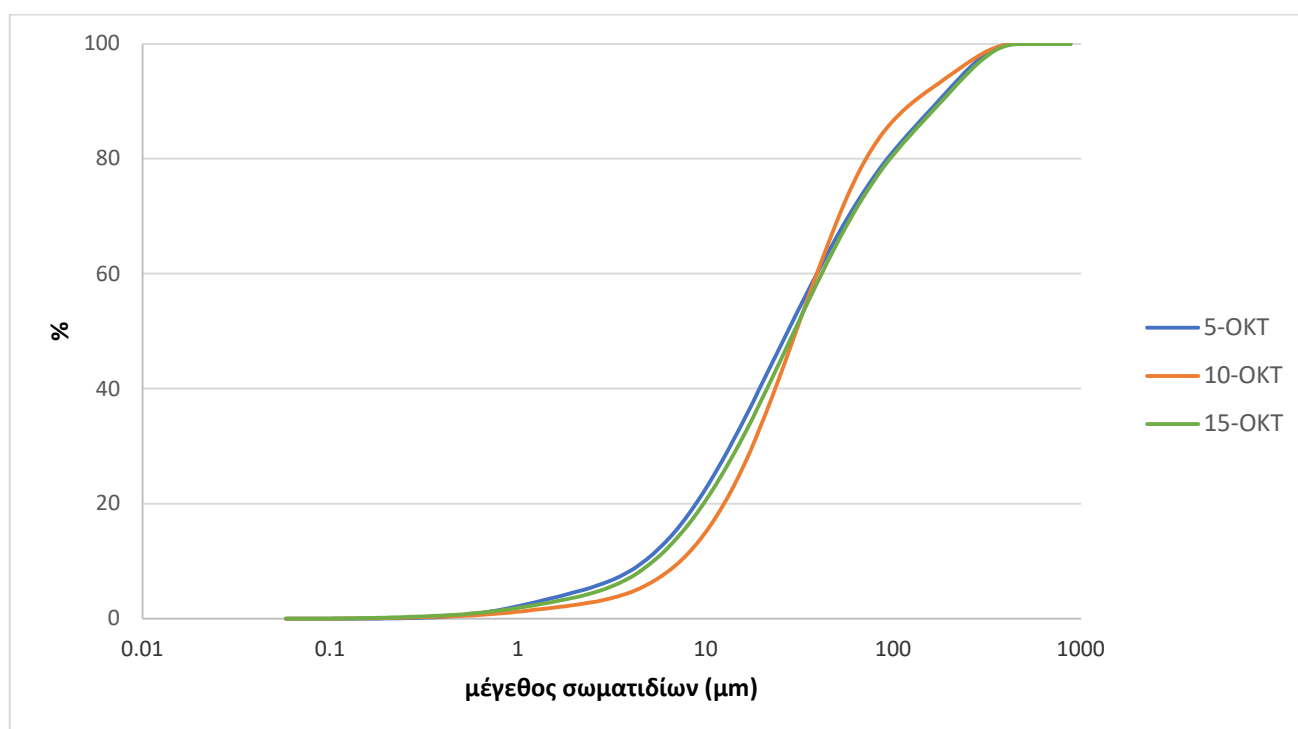
Δείγμα	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)
5/10/2022	4,58	25,32	107,98
10/10/2022	7,71	30,09	89,87
15/10/2022	5,34	27,11	110,66
Μέσος όρος	5,88	27,51	102,84
Τυπική απόκλιση	± 1,33	± 1,97	± 9,23

Η μεταβολή τους παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.4 και 6.5. Για την κάθε μέτρηση που πάρθηκε προκύπτουν δύο διαγράμματα κατανομής σωματιδίων για την ΕΕΛ Κυπερούντας. Στο πρώτο (Διάγραμμα 6.4) παρουσιάζεται το μέγεθος των σωματιδίων σε συνάρτηση με το επί τοις 100 βάρος τους, ενώ στο δεύτερο (Διάγραμμα 6.5) (αθροιστικώς διερχόμενο) παρουσιάζεται το μέγεθος των σωματιδίων σε συνάρτηση με το ποσοστό επί τοις 100 διέλευσης του δείγματος.





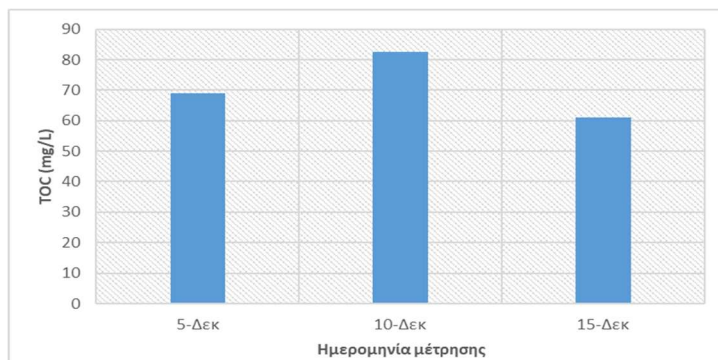
Διάγραμμα 6.4: Κατανομή μεγέθους αιωρούμενων στερεών στην ΕΕΛ Κυτερούνας.



Διάγραμμα 6.5: Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό στην ΕΕΛ Κυτερούνας.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων TOC για τα τρεις δειγματοληψίες παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 6.6 με τις συγκεντρώσεις TOC να κυμαίνονται μεταξύ 61-83 mg /L πριν την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών για την ΕΕΛ Κυτερούνας.





Διάγραμμα 6.6: Αποτελέσματα μέτρησης TOC.

Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης των αιωρούμενων στερεών πριν την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.9 για την ΕΕΛ Κυπερούντας.

Πίνακας 6.9: Χημική σύσταση και λόγος C/N αιωρούμενων στερεών στην ΕΕΛ Κυπερούντας.

Δείγμα	% N	% C	% H	% O	C/N
5/10/2022	1,08	26,24	3,44	18,91	24,23
10/10/2022	1,79	43,28	5,77	28,91	24,19
15/10/2022	1,88	51,30	6,00	36,81	27,29
Μέσος όρος	1,58	40,27	5,07	28,21	25,24
Τυπική απόκλιση	± 0,36	± 10,45	± 1,16	± 7,32	± 1,45

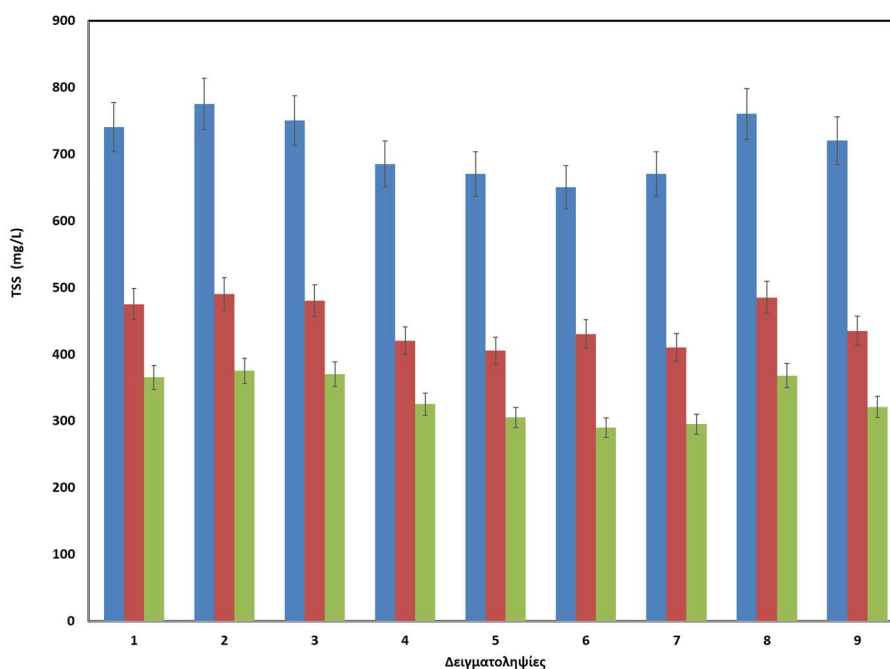
6.4 Αποτελέσματα κατά τη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας

6.4.1 Απομάκρυνση TSS με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης

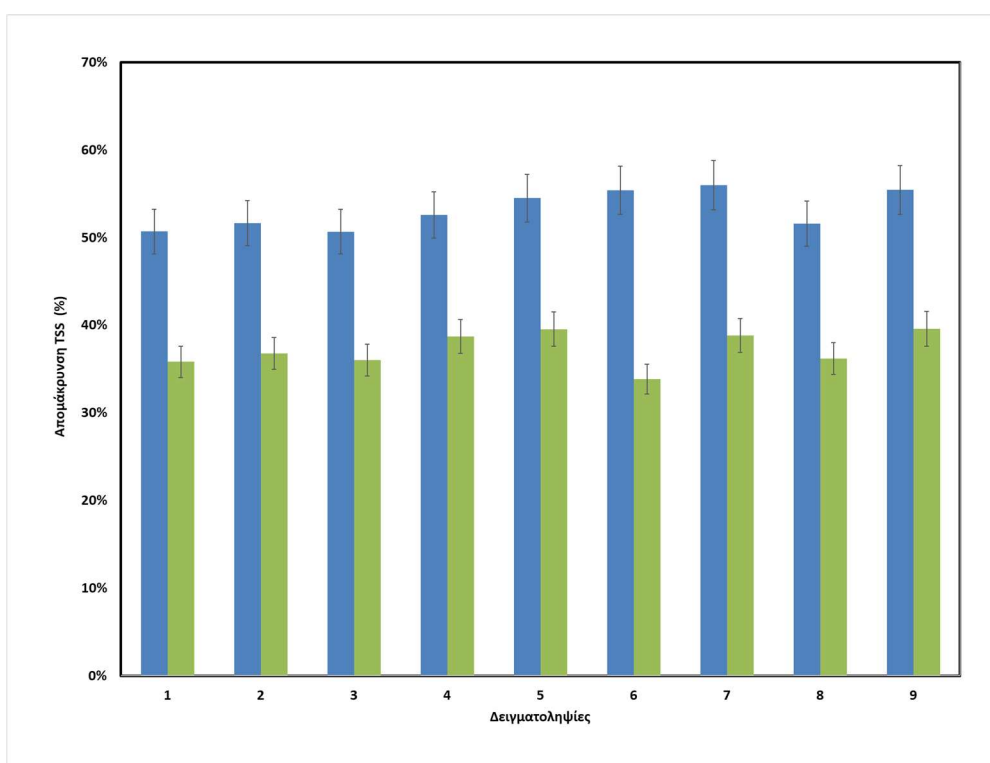
Η απόδοση του πιλοτικού συστήματος επεξεργασίας ως προς την απομάκρυνση των TSS στην ΕΕΛ Κυπερούντας παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.7 και 6.8. Στο Διάγραμμα 6.7 απεικονίζεται η συγκέντρωση των TSS στην είσοδο και έξοδο του μικροκόσκινου καθώς και στην έξοδο του αμμοφίλτρου, ενώ στο Διάγραμμα 6.8 παρουσιάζεται η ποσοστιαία απομάκρυνση ως προς τα TSS που επιτυγχάνεται με τις τεχνολογίες μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης σε σειρά.

Οι μέσες συγκεντρώσεις TSS εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου και εξόδου του αμμοφίλτρου υπολογίστηκαν ίσες με 713 ± 43 mg/L, 448 ± 32 mg/L και 335 ± 33 mg/L (Διάγραμμα 6.7). Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση TSS με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης υπολογίστηκε ίση με $53 \pm 2\%$, ενώ η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση των TSS με επεξεργασία των αποβλήτων μόνο με μικροκοσκίνιση υπολογίστηκε ίση με $37 \pm 2\%$ (Διάγραμμα 6.8) με απουσία κροκιδωτικών μέσων στο σύνολο της πιλοτικής μονάδας.





Διάγραμμα 6.7: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (κόκκινες μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (πράσινες μπάρες) του αμμόφιλτρου.



Διάγραμμα 6.8: Απομάκρυνση TSS με συνδυασμό μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης (%) (μπλε μπάρες), απομάκρυνση TSS με μικροκοσκίνηση (%) (πράσινες μπάρες).

Σύμφωνα με τους Alizadeh et al. 2023 η επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνηση ως πρωτοβάθμια επεξεργασία είχε μέση απομάκρυνση TSS ίση με 36% σε ΕΕΛ στο νοτιοδυτικό Οντάριο του Καναδά. Ερευνητές παρατήρησαν ότι το εύρος της αποτελεσματικότητας απομάκρυνσης ήταν μεταξύ 47% και 51% για το TSS, χρησιμοποιώντας συνδυασμό RBF (με ανοίγματα πόρων 350 μm) ακολουθούμενο από RDF (με ανοίγματα πόρων 60 μm) για την επεξεργασία λυμάτων σε ΕΕΛ

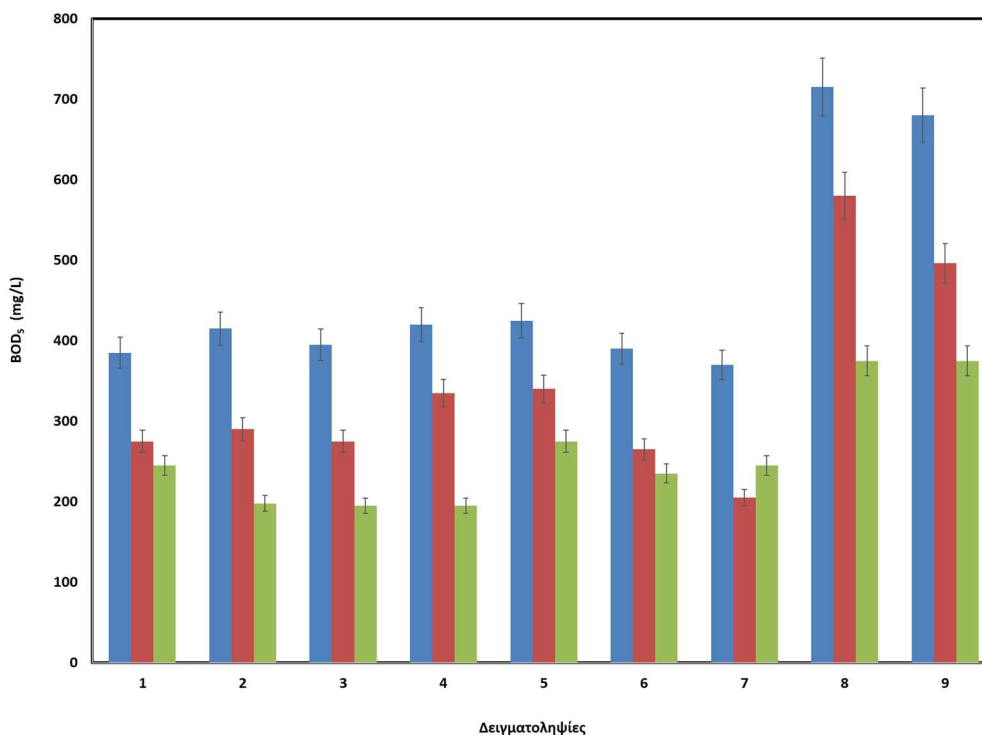


στο νοτιοδυτικό Οντάριο του Καναδά (Alizadeh et al., 2023). Η εφαρμογή ενός «πολύ χοντρού υμένα σε χαμηλό ρυθμό περιστροφής του ιμάντα εξηγεί τις υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης TSS. Οι Taboada-Santos et al. ανέφεραν μέση απομάκρυνση TSS 47% και 50% στις ΕΕΛ Blaricum, Ολλανδία, και στο Aarle-Rixtel, Ολλανδία, αντίστοιχα.

6.4.2 Απομάκρυνση BOD₅ με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανης

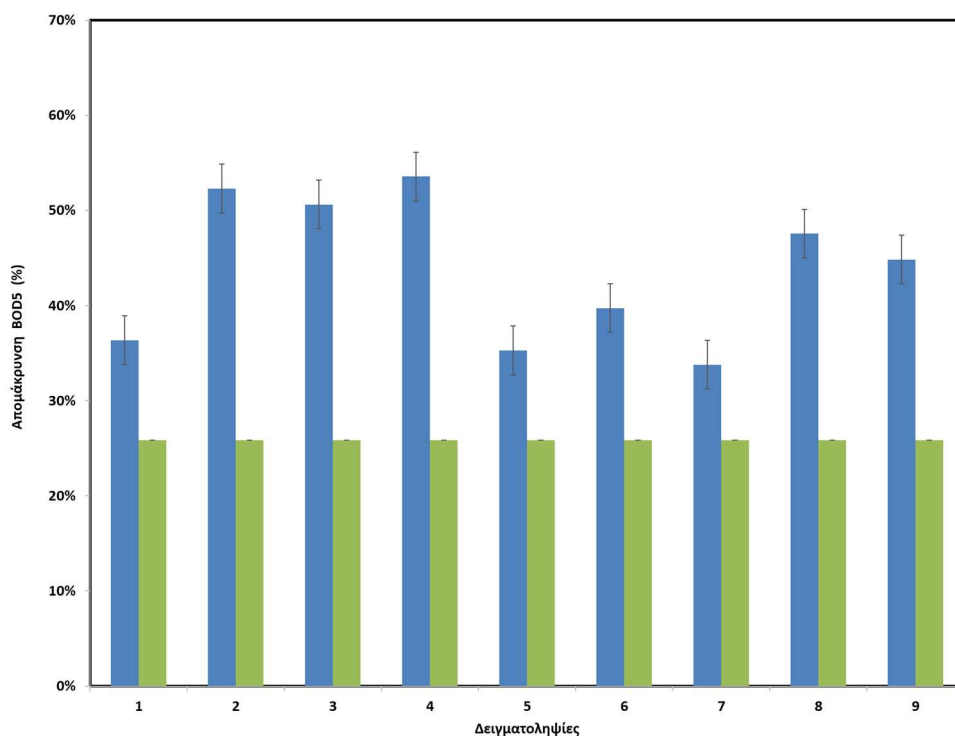
Η απόδοση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης ως προς την απομάκρυνση του BOD₅ στην ΕΕΛ Κυπερούντας παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.9 και 6.10. Στο Διάγραμμα 6.9 απεικονίζεται η συγκέντρωση του BOD₅ στην είσοδο και έξοδο του μικροκόσκινου, καθώς και στην έξοδο του αμμοφίλτρου, ενώ στο Διάγραμμα 6.10 παρουσιάζεται η ποσοστιαία απομάκρυνση ως προς το BOD₅ που επιτυγχάνεται με τις τεχνολογίες μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανης σε σειρά.

Οι μέσες συγκεντρώσεις BOD₅ εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου, εξόδου του αμμοφίλτρου υπολογίστηκαν ίσες με 466 ± 125 mg/L, 340 ± 114 mg/L και 260 ± 67 mg/L (Διάγραμμα 6.9). Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση BOD₅ με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανης υπολογίστηκε ίση με 46 ± 7 %. Αντίθετα, η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση του BOD₅ με την επεξεργασία των αποβλήτων μόνο με μικροκοσκίνιση υπολογίστηκε ίση με 28 ± 8 % (Διάγραμμα 6.10).



Διάγραμμα 6.9: Συγκεντρώσεις BOD₅ εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (κόκκινες μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (πράσινες μπάρες) του αμμοφίλτρου.





Διάγραμμα 6.10: Ποσοστιαία απομάκρυνση BOD₅ με συνδυασμό μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης (%) (μπλε μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση BOD₅ με μικροκοσκίνηση (%) (πράσινες μπάρες).

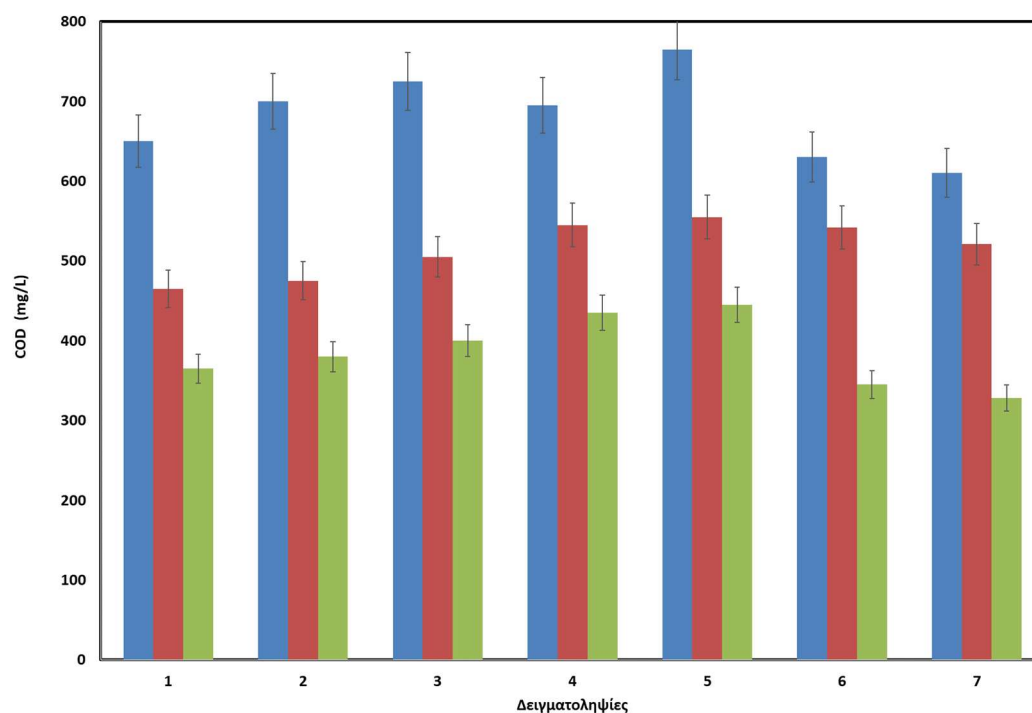
Ο Paulsrud 2000 διεξήγαγε μια μελέτη για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του μικροκόσκινου στην ΕΕΛ Tiendeholmen της Νορβηγίας, για τα ακατέργαστα λύματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μέση απόδοση απομάκρυνσης 36% για το BOD₅. Σύμφωνα με τους Alizadeh et al. 2023 η μέση απόδοση απομάκρυνσης BOD₅ που επιτεύχθηκε με μικροκοσκίνηση ήταν 35% σε ΕΕΛ στο νοτιοδυτικό Οντάριο του Καναδά.

6.4.3 Απομάκρυνση COD με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης

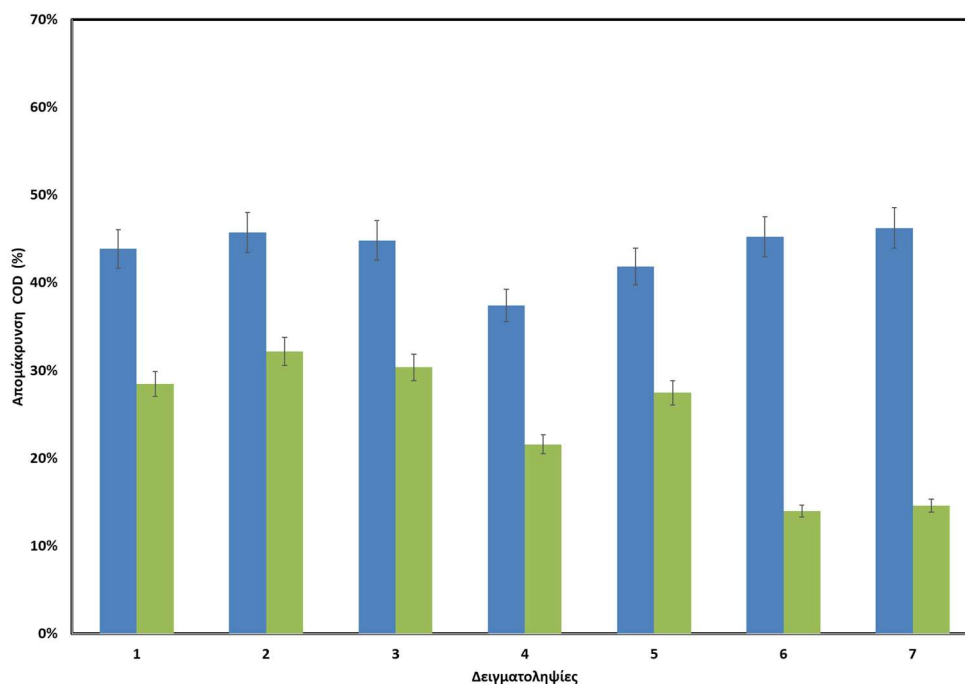
Η απόδοση του πιλοτικού συστήματος επεξεργασίας ως προς την απομάκρυνση του COD στην ΕΕΛ Κυπερούντας παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.11 και 6.12. Στο Διάγραμμα 6.11 απεικονίζεται η συγκέντρωση του COD στην είσοδο και έξοδο του μικροκόσκινου καθώς και στην έξοδο του αμμοφίλτρου, ενώ στο Διάγραμμα 6.12 παρουσιάζεται η ποσοστιαία απομάκρυνση ως προς το COD που επιτυγχάνεται με τις τεχνολογίες μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης σε σειρά.

Οι μέσες συγκεντρώσεις COD εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου, εξόδου του αμμοφίλτρου υπολογίστηκαν ίσες με 711 ± 70 mg/L, 532 ± 43 mg/L και 401 ± 49 mg/L (Διάγραμμα 6.11). Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση COD με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης υπολογίστηκε ίση με $43 \pm 3\%$. Από την άλλη, η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση COD με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνηση υπολογίστηκε ίση με $25 \pm 6\%$ (Διάγραμμα 6.12).





Διάγραμμα 6.11: Συγκεντρώσεις COD εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (κόκκινες μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (πράσινες μπάρες) του αμμόφιλτρου.



Διάγραμμα 6.12: Ποσοστιαία απομάκρυνση COD με συνδυασμό μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης (%) (μπλε μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση COD με μικροκοσκίνιση (%) (πράσινες μπάρες).



Οι Taboada-Santos et al. ανέφεραν μέση αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης COD ίση με 21% και 35% στις ΕΕΛ Blaricum και Aarle-Rixtel, Ολλανδία, αντίστοιχα με τη χρήση μικροκοσκίνησης. Σύμφωνα με τους Alizadeh et al. 2023 η συνολική αποτελεσματικότητα της απόδοσης απομάκρυνσης COD με μικροκοσκίνηση ήταν περίπου 24% σε ΕΕΛ στο νοτιοδυτικό Οντάριο του Καναδά.

6.4.4 Απομάκρυνση TKN και TP με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης

Στους Πίνακες 6.10 και 6.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ως προς τις απομακρύνσεις των TKN και TP για την ΕΕΛ Κυπερούντας. Το ποσοστό απομάκρυνσης του TKN με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνηση κυμαίνεται από 3 έως 10%, ενώ στην έξοδο του αμμόφιλτρου η ποσοστιαία απομάκρυνση υπολογίστηκε μεταξύ 10 και 23%.

Πίνακας 6.10: Απομάκρυνση TKN με επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης στην ΕΕΛ Κυπερούντας.

Αριθμός Δειγματοληψιών	TKN (mg/L)		
	Είσοδος στο σταθμό	Έξοδος μικροκόσκινου	Έξοδος αμμόφιλτρου
Δειγματοληψία 1	8,8	8,5	7,9
Δειγματοληψία 2	10,7	9,2	8,5
Δειγματοληψία 3	9,5	8,7	8,3
Δειγματοληψία 4	9,1	8,2	7,9

Το ποσοστό απομάκρυνσης του TP που επιτυγχάνεται με την επεξεργασία λυμάτων με μικροκοσκίνηση κυμαίνεται από 2 έως 15%, ενώ σε συνδυασμένη επεξεργασία (μικροκόσκινο και αμμόφιλτρο), το εκτιμώμενο ποσοστό απομάκρυνσης TP κυμαίνεται από 5 έως 18%.

Πίνακας 6.11: Απομάκρυνση TP με επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης στην ΕΕΛ Κυπερούντας.

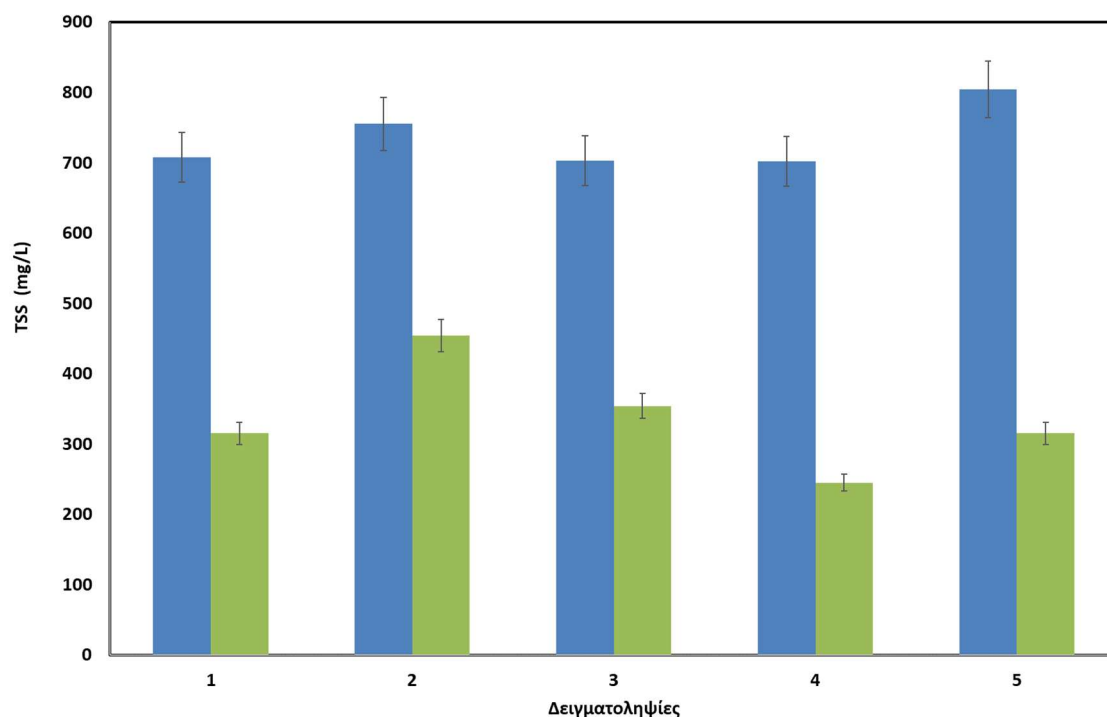
Αριθμός δειγματοληψιών	TP (mg/L)		
	Είσοδος στο σταθμό	Έξοδος μικροκόσκινου	Έξοδος αμμόφιλτρου
Δειγματοληψία 1	5,8	5,4	5,5
Δειγματοληψία 2	7,2	6,1	5,9
Δειγματοληψία 3	6,6	6,2	5,7
Δειγματοληψία 4	6,1	6,0	5,8

Προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματική απονιτροποίηση στη δεξαμενή αερισμού, είναι απαραίτητο να υπάρχει μια συγκεκριμένη αναλογία εύκολα αποικοδομήσιμων ενώσεων άνθρακα. Μόλις τα αστικά λύματα υποβληθούν σε πρωτοβάθμια επεξεργασία, η αναλογία BOD:N απαιτείται να είναι 100:25 ή 5 κατά την είσοδο των λυμάτων στη δεξαμενή αερισμού. Εάν η αναλογία πέσει κάτω από 100:40 (που ισοδυναμεί με 2,5), η απονιτροποίηση γίνεται λιγότερο αποτελεσματική, οδηγώντας σε αυξημένα επίπεδα νιτρικών στην εκροή (Metcalf et al., 1991). Σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν στην ΕΕΛ Κυπερούντας ο λόγος BOD₅:TKN υπολογίστηκε ίσος με 29, συνεπώς δεν αναμένεται να επηρεάζεται ο λόγος BOD:N με την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης με βάση τις υφιστάμενες πειραματικές μετρήσεις. Ωστόσο, είναι επιτακτική η διεξαγωγή συμπληρωματικών μετρήσεων προκειμένου να καταλήξουμε σε πιο ασφαλή συμπεράσματα.



6.4.4 Απομάκρυνση TSS και BOD₅ στη δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες

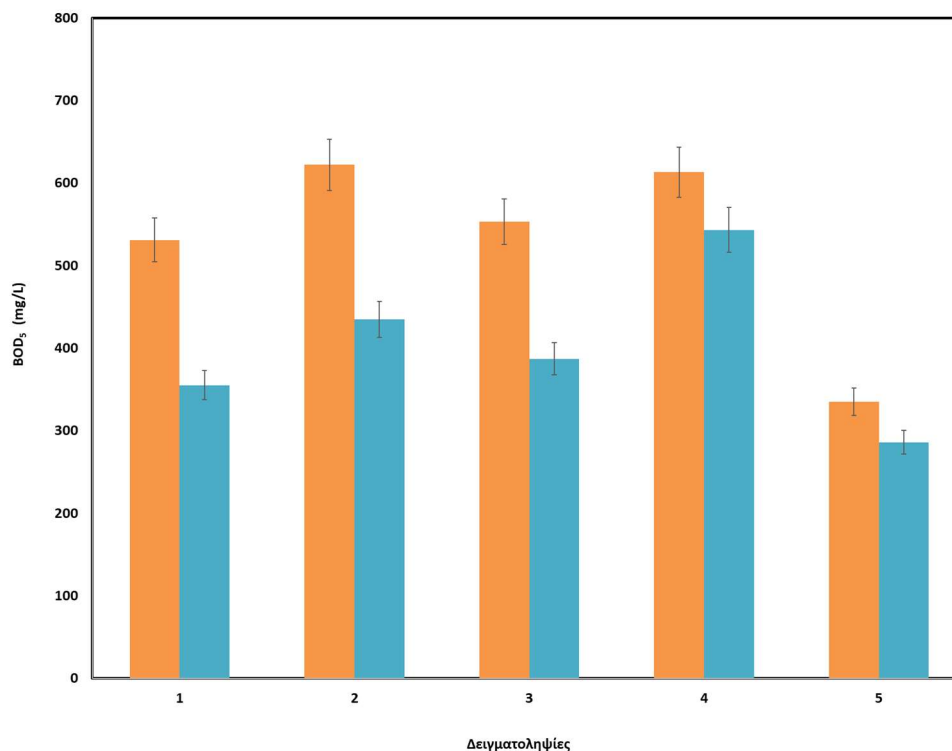
Οι μέσες συγκεντρώσεις TSS εισόδου και εξόδου στη δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες, υπολογίστηκαν ίσες με 734 ± 40 mg/L 337 ± 68 mg/L (Διάγραμμα 6.13). Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση TSS υπολογίστηκε ίση με $54 \pm 9\%$ με απουσία κροκιδωτικών. Σύμφωνα με τους Lema and Martinez 2017 η απομάκρυνση των TSS σε δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες για την επεξεργασία αστικών λυμάτων κυμαίνεται από 50 έως 70 % χωρίς την προσθήκη κροκιδωτικών.



Διάγραμμα 6.13: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (πράσινες μπάρες) της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες.

Οι μέσες συγκεντρώσεις BOD₅ εισόδου και εξόδου στη δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες, υπολογίστηκαν ίσες με 531 ± 104 mg/L 401 ± 86 mg/L (Διάγραμμα 6.14). Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση BOD₅ υπολογίστηκε ίση με $24 \pm 9\%$ με απουσία κροκιδωτικών. Σύμφωνα με τους Lema and Martinez 2017 η απομάκρυνση του BOD₅ σε δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες για την επεξεργασία αστικών λυμάτων κυμαίνεται από 30 έως 50 % χωρίς την προσθήκη κροκιδωτικών.



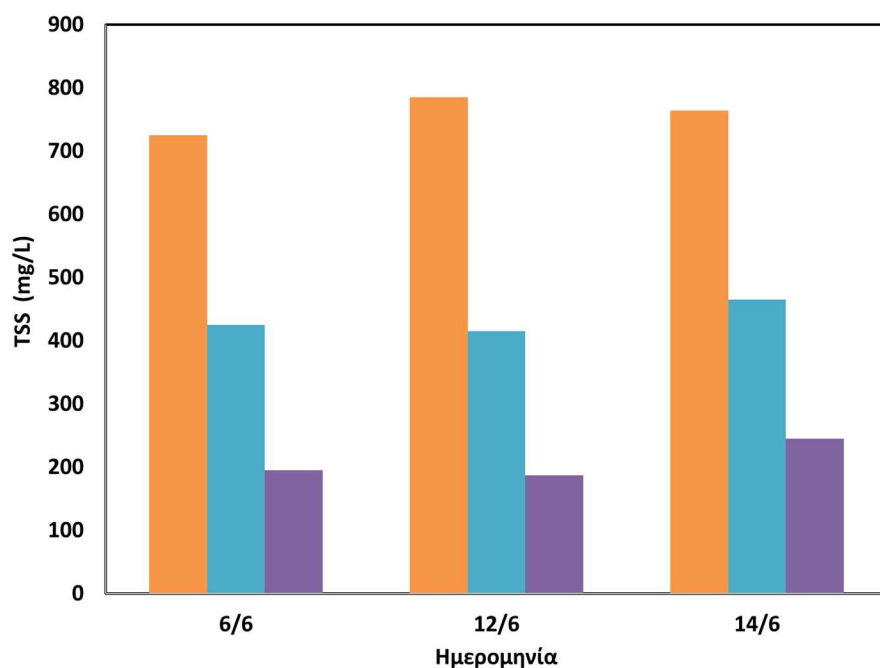


Διάγραμμα 6.14: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (πορτοκαλί μπάρες), εξόδου (τρικουάζ μπάρες) της δεξαμενής καθίζησης με λαμέλλες.

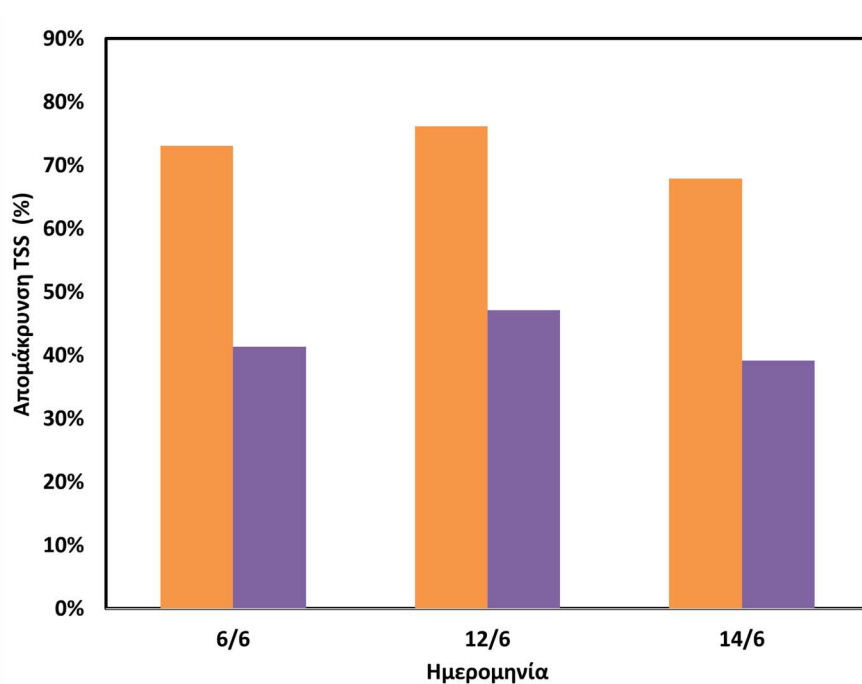
6.4.5 Ενισχυμένη απομάκρυνση TSS με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης

Η απόδοση του πιλοτικού συστήματος ως προς την απομάκρυνση των TSS στην ΕΕΛ Κυπερούντας παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.15 και 6.16, με προσθήκη κροκιδωτικών στο αμμόφιλτρο με εύρος δόσης κροκιδωτικού PAC από 0,6-0,8 mL/L. Στο Διάγραμμα 6.15 απεικονίζεται η συγκέντρωση των TSS στην είσοδο και έξοδο του μικροκόσκινου καθώς και στην έξοδο του αμμόφιλτρου, ενώ στο Διάγραμμα 6.16 παρουσιάζεται η ποσοστιαία απομάκρυνση ως προς τα TSS που επιτυγχάνεται με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης. Οι μέσες συγκεντρώσεις των TSS εισόδου, εξόδου του μικροκοκόσκινου και εξόδου του αμμόφιλτρου υπολογίστηκαν ίσες με 758 ± 25 mg/L, 435 ± 22 mg/L και 209 ± 26 mg/L (Διάγραμμα 6.15). Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση των TSS με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης υπολογίστηκε ίση με $72 \pm 3\%$, ενώ η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση των TSS με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνιση υπολογίστηκε ίση με $43 \pm 3\%$ (Διάγραμμα 6.16).





Διάγραμμα 6.15: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (πορτοκαλί μπάρες), εξόδου (τιρκουάζ μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (μωβ μπάρες) του αμμόφιλτρου.



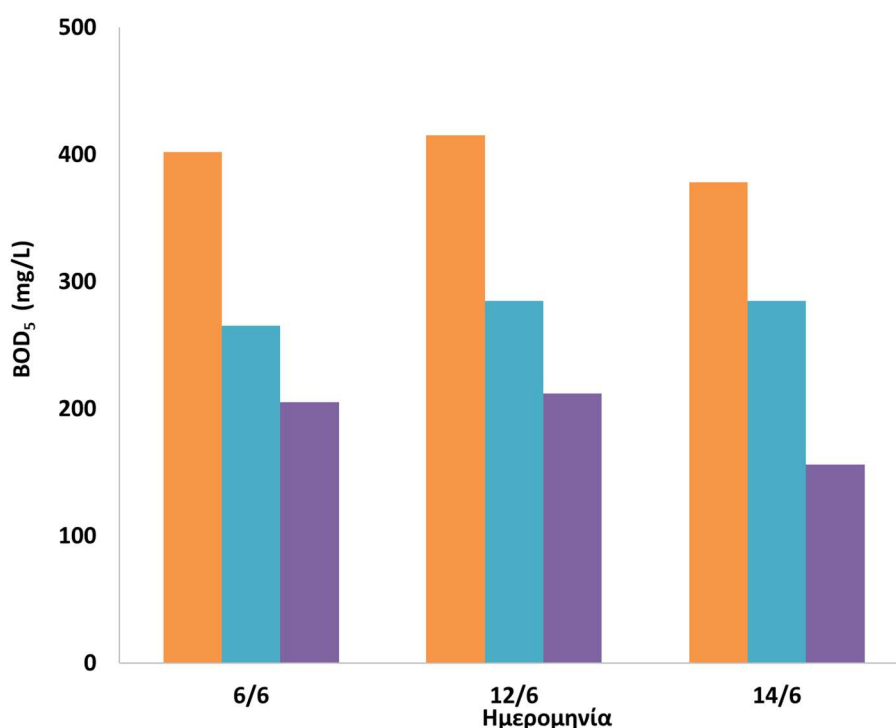
Διάγραμμα 6.16: Ποσοστιαία απομάκρυνση TSS με συνδυασμό μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης (%) (πορτοκαλί μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση TSS με μικροκοσκίνιση (%) (μωβ μπάρες).



6.4.6 Ενισχυμένη απομάκρυνση BOD₅ με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης

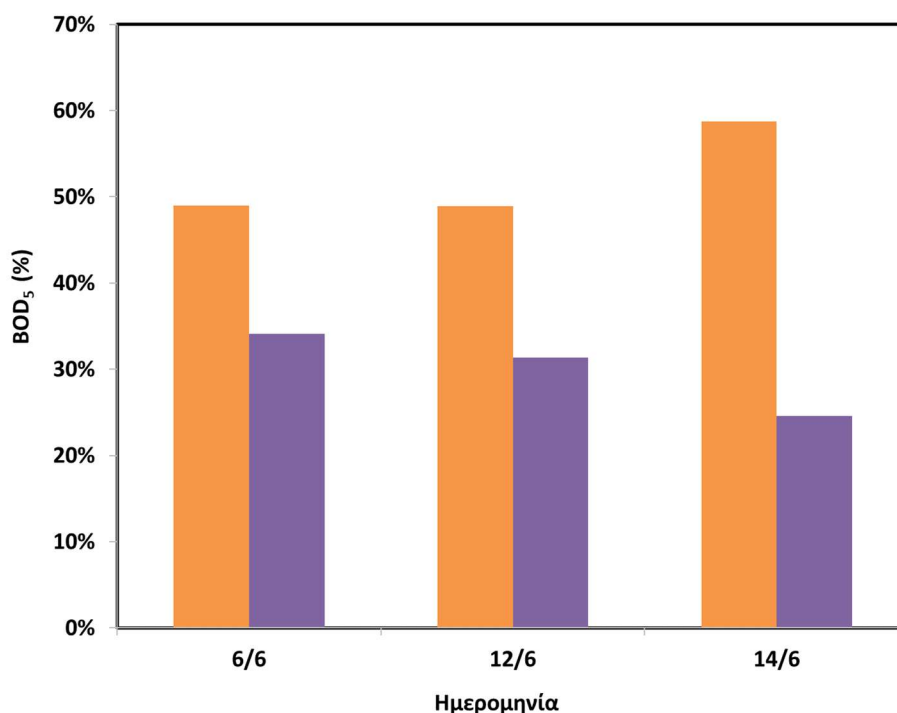
Η απόδοση του πιλοτικού συστήματος επεξεργασίας ως προς την απομάκρυνση του BOD₅ στην ΕΕΛ Κυπερούντας παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.17 και 6.18. Στο Διάγραμμα 6.17 απεικονίζεται η συγκέντρωση του BOD₅ στην είσοδο και έξοδο του μικροκόσκινου καθώς και στην έξοδο του αμμοφίλτρου. Στο Διάγραμμα 6.18 παρουσιάζεται η ποσοστιαία απομάκρυνση ως προς το BOD₅ που επιτυγχάνεται με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης με την προσθήκη κροκιδωτικών με εύρος δόσης κροκιδωτικού PAC από 0,6-0,8 mL/L.

Οι μέσες συγκεντρώσεις BOD₅ εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου, εξόδου του αμμοφίλτρου υπολογίστηκαν ίσες με 397 ± 15 mg/L, 285 ± 9 mg/L και 184 ± 25 mg/L (Διάγραμμα 6.17). Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση του BOD₅ με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης υπολογίστηκε ίση με 52 ± 5 %. Αντίθετα, η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση του BOD₅ με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνιση υπολογίστηκε ίση με 30 ± 4 % (Διάγραμμα 6.18).



Διάγραμμα 6.17: Συγκεντρώσεις BOD₅ εισόδου (πορτοκαλί μπάρες), εξόδου (τρκουάζ μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (μωβ μπάρες) του αμμοφίλτρου.





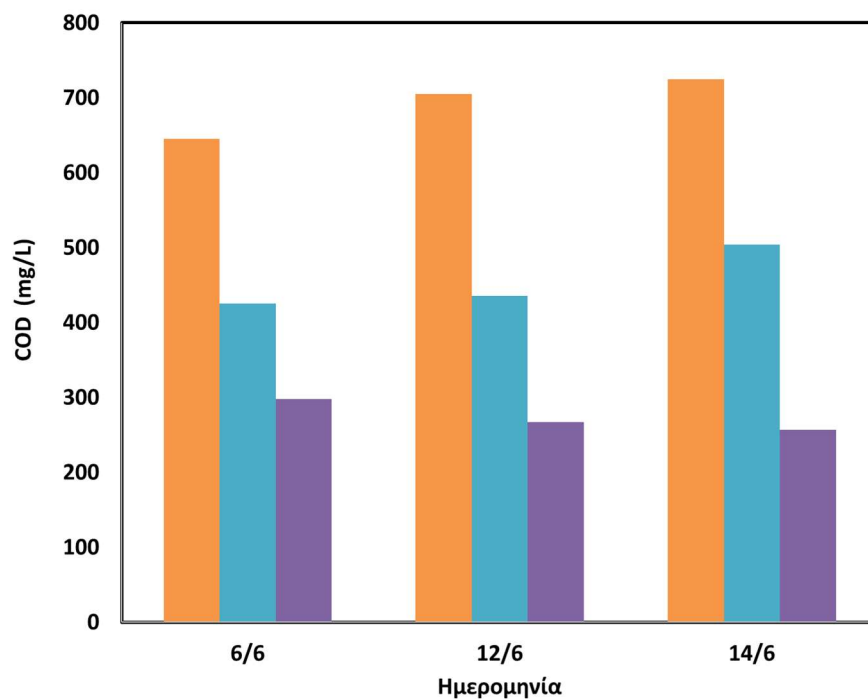
Διάγραμμα 6.18: Ποσοστιαία απομάκρυνση BOD₅ με συνδυασμό μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης (%) (πορτοκαλί μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση BOD₅ με μικροκοσκίνηση (%) (μωβ μπάρες).

6.4.7 Ενισχυμένη απομάκρυνση COD με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης

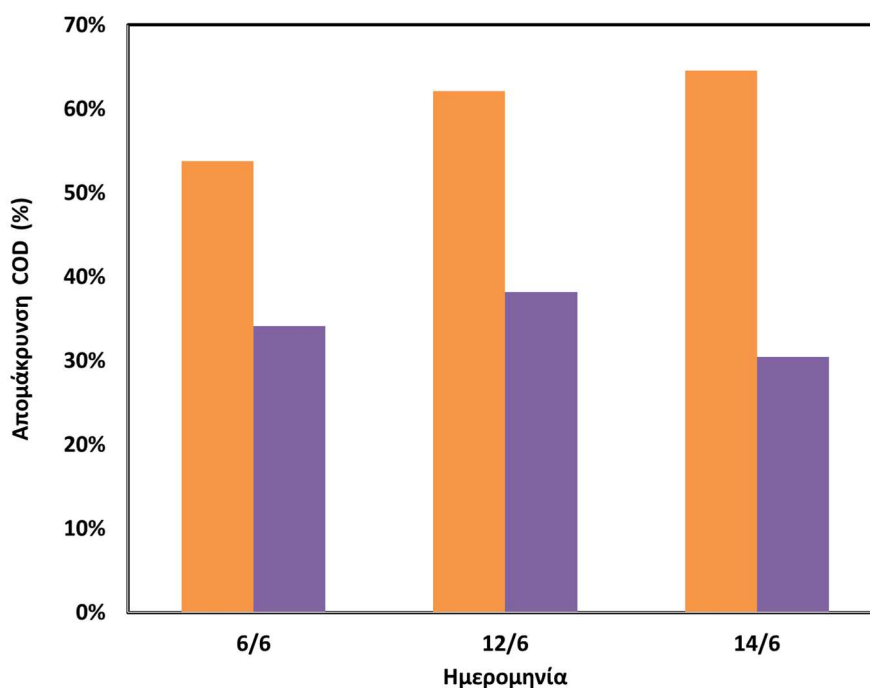
Η απόδοση του πιλοτικού συστήματος ως προς την απομάκρυνση του COD στην ΕΕΛ Κυπερούντας παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.19 και 6.20. Στο Διάγραμμα 6.19 απεικονίζεται η συγκέντρωση του COD στην είσοδο και έξοδο του μικροκόσκινου καθώς και στην έξοδο του αμμόφιλτρου, ενώ στο Διάγραμμα 6.20 παρουσιάζεται η ποσοστιαία απομάκρυνση ως προς το COD που επιτυγχάνεται με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης με προσθήκη κροκιδωτικών με εύρος δόσης κροκιδωτικού PAC από 0,6-0,8 mL/L.

Οι μέσες συγκεντρώσεις COD εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου και εξόδου του αμμόφιλτρου υπολογίστηκαν ίσες με 692 ± 34 mg/L, 455 ± 35 mg/L και 274 ± 17 mg/L (Διάγραμμα 6.19). Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση του COD με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρανσης υπολογίστηκε ίση με $60 \pm 5\%$. Αντίθετα, η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση του COD με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκόσκινηση υπολογίστηκε ίση με $34 \pm 3\%$ (Διάγραμμα 6.20).





Διάγραμμα 6.19: Συγκεντρώσεις COD εισόδου (πορτοκαλί μπάρες), εξόδου (τιρκουάζ μπάρες) του μικροκόσκινου, εξόδου (μωβ μπάρες) του αμμόφιλου.



Διάγραμμα 6.20: Ποσοστιαία απομάκρυνση COD με συνδυασμό μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης (%) (πορτοκαλί μπάρες), ποσοστιαία απομάκρυνση COD με μικροκοσκίνιση (%) (μωβ μπάρες).



6.4.8 Παραγόμενα PSS από το μικροκόσκινο στην ΕΕΛ Κυπερούντας

Τα παραγόμενα PSS από το μικροκόσκινο στην ΕΕΛ Κυπερούντας παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.4. Η μέγιστη περικεκτικότητα σε στερεά προσδιορίστηκε ίση με 20%, ενώ η ποσότητα κυμαίνεται από 0,4-0,6 kg/h (ξηρή βάση) για μέση παροχή λυμάτων 300 m³/d.



Σχήμα 6.4: α) Παραγόμενα PSS στην ΕΕΛ Κυπερούντας.

6.4.9 Μείωση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕΛ Κυπερούντας, Κύπρος

Τα στοιχεία του ΣΑΚ αναφέρουν ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παρήχθη στο σταθμό μεταξύ 30/4/2023 και 31/5/2023 ανήλθε σε 17.158 kWh. Μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ 30/4/2024 και 31/5/2024 ανήλθε σε 12.325 kWh. Το ποσοστό μείωσης της ηλεκτρικής ενέργειας για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα υπολογίστηκε ίσο με είναι 28%.

6.4.10 Βελτίωση στην ποιότητα εκροών μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

Ο Πίνακας 6.12 δείχνει τη βελτίωση της ποιότητας των λυμάτων μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων πρωτογενούς διήθησης για την ΕΕΛ Κυτερούνας. Παρουσιάζει μια σύγκριση μεταξύ των δειγμάτων στην επεξεργασμένη εκροή που συλλέχθηκαν το 2024 και δειγμάτων που συλλέχθηκαν το 2023 (με αντιστοιχία στις ημερομηνίες), χρησιμοποιώντας ως μέτρο σύγκρισης τα ανώτατα όρια ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων που αναγράφονται στην άδεια απόρριψης αποβλήτων της ΕΕΛ Κυτερούνας.

Πίνακας 6.12: Παράμετροι ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων.

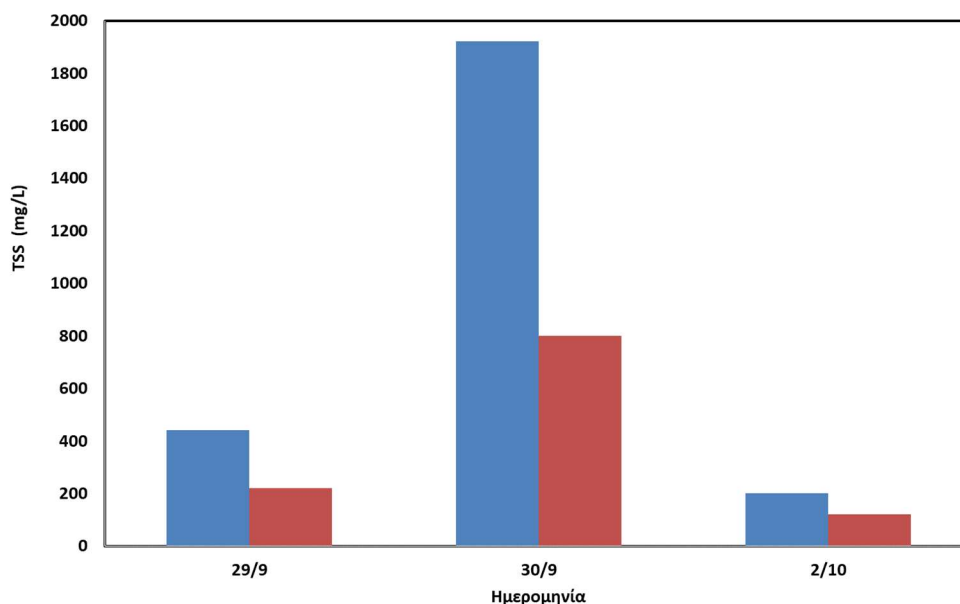
Παράμετρος	TSS, (mg/L)			BOD ₅ , (mg/L)			COD, (mg/L)		
	Ανώτατο όριο	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβαθμισμένη ΕΕΛ	Ανώτατο όριο	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβαθμισμένη ΕΕΛ	Ανώτατο όριο	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβαθμισμένη ΕΕΛ
Αριθμός Δειγματοληψιών									
Δειγματοληψία 1	10	10	<9	10	20	8	70	28	65
Δειγματοληψία 2	10	υπερχλ.*	<9	10	υπερχλ.*	9	70	υπερχλ.*	68
Δειγματοληψία 3	10	24	<9	10	11	6	70	60	58
Δειγματοληψία 4	10	18	<9	10	30	7	70	85	59
Δειγματοληψία 5	10	22	<9	10	10	9	70	80	67
Δειγματοληψία 6	10	9	<9	10	9	6	70	76	58
Δειγματοληψία 7	10	7	<9	10	18	6	70	70	56
Δειγματοληψία 8	10	18	<9	10	12	7	70	65	55
Δειγματοληψία 9	10	7	<9	10	10	8	70	63	57

*Οι μετρήσεις TSS, BOD₅, COD δεν έγιναν γιατί το δείγμα ήταν υπερχλωριωμένο



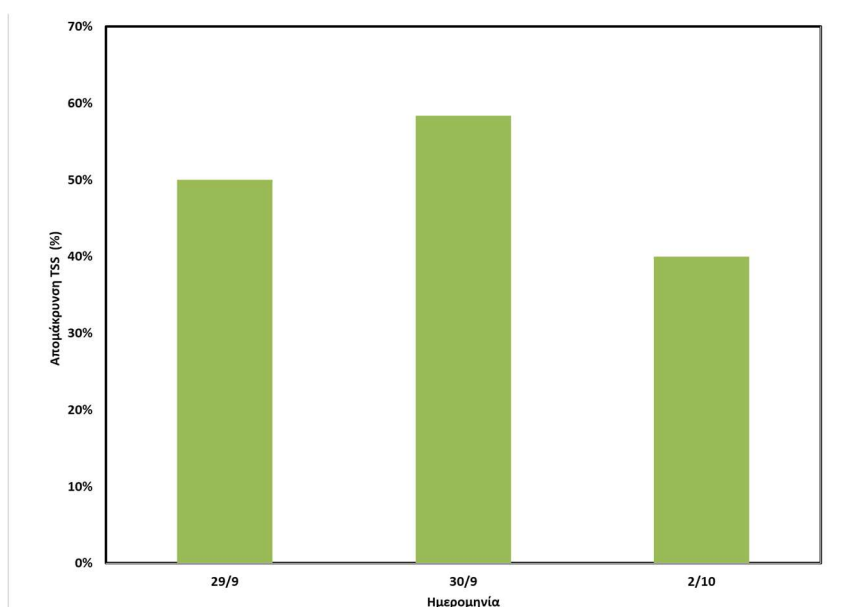
6.4.11 Αποτελέσματα FAT στην ΕΕΛ Θριάσιου, Ελλάδα

Οι FAT για το μικροκόσκινο που εγκαταστάθηκε στην ΕΕΛ Μάρπησσας έγιναν στην ΕΕΛ Θριάσιου (η οποία δεν διαθέτει πρωτοβάθμια καθίζηση) για μέση εισερχόμενη παροχή αστικών λυμάτων ίση με 150 m³/h. Σύμφωνα με το Διάγραμμα 6.21, εμφανίζεται σημαντική μείωση της συγκέντρωσης των TSS στα λύματα, αφού στην είσοδο προσδιορίστηκε η συγκέντρωση των TSS ίση με 853 ± 761mg/L, ενώ στην έξοδο ίση με 380 ± 300 mg/L, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 6.21: Συγκεντρώσεις TSS εισόδου (μπλε μπάρες), εξόδου (κόκκινες μπάρες) του μικροκόσκινου στην ΕΕΛ Θριάσιου.

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 6.22, η ποσοστιαία απομάκρυνση των TSS υπολογίστηκε από 40 έως 58% χωρίς την προσθήκη κροκιδωτικών.



Διάγραμμα 6.22: Ποσοστιαία απομάκρυνση TSS του μικροκόσκινου στην ΕΕΛ Θριάσιου.



Σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις των PSS στην ΕΕΛ Ρεθύμνου από μικροκόσκινο (τύπου RBF) μέγιστης δυναμικότητας 5.000 m³/d που ανήκει στο Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών του Πολυτεχνείου Κρήτης, η μέση συγκέντρωση των TS στα PSS έχει υπολογιστεί ίση με 36 ± 2 % (Μάναλη, 2023). Η περιεκτικότητα σε στερεά των παραγόμενων PSS στην ΕΕΛ Θριασίου (και κατά συνέπεια στην ΕΕΛ Μάρπησσας) αναμένεται να είναι πάνω από 30% (Σχήμα 6.5 α). Επειδή, το συγκεκριμένο μικροκόσκινο είναι ίδιου τύπου ως προς το σύστημα αφυδάτωση των βιοστερεών με το μικροκόσκινο στην ΕΕΛ Ρεθύμνου. Ωστόσο έχει καλύτερα λειτουργικά χαρακτηριστικά (κλίση ιμάντα, διαφορετικό υλικό ιμάντα, καινοτομίες στο σχεδιασμό (π.χ. αποφυγή πρόσμιξης των θαλάμων διηθημένων και εισερχόμενων λυμάτων, κτλ)) σε σχέση με το μικροκόσκινο στην ΕΕΛ Ρεθύμνου.

Το Σχήμα 6.5 β απεικονίζει το εσωτερικό τμήμα του μικροκόσκινου και την εισροή των λυμάτων στο θάλαμο φόρτισης στην ΕΕΛ Θριασίου, ενώ το Σχήμα 6.5γ απεικονίζει τον σχηματισμό του υμένα πάνω στον περιστρεφόμενο ιμάντα, ο οποίος είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που συμβάλλει στην υψηλή απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών από τα λύματα.



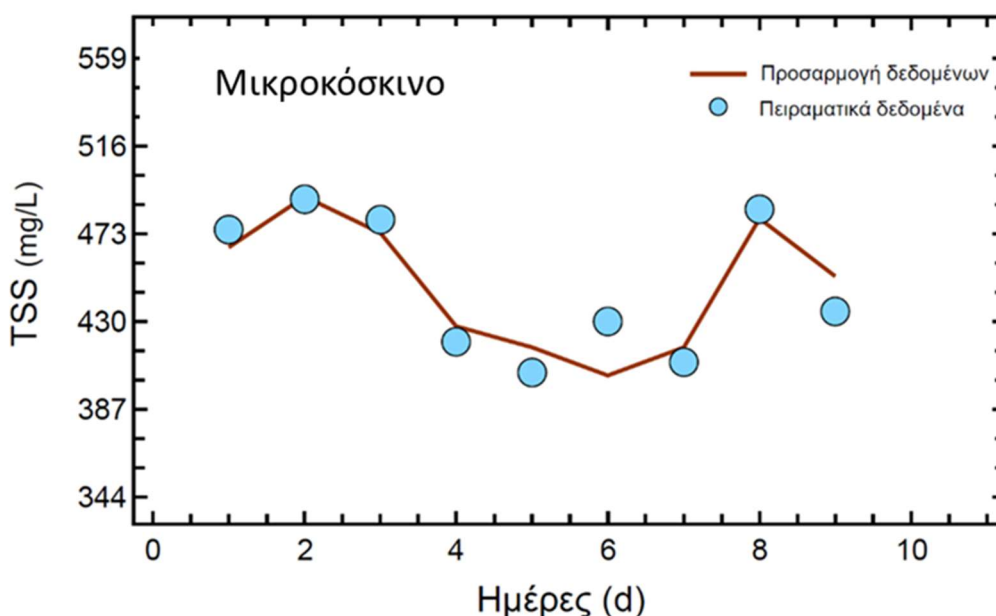
Σχήμα 6.5: α) Παραγόμενα βιοστερεά, β) εσωτερικό τμήμα του μικροκόσκινου γ) σχηματισμός υμένα.

6.4.12 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Οι συγκεντρώσεις των TSS στην έξοδο του μικροκόσκινου προσομοιώθηκαν χρησιμοποιώντας την Εξ. (6.1). Οι συντελεστές k και γ , μαζί με τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης 95%, υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.13. Οι συγκεντρώσεις των TSS στην έξοδο του αμμόφιλτρου προσομοιώθηκαν χρησιμοποιώντας την Εξ. (6.2) και υπολογίστηκε επίσης η παράμετρος η . Τα Διαγράμματα 6.23 και 6.24 δείχνουν τις συγκεντρώσεις των TSS στην έξοδο του μικροκόσκινου και αμμόφιλτρου του πιλοτικού συστήματος στην ΕΕΛ Κυπερούντας μαζί με τις καμπύλες προσαρμογής. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τη συμφωνία μεταξύ των προβλέψεων που παράγονται από το μοντέλο και των πειραματικών δεδομένων. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης 98%, σε συνδυασμό με τις τιμές R^2 καταδεικνύουν την ισχυρή συμβατότητα των Εξ. (6.1) και (6.2) με τα πειραματικά αποτελέσματα. Αυτό δείχνει ότι αυτές οι εξισώσεις είναι ικανές να αναπαριστούν με ακρίβεια τις διεργασίες που εμπλέκονται στα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης.

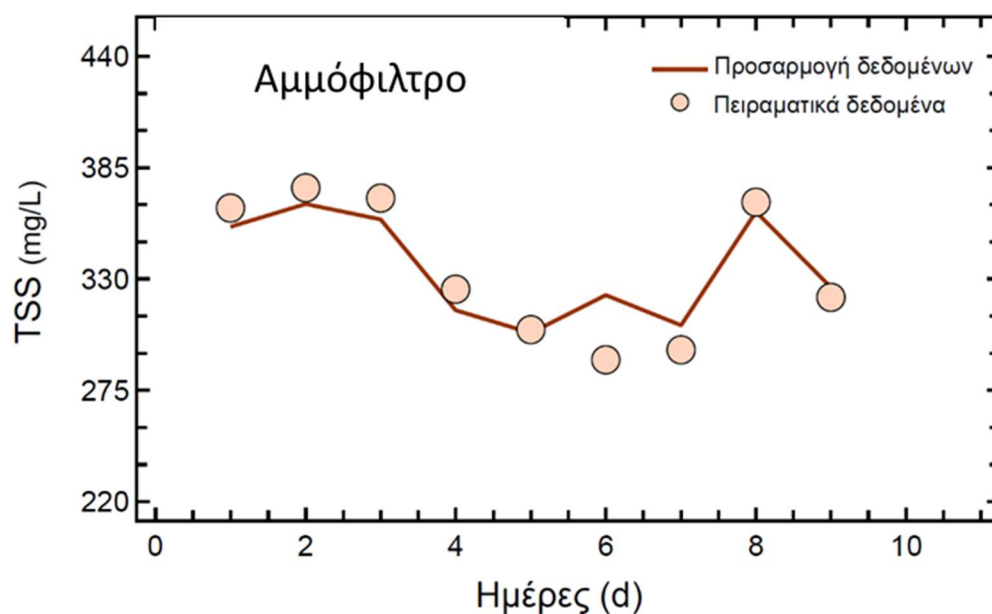
Πίνακας 6.13: Αποτελέσματα προσαρμογής δεδομένων.

Παράμετρος προσαρμογής	Παράμετρος εξίσωσης	Τιμή	98% διάστημα εμπιστοσύνης	Μονάδες
Μικροκόσκινο				
TSS	k	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$\pm 0,13 \cdot 10^{-4}$	L/mg
	γ	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$\pm 0,22 \cdot 10^{-4}$	m ² /m ³
	R^2	0,98	-	-
Αμμόφιλτρο				
TSS	η	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$\pm 0,21 \cdot 10^{-4}$	-
	R^2	0,98	-	-



Διάγραμμα 6.23: Πειραματικά δεδομένα μαζί με την προσαρμογή δεδομένων του μοντέλου για συγκεντρώσεις των TSS στην έξοδο του μικροκόσκινου.





Διάγραμμα 6.24: Πειραματικά δεδομένα μαζί με την προσαρμογή δεδομένων του μοντέλου για την συγκέντρωση των TSS στην έξοδο του αμμόφιλτρου.



Κεφάλαιο 7: Εκτίμηση κόστους για την πλήρη επεξεργασία των αποβλήτων και μείωσης των εκπομπών GHG με την εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

7.1 Εισαγωγή

Τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης αποτελούν καινοτόμο συνδυασμό τεχνολογιών επεξεργασίας λυμάτων, οι οποίες μπορούν να προσαρμοστούν σε νέες ή υπερφορτωμένες ΕΕΛ. Οι περισσότερες ΕΕΛ στην Ελλάδα λειτουργούν με παροχές και φορτία που υπερβαίνουν αυτά με τα οποία σχεδιάστηκαν (κυρίως κατά τους θερινούς μήνες), με συνέπεια την ατελή επεξεργασία των λυμάτων, την αδυναμία επαναχρησιμοποίησης της εκροής και τελικά τη ρύπανση του περιβάλλοντος και υποβάθμιση της δημόσιας υγείας. Με τις τεχνολογικές και διαχειριστικές θετικές επεμβάσεις που υλοποιήθηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή αυξήθηκε άμεσα η αποδοτικότητα και δυναμικότητα των ΕΕΛ Μάρπησας και Κυπερούντας και έτσι κατέστη δυνατό να εξυπηρετηθεί περισσότερος πληθυσμός, και να καλυφθούν οι εποχιακές τουριστικές ανάγκες.

Στο Κεφάλαιο 7 έγινε εκτίμηση του κόστους για την πλήρη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και της μείωσης των GHG εκπομπών πριν και μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης. Πραγματοποιήθηκε ωστόσο και σύγκριση του κόστους για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων (€/m³) των πιλοτικών συστημάτων σε σχέση με την επέκταση της υφιστάμενης διεργασίας ενεργού ιλύος στις δυο ΕΕΛ. Αναλυτικότερα, παρουσιάστηκαν το κόστος αρχικής επένδυσης καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των πιλοτικών συστημάτων και της διεργασίας ενεργού ιλύος στις δύο ΕΕΛ. Στη συνέχεια, εκτιμήθηκαν τα αναμενόμενα οφέλη που προέκυψαν από την αναβάθμιση των δύο ΕΕΛ με τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης. Έπειτα, έλαβε χώρα η αξιολόγηση της επένδυσης. Εξετάστηκε η επίδραση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της διεργασίας ενεργού ιλύος στην κατανομή του υφιστάμενου κόστους λειτουργίας και συντήρησης των δύο ΕΕΛ. Τέλος, εκτιμήθηκε το περιβαλλοντικό όφελος από τη μείωση των GHG εκπομπών στις δύο ΕΕΛ με την αναβάθμιση τους με πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης.

7.2 Κόστος αρχικής επένδυσης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

Το κόστος αρχικής επένδυσης περιλαμβάνει το κόστος μελέτης και σχεδιασμού, προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού, εγκατάστασης, επίβλεψης κατασκευών και δοκιμαστικής λειτουργίας των πιλοτικών συστημάτων στις ΕΕΛ Μάρπησας και Κυπερούντας. Το κόστος αρχικής επένδυσης των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.1.



Πίνακας 7.1: Κόστος αρχικής επένδυσης των πιλοτικών συστημάτων.

Παράμετρος	Κόστος αρχικής επένδυσης την ΕΕΛ Μάρτησας συμπεριλ/μένου του ΦΠΑ 24%	Κόστος αρχικής επένδυσης για την ΕΕΛ Κυπερούντας συμπεριλ/μένου του ΦΠΑ 19%
Μελέτη και σχεδιασμός πιλοτικών μονάδων	63.800 €	63.600 €
Έκθεση υφιστάμενης κατάστασης	3.500 €	5.700 €
Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ)	8.400 €	13.000 €
Μελέτη Κατασκευής	51.900 €	44.900 €
Προμήθεια και εγκατάσταση εξοπλισμού	367.500 €	189.000 €
Επίβλεψη κατασκευής	37.000 €	34.800 €
Ενδιάμεση έκθεση επίβλεψης κατασκευής πιλοτικών μονάδων	18.900 €	18.100 €
Έκθεση τελικής αυτοψίας κατασκευής πιλοτικών μονάδων	18.100 €	16.700€
Δοκιμαστική λειτουργία των πιλοτικών μονάδων	28.100 €	27.000 €
Σύνολο	496.400 €	314.400 €

Μελέτη και σχεδιασμός

Η μελέτη και ο σχεδιασμός των πιλοτικών συστημάτων περιλαμβάνουν την έκθεση υφιστάμενης κατάστασης της κάθε ΕΕΛ, τη ΜΠΕ και τη μελέτη κατασκευής των πιλοτικών συστημάτων στις δύο ΕΕΛ.

Στην έκθεση υφιστάμενης κατάστασης αποτυπώνεται η υφιστάμενη κατάσταση της κάθε ΕΕΛ, καθώς επίσης αναλύθηκαν όλα τα δεδομένα μετρήσεων που σχετίζονται με τις απαιτήσεις των νέων τεχνολογιών. Η ΜΠΕ είναι αναγκαία για τις ανάγκες τροποποίησης των περιβαλλοντικών όρων του αδειοδοτημένου γηπέδο των δύο ΕΕΛ και αφορά την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λειτουργίας των δύο ΕΕΛ με τις εργασίες αναβάθμισης των εγκαταστάσεων. Τέλος, η μελέτη κατασκευής περιλαμβάνει τη μελέτη εφαρμογής και τα σχέδια κατασκευής, τους απαιτούμενους αυτοματισμούς και τη συνδεσμολογία, τα ισοζύγια μάζας, τα απαιτούμενα υλικά τω πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.

Προμήθεια και εγκατάσταση εξοπλισμού

Το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των δύο πιλοτικών συστημάτων περιλαμβάνει την εγκατάσταση βασικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (όπως μικροκόσκινα, αμμόφιλτρα και δεξαμενή καθίζησης με λαμέλλες), την εγκατάσταση βοηθητικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (όπως πίνακες διανομής, συστήματα αυτοματισμού, συστήματα ελέγχου και προστασίας και συσκευές μέτρησης) και τον ηλεκτρομηχανολογικό εργασίες που αφορούν τη σύνδεση και τη ρύθμιση του εξοπλισμού των δύο πιλοτικών συστημάτων στις δύο ΕΕΛ.

Επίβλεψη κατασκευής και δοκιμαστική λειτουργία των πιλοτικών μονάδων

Η επίβλεψη κατασκευής των πιλοτικών συστημάτων στις δύο ΕΕΛ περιλαμβάνει την ενδιάμεση έκθεση επίβλεψης κατασκευής εγκαταστάσεων και την έκθεση τελικής αυτοψίας κατασκευής εγκαταστάσεων. Η δοκιμαστική λειτουργία των νέων τεχνολογιών περιλαμβάνει την τεχνική αξιολόγηση του έργου στις ΕΕΛ Μάρτησας και Κυπερούντας.



Το κόστος αρχικής επένδυσης των πιλοτικών συστημάτων σε ΕΕΛ διαφορετικής δυναμικότητας, μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση από τη σχέση (Humphreys, 1991):

$$I_F = I_{FB} \cdot \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^x$$

I_F : κεφάλαιο που απαιτείται να επενδυθεί, (€) (χωρίς ΦΠΑ)

I_{FB} : κεφάλαιο που επενδύθηκε σε παρόμοια εγκατάσταση δυναμικότητας Q_B , (€) (χωρίς ΦΠΑ)

Q : μέση δυναμικότητα εγκατάστασης, m^3/d

Q_B : μέση δυναμικότητα εγκατάστασης βάσης, m^3/d

x : εκθετικός συντελεστής συσχέτισης 0,6 (-)

Η κοστολόγηση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για αναβάθμιση ΕΕΛ μέσης δυναμικότητας άνω των $600 m^3/d$, μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση από τη σχέση:

$$I_F = 264.202 \cdot \left(\frac{Q}{600} \right)^{0,6}$$

7.3 Κόστος λειτουργίας και συντήρησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

Οι βασικές συνιστώσες του κόστους λειτουργίας και συντήρησης του έργου είναι οι ακόλουθες:

- κόστος που αφορά το προσωπικό
- κόστος ηλεκτρικής ενέργειας
- κόστος συλλογής και διάθεσης των παραγόμενων βιοστερεών
- κόστος που αφορά το κόστος χημικών και συντήρησης του εξοπλισμού

7.3.1 Εκτιμώμενο κόστος προσωπικού

Οι ελάχιστες απαιτήσεις προσωπικού (Πίνακας 7.2) για την ορθή και αποτελεσματική λειτουργία των πιλοτικών μονάδων στην ΕΕΛ Μάρπησας και Κυπερούντας είναι οι εξής:

Πίνακας 7.2: Κόστος προσωπικού στις ΕΕΛ Μάρπησας και Κυπερούντας

Απαιτήσεις προσωπικού	ΕΕΛ Μάρπησας	ΕΕΛ Κυπερούντας
Ένα (1) Μηχανικό Π.Ε. Χημικό Μηχανικό ή Μηχανικό Περιβάλλοντος με εμπειρία στη μελέτη, προγραμματισμό και διαχείριση ολοκληρωμένων και βιώσιμων τεχνικά συστημάτων όπως τα περιβαλλοντικά και υδραυλικά έργα για την επίβλεψη, οργάνωση και λειτουργία της πιλοτικής μονάδας	9.500 €/y	10.500 €/y
Ένα (1) Μηχανικό Τ.Ε. Υδραυλικό για την λειτουργία-συντήρηση της πιλοτικής, μερικής απασχόλησης,	800 €/y	2.000 €/y
Ένα (1) Μηχανικό Τ.Ε. Ηλεκτρολόγο για την λειτουργία και συντήρηση των επιμέρους τμημάτων της πιλοτικής μονάδας	800 €/y	2.000 €/y
Σύνολο	11.100 €/y	14.500 €/y

Το κόστος απασχόλησης του προσωπικού αντιστοιχεί στα 11.100 €/y για την ΕΕΛ Μάρπησας και 14.500 €/y για την ΕΕΛ Κυπερούντας. Αυτό το κόστος υπολογίστηκε από τη ΔΕΥΑ Πάρου και από το ΣΑΚ με βάση τις τυπικές αποδοχές για τις διάφορες κατηγορίες εργασίας, συμπεριλαμβανομένων των ασφαλίσεων, των φόρων και των εργοδοτικών εισφορών κ.λπ.



7.3.2 Εκτιμώμενο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία της ΔΕΥΑ Πάρου, η μέση χρέωση προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος ανήλθε στα 0,10 €/kWh για τα έτη 2019-2022. Σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής, η εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Μάρπησσας εκτιμήθηκε ίση με 130.524 kWh/y. Έτσι, το κόστος ηλεκτρικού ρεύματος του πιλοτικού συστήματος στην ΕΕΛ Μάρπησσας εκτιμήθηκε στα 13.000 €/y με δεδομένη τιμή χρέωσης προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος ίση με 0,10 €/kWh.

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του ΣΑΚ, η μέση χρέωση προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος ανήλθε στα 0,22 €/kWh για τα έτη 2019-2022. Σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής, η εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας εκτιμήθηκε ίση με 58.692 kWh/y. Έτσι, το κόστος ηλεκτρικού ρεύματος του πιλοτικού συστήματος στην ΕΕΛ Κυπερούντας εκτιμήθηκε στα 12.900 €/y με δεδομένη τιμή χρέωσης προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος ίση με 0,22 €/kWh.

7.3.3 Κόστος συλλογής και διάθεσης των παραγόμενων βιοστερεών

Το μέσο κόστος μεταφοράς και διαχείρισης των παραγόμενων βιοστερεών προς τον ΧΥΤΑ Αντιπάρου αντιστοιχούσε σε 21 €/t για τα έτη 2019-2022. Έτσι, από το προτεινόμενο σύστημα επεξεργασίας στην ΕΕΛ Μάρπησσας η μέγιστη ποσότητα βιοστερεών από την μικροκοσκίνιση υπολογίζεται κατά προσέγγιση σε 11 t (ξηρή βάση) ανά έτος, άρα το ετήσιο κόστος για μέγιστη παραγόμενη ποσότητα βιοστερεών εκτιμάται στα 231 € για την ΕΕΛ Μάρπησσας, θεωρώντας μέσος κόστος μεταφοράς και διαχείρισης ίσο με 21 €/t.

Το μέσο κόστος μεταφοράς και διαχείρισης των παραγόμενων βιοστερεών προς τον κεντρικό σταθμό επεξεργασίας οικιακών βοθρολυμάτων, βιομηχανικών αποβλήτων, περίσσειας υγρής ιλύος και στραγγισμάτων στην περιοχή Βατί αντιστοιχούσε σε 24 €/t για το έτη 2019-2022. Έτσι, από το προτεινόμενο σύστημα επεξεργασίας η μέγιστη ποσότητα βιοστερεών αντιστοιχεί κατά εκτίμηση σε 21 t (ξηρή βάση) ανά έτος, άρα το ετήσιο κόστος για μέγιστη παραγόμενη ποσότητα βιοστερεών ανέρχεται στα 504 € για την ΕΕΛ Κυπερούντας, θεωρώντας ότι το μέσο κόστος μεταφοράς και διαχείρισης ισούται με 21 €/t.

7.3.4 Εκτιμώμενο κόστος χημικών και συντήρησης του εξοπλισμού

Το κόστος χημικών και συντήρησης του εξοπλισμού των νέων τεχνολογιών εκτιμάται στα 22.315 €/y για την ΕΕΛ Μάρπησσας και 15.415 €/y την ΕΕΛ Κυπερούντας. Στη μονάδα αμμοφίλτρασης προστίθεται κροκιδωτικό (PAC). Οι εκτιμήσεις του ετήσιου κόστους του κροκιδωτικού στη μονάδα αμμοφίλτρασης βασίζονται σε μέσους ρυθμούς δόσης, οι οποίοι καθορίστηκαν με εργαστηριακές δοκιμές κροκίδωσης. Σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής των πιλοτικών συστημάτων, το ετήσιο κόστος των χημικών στη μονάδα αμμοφίλτρασης εκτιμάται στα 20.700 €, ενώ στην ΕΕΛ Κυπερούντας στα 14.200 €.

Το κόστος που προκύπτει από για τη συντήρηση του εξοπλισμού των πιλοτικών μονάδων εκτιμήθηκε ως εξής:

- Το κόστος για τον καθαρισμό των μονάδων μικροκοσκίνισης, αμμοφίλτρασης και καθίζησης με λαμέλλες εκτιμάται σε 400 €/y για τις δύο ΕΕΛ.
- Το κόστος αντικατάστασης ιμάντα του μικροκόσκινου εκτιμάται στα 1.500 €. Αν θεωρήσουμε μια φθορά 100% στα 4 χρόνια, έχουμε περίπου 375 €/y για τις δύο ΕΕΛ.
- Γνωρίζουμε ότι το μέσο κόστος ενός κινητήρα ανέρχεται στα 800 €. Το σύνολο των κινητήρων-μηχανικών μερών στην πιλοτική μονάδα είναι περίπου 8. Εάν θεωρήσουμε μια φθορά 100% κινητήρων τη δεκαετία έχουμε 8 κινητήρες περίπου ή 6.400 € ανά δεκαετία ή 640 €/y. Συνεπώς, για φθορές εξοπλισμού και κινητήρων υπολογίζουμε 640 €/y για την ΕΕΛ



Μάρπησσας. Με την ίδια λογική, για φθορές εξοπλισμού και κινητήρων το κόστος εκτιμάται στα 240 €/y για την ΕΕΛ Κυπερούντας.

- Το κόστος αντικατάστασης του μπλόκ λαμελλών εκτιμάται στα 600 € στα 3 έτη. Αν θεωρήσουμε μια φθορά 100% στα 3 χρόνια, έχουμε περίπου 200 €/y για τις δύο ΕΕΛ.

7.3.5 Εκτιμώμενο κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Εν κατακλείδι, το συνολικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης της πιλοτικής μονάδας εκτιμάται στα 46.946 € για την ΕΕΛ Μάρπησσας και 43.319 €/y την ΕΕΛ Κυπερούντας (Πίνακας 7.3).

Πίνακας 7.3: Εκτιμώμενο κόστος λειτουργίας και συντήρησης των πιλοτικών συστημάτων στην ΕΕΛ Μάρπησσας.

Παράμετρος	ΕΕΛ Μάρπησσας	ΕΕΛ Κυπερούντας
Κόστος προσωπικού	11.100 €/y	14.500 €/y
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	13.300 €/y	12.900 €/y
Κόστος συλλογής και διάθεσης των παραγόμενων βιοστερεών	231 €/y	504 €/y
Κόστος χημικών	20.700 €/y	14.200 €/y
Κόστος συντήρησης	1.615 €/y	1.215 €/y
Σύνολο	46.946 €/y	43.319 €/y

7.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος αρχικής επένδυσης για τη διεργασία ενεργού ιλύος

Πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική αξιολόγηση για την ανάλυση των τεχνολογικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών πτυχών των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της διεργασίας ενεργού ιλύος για τις ΕΕΛ Μάρπησσας και ΕΕΛ Κυπερούντας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και η εκτίμηση του κόστους αρχικής επένδυσης σχετίζονται με αύξηση της μέγιστης δυναμικότητας από 866,5 σε 2.500 m³/d και από 300 σε 600 m³/d στην ΕΕΛ Μάρπησσας και στην ΕΕΛ Κυπερούντας, αντίστοιχα για την περίπτωση αναβάθμισης της υφιστάμενης διεργασίας ενεργού ιλύος των δύο ΕΕΛ. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα οικονομικά στοιχεία της διεργασίας ενεργού ιλύος δόθηκαν από τη ΔΕΥΑ Πάρου και από το Συμβούλιο Αποχετεύσεων Κυπερούντας, όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 7.4 και 7.5. Η ΔΕΥΑ Πάρου και το ΣΑΚ εκτίμησαν την ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας για την επέκταση της υφιστάμενης διεργασίας ενεργού ιλύος ίση με 850 kWh και 540 kWh, αντίστοιχα.

Πίνακες 7.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά για την επέκταση της υφιστάμενης διεργασίας ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Μάρπησσας.

Δεξαμενή αερισμού		ΔΔΚ	
Παράμετρος, μονάδες	Τιμή	Παράμετρος, μονάδες μέτρησης	Τιμή
Λόγος F/M, [kg BOD ₅ /kg MLSS·d]	≤ 0,10	Επιφανειακή φόρτιση (για την παροχή σχεδιασμού), [m ³ /m ² ·d]	≤ 12
SRT [d]	≥ 17	Επιφανειακή φόρτιση (για την μέγιστη παροχή), [m ³ /m ² ·d]	≤ 36
MLSS, [mg/L]	≤ 5.000	Φόρτιση στερεών για την παροχή σχεδιασμού, [kg/m ² ·d]	≤ 120
Όγκος δεξαμενής, [m ³]	400	Υδραυλική φόρτιση υπερχειλίσσης (για την παροχή αιχμής), [m ³ /m·d]	≤ 10
Τύπος αερισμού	διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας.	Διάμετρος δεξαμενής, [m]	13
Αριθμός πρόσθετων δεξαμενών, [-]	3	Αριθμός πρόσθετων δεξαμενών, [-]	2



Πίνακες 7.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά για την επέκταση της υφιστάμενης διεργασίας ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Κυπερούντας.

Δεξαμενή αερισμού			ΔΔΚ		
Παράμετρος, μονάδες	Τιμή		Παράμετρος, μονάδες	μέτρησης	Τιμή
Λόγος F/M, [kg BOD ₅ /kg MLSS·d]	≤ 0,10		Επιφανειακή φόρτιση (για την παροχή	≤ 10	
SRT [d]	≥ 15		σχεδιασμού), [m ³ /m ² ·d]		
MLSS, [mg/L]	≤ 4.000		Επιφανειακή φόρτιση (για την μέγιστη	≤ 35	
Όγκος δεξαμενής, [m ³]	415		παροχή), [m ³ /m ² ·d]		
Τύπος αερισμού	Διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας.		Φόρτιση στερεών για την παροχή	≤ 120	
Αριθμός δεξαμενών, [-]	2		σχεδιασμού, [kg/m ² ·d]		
			Όγκος δεξαμενής, [m ³]		99
			Αριθμός δεξαμενών, [-]		2

Το κόστος αρχικής επένδυσής περιλαμβάνει τη μελέτη και το σχεδιασμό των πιλοτικών μονάδων, το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης διεργασίας ενεργού ιλύος, επίβλεψης κατασκευής και δοκιμαστική λειτουργίας στις δύο ΕΕΛ παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.6, τα στοιχεία δόθηκαν από τη ΔΕΥΑ Πάρου και το ΣΑΚ.

Πίνακες 7.6: Κόστος αρχικής επένδυσης διεργασίας ενεργού ιλύος στις δύο ΕΕΛ.

Παράμετρος, μονάδες	Διεργασία ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Μάρπησσας	Διεργασία ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Κυπερούντας
Κόστος αρχικής επένδυσης, [€]	657.000	525.300

Το εκτιμώμενο κόστος λειτουργίας και συντήρησης της διεργασίας ενεργού ιλύος στις δύο ΕΕΛ παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.7. Τα οικονομικά στοιχεία για την επέκταση της υφιστάμενης διεργασίας ενεργού ιλύος στις δύο ΕΕΛ δόθηκαν από το ΔΕΥΑ Πάρου και από το Συμβούλιο Αποχετεύσεων Κυπερούντας.

Πίνακες 7.7: Εκτιμώμενο κόστος λειτουργίας και συντήρησης διεργασίας συμβατικής επέκτασης στις δύο ΕΕΛ.

Παράμετρος, μονάδες	μέτρησης	ΕΕΛ Μάρπησσας	ΕΕΛ Κυπερούντας
Προσωπικό [€/y]		11.100	14.500
Ηλεκτρική ενέργεια, [€/y]		31.500	43.362
Διάθεση ιλύος, [€/y]		10.800	23.200
Κόστος χημικών, [€/y]		-	-
Κόστος συντήρησης, [€/y]		2.200	1600
Λειτουργικό κόστος, [€/y]		55.600	82.662



7.5 Αναμενόμενα οφέλη των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

7.5.1 Αναμενόμενο όφελος από τη μείωση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας

Το μεγαλύτερο μέρος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μιας ΕΕΛ σχετίζεται με τη δεξαμενή αερισμού. Οι μειώσεις ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμώνται στο 20-30% συνολικά για τις δύο ΕΕΛ μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στις δύο ΕΕΛ. Η μέση καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο σύνολο της ΕΕΛ Μάρπησσας ανήλθε στα 214.080 kW για τα έτη 2019-2022. Η μέση καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο σύνολο της ΕΕΛ Κυπερούντας ανήλθε στα 339.865 kWh για τα έτη 2019-2022 σύμφωνα με δεδομένα που δόθηκαν από το ΣΑΚ. Στο σημείο αυτό, για τον υπολογισμό του οφέλους θεωρήθηκε ότι η μέση καταναλισκόμενη ενέργεια για τις δύο ΕΕΛ πριν την αναβάθμιση των μονάδων με τις τεχνολογίες πρωτοβάθμιας διήθησης ισούται με την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια των ετών 2019-2022. Με την αναβάθμιση των υφιστάμενων έργων εκτιμάται μία μέση μείωση της τάξεως του 25% σε κάθε ΕΕΛ. Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία των ΕΕΛ, η μέση χρέωση προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος ανήλθε στα 0,10 €/kWh για την ΕΕΛ Μάρπησσας και 0,22 €/kWh για την ΕΕΛ Κυπερούντας για τα έτη 2019-2022. Άρα, με βάση τα παραπάνω, το χρηματικό όφελος από τη μείωση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται στα 5.400 €/y για την ΕΕΛ Μάρπησσας και στα 18.700 €/y για την ΕΕΛ Κυπερούντας μετά την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

7.5.2 Αναμενόμενο όφελος από τη μείωση της παραγόμενης ιλύος

Για να εκτιμηθεί η εξοικονόμηση στο κόστος μεταφοράς και διαχείρισης ιλύος από την ΕΕΛ Μάρπησσας προς τον ΧΥΤΑ Αντιπάρου, πολλαπλασιάστηκαν οι τόνοι ιλύος που παράγονται κάθε χρόνο από την υφιστάμενη ΕΕΛ με το κόστος μεταφοράς και διαχείρισης ιλύος ανά τόνο. Το μέσο κόστος μεταφοράς και διαχείρισης της ιλύος προς τον ΧΥΤΑ Αντιπάρου αντιστοιχούσε σε 21 €/t, ενώ η μέση παραγόμενη δευτεροβάθμια ιλύς ήταν ίση με 54 t για τα έτη 2019-2022. Το κόστος μεταφοράς και διαχείρισης της ιλύος προς τον κεντρικό σταθμό στην περιοχή Βατί αντιστοιχούσε σε 24 €/t, ενώ η μέση παραγόμενη δευτεροβάθμια ιλύς ήταν ίση με 967 t για τα έτη 2019-2022. Στο σημείο αυτό, για τον υπολογισμό του οφέλους, θεωρήθηκε ότι η μέση παραγόμενη ιλύς των δύο ΕΕΛ πριν την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στις δύο ΕΕΛ ισούται με την παραγόμενη ιλύ για τα έτη 2019-2022. Με την αναβάθμιση των δύο ΕΕΛ, αναμένεται μείωση της παραγόμενης ιλύος από τη ΔΔΚ, περίπου ίση με 40% για τις δύο ΕΕΛ (σύμφωνα με τα ισοζύγια μάζας των μελετών κατασκευής των πιλοτικών συστημάτων). Άρα, με βάση τα παραπάνω, το χρηματικό όφελος από τη μείωση της παραγόμενης ιλύος εκτιμάται στα 500 €/y για την ΕΕΛ Μάρπησσας και 9.300 €/y για την ΕΕΛ Κυπερούντας.



7.5.3 Αναμενόμενο όφελος από τη μείωση των GHG

Μαζί με την κατανάλωση ενέργειας, οι ΕΕΛ αποτελούν πηγή εκπομπής των GHG που ευθύνονται για την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη (Koutsou et al., 2018). Οι μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι ανάλογες με την εξοικονόμηση καταναλισκόμενης ενέργειας. Για την εκτίμηση των εκπομπών GHG, απαιτείται ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιείται. Πληροφορίες σχετικά με τα διάφορα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα και τους συντελεστές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για κάθε καύσιμο παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.8.

Πίνακας 7.8: Ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συντελεστές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για κάθε τύπο καυσίμου (Koutsou, et al., 2018).

Τύπος καυσίμου	Συνεισφορά (%) καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, F_i	Συντελεστής εκπομπής GHG, EF_i (gr CO_2/kWh)
Λιγνίτης	53,09	877
Πετρέλαιο	9,85	604
Φυσικό αέριο	18,46	353

Γνωρίζοντας ότι η Πάρος ανήκει στα Διασυνδεδεμένα Νησιά και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τα καύσιμα χρησιμοποιούνται είναι μαζούτ χαμηλού θείου και πετρέλαιο κίνησης ντίζελ, η παραγωγή CO_2 λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕΛ Μάρπησσας ($\text{gr CO}_{2,\text{eq}} \text{ d}^{-1}$) μπορεί να υπολογιστεί ως εξής (Shahabadi, M. B., Yerushalmi, L., & Haghighat, 2009):

$$\text{CO}_{2,\text{ηλεκτρική ενέργεια}} = E_{\text{απαιτούμενη}} \cdot \sum (F_i \cdot EF_i)$$

Όπου,

$E_{\text{απαιτούμενη}}$ = καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην ΕΕΛ (KWh d^{-1}),

F_i = η ποσοστιαία συνεισφορά του καυσίμου i στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα,

EF_i = συντελεστής εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του καυσίμου i στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ($\text{gr CO}_{2\text{e}} \text{ KWh}^{-1}$).

Αν η ηλεκτρική ενέργεια εισήχθη εξ ολοκλήρου από το δίκτυο για την ΕΕΛ Μάρπησσας, τότε η μέση εκπομπή των GHG λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 2019-2022 υπολογίζεται ως εξής:

$$587 \text{ kWh/d} \cdot 0,0985 \cdot 604 \text{ gr CO}_{2\text{e}} \text{ KWh}^{-1} (10^{-3} \text{ kg/gr}) = 35 \text{ kg CO}_{2,\text{eq}} \text{ d}^{-1} = 12,8 \text{ t} \cdot \text{CO}_{2,\text{eq}} \text{ y}^{-1}$$

Για τον υπολογισμό του οφέλους, θεωρήθηκε ότι η μέση εκπομπή των GHG λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας πριν την αναβάθμιση της ΕΕΛ Μάρπησσας με τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης είναι ίση με $12,8 \text{ t} \cdot \text{CO}_{2,\text{eq}} \text{ y}^{-1}$. Άρα, μετά την αναβάθμιση των υφιστάμενων έργων αναμένεται μείωση της τάξεως του 25% για όλη τη μονάδα, συνεπώς η νέα εκπομπή των GHG λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται ως εξής:

$$440 \text{ kWh/d} \cdot [0,0985 \cdot 604 \text{ gr CO}_{2\text{e}} \text{ KWh}^{-1} (10^{-3} \text{ kg/gr})] = 26 \text{ kg CO}_{2,\text{eq}} \text{ d}^{-1} \text{ ή } 9,5 \text{ t} \cdot \text{CO}_{2,\text{eq}} \text{ y}^{-1}$$

Άρα, με την ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών στην ΕΕΛ Μάρπησσας, η μείωση στη εκπομπή των GHG λόγω ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι ίση με 26%.

Η μέση καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο σύνολο της ΕΕΛ Κυπερούντας ανήλθε στα 339.865 kWh για τα έτη 2019-2022. Ο μέσος συντελεστής εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζεται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Κύπρο για το έτος 2019-2022 είναι ίση με $0,791 \text{ kg CO}_{2\text{e}}$



KWh⁻¹ (Scarlat et al., 2022). Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια εισήχθη εξ ολοκλήρου από το δίκτυο, τότε η εκπομπή των GHG λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 2019-2022 εκτιμάται ίση με:

$$931 \text{ kWh/d} \cdot 0,791 \text{ kg CO}_{2e} \text{ KWh}^{-1} = 737 \text{ kg CO}_{2,eq} \text{ d}^{-1} \text{ ή } 269 \text{ t} \cdot \text{CO}_{2,eq} \text{ y}^{-1}$$

Για τον υπολογισμό του οφέλους, θεωρήθηκε ότι η μέση εκπομπή των GHG λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας πριν την αναβάθμιση της ΕΕΛ Κυπερούντας με τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης είναι ίση με $269 \text{ t} \cdot \text{CO}_{2,eq} \text{ y}^{-1}$. Με την αναβάθμιση των υφιστάμενων έργων αναμένεται μείωση της τάξεως του 25% για όλη τη μονάδα, συνεπώς η νέα εκπομπή των GHG λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται ως εξής:

$$698 \text{ kWh/d} \cdot 0,791 \text{ kg CO}_{2e} \text{ KWh}^{-1} = 552 \text{ kg CO}_{2,eq} \text{ d}^{-1} \text{ ή } 201 \text{ t} \cdot \text{CO}_{2,eq} \text{ y}^{-1}$$

Άρα, με την ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών στην ΕΕΛ Κυπερούντας, η μείωση στη εκπομπή των GHG λόγω ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι ίση με 25%.

7.6 Αξιολόγηση επένδυσης

7.6.1 Ετήσιο ισοδύναμο κόστος

Ο ρόλος της οικονομικής αξιολόγησης είναι καθοριστικός για την επιλογή των κατάλληλων διεργασιών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που πρέπει να εφαρμοστούν σε κάθε ΕΕΛ (Molinos-Senante et al., 2013). Το χαμηλό κόστος λειτουργίας είναι ένα από τα κλειδιά της βιωσιμότητας του κάθε επενδυτικού σχεδίου. Το Ισοδύναμο Ετήσιο Κόστος (Equivalent, Annual Cost, EAC) είναι ένα απαραίτητο εργαλείο για τον προϋπολογισμό κεφαλαίου και τη σύγκριση έργων με διαφορετική διάρκεια ζωής (Cui et al., 2022). Για τον υπολογισμό του EAC, θεωρείται ότι η διάρκεια ζωής των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της διεργασίας ενεργού ιλύος είναι 20 χρόνια, με προεξοφλητικό επιτόκιο 4%. Το EAC υπολογίζεται σύμφωνα με τον τυπικό τύπο (Drummond et al., 2015):

$$EAC = \frac{EC \times DR}{1 - (1 + DR)^{-n}}$$

Όπου: το EC [€] είναι το κόστος επένδυσης (με ΦΠΑ), το DR [%] είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο και το n [y] είναι η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού.



7.6.2 Ανάλυση κόστους της επένδυσης

Το κόστος αρχικής επένδυσης μιας μονάδας είναι συνάρτηση, της περιοχής εγκατάστασης, του μεγέθους της, της τεχνολογίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και άλλων παραμέτρων, που εξαρτώνται από την επένδυση. Το κόστος αρχικής επένδυσης για τα δύο πιλοτικά συστήματα συνοψίζεται στον Πίνακα 7.9 και Πίνακα 7.10.

Πίνακας 7.9: EAC πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην ΕΕΛ Μάρπησσας.

Παράμετρος	Κόστος αρχικής επένδυσης για την ΕΕΛ Μάρπησσας (συμπεριλ/μένου του ΦΠΑ 24%)	EAC
Μελέτη και σχεδιασμός μονάδας	63.800 €	4.700 €
Έκθεση Υφιστάμενης κατάστασης	3.500 €	300 €
Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	8.400 €	600 €
Μελέτη Κατασκευής	51.900 €	3.800 €
Προμήθεια και εγκατάσταση εξοπλισμού	367.500 €	28.000 €
Επίβλεψη κατασκευής	37.000 €	2.700
Ενδιάμεση έκθεση επίβλεψης κατασκευής εγκαταστάσεων	18.900 €	1.390 €
Έκθεση τελικής αυτοψίας κατασκευής εγκαταστάσεων	18.100 €	1.331 €
Δοκιμαστική λειτουργία των νέων τεχνολογιών	28.100 €	2.000 €
Σύνολο	496.400 €	37.400 €

Πίνακας 7.10: EAC πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για την ΕΕΛ Κυτερούνας.

Παράμετρος	Κόστος αρχικής επένδυσης για την ΕΕΛ Κυτερούνας (συμπεριλ/μένου του ΦΠΑ 19%)	EAC
Μελέτη και σχεδιασμός μονάδας	63.600 €	4.700 €
Έκθεση Υφιστάμενης κατάστασης	5.700 €	400 €
Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	13.000 €	1.000 €
Μελέτη Κατασκευής	44.900 €	3.300 €
Προμήθεια και εγκατάσταση εξοπλισμού	189.000 €	13.900
Επίβλεψη κατασκευής	34.800 €	2.500 €
Ενδιάμεση έκθεση επίβλεψης κατασκευής εγκαταστάσεων	18.100 €	1.300 €
Έκθεση τελικής αυτοψίας κατασκευής εγκαταστάσεων	16.700€	1.200 €
Δοκιμαστική λειτουργία των νέων τεχνολογιών	27.000 €	2.000€
Σύνολο	314.400 €	23.100

Το EAC για την διεργασία ενεργού ιλύος για την ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυτερούνας παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.11.

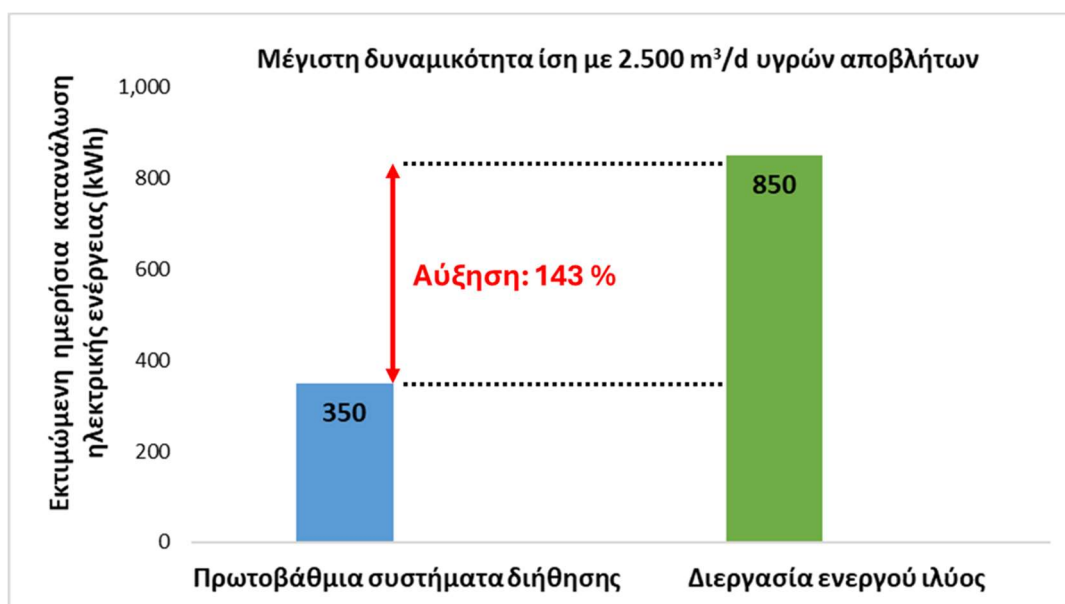
Πίνακας 7.11: EAC διεργασία ενεργού ιλύος για την ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυτερούνας.

Παράμετρος, μονάδες μέτρησης	Διεργασία ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Μάρπησσας	Διεργασία ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Κυτερούνας
Κόστος αρχικής επένδυσης, [€]	657.000	525.300
EAC, [€]	48.300	38.700
Διάρκεια ζωής, [y]	20	20



7.6.3 Επίδραση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην κατανομή του κόστους συντήρησης και λειτουργίας των υφιστάμενων ΕΕΛ

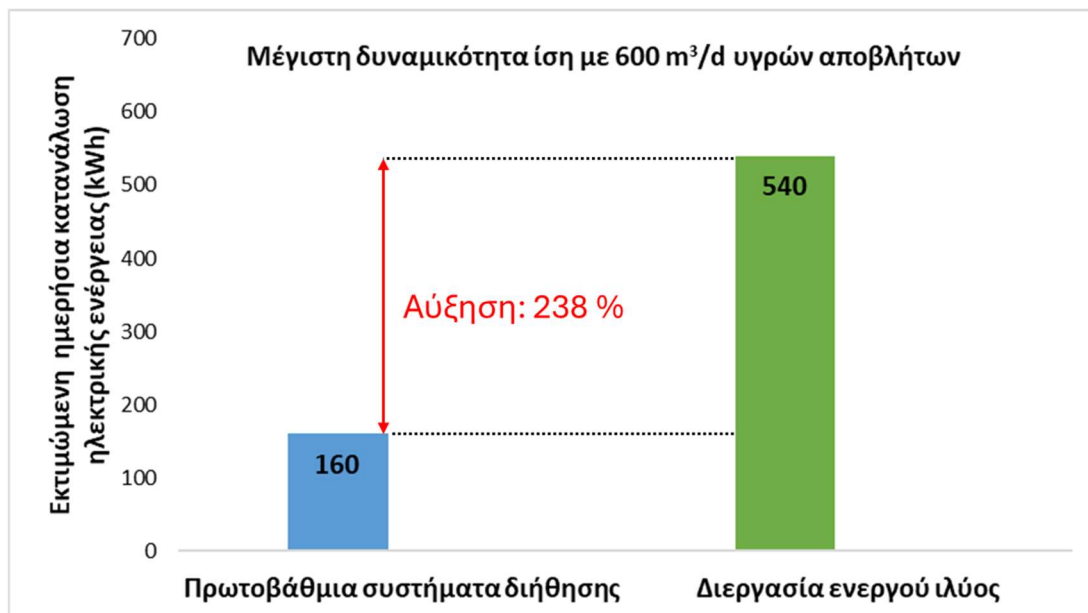
Σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής της πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης, η ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας εκτιμάται στα 350 kWh. Η ΔΕΥΑ Πάρου προσδιόρισε την ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας του εξοπλισμού για την απαιτούμενη επέκταση στη διεργασία ενεργού ιλύος (τρεις επιπλέον δεξαμενές αερισμού και δύο επιπλέον ΔΔΚ) σε 850 kWh. Στο Διάγραμμα 7.1 παρουσιάζεται η συγκριτική αξιολόγηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της επέκτασης στην υφιστάμενη διεργασία ενεργού ιλύος για την ΕΕΛ Μάρπησσας. Η ηλεκτρική κατανάλωση της διεργασίας ενεργού ιλύος εκτιμάται να είναι 143% υψηλότερη σε ημερήσια βάση σε σχέση με τη ηλεκτρική κατανάλωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για μέγιστη δυναμικότητα αποβλήτων ίση με 2.500 m³/d.



Διάγραμμα 7.1: Σύγκριση ηλεκτρικής κατανάλωσης μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και συμβατικής επέκτασης ιλύος στην ΕΕΛ Μάρπησσας.

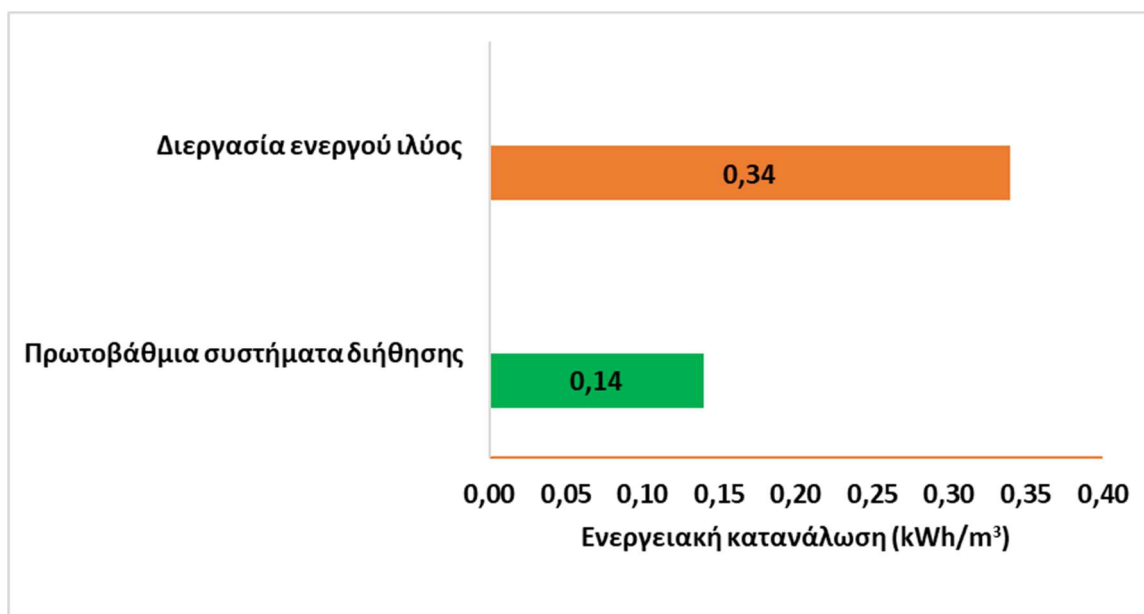
Σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής της πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης, η ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας υπολογίστηκε σε 160 kWh. Η ΔΕΥΑ Πάρου προσδιόρισε την ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας του εξοπλισμού για την απαιτούμενη επέκταση στη διεργασία ενεργού ιλύος (δύο επιπλέον δεξαμενές αερισμού και δύο επιπλέον ΔΔΚ) σε 540 kWh. Στο Διάγραμμα 7.2 παρουσιάζεται η σύγκριση ηλεκτρικής κατανάλωσης μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της επέκτασης στην υφιστάμενη διεργασία ενεργού ιλύος για την ΕΕΛ Κυπερούντας. Για μέγιστη δυναμικότητα αποβλήτων ίση με 600 m³/d, η ηλεκτρική κατανάλωση της συμβατικής επέκτασης εκτιμάται να είναι 238% υψηλότερη σε σχέση με τη ηλεκτρική κατανάλωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για την ΕΕΛ Κυπερούντας.





Διάγραμμα 7.2: Σύγκριση ηλεκτρικής κατανάλωσης μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και διεργασία ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Κυτερούντας.

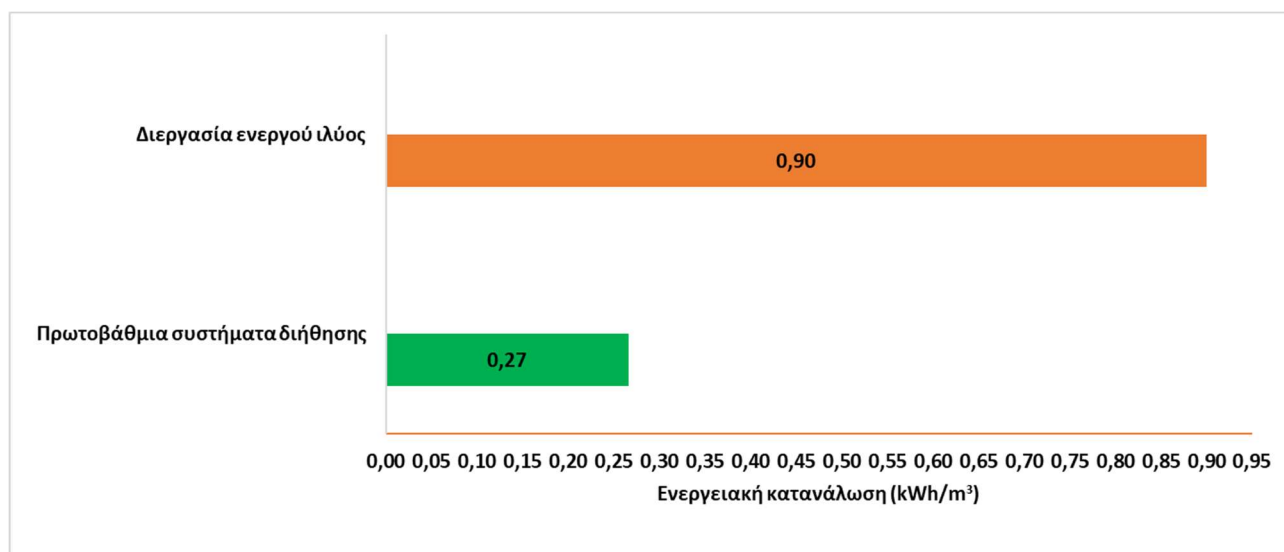
Η μέγιστη ημερήσια παροχή λυμάτων ίση με 2.500 m³/d χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ενεργειακής ζήτησης των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της διεργασίας ενεργού ιλύος ανά όγκο εισερχόμενων λυμάτων για την ΕΕΛ Μάρπησσας. Οι ηλεκτρικές απαιτήσεις του εξοπλισμού για τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης και τη διεργασία ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Μάρπησσας εκτιμήθηκαν σε 0,14 kWh/m³ και 0,34 kWh/m³, αντίστοιχα (Διάγραμμα 7.3).



Διάγραμμα 7.3: Σύγκριση ηλεκτρικής κατανάλωσης ανά κυβικό μέτρο αποβλήτων μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της διεργασίας ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Μάρπησσας.



Η μέγιστη ημερήσια παροχή λυμάτων ίση με $600 \text{ m}^3/\text{d}$ χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της διεργασίας ενεργού ιλύος ανά όγκο εισερχόμενων λυμάτων για την ΕΕΛ Κυπερούντας. Οι ηλεκτρικές απαιτήσεις του εξοπλισμού για τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης και τη διεργασία ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Κυπερούντας εκτιμήθηκαν σε $0,27 \text{ kWh/m}^3$ και $0,90 \text{ kWh/m}^3$, αντίστοιχα (Διάγραμμα 7.4).



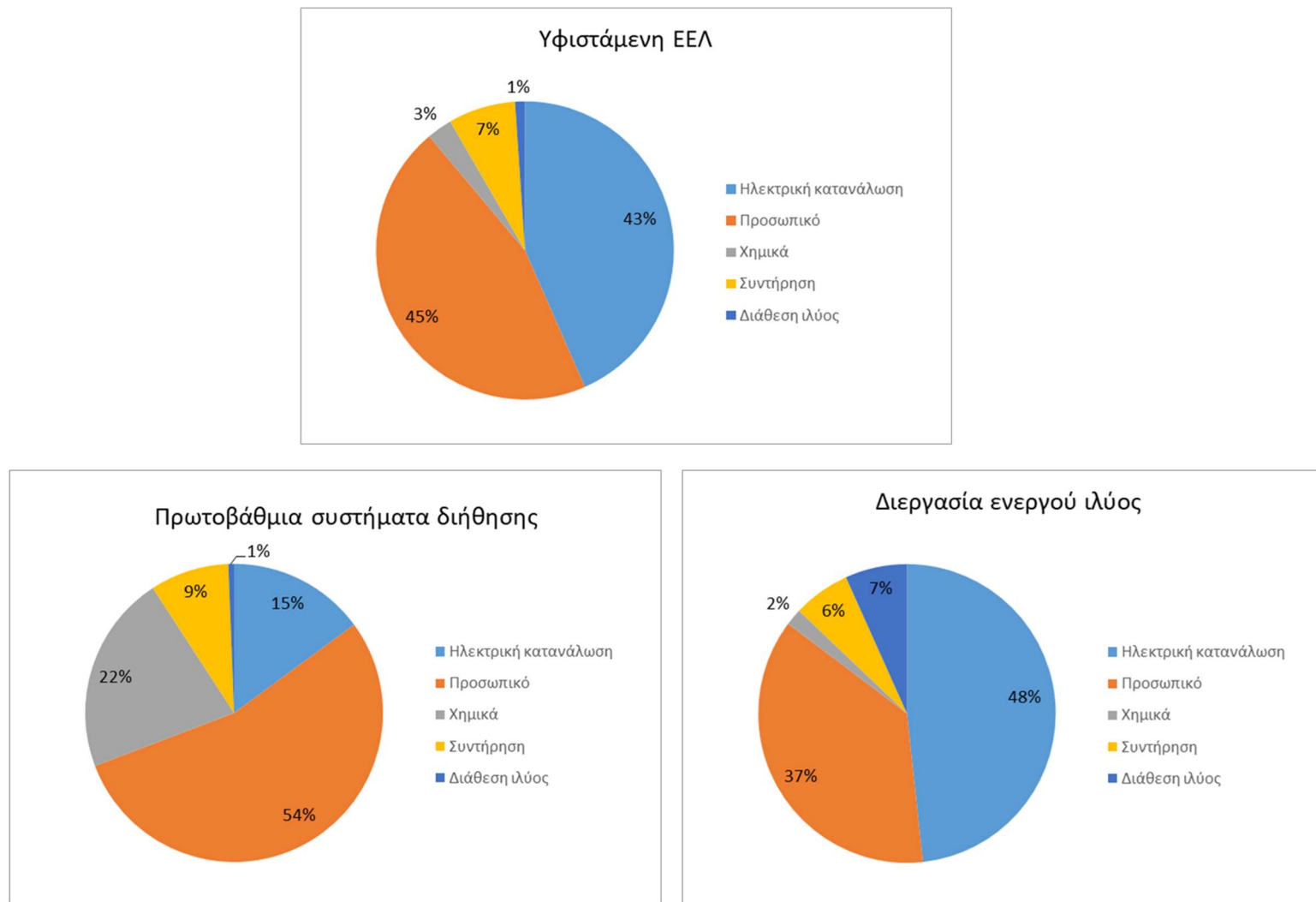
Διάγραμμα 7.4: Σύγκριση ηλεκτρικής κατανάλωσης ανά κυβικό μέτρο αποβλήτων μεταξύ πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της διεργασίας ενεργού ιλύος στην ΕΕΛ Κυπερούντας.

Τα Διαγράμματα 7.5 και 7.6 παρουσιάζουν την επίδραση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της επέκτασης της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας στην κατανομή του κόστους συντήρησης και λειτουργίας των δύο υπερφορτωμένων ΕΕΛ. Η εκτιμώμενη κατανομή του κόστους συντήρησης και λειτουργίας (%) υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη το σταθμισμένο λειτουργικό κόστος των ΕΕΛ Μάρπησας και Κυπερούντας για το χρονικό διάστημα από το 2019 έως το 2022.

Στο Διάγραμμα 7.5, η μεγαλύτερη μεταβολή στο κόστος λειτουργίας και συντήρησης παρατηρείται στο κόστος των χημικών για την ΕΕΛ Μάρπησας. Το κόστος χημικών εκτιμάται ότι θα μεταβληθεί από 3% στο 22% μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην ΕΕΛ Μάρπησας. Ωστόσο, θα υπάρξει σημαντική μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολο της ΕΕΛ Μάρπησας. Έτσι, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης, θα διαμορφωθεί από το 43% στο 15% του συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Συγκριτικά, η επέκταση της υφιστάμενης διεργασίας ενεργού ιλύος έχει μεγάλη επίπτωση στην ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το 48% του συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

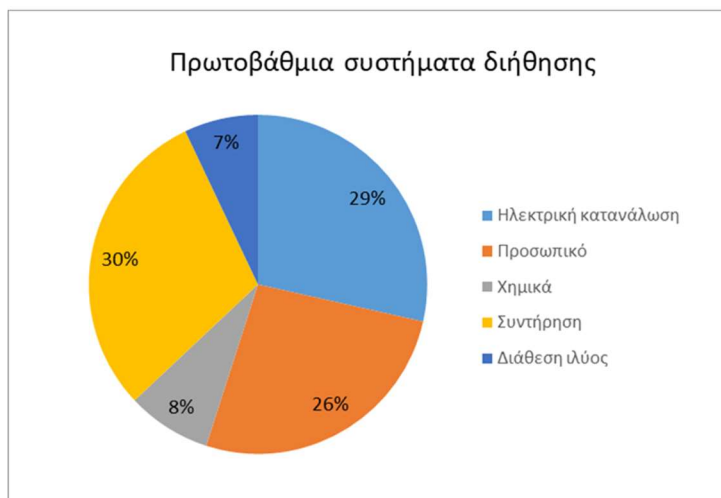
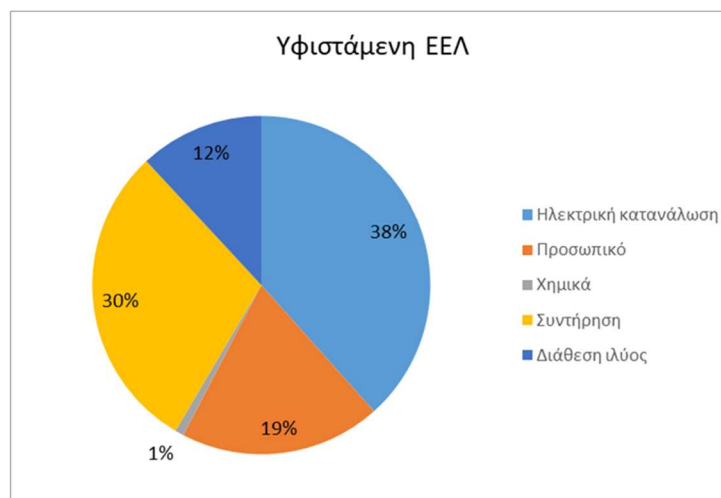
Η ποσοστιαία κατανομή του κόστους λειτουργίας και συντήρησης στο Διάγραμμα 7.6 δείχνει ότι η ηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη συνεισφορά (38%) για την υφιστάμενη ΕΕΛ Κυπερούντας χωρίς έργα αναβάθμισης. Με τη αναβάθμιση της ΕΕΛ Κυπερούντας με τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης η ηλεκτρική ενέργεια αναμένεται να αντιπροσωπεύει το 29% του συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης της ΕΕΛ, ενώ με τη διεργασία της ενεργού ιλύος το ποσοστό για την ηλεκτρική ενέργεια εκτιμάται στα 37%. Το κόστος χημικών εκτιμάται ότι θα αυξηθεί από το 1% στο 8% μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην ΕΕΛ Κυπερούντας.





Διάγραμμα 7.5: Επίδραση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και της συμβατικής επέκτασης στην κατανομή του κόστους συντήρησης και λειτουργίας στην ΕΕΛ Μάρπησσας.





Διάγραμμα 7.6: Επίδραση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης και συμβατικής επέκτασης στην κατανομή του κόστους συντήρησης και λειτουργίας στην ΕΕΛ Κυπερούντας.



7.6.4 Εκτίμηση κόστους και περιβαλλοντικού οφέλους για την πλήρη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

Στον Πίνακα 7.12 παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός του εκτιμώμενου κόστους για την πλήρη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων (€/m^3) με την ενσωμάτωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στις δύο ΕΕΛ. Πιο συγκεκριμένα, αν συμπεριλάβουμε όλα τα κόστη (κόστος αρχικής επένδυσης και κόστος λειτουργίας και συντήρησης) καθώς και την εξοικονόμηση διαιρώντας με την ποσότητα του λυμάτων που επεξεργάζεται η ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυπερούντας παρατηρούμε ότι το κόστος επεξεργασίας λυμάτων (€/m^3) μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων εκτιμάται στα 0,32 (€/m^3) σε σύγκριση με τα 0,48 (€/m^3) για την επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας Μάρπησσας. Το κόστος επεξεργασίας λυμάτων (€/m^3) μετά την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων εκτιμάται στα 0,88 (€/m^3) σε σύγκριση με τα 1,64 (€/m^3) για την επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας στην ΕΕΛ Κυπερούντας. Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 7.12, σημαντική θα είναι επίσης η μείωση των GHG με την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης (26% και 25% για την ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυπερούντας, αντίστοιχα). Οι εκπομπές των GHG με την επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας θα αυξηθούν κατά 142% και 58% για την ΕΕΛ Μάρπησσας και Κυπερούντας αντίστοιχα.

Πίνακας: 7.12: Υπολογισμός του κόστους επεξεργασίας των λυμάτων με την ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών σε € / m^3 .

Παράμετρος	ΕΕΛ Μάρπησσας		ΕΕΛ Κυπερούντας	
	Αναβάθμιση με συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης	Επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας	Αναβάθμιση με συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης	Επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας
Μέση ποσότητα λυμάτων, [m^3/y]	438.000	438.000	219.000	219.000
Οικονομικοί δείκτες				
Κόστος αρχικής επένδυσης, [€]	496.400	657.000	314.400	525.300
Κόστος για τη πλήρη επεξεργασία των λυμάτων, [€/m^3]	0,32	0,48	0,88	1,64
ΕΑC τους κόστους επένδυσης, [€/y]	37.400	48.300	23.100	38.700
Κόστος λειτουργίας και συντήρησης, [€/y]	109.283	160.527	196.720	320.799
Εξοικονόμηση κόστους, [€/έτος]	5.900	-	28.000	-
Περιβαλλοντικός δείκτης				
Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου του σταθμού λόγω ηλεκτρικής ενέργειας, [$\text{t CO}_2, \text{eq y}^{-1}$]	9,5	31	201	425



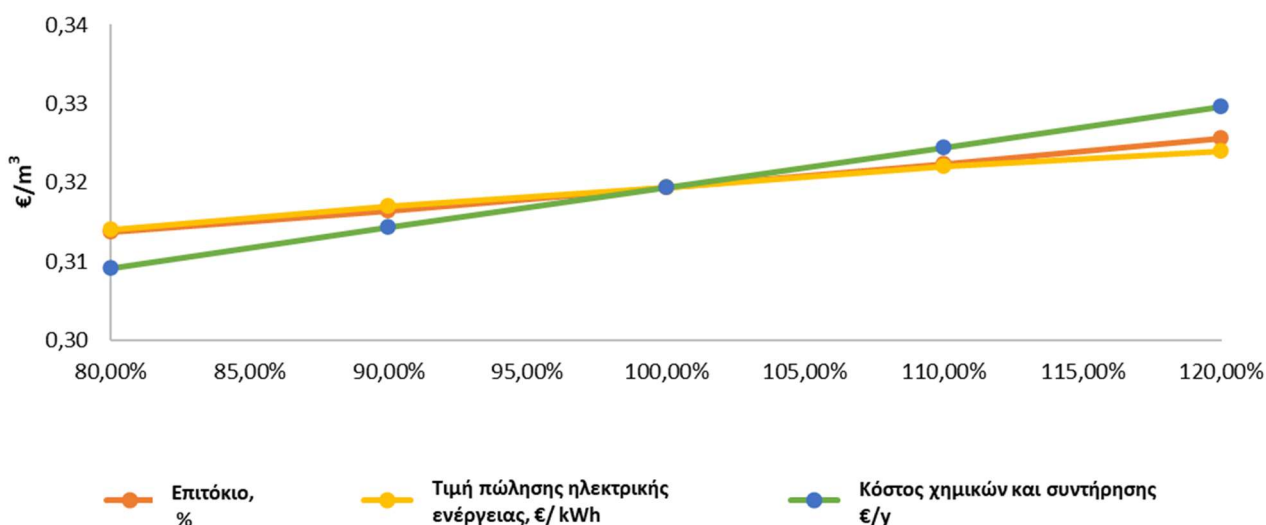
7.4.6 Ανάλυση ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας είναι ένα ουσιαστικό βήμα κατά την αξιολόγηση της επένδυσης, καθώς συμβάλει στον εντοπισμό των συνθηκών που θα μπορούσαν να καταστήσουν την επένδυση οικονομικά μη βιώσιμη. Οι παράμετροι, για τις οποίες πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας, και οι τιμές αναφοράς τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.13. Κατά τη μεταβολή οποιασδήποτε παραμέτρου, οι τιμές των υπολοίπων διατηρούνται σταθερές και ίσες με τις αρχικές.

Πίνακας 7.13: Παράμετροι ανάλυσης ευαισθησίας και τιμές αναφοράς.

Παράμετρος	Τιμή εκκίνησης στην ΕΕΛ Μάρπησσας	Τιμή εκκίνησης στην ΕΕΛ Κυπερούντας
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, €/ kWh	0,10	0,22
Επιτόκιο, %	4	4
Κόστος χημικών και συντήρησης, €/y	22.300	74.720

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας απεικονίζονται στο Διάγραμμα 7.7. Παρατηρείται ότι η οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας είναι πολύ ευαίσθητη όσον αφορά κόστος χημικών και συντήρησης. Αύξηση αυτής της δαπάνης κατά 40% έχει σαν αποτέλεσμα το κόστος (€/m³) για τη πλήρη επεξεργασία των λυμάτων να αυξηθεί κατά περίπου 3,4%. Το επιτόκιο και η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας επηρεάζουν πολύ λιγότερο το κόστος (€/m³) για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων.

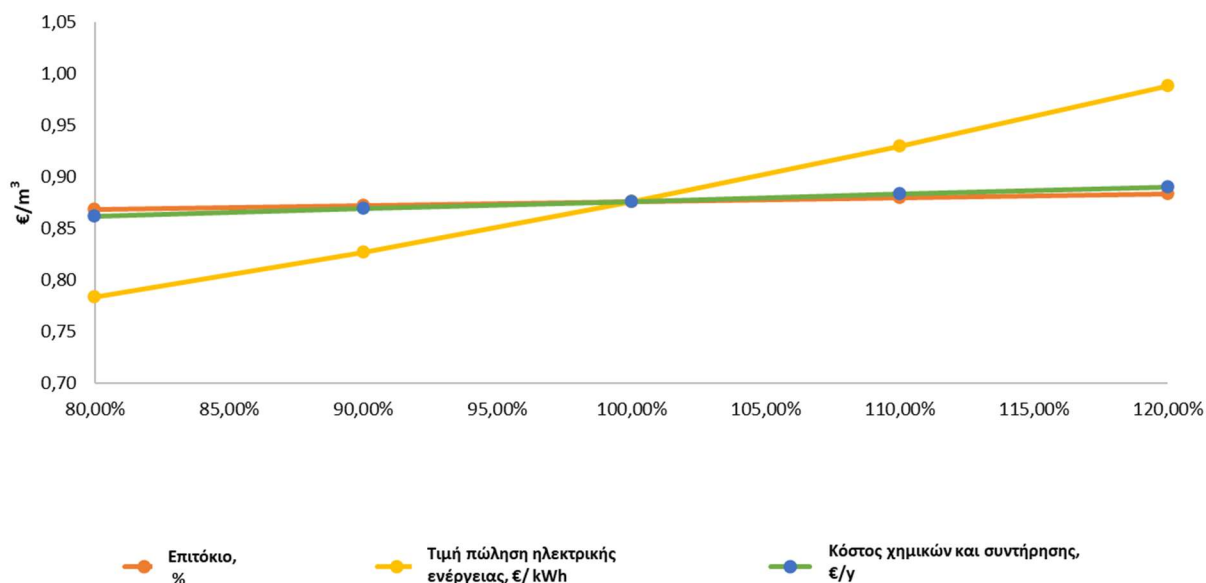


Διάγραμμα 7.7: Επίδραση της μεταβολής των παραμέτρων στο κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων στην ΕΕΛ Μάρπησσας.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας για την ΕΕΛ Κυπερούντας απεικονίζονται στο Διάγραμμα 7.8. Παρατηρείται ότι η οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας είναι πολύ ευαίσθητη όσον αφορά την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Αύξηση αυτής της δαπάνης κατά 40% έχει σαν αποτέλεσμα το κόστος (€/m³) για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων να αυξηθεί κατά περίπου 13%. Το κόστος χημικών και συντήρησης έχει την άμεση επόμενη επίδραση, ενώ το επιτόκιο επηρεάζει πολύ λιγότερο το κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Διάγραμμα: 7.8: Επίδραση της μεταβολής των παραμέτρων στο κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων στην ΕΕΛ Κυπερούντας.



Κεφάλαιο 8: Διερεύνηση υιοθέτησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ

8.1. Εισαγωγή

Το Κεφάλαιο 8 εστιάζει στη διερεύνηση υιοθέτησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ. Αρχικά, έλαβε χώρα η διερεύνηση αναβάθμισης ΕΕΛ με συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης στην Ελλάδα και στην Κύπρο. Για τη διερεύνηση της υιοθέτησης των τεχνολογιών της παρούσας διδακτορικής διατριβής δημιουργήθηκε ένα ερωτηματολόγιο με σκοπό τον προσδιορισμό των αναγκών υφιστάμενων ΕΕΛ στην Ελλάδα και Κύπρο, τον καθορισμό ειδικών παραμέτρων ενσωμάτωσης της τεχνολογίας σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις και την εκδήλωση ενδιαφέροντος ως προς την απορρόφηση/ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών.

8.2 Διερεύνηση υιοθέτησης πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

8.2.1 Διεξαγωγή της έρευνας

Το ερωτηματολόγιο εστάλη μέσω ηλεκτρονικής αλληλογραφίας σε εκατό είκοσι έξι (126) ΕΕΛ στην Ελλάδα και σε δεκαεπτά (17) στην Κύπρο. Οι ερωτηθέντες υπέβαλαν το ερωτηματολόγιο ηλεκτρονικά συμπληρώνοντάς το. Η διάρκεια της διανομής, συμπλήρωσης και συλλογής των ερωτηματολογίων διήρκεσε από τον Μάιο του 2023 έως τον Αύγουστο του 2023. Το τελικό δείγμα αποτελείται από δεκαέξι (16) ΕΕΛ από την Ελλάδα και τέσσερις (4) ΕΕΛ από την Κύπρο. Η περιορισμένη ανταπόκριση και ο σχετικά μικρός αριθμός απαντήσεων που συλλέχθηκαν μπορούν να αποδοθούν στους χρονικούς περιορισμούς των ερωτηθέντων που προκύπτουν από τον μεγάλο φόρτο εργασίας τους.

8.2.2 Παρουσίαση ερωτηματολογίου

Το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει είκοσι δύο ερωτήσεις και παρουσιάζεται στο Παράρτημα II. Προκειμένου να βοηθηθούν οι συμμετέχοντες στη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου και λόγω του μεγάλου αριθμού ερωτήσεων, το ερωτηματολόγιο χωρίστηκε σε τέσσερις (4) ενότητες, όπως αναφέρεται παρακάτω:

1. Γενικά στοιχεία
2. Τεχνικό μέρος – Σχετικά με την υφιστάμενη ΕΕΛ
3. Σχεδιασμός αναβάθμισης της ΕΕΛ
4. Γενικά σχόλια και παρατηρήσεις

Το πρώτο μέρος του ερωτηματολογίου περιλαμβάνει την ενότητα Α (Γενικά στοιχεία). Η συγκεκριμένη ενότητα περιλαμβάνει γενικά στοιχεία και πληροφορίες για την κάθε ΕΕΛ, όπως το όνομα της εγκατάστασης, τα στοιχεία του υπεύθυνου λειτουργίας της ΕΕΛ και άλλα. Τα παραπάνω δεδομένα ήταν χρήσιμα για την γνωστοποίηση της εγκατάστασης κατά την επεξεργασία των δεδομένων.

Το δεύτερο μέρος του ερωτηματολογίου περιλαμβάνει τις ενότητες Β (Τεχνικό μέρος – Σχετικά με την υφιστάμενη ΕΕΛ) και Γ (Σχεδιασμός αναβάθμισης της ΕΕΛ). Η ενότητα Β περιλαμβάνει ερωτήσεις με σκοπό την περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης της κάθε ΕΕΛ. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται γενικές ερωτήσεις που έχουν να κάνουν με τον ΙΠ που εξυπηρετεί η κάθε ΕΕΛ, την μέση ημερήσια παροχή του καλοκαιριού και του χειμώνα που δέχεται η κάθε ΕΕΛ, καθώς και την ηλεκτρική τους κατανάλωση. Επίσης, περιλαμβάνονται ερωτήσεις σχετικά με την μέθοδο



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

επεξεργασίας των εισερχόμενων λυμάτων και ιλύος. Οι τελικές ερωτήσεις της Β ενότητας συνδέονται με τον τρόπο διάθεσης των επεξεργασμένων αποβλήτων και της ιλύος. Στην ενότητα Γ του ερωτηματολογίου οι ερωτήσεις στοχεύουν στη διερεύνηση της αναγκαιότητας ενσωμάτωσης των τεχνολογιών πρωτοβάθμιας διήθησης σε υφιστάμενες ΕΕΛ στην Ελλάδα και στην Κύπρο.

Τέλος, στην ενότητα Δ, οι ερωτώμενοι είχαν τη δυνατότητα να παραθέσουν σχόλια και παρατηρήσεις σχετικά με το ερωτηματολόγιο και τις απαντήσεις τους, καθώς και περαιτέρω πληροφορίες για την λειτουργία της κάθε εγκατάστασης. Το ερωτηματολόγιο που συντάχθηκε περιελάμβανε τις ακόλουθες ερωτήσεις:

1. Πότε ξεκίνησε τη λειτουργία της η ΕΕΛ;
2. Ποιος είναι ο εξυπηρετούμενος ΙΠ (θέρους/χειμώνα);
Θέρους/χειμώνα (ΙΠ):
3. Ποια είναι η μέση ημερήσια παροχή εισόδου το καλοκαίρι και το χειμώνα;
Θέρους/χειμώνα (m^3/d):
4. Διαθέτει η ΕΕΛ πρωτοβάθμια καθίζηση;
Ναι ☐ Όχι ☐
5. Ποια μέθοδο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας;
6. Διαθέτει η ΕΕΛ τριτοβάθμια επεξεργασία;
Ναι ☐ Όχι ☐
Εάν ναι, τι είδους: Εξηγήστε:
7. Ποια από τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας της ιλύος χρησιμοποιούνται στη μονάδα;
Πάχυνση ☐ Αφυδάτωση ☐ Αναερόβια χώνευση ☐ Ξήρανση ☐ Κομποστοποίηση ☐ Άλλο:
8. Ποιος ο τελικός αποδέκτης στην εγκατάσταση;
Ποτάμι ☐ Θάλασσα ☐ Λίμνη ☐ Άλλο ☐
9. Γίνεται ανάκτηση νερού για επαναχρησιμοποίηση;
Ναι ☐ Όχι ☐
Εάν ναι, τι είδους τεχνολογία χρησιμοποιείται; Εξηγήστε:
Τι αρδεύεται; Εξηγήστε:
10. Πώς διατίθεται η ιλύς;
σε ΧΥΤΑ ☐
σε γεωργικές και δασικές εκτάσεις χωρίς κομποστοποίηση ☐
σε γεωργικές και δασικές εκτάσεις μετά από κομποστοποίηση ☐
☐ άλλο: Εξηγήστε:
11. Κατά μέσο όρο, πόσες ημέρες του χρόνου παρατηρείται εκτροπή στην ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων σε σχέση με τις αναμενόμενες; Εξηγήστε:
12. Έχετε υπολογίσει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο αποβλήτου;
Ναι ☐ Όχι ☐
Εάν ναι, πόση είναι; Αναφερθείτε:



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Εναλλακτικά μπορείτε να δώσετε την ολική ετήσια παροχή και ολική ετήσια ενεργειακή κατανάλωση. Αναφερθείτε:

13. Η απόδοση της ΕΕΛ (με τις τρέχουσες παροχές) είναι κατά τις περισσότερες ημέρες λειτουργίας:

Μη ικανοποιητική ☐ Ικανοποιητική ☐ Πολύ καλή ☐ Εξαιρετική ☐

14. Οι παρατηρούμενες αυξομειώσεις της παροχής της ΕΕΛ υπερβαίνουν τις παροχές σχεδιασμού; Ναι ☐ Όχι ☐

15. Έχουν παρατηρηθεί προβλήματα υπερφόρτωσης ή μη αποτελεσματικής λειτουργίας στην υφιστάμενη ΕΕΛ; Ναι ☐ Όχι ☐

Αν ναι, περιγράψτε εν συντομία τα υφιστάμενα προβλήματα:

16. Αναμένεται σχετικά σύντομα αύξηση της εισερχόμενης παροχής (π.χ. λόγω επέκτασης του αποχετευτικού δικτύου);

Ναι ☐ Όχι ☐

17. Υπάρχουν σχέδια μελλοντικής επέκτασης ή αναβάθμισης της υφιστάμενης ΕΕΛ λόγω αύξηση της παροχής;

Ναι ☐ Όχι ☐

Εάν ναι, αναφερθείτε στην αύξηση της δυναμικότητας της ΕΕΛ και στις προτεινόμενες παρεμβάσεις αναβάθμισης.

18. Υπάρχουν σχέδια αναβάθμισης της υφιστάμενης ΕΕΛ για μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς κατά ανάγκη να αναμένεται αύξηση της παροχής;

Ναι ☐ Όχι ☐

Εάν ναι, αναφερθείτε στις πιθανές προτεινόμενες παρεμβάσεις αναβάθμισης.

19. Θεωρείτε ότι θα ήταν επωφελής για την λειτουργία της ΕΕΛ σημαντική μείωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών (και αναλογικά του BOD₅), στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού;

Ναι ☐ Όχι ☐

Εάν ναι, τι ποσοστό μείωσης των αιωρούμενων στερεών θα εξυπηρετούσε καλύτερα την ΕΕΛ 40-50% ή 80-90%; Αναφερθείτε:

20. Υπάρχει διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εγκατάσταση πρωτοβάθμιας καθίζησης;

Ναι ☐ Όχι ☐

21. Υπάρχει διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης η οποία απαιτεί περίπου το 10% του εμβαδού της πρωτοβάθμιας καθίζησης;

Ναι ☐ Όχι ☐



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

22. Θεωρείτε σημαντικό ότι τα βιοστερεά που προέρχονται από τη μικροκοσκίνιση έχουν περιεκτικότητα σε στερεά τουλάχιστον 30%;

Ναι ☐ Όχι ☐

Εάν Ναι, θα ήταν αυτός ένας σημαντικός λόγος να χρησιμοποιήσετε την τεχνολογία της μικροκοσκίνισης αντί πρωτοβάθμιας καθίζησης; Ναι ☐ Όχι ☐



8.3 Αποτελέσματα απαντήσεων ερωτηματολογίου

8.3.1 Αποτελέσματα απαντήσεων ερωτηματολογίου για τις Ελληνικές ΕΕΛ

8.3.1.1 Γενικά στοιχεία για τις ΕΕΛ στην Ελλάδα

Στο Κεφάλαιο 8 δίνονται οι απαντήσεις στα ερωτηματολόγια που προέκυψαν κατά την ανάλυση των δεδομένων από τις ΕΕΛ της Ελλάδας. Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζεται ο ΙΠ πληθυσμός των ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος για την Ελλάδα.

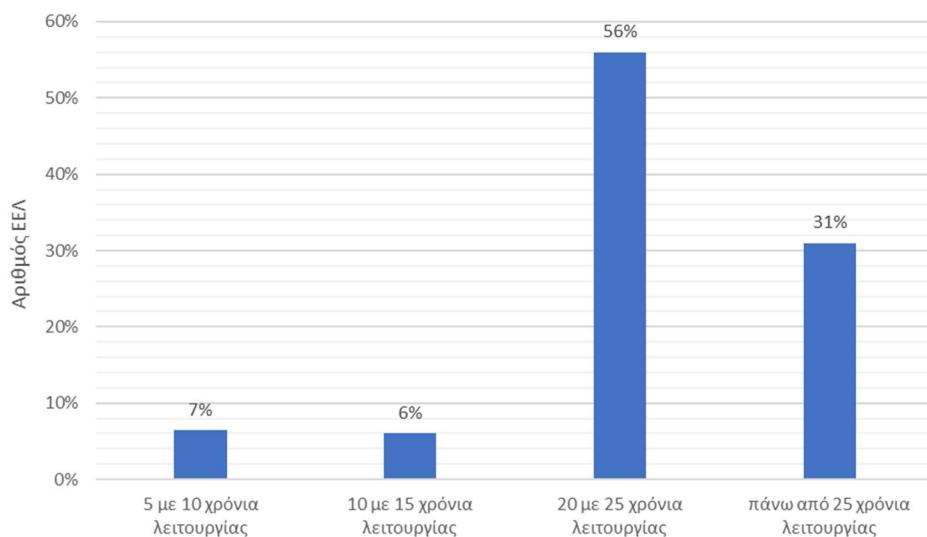
Πίνακας 8.1: ΙΠ (θέρος/χειμώνας)

Ονομασία ΕΕΛ	ΙΠ (θέρος/χειμώνας)
ΕΕΛ Κερατέας	16.500 (θέρος)
ΕΕΛ Λαυρίου	35.000 (θέρος)
ΕΕΛ Κορίνθου	44.000 / 60.000
ΕΕΛ Ερέτριας	13.250 / 8.000
ΕΕΛ Σερρών	88.000 (θέρος)
ΕΕΛ Φαρσάλων	16.000 (θέρος)
ΕΕΛ Θήβας	40.000 (θέρος)
ΕΕΛ Θήρας	24.350 (θέρος)
ΕΕΛ Δράμας	60.000 (θέρος)
ΕΕΛ Αγρινίου	90.000 (θέρος)
ΕΕΛ Κως	45.000 / 25.000
ΕΕΛ Άργους	12.000 (θέρος)
ΕΕΛ Ελούντας	5.000 (θέρος)
ΕΕΛ Μάρπησσας	1.500 / 5.000
ΕΕΛ Β.Α. Χανίων	70.000 / 12.000
ΕΕΛ Σπάρτης	40.000 (θέρος)

Το Διάγραμμα 8.1 απεικονίζει τη διάρκεια λειτουργίας κάθε ΕΕΛ (ερώτηση ένα (1) ερωτηματολογίου. Σημειώνεται ότι το 87% των εγκαταστάσεων λειτουργούν για περισσότερα από είκοσι (20) χρόνια, ενώ μόνο ένα μικρό ποσοστό από αυτές έχει δημιουργηθεί πρόσφατα.

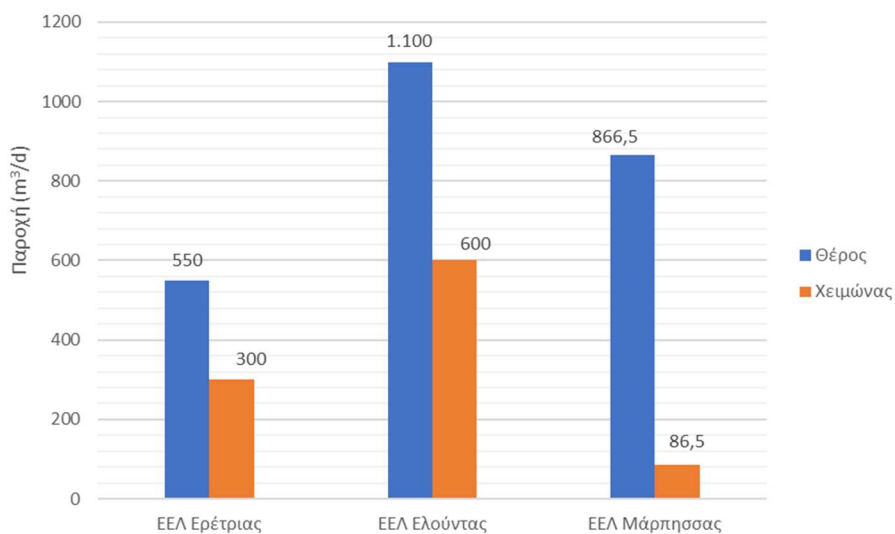


Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Διάγραμμα 8.1: Χρόνια λειτουργίας ΕΕΛ στην Ελλάδα.

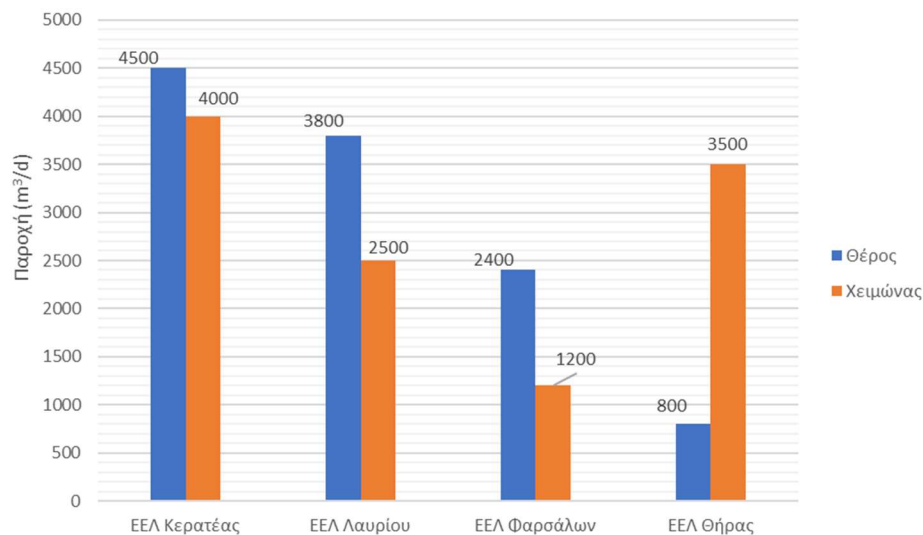
Η ερώτηση τρία του ερωτηματολογίου, αφορά τη μέση παροχή εισόδου για το καλοκαίρι και το χειμώνα στις ΕΕΛ. Οι απαντήσεις κατηγοριοποιήθηκαν σε τρία διαγράμματα ανάλογα με τη δυναμικότητα των μονάδων. Οι ΕΕΛ με μέση ημερήσια παροχή μικρότερη από 1.500 m³/d, απεικονίζονται στο Διάγραμμα 8.2. Οι ΕΕΛ με μέση ημερήσια παροχή από 1.500 έως 5.000 m³/d, απεικονίζονται στο Διάγραμμα 8.3, ενώ το Διάγραμμα 8.4 απεικονίζει τις ΕΕΛ με ημερήσια ροή άνω των 5.000 m³/d.



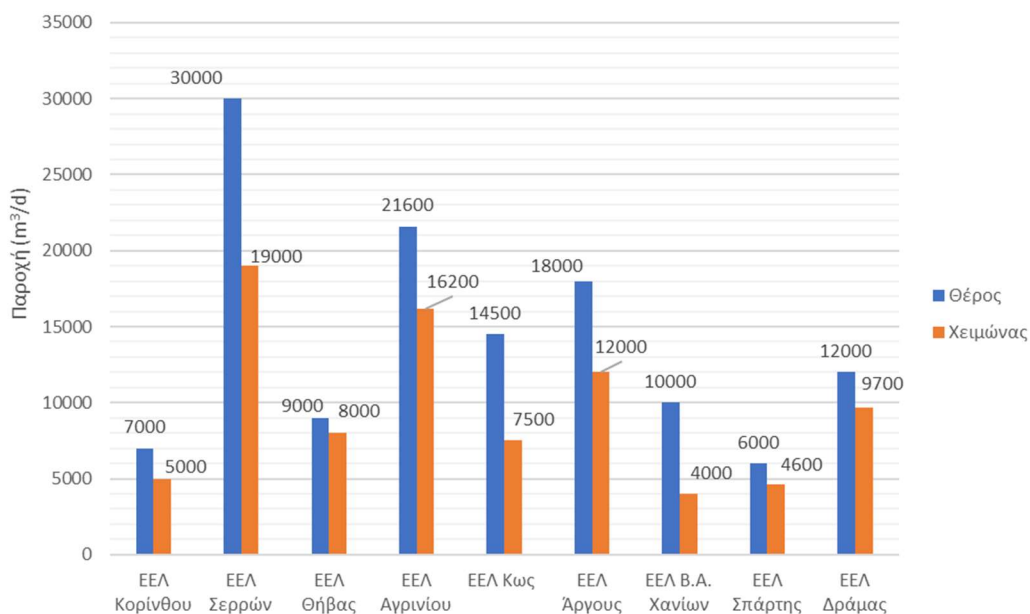
Διάγραμμα 8.2: Μέση ημερήσια παροχή εισόδου (<1.500 m³/d).



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Διάγραμμα 8.3: Μέση ημερήσια παροχή εισόδου (1.500-5.000 m³/d).

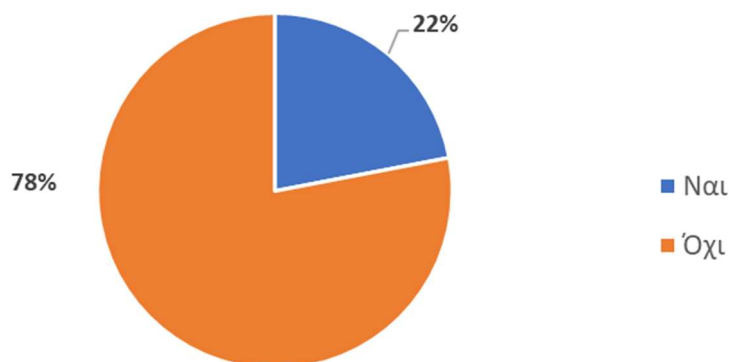


Διάγραμμα 8.4: Μέση ημερήσια παροχή εισόδου (>5.000 m³/d).



8.3.1.2. Επεξεργασία λυμάτων και επαναχρησιμοποίηση

Η τέταρτη (4) ερώτηση του ερωτηματολογίου διερευνά κατά πόσον κάθε ΕΕΛ χρησιμοποιεί πρωτοβάθμια επεξεργασία για την επεξεργασία λυμάτων. Στη συνέχεια, ζητήθηκε από κάθε ΕΕΛ να προσδιορίσει τη μέθοδο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των αστικών λυμάτων (ερώτηση πέμπτη (5) του ερωτηματολογίου). Το 78% του εξεταζόμενου δείγματος για τις Ελληνικές ΕΕΛ δεν χρησιμοποιεί πρωτοβάθμια επεξεργασία για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων (Διάγραμμα 8.5). Αυτό έχει σαν συνέπεια αυξημένες ενεργειακές καταναλώσεις στη δεξαμενή αερισμού εξαιτίας του υψηλού οργανικού φορτίου και αιωρούμενων στερεών των εισερχόμενων λυμάτων. Αναφορικά με τη πέμπτη ερώτηση του ερωτηματολογίου, οι απαντήσεις περιλάμβαναν τρεις (3) κύριες μεθόδους: απονιτροποίηση, παρατεταμένο αερισμό και συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος. Η κυρίαρχη μέθοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασίας του εξεταζόμενου δείγματος είναι ο παρατεταμένος αερισμός, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8.6, με ποσοστό 65%.



Διάγραμμα 8.5: Πρωτοβάθμια επεξεργασία.

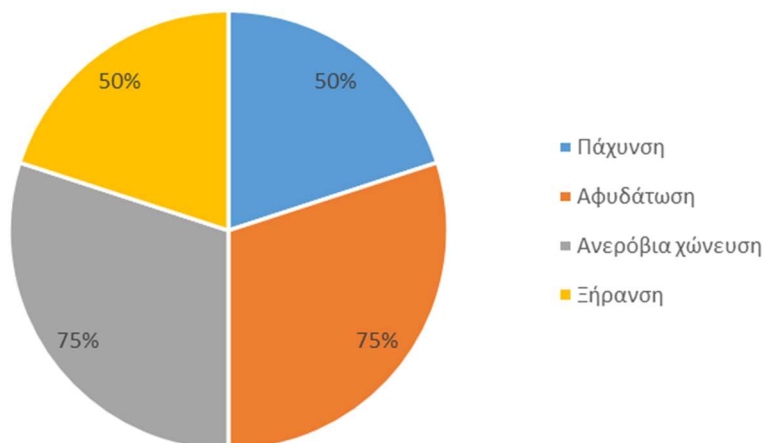


Διάγραμμα 8.6: Μέθοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.



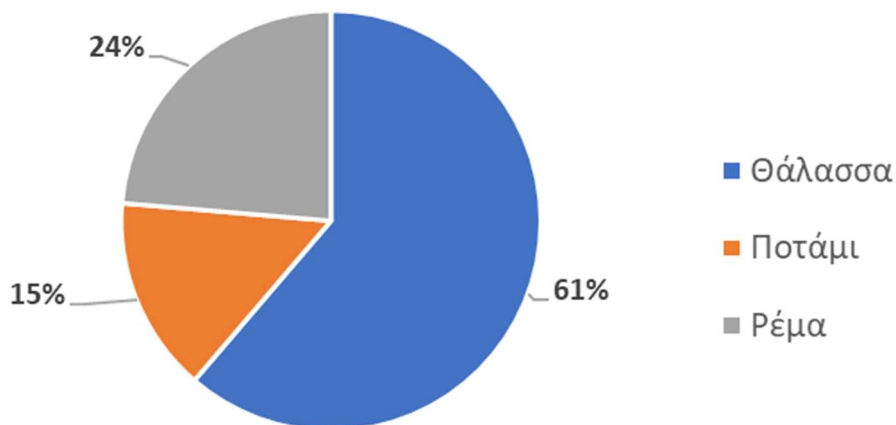
Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Η ερώτηση έξι (6) του ερωτηματολογίου αφορούσε την παρουσία τριτοβάθμιας επεξεργασίας στις ερωτηθείσες ΕΕΛ. Από τις δεκαέξι (16) ελληνικές ΕΕΛ που συμμετείχαν στην έρευνα, το 63% αναφέρει ότι λαμβάνει χώρα η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με τριτοβάθμια επεξεργασία, ενώ οι υπόλοιπες ΕΕΛ (37%) ανέφεραν ότι δεν την διαθέτουν. Στη συνέχεια, διερευνήθηκαν οι μέθοδοι επεξεργασίας ιλύος των που χρησιμοποιούνται σε κάθε εγκατάσταση (ερώτηση επτά (7) ερωτηματολογίου). Με βάση τα αποτελέσματα, τα επικρατέστερα στάδια επεξεργασίας της ιλύος είναι η αναερόβια χώνευση και αφυδάτωση (75%) (Διάγραμμα 8.7) για τις ελληνικές ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος.



Διάγραμμα 8.5: Επεξεργασία ιλύος.

Ακολούθως, κάθε ΕΕΛ ερωτήθηκε (ερώτηση όγδοη (8) του ερωτηματολογίου) σχετικά με τον τελικό αποδέκτη των επεξεργασμένων λυμάτων (Διάγραμμα 8.8). Το 61% του εξεταζόμενου δείγματος των ΕΕΛ στην Ελλάδα απορρίπτουν τα επεξεργασμένα λύματα στη θάλασσα. Στην ΕΕΛ Θήβας τα επεξεργασμένα απόβλητα αποθηκεύονται σε δεξαμενή, ενώ στην ΕΕΛ Ελούντας χρησιμοποιούνται για άρδευση σε υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.



Διάγραμμα 8.6: Τελικός αποδέκτης επεξεργασμένων λυμάτων.

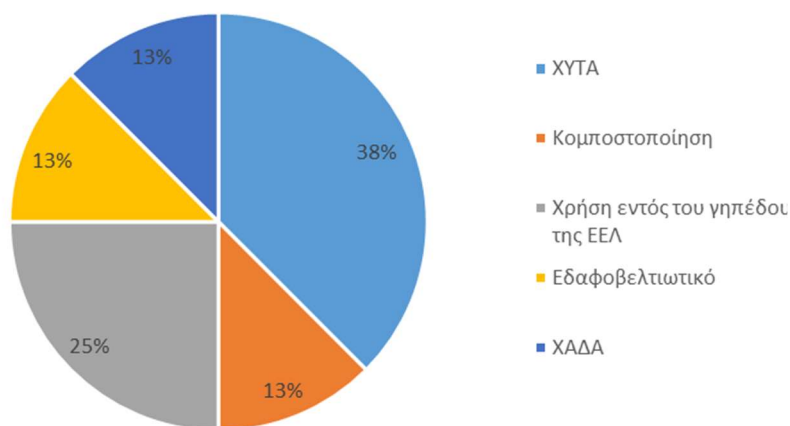
Η μέθοδος ανάκτησης ή επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων ήταν το αντικείμενο της ερώτησης εννέα (9) του ερωτηματολογίου. Στο ερώτημα σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων απαντήθηκε θετικά μόνο από το 36% των ΕΕΛ του εξεταζόμενου στην Ελλάδα. Το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για κτηνοτροφία σε γεωργική γη ή σε αγροκαλλιέργειες,



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

συμπεριλαμβανομένων αμπελώνων και ελαιώνες καθώς και για βιομηχανικούς σκοπούς εντός του γηπέδου των ΕΕΛ.

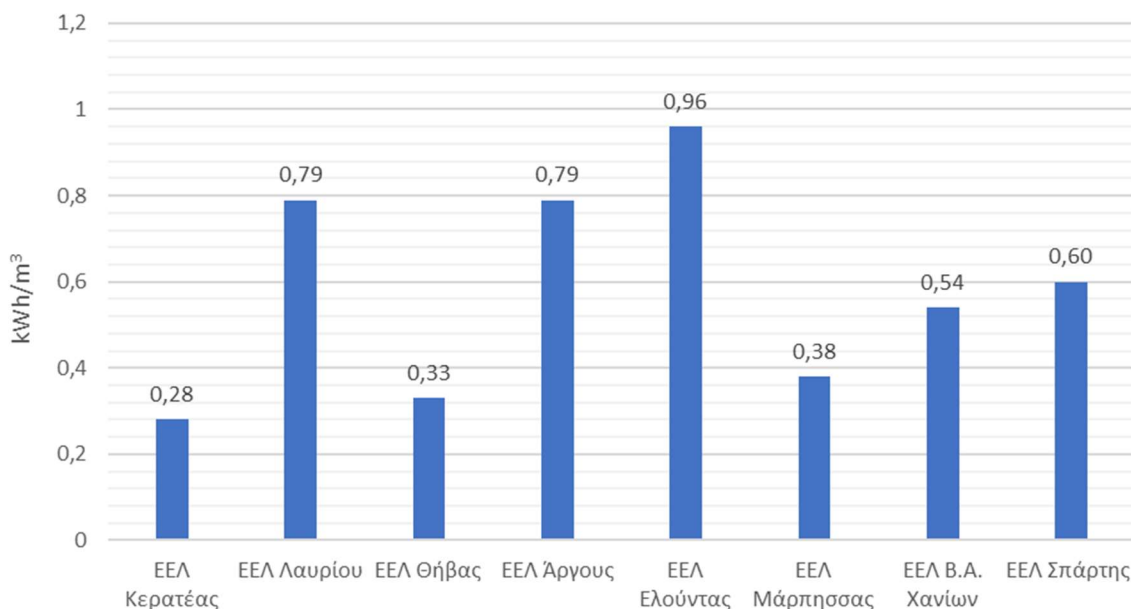
Η μέθοδος διάθεσης της ιλύος ήταν το αντικείμενο της ερώτησης δέκα (10) του ερωτηματολογίου. Το 51% των ΕΕΛ του εξεταζόμενου στην Ελλάδα απορρίπτει την ιλύ σε ΧΥΤΑ και σε Χώρο Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ) (Διάγραμμα 8.9).



Διάγραμμα 8.7: Τρόποι διάθεση ιλύος.

8.3.1.3. Ενεργειακή απαίτηση

Στη συνέχεια, η ερώτηση δώδεκα σχετίζεται με την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ανά κυβικό μέτρο αποβλήτου της κάθε εγκατάστασης του εξεταζόμενου δείγματος. Το Διάγραμμα 8.10 απεικονίζει τα αποτελέσματα με την υψηλότερη ενεργειακή κατανάλωση να εμφανίζεται στην ΕΕΛ Ελούντας ίση με 0,96 kWh/m³.

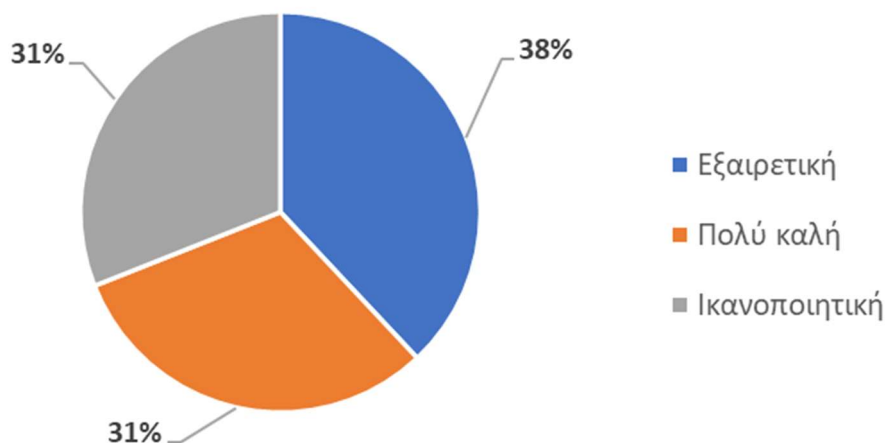


Διάγραμμα 8.10: Ενεργειακή κατανάλωση ανά κυβικό μέτρο αποβλήτου.



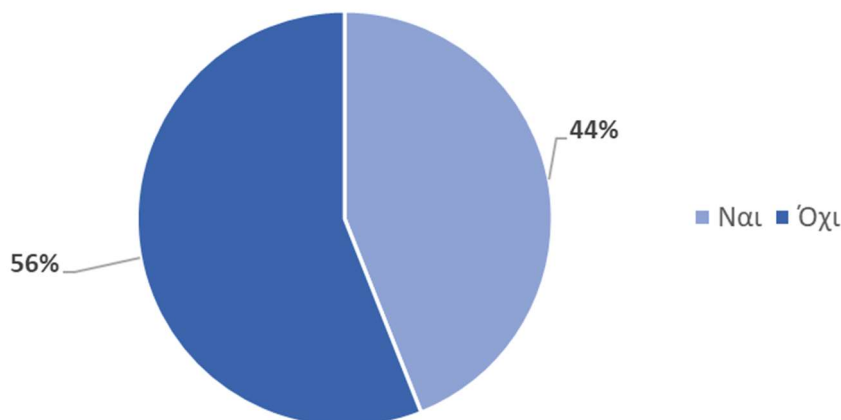
8.3.1.4. Απόδοση εγκαταστάσεων

Σχετικά με την τρέχουσα απόδοση επεξεργασίας των ΕΕΛ και τα μελλοντικά τους σχέδια αναβάθμισης, τέθηκαν διάφορα ερωτήματα. Η δεκατρία ερώτηση του ερωτηματολογίου ζητούσε από τους ερωτηθέντες να περιγράψουν την απόδοση των εγκαταστάσεων τους υπό τις τρέχουσες συνθήκες λειτουργίας. Το 38% ανέφερε ότι η απόδοση είναι εξαιρετική. Το Διάγραμμα 8.11 απεικονίζει τις ποικίλες επιδόσεις των ΕΕΛ.



Διάγραμμα 8.11: Απόδοση των ελληνικών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος.

Συνεχίζοντας, η δέκατη τέταρτη ερώτηση του ερωτηματολογίου συνδέθηκε με τις διακυμάνσεις στην παροχή των ερωτηθέντων ΕΕΛ. Το 44% των ελληνικών ΕΕΛ σημειώνει σημαντικές διακυμάνσεις στην παροχή εισόδου, οι οποίες υπερβαίνουν τις παροχές σχεδιασμού των υφιστάμενων μονάδων (Διάγραμμα 8.12).

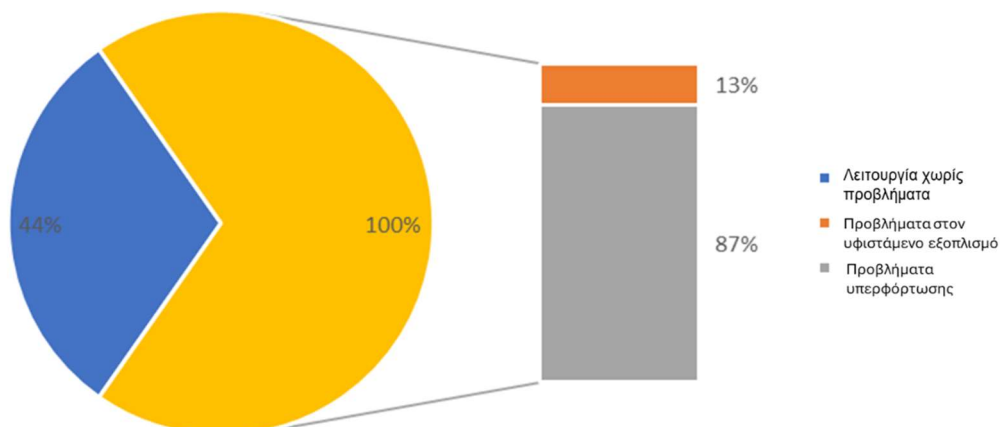


Διάγραμμα 8.8: Παρατηρούμενες αυξομειώσεις στις ΕΕΛ.

Η ερώτηση δεκαπέντε (15) του ερωτηματολογίου αφορούσε την παρουσία προβλημάτων υπερφόρτωσης ή ανεπαρκούς λειτουργίας. Το Διάγραμμα 8.13 δείχνει ότι το 44% των ελληνικών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος αντιμετωπίζει προβλήματα υπερφόρτωσης ή ανεπαρκούς λειτουργίας.

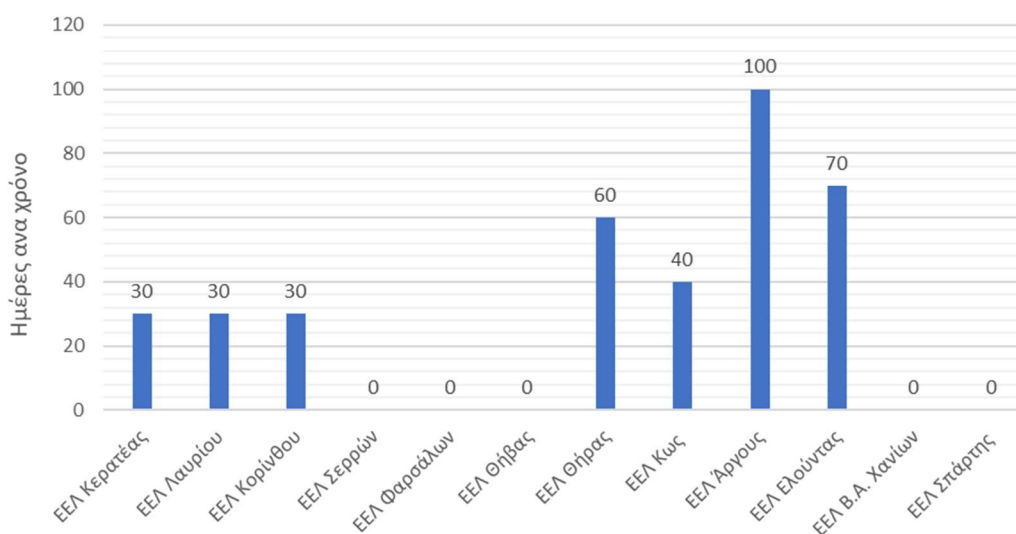


Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Διάγραμμα 8.9: Προβλήματα υπερφόρτωσης ή αναποτελεσματικής λειτουργίας στις ΕΕΛ.

Η ερώτηση έντεκα (11) ρωτούσε εάν οι εγκαταστάσεις παρατηρούν διαφορές στην ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων σε σύγκριση με τις αναμενόμενες τιμές, και εάν ναι, τη συχνότητα τέτοιων περιστατικών ανά έτος. Το 58% των ΕΕΛ που απάντησαν, όπως προκύπτει και από το Διάγραμμα 8.14, παρατηρεί σημαντικές διαφορές. Οι διακυμάνσεις στην ποιότητα προκύπτουν από πολλούς παράγοντες, με επικρατέστερο την εποχική εισροή πληθυσμού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

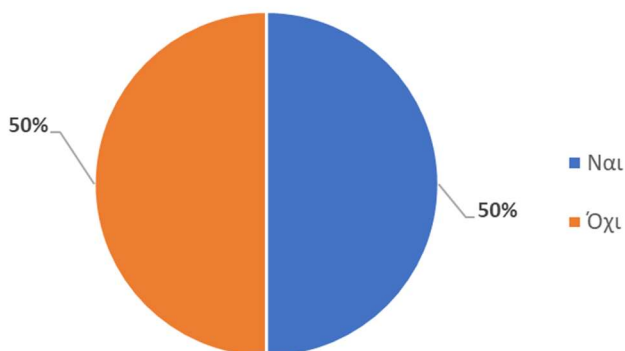


Διάγραμμα 8.14: Εκτροπή ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων.

Οι ερωτήσεις δέκα έξι (16), δεκαεπτά (17) και δεκαοκτώ (18) του ερωτηματολογίου αφορούν τα μελλοντικά σχέδια επέκτασης ή αναβάθμισης των ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος στην Ελλάδα. Αρχικά, έγινε αξιολόγηση για να διαπιστωθεί αν θα υπάρξει αύξηση στην εισερχόμενη παροχή (ερώτηση δεκαέξι (16) του ερωτηματολογίου). Σύμφωνα με το Σχήμα 8.15, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το 50% των ερωτηθέντων είχε θετική απάντηση.

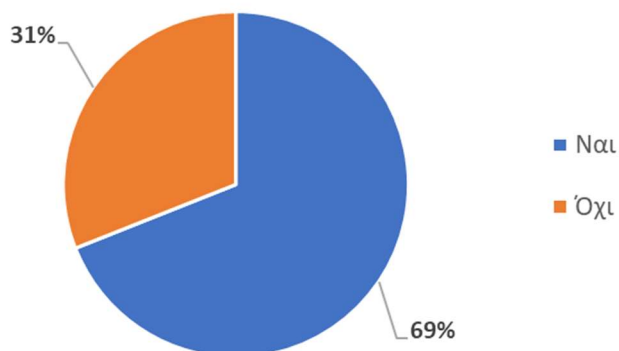


Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



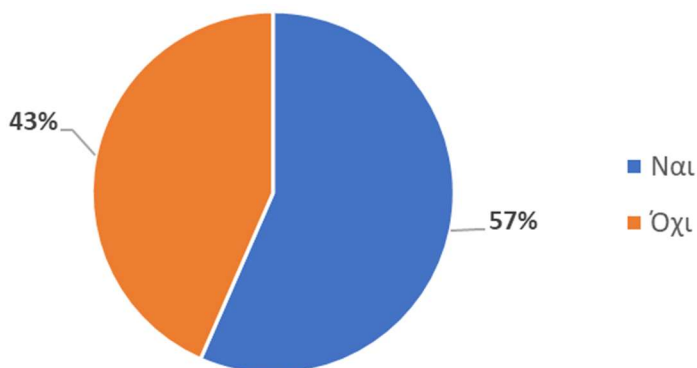
Διάγραμμα 8.10: Αύξηση της εισερχόμενης παροχής.

Στη συνέχεια, ερωτήθηκε εάν υπάρχουν σχέδια για τη μελλοντική επέκταση ή αναβάθμιση της εγκατάστασης λόγω της αυξημένης παροχής και, εάν ναι, ποια ακριβώς είναι αυτά τα σχέδια (ερώτηση δέκατη έβδομη (17) του ερωτηματολογίου). Το Σχήμα 8.16 δείχνει ότι το 69% των ελληνικών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος έχουν προγραμματίσει αναβαθμίσεις.



Διάγραμμα 8.11: Σχέδια μελλοντικής επέκτασης ή αναβάθμισης λόγω αύξηση της παροχής.

Η ερώτηση δεκαοκτώ (18) του ερωτηματολογίου αφορούσε τα μελλοντικά σχέδια των ΕΕΛ για τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξάρτητα από την αύξηση της παροχής. Το Διάγραμμα 8.17 δείχνει ότι το 57% των ερωτηθέντων απάντησε θετικά. Οι απαντήσεις για τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας περιλάμβαναν την αντικατάσταση του υφιστάμενου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, προσθήκη φωτοβολταϊκών, αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος αερισμού και προσθήκη ρυθμιστών στροφών σε υφιστάμενο εξοπλισμό.



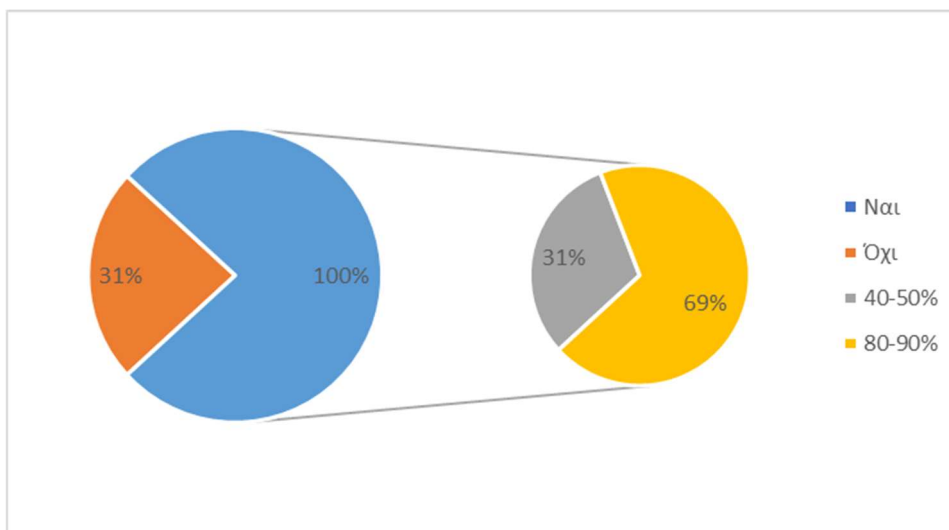
Διάγραμμα 8.12: Σχέδια αναβάθμισης για μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.



8.3.1.5. Στάση ελληνικών ΕΕΛ ως προς την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

Όσον αφορά τη στάση των ΕΕΛ στην Ελλάδα για την υιοθέτηση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης που ανέπτυξε η παρούσα διδακτορική διατριβή, η πλειοψηφία των ΕΕΛ επέδειξε σημαντικό ενδιαφέρον. Η ερώτηση δεκαεννέα (19) του ερωτηματολογίου συνδεόταν με το γεγονός αν θα ήταν επωφελής για την λειτουργία της ΕΕΛ σημαντική μείωση της συγκέντρωσης των TSS των λυμάτων (και αναλογικά του BOD₅), στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού, καθώς και ποιο από τα δύο ποσοστά προτιμούν, δηλαδή μια μείωση κατά 40-50% ή 80-90%.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 4.18, το 67% των εγκαταστάσεων απάντησε θετικά στην ερώτηση. Από το 69% των θετικών απαντήσεων, το 69% θεωρεί ότι μια μείωση κατά 80-90% θα ήταν πιο ωφέλιμη, ενώ το υπόλοιπο 31% τάχθηκε υπέρ μιας μείωσης 40-50%. Αυτά τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι για να επιτευχθεί μείωση κατά 80-90% των TSS, συνιστάται η επεξεργασία αποβλήτων με μικροκοσκίνιση ακολουθούμενη από αμμοφίλτρωση. Ωστόσο, για τη μείωση κατά 40-50% των TSS, επαρκεί μόνο η μικροκοσκίνιση ως μέτρο αναβάθμισης των ΕΕΛ.

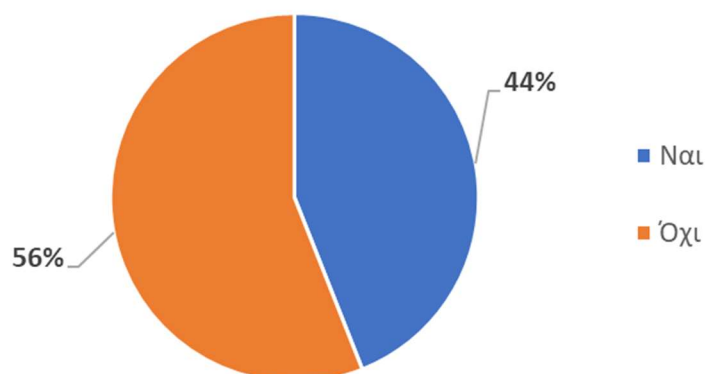


Διάγραμμα 8.13: Ποσοστό μείωσης αιωρούμενων στερεών πριν τη δεξαμενή αερισμού.

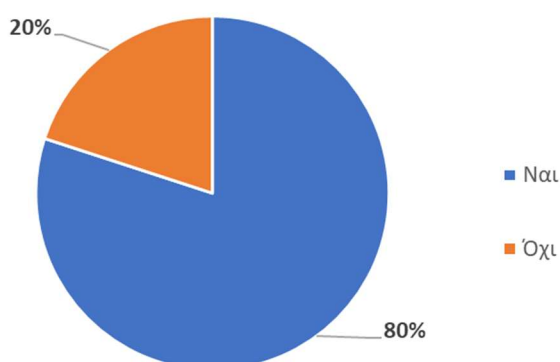
Συνεχίζοντας, οι υπεύθυνοι των ΕΕΛ ερωτήθηκαν εάν στην εγκατάσταση υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση πρωτοβάθμιας καθίζησης (ερώτηση είκοσι (20) ερωτηματολογίου). Η πλειοψηφία απάντησε αρνητικά (Διάγραμμα 8.19). Στη συνέχεια, έγινε η έρευνα σχετικά με τη διαθεσιμότητα χώρου για την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης (ερώτηση εικοστή μία (21)), με το 80% των ερωτηθέντων να απαντά θετικά (Διάγραμμα 8.20).



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Διάγραμμα 8.14: Διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εγκατάσταση πρωτοβάθμιας καθίζησης.



Διάγραμμα 8.20: Διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.

Τέλος, η τελευταία ερώτηση του ερωτηματολογίου (ερώτηση είκοσι δύο (22)) συνδεόταν με το εάν θεωρείται σημαντικό από τις ΕΕΛ το γεγονός ότι τα PSS που προέρχονται από τη μικροκοσκίνιση να έχουν περιεκτικότητα σε στερεά τουλάχιστον 30%. Δώδεκα (12) από τις δεκαέξι (16) ΕΕΛ ανταποκρίθηκαν θετικά. Επιπλέον, το θεωρούν ως κρίσιμο κριτήριο επιλεξιμότητας για τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης, σε αντίθεση με τη συμβατική πρωτοβάθμια επεξεργασία. Η πρωτοβάθμια ιλύς η οποία παράγεται από τη συμβατική πρωτοβάθμια επεξεργασία για να φτάσει σε περιεκτικότητα σε στερεά τουλάχιστον 30% απαιτούνται συστήματα πάχυνσης και αφυδάτωσης της ιλύος, τα οποία είναι μια κοστοβόρα επένδυση για τις ΕΕΛ.

Ως εκ τούτου, τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής κερδίζουν αναγνώριση και δύναται να υιοθετηθούν από την πλειονότητα των του εξεταζόμενου δείγματος των ελληνικών ΕΕΛ, όπως προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων του ερωτηματολογίου.



8.3.2 Αποτελέσματα απαντήσεων ερωτηματολογίου για τις Κυπριακές ΕΕΛ

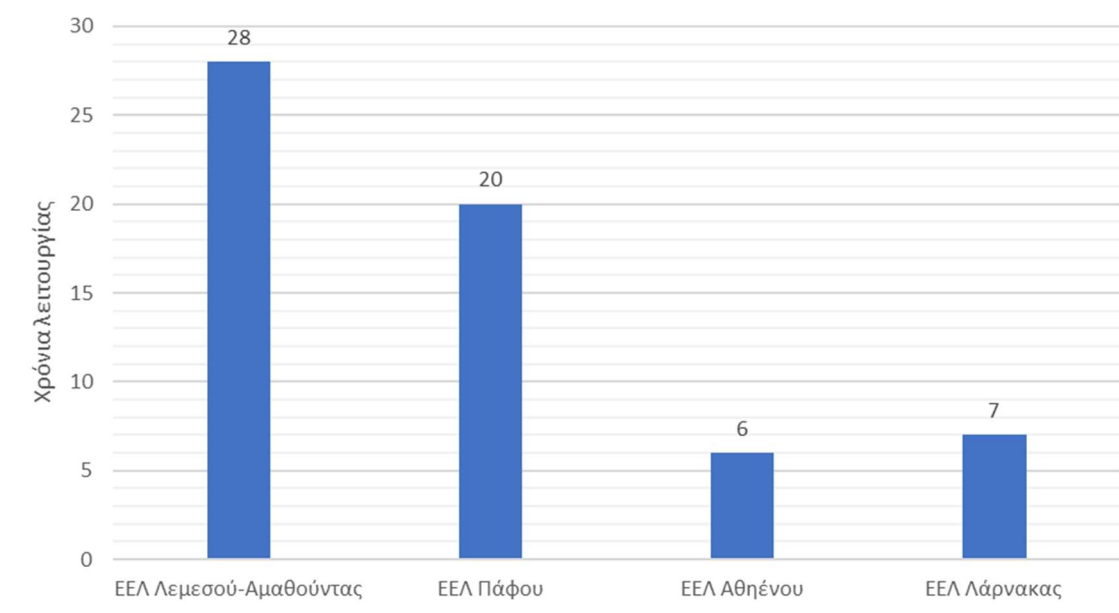
8.3.2.1 Γενικά στοιχεία για τις ΕΕΛ στην Κύπρο

Η πρώτη ενότητα του ερωτηματολογίου (Α μέρος) αναφέρεται στα βασικά στοιχεία των ΕΕΛ στην Κύπρο. Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζεται ο ΙΠ πληθυσμός των κυπριακών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος για την Κύπρο. Παρατηρείται μια αύξηση του πληθυσμού κατά τις καλοκαιρινές περιόδους, κυρίως λόγω τουρισμού.

Πίνακας 8.2: ΙΠ

Ονομασία ΕΕΛ	ΙΠ (θέρος/χειμώνα)
ΕΕΛ Λεμεσού-Αμαθούντας	272.000 (θέρος)
ΕΕΛ Πάφου	150.000 / 10.000
ΕΕΛ Αθηνών	12.560/ 11.190
ΕΕΛ Λάρνακας	95.000/ 84.044

Στο Διάγραμμα 8.21 παρουσιάζεται η διάρκεια λειτουργίας κάθε ΕΕΛ (ερώτηση ένα (1)). Διαπιστώνεται ότι το 50% των κυπριακών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος λειτουργούν για περισσότερα από ή ίσα με 20 χρόνια, κάτι που επισημαίνει την ανάγκη για αναβάθμιση και βελτίωση των υποδομών τους.

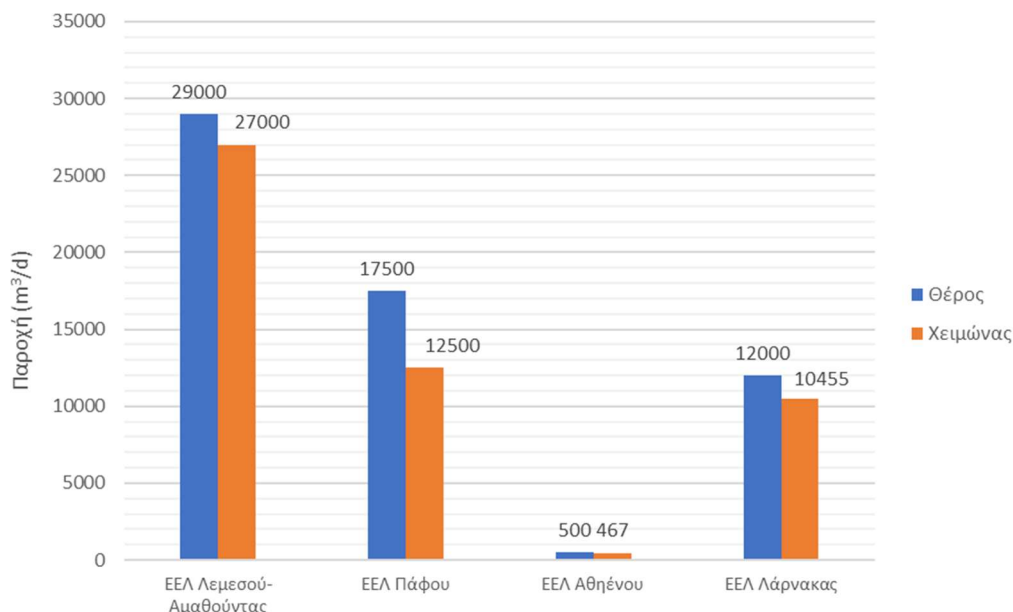


Διάγραμμα 8.21: Χρόνια λειτουργίας κυπριακών ΕΕΛ.

Η τρίτη ερώτηση (3) στο ερωτηματολόγιο αφορούσε τη παροχή εισόδου των κατά τους μήνες του καλοκαιριού και του χειμώνα. Το Διάγραμμα 8.22 δείχνει τις απαντήσεις του ερωτηματολογίου για την τρίτη ερώτηση αναφορικά με τη μέση ημερήσια παροχή εισόδου των κυπριακών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Διάγραμμα 8.22: Μέση ημερήσια παροχή εισόδου (θέρος/χειμώνας).

8.3.2.2 Επεξεργασία λυμάτων και επαναχρησιμοποίηση

Οι κυπριακές ΕΕΛ ερωτήθηκαν εάν χρησιμοποιούν πρωτοβάθμια καθίζηση για την επεξεργασία λυμάτων στην τέταρτη ερώτηση του ερωτηματολογίου. Φάνηκε ότι καμία εγκατάσταση δεν χρησιμοποιεί πρωτοβάθμια καθίζηση. Από την άλλη, η ερώτηση πέντε (5) του ερωτηματολογίου αφορούσε τη μέθοδο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των αστικών λυμάτων. Ο παρατεταμένος αερισμός είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος, με ποσοστό 64%, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8.23.



Διάγραμμα 8.23: Μέθοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

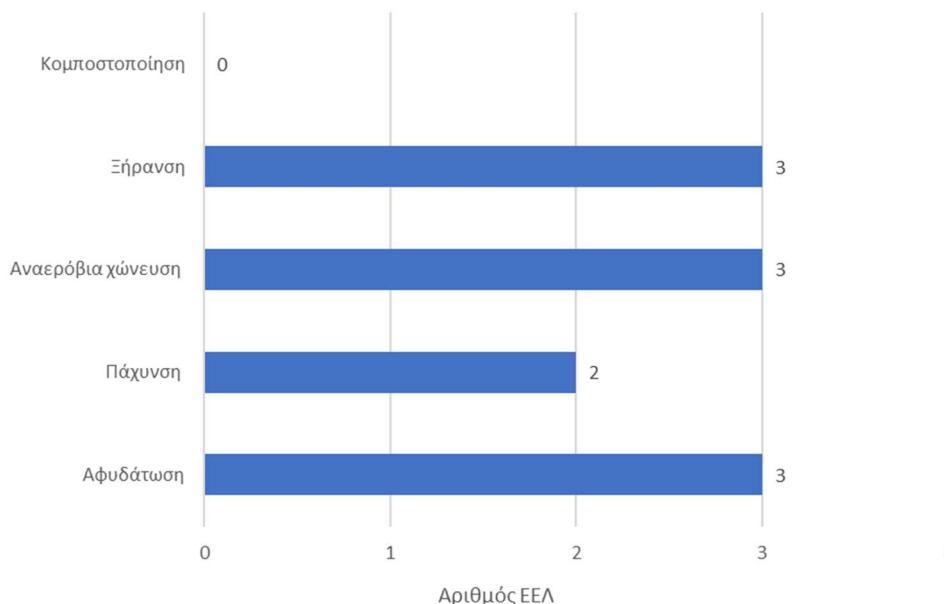
Η παρουσία της τριτοβάθμιας επεξεργασίας στις Κυπριακές ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος ήταν το αντικείμενο της έκτης ερώτησης (6) του ερωτηματολογίου. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν υποδηλώνουν ότι η τριτοβάθμια επεξεργασία είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη πρακτική στο υπό εξέταση δείγμα των κυπριακών ΕΕΛ, με όλες τις εγκαταστάσεις να την εφαρμόζουν. Η διήθηση, ιδιαίτερα μέσω αμμόφιλτρων, είναι η πιο διαδεδομένη προσέγγιση λόγω της ευρείας χρήσης τους.

Όσον αφορά την επεξεργασία ιλύος (ερώτηση επτά (7)), τα στάδια της αφυδάτωσης και της αναερόβιας χώνευσης φαίνεται να είναι τα πιο επικρατέστερα για τις κυπριακές ΕΕΛ του



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

εξεταζόμενου δείγματος. Η χρήση αυτών των τεχνικών μειώνει την ποσότητα της ιλύος και ενισχύει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας επεξεργασίας, παράγοντας ταυτόχρονα βιοαέριο. Αξίζει να αναφέρουμε ότι από τις τέσσερις εγκαταστάσεις, οι δύο διαθέτουν μονάδες πάχυνσης και τρεις (3) από τις (4) μονάδες ξήρανσης, αναερόβιας χώνευσης και αφυδάτωσης, όπως αναφέρεται στο Διάγραμμα 8.24.



Διάγραμμα 8.24: Μέθοδοι επεξεργασίας ιλύος.

Όσον αφορά τον τελικό αποδέκτη των επεξεργασμένων λυμάτων (ερώτηση όγδοη (8) του ερωτηματολογίου), φαίνεται ότι κάθε ΕΕΛ χρησιμοποιεί διάφορες προσεγγίσεις. Για παράδειγμα, η ΕΕΛ Πάφου χρησιμοποιεί επεξεργασμένα λύματα για τον εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα, ενώ η ΕΕΛ Αθηνών χρησιμοποιεί επεξεργασμένα λύματα για αρδευτικούς σκοπούς. Όλες οι ΕΕΛ έδωσαν θετική απάντηση στο ένατο (9) ερώτημα εάν γίνεται ανάκτηση νερού για επαναχρησιμοποίηση. Το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται είτε για την άρδευση γεωργικών καλλιεργειών, όπως ελαιώνες και αμπέλια, είτε για την παροχή νερού στα ζώα σε γεωργική γη.

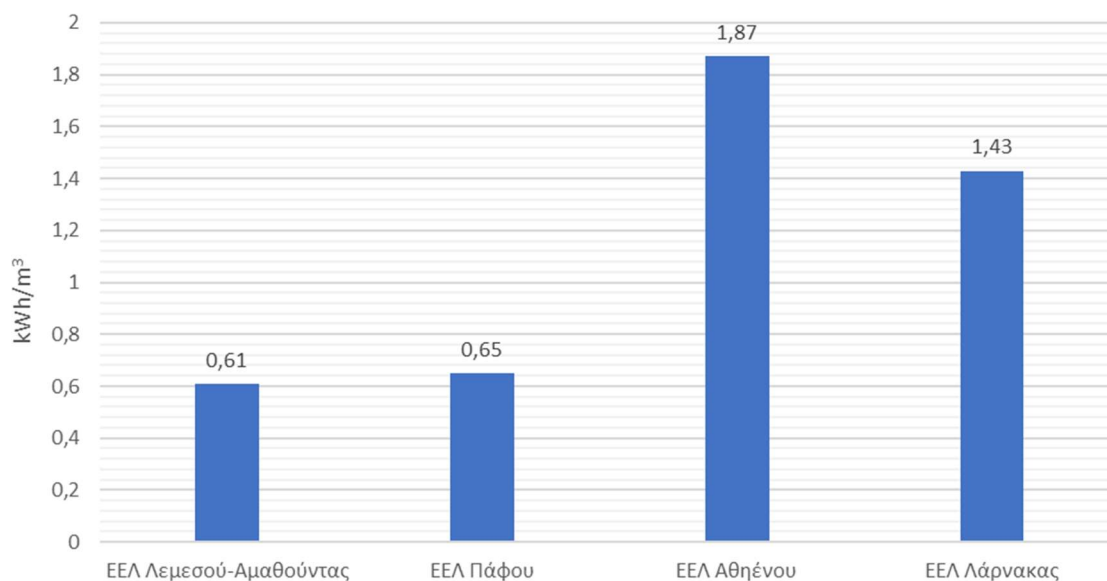
Οι μέθοδοι διάθεσης της ιλύος συσχετίζονταν με τη δέκατη (10) ερώτηση του ερωτηματολογίου. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αφορούσαν τη διάθεση της αστικής ιλύος σε ΧΥΤΑ και εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Το 75% των κυπριακών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος ανέφερε ότι στέλνει την παραγόμενη ιλύ σε εγκεκριμένες μονάδες που είναι κατάλληλες για την επεξεργασία της.

8.3.2.3. Ενεργειακή απαίτηση

Η επόμενη ερώτηση (δώδεκα (12)) έχει να κάνει με την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ανά κυβικό μέτρο αποβλήτου των κυπριακών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος και προσδίδει σημαντικές πληροφορίες για την ενεργειακή αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων. Όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 8.25, από τις δεκαεπτά (17) ερωτηθείσες εγκαταστάσεις, απάντησαν οι τέσσερις (4). Η ΕΕΛ Αθηνών έχει την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας, η οποία ισοδυναμεί με $1,87 \text{ kWh/m}^3$.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Διάγραμμα 8.25: Ενεργειακή κατανάλωση ανά κυβικό μέτρο αποβλήτου.

8.3.2.4 Απόδοση εγκαταστάσεων

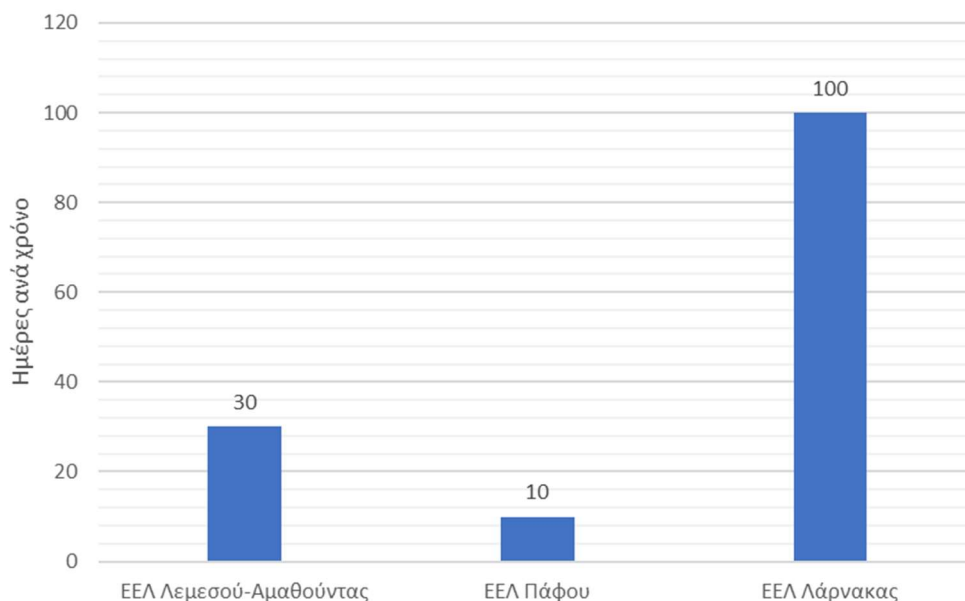
Τέθηκαν ορισμένες ερωτήσεις που αφορούσαν την τρέχουσα απόδοση των κυπριακών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος και τα μελλοντικά τους σχέδια βελτίωσης. Αρχικά, οι ερωτώμενοι κλήθηκαν να αξιολογήσουν την απόδοση των εγκαταστάσεών τους υπό τις υφιστάμενες συνθήκες λειτουργίας (ερώτηση δεκατρία (13) από το ερωτηματολόγιο). Όλες οι εγκαταστάσεις απάντησαν πως η απόδοση είναι πολύ καλή.

Συνεχίζοντας, ερωτήθηκε εάν οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις στην παροχή υπερβαίνουν τις προβλεπόμενες παροχές (ερώτηση δεκατέσσερα (14)), με το 100% των κυπριακών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος να απαντά "όχι". Στη συνέχεια, η δέκατη πέμπτη (15) ερώτηση αναφερόταν στην ύπαρξη προβλημάτων υπερφόρτισης ή ανεπαρκούς λειτουργίας. Το 50% των εγκαταστάσεων απάντησε θετικά με την πλειονότητα να αντιμετωπίζει πρόβλημα υπερφόρτισης.

Η ερώτηση έντεκα συνδεόταν με το γεγονός εάν οι εγκαταστάσεις παρατηρούν διαφορές στην ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές και, αν ναι, πόσες ημέρες το χρόνο αυτό συμβαίνει. Οι ποιοτικές διαφορές στη φύση των λυμάτων προκύπτουν από διάφορους παράγοντες, με επικρατέστερο αύξηση της παροχής κατά τους καλοκαιρινούς μήνες εξαιτίας του τουρισμού, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8.26.

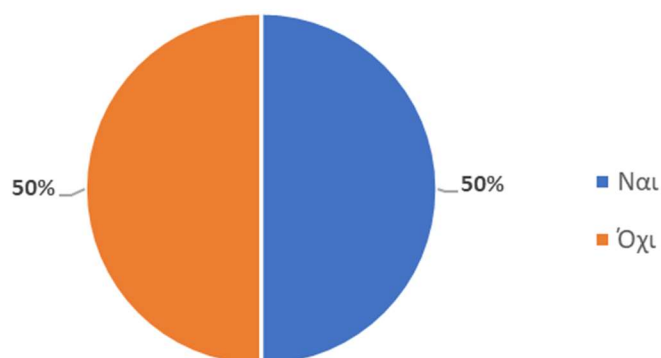


Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Διάγραμμα 8.26: Εκτροπή ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων.

Στη συνέχεια, ακολούθησαν ερωτήσεις σχετικά με τα σχέδια για μελλοντική επέκταση ή βελτίωση της εγκατάστασης (ερωτήσεις δεκαέξι (16), δεκαεπτά (17) και δεκαοχτώ (18)). Αρχικά, εξετάστηκε αν θα υπάρξει αύξηση στην εισερχόμενη παροχή (ερώτηση δεκαέξι (16) του ερωτηματολογίου). Τα αποτελέσματα, δείχνουν ότι η εισερχόμενη παροχή αναμένεται να αυξηθεί σε όλες τις ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος. Στη συνέχεια, οι κυπριακές ΕΕΛ ερωτήθηκαν εάν έχουν σχέδια για τη μελλοντική επέκταση ή αναβάθμιση της εγκατάστασης λόγω της αυξημένης παροχής και, εάν ναι, ποια ακριβώς είναι αυτά τα σχέδια (ερώτηση δεκαεπτά (17)). Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 8.27, δείχνει ότι οι μισές εγκαταστάσεις έχουν αναμενόμενα σχέδια αναβάθμισης ή μελλοντικής επέκτασης της ΕΕΛ.



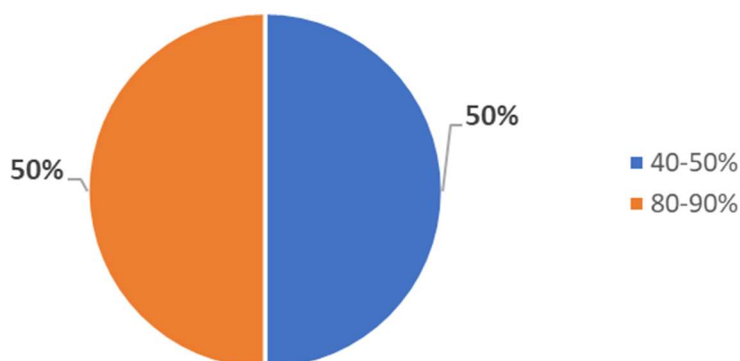
Διάγραμμα 8.27: Σχέδια μελλοντικής επέκτασης ή αναβάθμισης της υφιστάμενης ΕΕΛ λόγω αύξηση της παροχής.

Η δέκατη όγδοη ερώτηση αφορούσε τα μελλοντικά σχέδια των εγκαταστάσεων για τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξάρτητα από την αύξηση της παροχής. Μοναδική θετική απάντηση έδωσε η ΕΕΛ Λάρνακας, με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, δημιουργία μονάδας παραγωγής βιοαερίου και με την αντικατάσταση παλαιών μηχανημάτων με νέα.



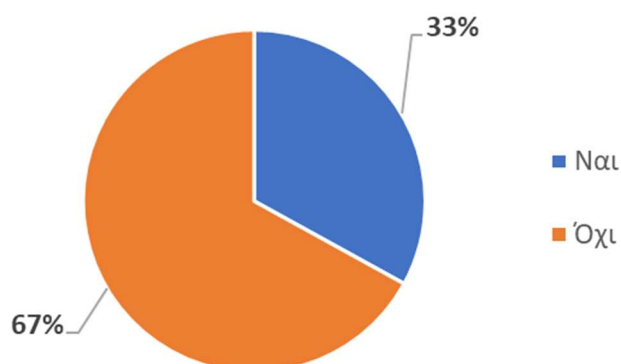
8.3.2.5. Στάση κυπριακών ΕΕΛ ως προς την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης

Η αξιολόγηση της στάσης των κυπριακών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος έναντι των πρωτοβάθμιων συστημάτων συστήματα διήθησης της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποκαλύπτει πολύτιμες πληροφορίες για τις προτιμήσεις και τις ανάγκες τους. Οι απαντήσεις στο ερώτημα για την προτιμώμενη μείωση των TSS και του BOD₅ (ερώτημα δεκαεννέα (19)) δείχνουν ότι το 50% θεωρεί μια μείωση κατά 80-90% πιο εξυπηρετική, ενώ το υπόλοιπο 50% τη μείωση κατά 30-40%, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8.28.



Διάγραμμα 8.28: Ποσοστό μείωσης αιωρούμενων στερεών πριν τη δεξαμενή αερισμού.

Οι υπεύθυνοι λειτουργίας των κυπριακών ΕΕΛ του εξεταζόμενου δείγματος ερωτήθηκαν εάν στην εγκατάσταση υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση πρωτοβάθμιας καθίζησης (ερώτηση είκοσι (20) ερωτηματολογίου). Με βάση τα δεδομένα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.29, είναι προφανές ότι οι περισσότερες εγκαταστάσεις δεν διαθέτουν επαρκή χώρο για να αναβαθμίσουν την επεξεργασία των αποβλήτων με την ενσωμάτωση πρωτοβάθμιας καθίζησης.

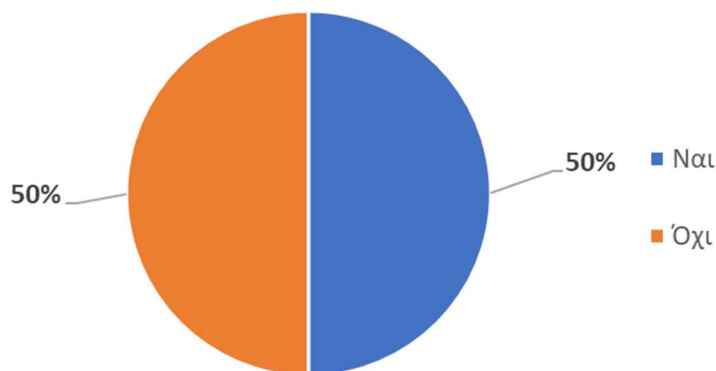


Διάγραμμα 8.29: Διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εγκατάσταση πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα στο Διάγραμμα 8.30 δείχνουν ότι το 50% των εγκαταστάσεων διαθέτει διαθέσιμο χώρο για την εγκατάσταση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης (ερώτηση είκοσιένα (21)). Ωστόσο, τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για να καλύψουν ένα μέρος της εισερχόμενης παροχής των ΕΕΛ, στην περίπτωση που δεν υπάρχει ο διαθέσιμος χώρος για την κάλυψη της παροχής στο σύνολό της.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Διάγραμμα 8.30: Διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.

Η τελευταία ερώτηση (ερώτηση είκοσι δύο (22)) σχετικά με τη σημασία της περιεκτικότητας σε στερεά τουλάχιστον 30% στα PSS που προέρχονται από την τεχνολογία μικροκοσκίνισης αντανakλά στις προτεραιότητες των εγκαταστάσεων με την επιδίωξη αποδοτικότερης και βιώσιμης διαχείρισης λυμάτων. Η θετική απάντηση από όλες τις εγκαταστάσεις στην ερώτηση αυτή υποδεικνύει την αναγνώριση της αξίας των νέων τεχνολογιών και του ρόλου της στη βελτίωση της ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων. Το γεγονός ότι το 80% των εγκαταστάσεων απάντησε θετικά στην ερώτηση για τη δυνατότητα εγκατάστασης των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης συνοδευόμενη από την προτίμηση για υψηλότερο ποσοστό στερεών (80-90%) πριν τη δεξαμενή αερισμού, ενισχύει την προοπτική δημιουργίας ενεργειακά θετικών ΕΕΛ.



Κεφάλαιο 9: Οφέλη πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην κατάντη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ

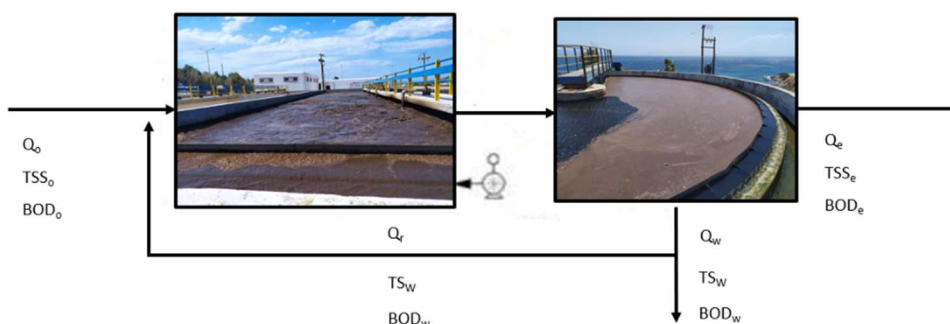
9.1. Εισαγωγή

Το Κεφάλαιο 9 στοχεύει στην ποσοτικοποίηση των οφελών που προκύπτουν από την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην κατάντη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ. Έτσι δημιουργήθηκαν και αξιολογήθηκαν δύο διαφορετικά σενάρια τα οποία αξιολογούν την επίδραση των τεχνολογιών μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης σε δύο υπερφορτωμένες ΕΕΛ με διαφορετική δυναμικότητα και ποιότητα επεξεργασμένων λυμάτων. Η αξιολόγηση του πρώτου σεναρίου έλαβε υπόψη μια υπερφορτωμένη ΕΕΛ με μέση ημερήσια παροχή εισερχόμενων λυμάτων ίση με 10.000 m³/d. Θεωρήθηκε ότι η ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου πληρούσε τα νομοθετικά όρια απόρριψης των επεξεργασμένων αποβλήτων σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ. Στο δεύτερο σενάριο, αξιολογήθηκαν τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στην κατάντη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένης ΕΕΛ με μέση ημερήσια παροχή εισερχόμενων λυμάτων ίση με 15.000 m³/d η οποία δεν βρίσκεται σε συμμόρφωση με τα θεσμοθετημένα όρια απόρριψης επεξεργασμένων λυμάτων (οδηγία 91/271/ΕΟΚ). Για την ποσοτικοποίηση των οφελών εκτιμήθηκε η μείωση του όγκου των δεξαμενών αερισμού (m³), η ποσότητα απαιτούμενου οξυγόνου (kg O₂/h) των δεξαμενών αερισμού, η ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m³) των δεξαμενών αερισμού και η παραγωγή δευτεροβάθμιας ιλύος (Q_w) (m³/d). Τα εκτιμώμενα οφέλη υπολογίστηκαν τόσο με τη χρήση μικροκοσκίνισης μόνο όσο και με το συνδυασμό επεξεργασίας μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης αστικών λυμάτων.

9.2. Μεθοδολογία υπολογισμού εκτιμώμενων οφελών στην κατάντη βιολογική επεξεργασία

9.2.1. Ισοζύγιο μάζας και ενέργειας στη διεργασία ενεργού ιλύος

Το Σχήμα 9.1 αναπαριστά το ισοζύγιο μάζας στη δευτεροβάθμια επεξεργασία της διεργασίας ενεργού ιλύος. Τα λύματα εισέρχονται στη δεξαμενή αερισμού με σκοπό οι μικροοργανισμοί να λάβουν το απαραίτητο οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών ουσιών. Μετά τη δεξαμενή αερισμού το μикτό υγρό κατευθύνεται στη ΔΔΚ όπου οι μικροοργανισμοί καθιζάνουν και ένα μέρος της ιλύος αυτής επανακυκλοφορεί στη δεξαμενή αερισμού, ενώ ένα άλλο μέρος οδηγείται στη γραμμή επεξεργασίας ιλύος. Για την εκτίμηση των οφελών στη διεργασία ενεργού ιλύος υπερφορτωμένων ΕΕΛ από την εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης, πραγματοποιήθηκαν ισοζύγια μάζας και ενέργειας.



Σχήμα 9.1: Ισοζύγιο μάζας στη διεργασία ενεργού ιλύος.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ισοζυγίων μάζας στη διεργασία ενεργού ιλύος είναι οι παρακάτω:

- Μέση ημερήσια παροχή εισόδου, Q_o , m^3/d
- Συγκέντρωση των TSS στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού, TSS_o , mg/L
- Συγκέντρωση του BOD_5 στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού, BOD_o , mg/L
- Όγκος δεξαμενής αερισμού, V , m^3
- Συγκέντρωση μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού, $MLSS$, mg/L
- Μέση ημερήσια παροχή εξόδου, Q_e , m^3/d
- Συγκέντρωση εξόδου TSS στη ΔΔΚ, TSS_e , mg/L
- Συγκέντρωση εξόδου BOD στη ΔΔΚ, BOD_e , mg/L
- Παροχή δευτεροβάθμιας ιλύος, Q_w , m^3/d
- Συγκέντρωση TS στη δευτεροβάθμια ιλύ, TS_w , mg/L
- Συγκέντρωση BOD_5 στη δευτεροβάθμια ιλύ, BOD_w , mg/L
- Παροχή ανακυκλοφορίας, Q_r , m^3/d
- Αναλογία τροφής προς μικροοργανισμούς, $F:M$, $kg \cdot BOD_5 / kg \cdot MLVSS \cdot d$
- HRT στη δεξαμενή αερισμού, h
- Χρόνος Παραμονής των Στερεών, (Solids Retention Time, SRT) στη δεξαμενή αερισμού, d
- Ογκομετρική φόρτιση στη δεξαμενή αερισμού, VL , $kg \cdot BOD_5 / d \cdot m^3$
- Θερμοκρασία λυμάτων T , $^{\circ}C$

Ο Πίνακας 9.1 δείχνει τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά για τις τρεις παραμέτρους (ογκομετρική φόρτιση, $F:M$, HRT) σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται κατά τον σχεδιασμό των δεξαμενών αερισμού με παρατεταμένο αερισμό. Τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας των δύο σεναρίων πραγματοποιήθηκαν για τη διεργασία ενεργού ιλύος με παρατεταμένο αερισμό.

Πίνακα 9.1: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά στη διεργασία ενεργού ιλύος (G Tchobanoglous et al., 2003).

Διεργασία ενεργού ιλύος	VL , $kg \cdot BOD_5 / d \cdot m^3$	$F:M$, $kg \cdot BOD / kg \cdot MLVSS \cdot d$	HRT, h
Παρατεταμένος αερισμός	0,1 – 0,3	0,05 - 0,15	18-36

Όγκος δεξαμενής αερισμού

Ο όγκος στη δεξαμενή αερισμού για τη διεργασία ενεργού ιλύος υπολογίζεται ως εξής (G Tchobanoglous et al., 2003):

$$V = \frac{BOD_o \cdot Q_o}{VL} \quad \text{Εξ 6.1}$$

HRT

Ο HRT ισούται με τον όγκο της δεξαμενής αερισμού διαιρεμένος με τη μέση ημερήσια παροχή εισόδου στη δεξαμενή αερισμού και υπολογίζεται ως εξής (G Tchobanoglous et al., 2003):



$$HRT = \frac{V}{Q_o} \quad \text{Εξ 6.2}$$

Αναλογία τροφής προς μικροοργανισμούς, F:M

Η αναλογία τροφής προς μικροοργανισμούς, F:M αποτελεί θεμελιώδη λειτουργική παράμετρο στη διεργασία ενεργού ιλύος και ορίζεται ως εξής (G Tchobanoglous et al., 2003):

$$\frac{F}{M} = \frac{BOD_o \cdot Q_o}{MLVSS \cdot V} \quad \text{Εξ 6.3}$$

Όπου,

- MLVSS = είναι η συγκέντρωση των VSS στη δεξαμενή αερισμού που ισούται με την συγκέντρωση των MLSS πολλαπλασιαζόμενη επί 75% (G Tchobanoglous et al., 2003).

Παροχή ανακυκλοφορίας

Η παροχή ανακυκλοφορίας της δευτεροβάθμιας ιλύος προς τη δεξαμενή αερισμού, Q_r , υπολογίστηκε ως εξής (G Tchobanoglous et al., 2003):

$$Q_r = \frac{Q_o \cdot TSS_o}{TS_w - MLSS} \quad \text{Εξ 6.4}$$

Δευτεροβάθμια ιλύς

Η παροχή δευτεροβάθμιας ιλύος Q_w , υπολογίστηκε ως εξής (G Tchobanoglous et al., 2003):

$$Q_w = \frac{\frac{V \cdot X}{SRT} - Q_e \cdot TSS_e}{TS_w} \quad \text{Εξ 6.5}$$

Απαιτούμενο οξυγόνο στη δεξαμενή αερισμού

Το οξυγόνο χρησιμεύει ως δέκτης ηλεκτρονίων στον ενεργειακό μεταβολισμό των αερόβιων ετερότροφων μικροοργανισμών που βρίσκονται στη δεξαμενή αερισμού. Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου οξυγόνου (απομάκρυνση BOD_5 και νιτροποίηση) των δεξαμενών αερισμού εφαρμόζεται η σχέση (G Tchobanoglous et al., 2003):

$$\text{Απαιτούμενο οξυγόνο} = Q_o \cdot \left\{ (BOD_o \cdot BOD_e) \cdot \left[\left(\frac{1}{f} \right) - (1,42 \cdot Y_{obs}) \right] + 4,57 \cdot (TKN_o - NH_4 - N) \right\} \quad \text{Εξ 6.6}$$

Όπου,

- Y_{obs} = Παρατηρούμενη απόδοση με ανακύκλωση (observed yield with recycle)
- f = ο λόγος BOD_5/BOD_u , 0,68 (G Tchobanoglous et al., 2003)

Ο συντελεστής απόδοσης, Y_{obs} υπολογίστηκε σύμφωνα με την σχέση (G Tchobanoglous et al., 2003):

$$Y_{obs} = \frac{Y}{(1 + k_{nd} \cdot SRT)} \quad \text{Εξ 6.7}$$

Όπου, Y = Συντελεστής απόδοσης σύνθεσης (synthesis yield coefficient), 0,6, kg VSS/kg BOD_5 (G Tchobanoglous et al., 2003)



Ο συντελεστής ενδογενής αποσύνθεσης, k_{nd} για θερμοκρασία λυμάτων ίση με 15 °C υπολογίστηκε σύμφωνα με την σχέση (G Tchobanoglous et al., 2003):

$$K_{nd} = k_{d20} \cdot 1,024^{(T-20)} \quad \text{Εξ 6.8}$$

Όπου, k_{d20} = συντελεστής ενδογενής αποσύνθεσης, 0,06, d⁻¹ (Lin, 2007)

Η απαιτούμενη ισχύς, P_w για την κάλυψη της ζήτησης οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού υπολογίζεται ως εξής (G Tchobanoglous et al., 2003):

$$P_w = \frac{\text{Απαιτούμενο οξυγόνο}}{\text{SAE}} \quad \text{Εξ 6.9}$$

Όπου, Απόδοση Αερισμού (Standard Aeration Efficiency, SAE): ο ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου για αεριστήρες επιφανείας, που συνήθως υπολογίζεται από τη βιβλιογραφία εντός του εύρους 2-8 kg O₂ /kWh για συστήματα διάχυτου αερισμού (G Tchobanoglous et al., 2003). Επιλέχθηκε η τιμή 5 kg O₂ /kWh για τους υπολογισμούς των δύο σεναρίων.

9.2.2 Χαρακτηριστικά εισόδου και εξόδου των ΕΕΛ και αποδόσεις των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τα δύο σενάρια

Τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας για τα δύο σενάρια υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου της ΕΕΛ Κυπερούντας, με σκοπό να περιγράψει ρεαλιστικά το βεβαρημένο φορτίο εισόδου των δύο ΕΕΛ. Τα χαρακτηριστικά εισόδου και εξόδου των ΕΕΛ και οι αποδόσεις των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τα δύο σενάρια παρουσιάζονται στους Πίνακες 9.2 και 9.3.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Πίνακας 9.2: Ποιοτικά χαρακτηριστικά και αποδόσεις πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης πρώτου σεναρίου.

Παράμετρος	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνιση		Αναβάθμιση με συνδυασμένη επεξεργασία	
Παράμετροι εισόδου	-	Ικανοποιητική απόδοση	Εξαιρετική απόδοση	Ικανοποιητική απόδοση	Εξαιρετική απόδοση
Μέση ημερήσια παροχή, m ³ /d	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Απομάκρυνση TSS	-	30%	60%	60%	90%
Απομάκρυνση BOD ₅	-	15%	35%	35%	55%
TSS ₀ , mg/L	713	499	285	285	71
BOD ₀ , mg/L	466	396	303	303	210
TSS _e , mg/L	30	30	30	30	30
BOD _e , mg/L	20	20	20	20	20
Συγκέντρωση TSS στην έξοδο (οδηγία 91/271/ΕΟΚ)	< 35 mg /L	< 35 mg /L	< 35 mg /L	< 35 mg /L	< 35 mg /L
Συγκέντρωση BOD ₅ στην έξοδο (οδηγία 91/271/ΕΟΚ)	< 25 mg /L O ₂	< 25 mg /L O ₂	< 25 mg /L O ₂	< 25 mg /L O ₂	< 25 mg /L O ₂

Πίνακας 9.3: Ποιοτικά χαρακτηριστικά και αποδόσεις πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης δεύτερου σεναρίου.

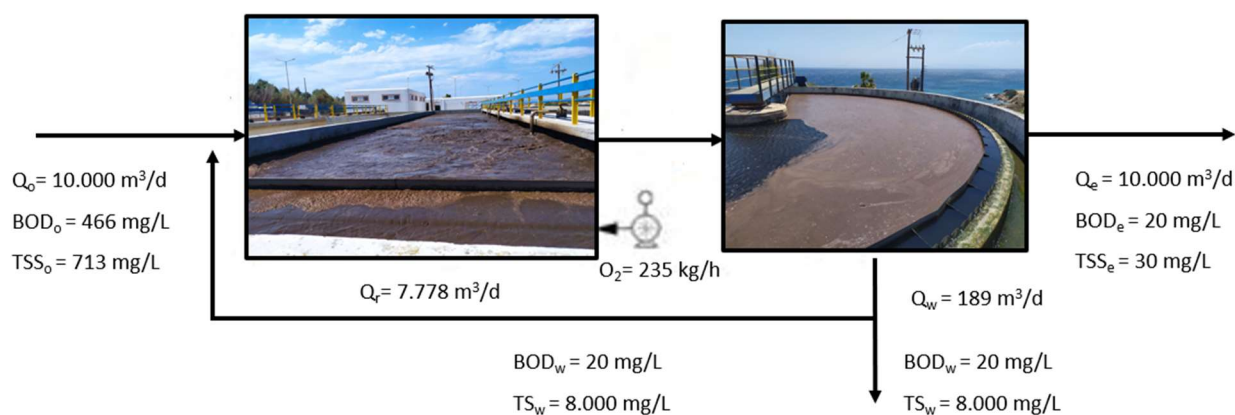
Παράμετρος	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνιση		Αναβάθμιση με συνδυασμένη επεξεργασία	
Παράμετροι εισόδου	-	Ικανοποιητική απόδοση	Εξαιρετική απόδοση	Ικανοποιητική απόδοση	Εξαιρετική απόδοση
Μέση ημερήσια παροχή, m ³ /d	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
TSS ₀ , mg/L	713	499	285	285	71
BOD ₀ , mg/L	466	396	303	303	210
TSS _e , mg/L	70	30	30	30	30
BOD _e , mg/L	50	20	20	20	20
Συγκέντρωση TSS στην έξοδο (οδηγία 91/271/ΕΟΚ)	< 35 mg /L	< 35 mg /L	< 35 mg /L	< 35 mg /L	< 35 mg /L
Συγκέντρωση BOD ₅ στην έξοδο (οδηγία 91/271/ΕΟΚ)	< 25 mg /L O ₂	< 25 mg /L O ₂	< 25 mg /L O ₂	< 25 mg /L O ₂	< 25 mg /L O ₂



9.3 Αποτελέσματα δύο σεναρίων

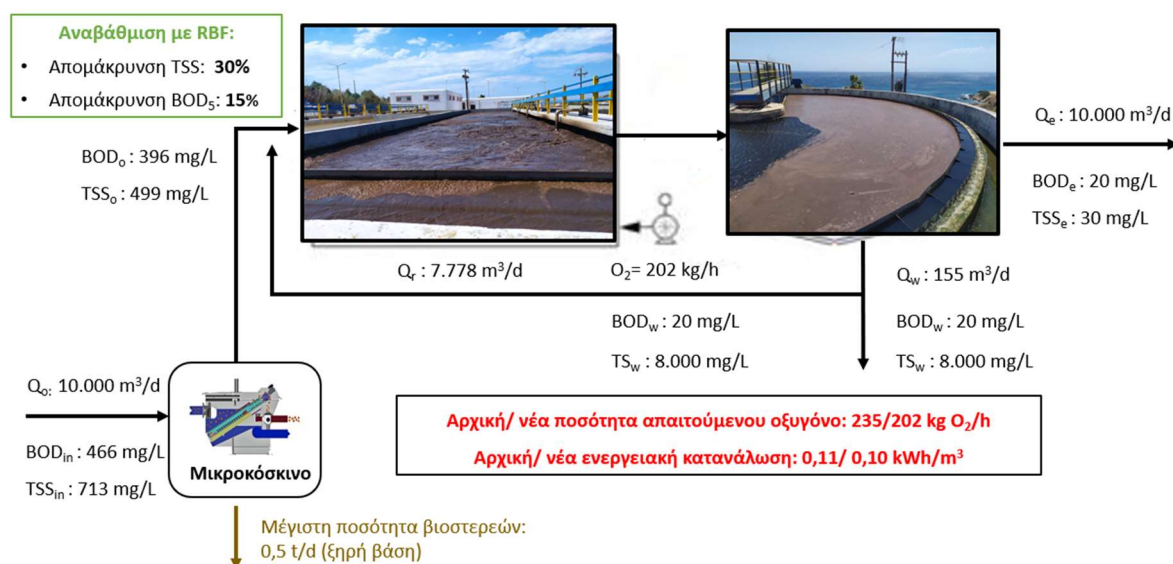
9.3.1 Αποτελέσματα πρώτου σεναρίου

Τα ισοζύγια μάζας για τη διεργασία ενεργού ιλύος, η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου και η ενεργειακή κατανάλωση για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου χωρίς καμία αναβάθμιση παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.2. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί του πρώτου σεναρίου παρουσιάζονται στον Πίνακα III 1 του Παραρτήματος III.



Σχήμα 9.2: Ισοζύγια μάζας πρώτου σεναρίου για την ΕΕΛ χωρίς καμία αναβάθμιση.

Τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας για τη διεργασία ενεργού ιλύος για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με την εφαρμογή μικροκόσκινου (τύπου RBF) με ικανοποιητική απόδοση παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.3. Η κατανάλωση του απαιτούμενου οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού δύναται να μειωθεί από 235 σε 202 kg O₂/h (14% εκτιμώμενη μείωση). Ωστόσο, αναμένεται ότι η κατανάλωση ενέργειας των δεξαμενών αερισμού θα μειωθεί από 0,11 σε 0,10 kWh/m³ (9% εκτιμώμενη μείωση) (Σχήμα 9.3).

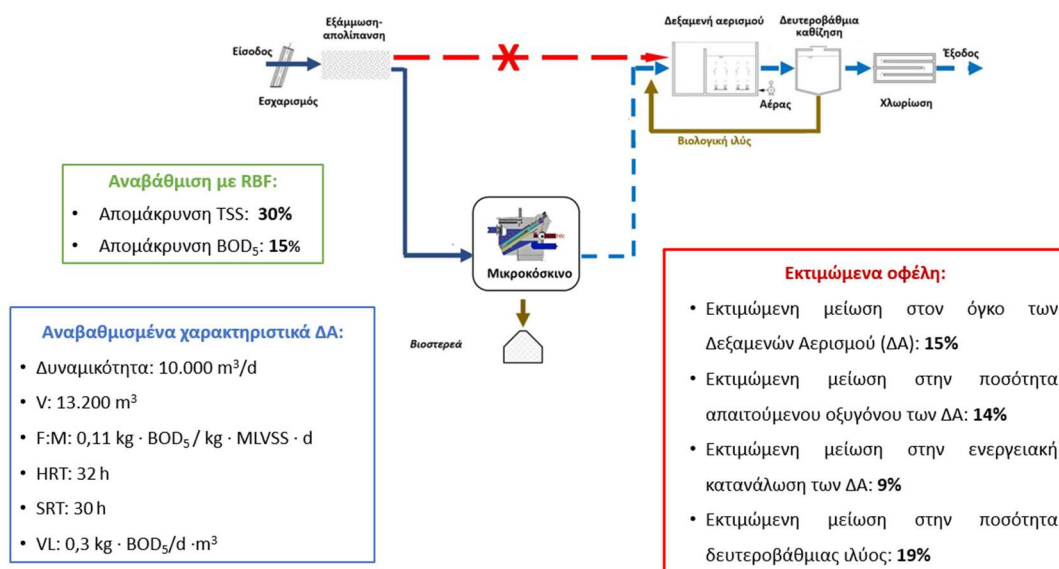


Σχήμα 9.3: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου χαμηλής απόδοσης.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Τα εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με την εφαρμογή μικροκόσκινου τύπου RBF με ικανοποιητική απόδοση παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.4.

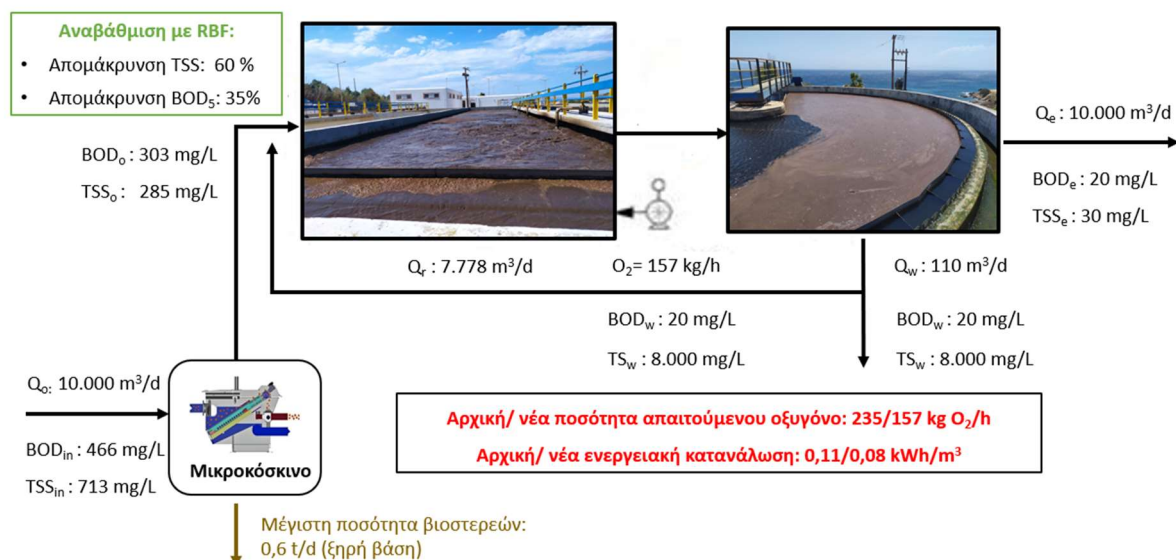


Σχήμα 9.4: Εκτιμώμενα οφέλη για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου ικανοποιητικής απόδοσης.



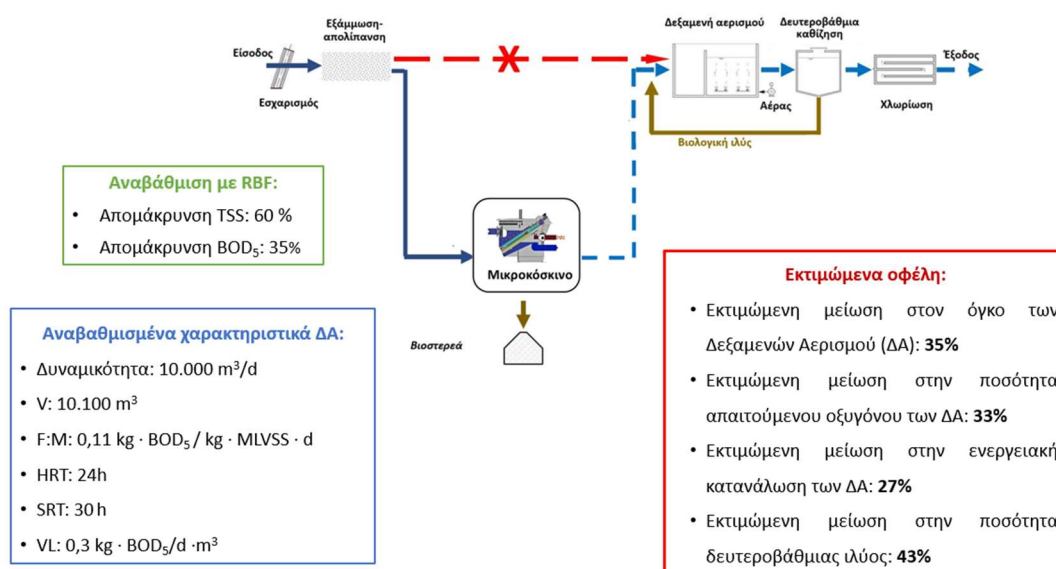
Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Τα ισοζύγια μάζας για τη διεργασία ενεργού ιλύος για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με την εφαρμογή μικροκόσκινου τύπου RBF με εξαιρετική απόδοση παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.5. Η κατανάλωση του απαιτούμενου οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού δύναται να μειωθεί από 235 σε 157 kg O₂/h (33% εκτιμώμενη μείωση). Ωστόσο, αναμένεται ότι η κατανάλωση ενέργειας των δεξαμενών αερισμού θα μειωθεί από 0,11 σε 0,08 kWh/m³ (27% εκτιμώμενη μείωση) (Σχήμα 9.5).



Σχήμα 9.5: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου εξαιρετικής απόδοσης.

Τα εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με αναβάθμιση της ΕΕΛ μόνο με μικροκοσκίνιση τύπου RBF με εξαιρετική απόδοση παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.6.

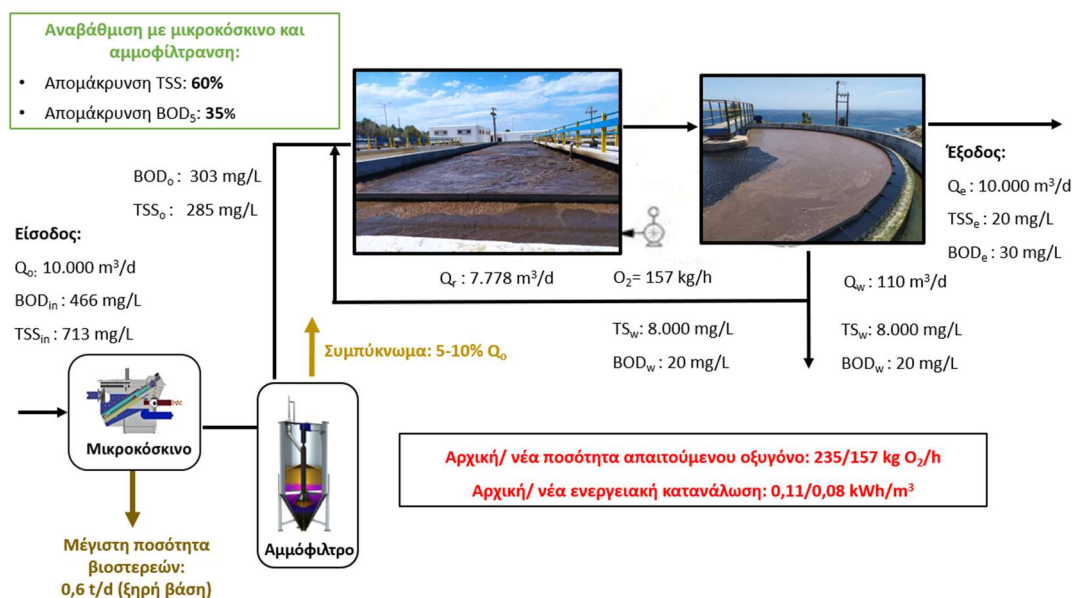


Σχήμα 9.6: Εκτιμώμενα οφέλη για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου εξαιρετικής απόδοσης.



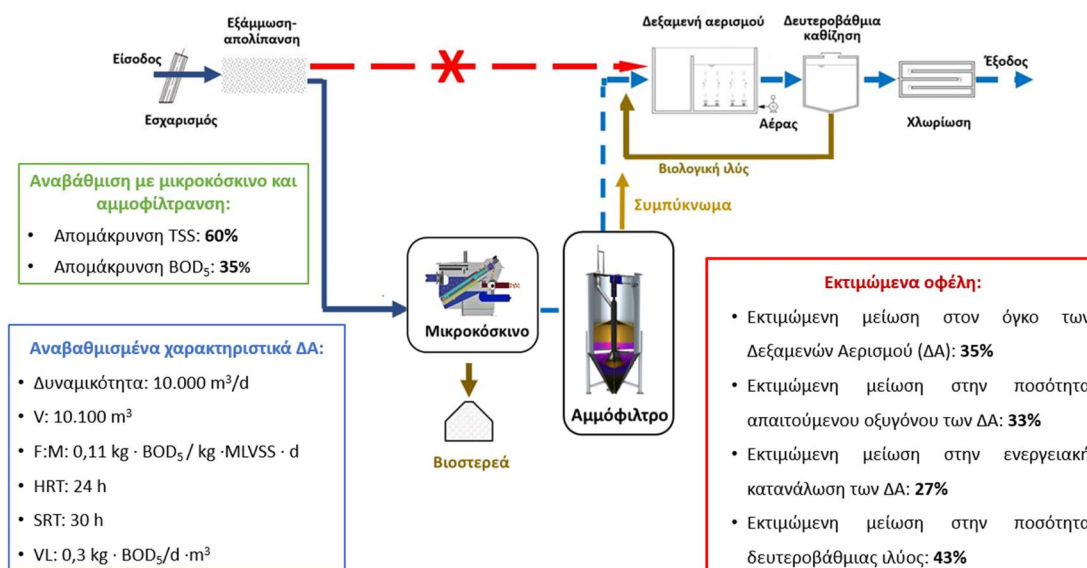
Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Τα ισοζύγια μάζας για τη διεργασία ενεργού ιλύος για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρασης με ικανοποιητική απόδοση παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.7. Η κατανάλωση του απαιτούμενου οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού δύναται να μειωθεί από 235 σε 157 kg O₂/h (33% εκτιμώμενη μείωση). Ωστόσο, αναμένεται ότι η κατανάλωση ενέργειας των δεξαμενών αερισμού θα μειωθεί από 0,11 σε 0,08 kWh/m³ (27% εκτιμώμενη μείωση).



Σχήμα 9.7: Ισοζύγια μάζας και ενέργειας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρασης ικανοποιητικής απόδοσης.

Τα εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρασης με ικανοποιητική απόδοση απεικονίζονται στο Σχήμα 9.8.

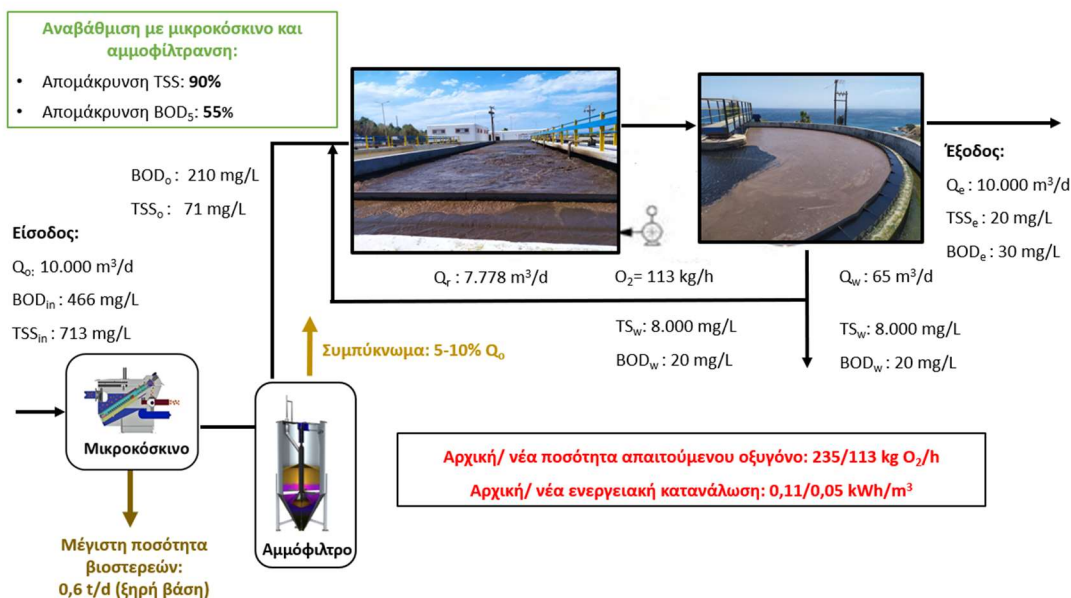


Σχήμα 9.8: Εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρασης ικανοποιητικής απόδοσης.



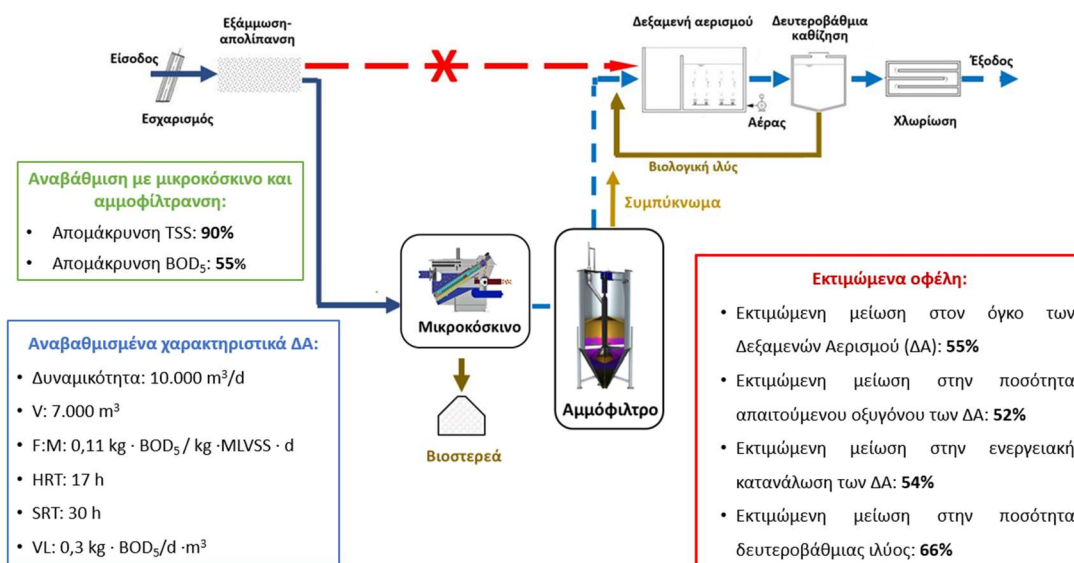
Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Τα ισοζύγια μάζας για τη διεργασία ενεργού ιλύος για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με αναβάθμιση με συνδυασμένη επεξεργασία (μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρασης) με εξαιρετική απόδοση παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.9. Η κατανάλωση του απαιτούμενου οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού δύναται να μειωθεί από 235 σε 113 kg O₂/h (52% εκτιμώμενη μείωση). Ωστόσο, αναμένεται ότι η κατανάλωση ενέργειας των δεξαμενών αερισμού θα μειωθεί από 0,11 σε 0,05 kWh/m³ (54% εκτιμώμενη μείωση).



Σχήμα 9.9: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρασης εξαιρετικής απόδοσης.

Τα εκτιμώμενα οφέλη για τη ΕΕΛ πρώτου σεναρίου με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρασης με εξαιρετική απόδοση παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.10.



Σχήμα 9.10: Εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνησης και αμμοφίλτρασης εξαιρετικής απόδοσης.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.4 καταδεικνύουν σημαντικές μειώσεις, που κυμαίνονται από 15% έως 55% για το όγκο των δεξαμενών αερισμού για την ΕΕΛ του πρώτου σεναρίου, με την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης. Επιπλέον, δύναται να υπάρξουν σημαντικές μειώσεις στην απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού, με μειώσεις να κυμαίνονται από 14 έως 52%. Επιπλέον, δύναται να υπάρξουν σημαντικές μειώσεις στη ηλεκτρική κατανάλωση των δεξαμενών αερισμού, που κυμαίνονταν από 9 έως 54%, οι οποίες ήταν στατιστικά σημαντικές. Τελικά, προβλέπεται ότι η ποσότητα της παραγόμενης δευτεροβάθμιας ιλύος θα μειωθεί κατά 19% έως 66%.

Πίνακας 9.4: Εκτιμώμενα οφέλη από τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης για το πρώτο σενάριο.

Παράμετρος	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνιση		Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνισης ακολουθούμενη από αμμοφίλτρασης	
Παράμετροι εισόδου	-	Ικανοποιητική απόδοση	Εξαιρετική απόδοση	Ικανοποιητική απόδοση	Εξαιρετική απόδοση
Όγκος δεξαμενών αερισμού, m ³	15.533	13.200	10.100	10.100	7.000
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	15	35	35	55
Ποσότητα απαιτούμενου οξυγόνου, kg O ₂ /h	235	202	157	157	113
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	14	33	33	52
Ενεργειακή κατανάλωση στη δεξαμενή αερισμού, kWh/m ³	0,11	0,10	0,08	0,08	0,05
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	9	27	27	54
Παραγωγή δευτεροβάθμιας ιλύος (Q _w), m ³ /d	189	155	110	110	65
Ποσότητα δευτεροβάθμιας ιλύος (υγρή βάση), t/d	197	161	114	114	68
Ποσοστό μείωσης της ποσότητας δευτεροβάθμιας ιλύος, %	-	19	43	43	66



9.3.1.1. Εκτίμηση της ποσότητας πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος

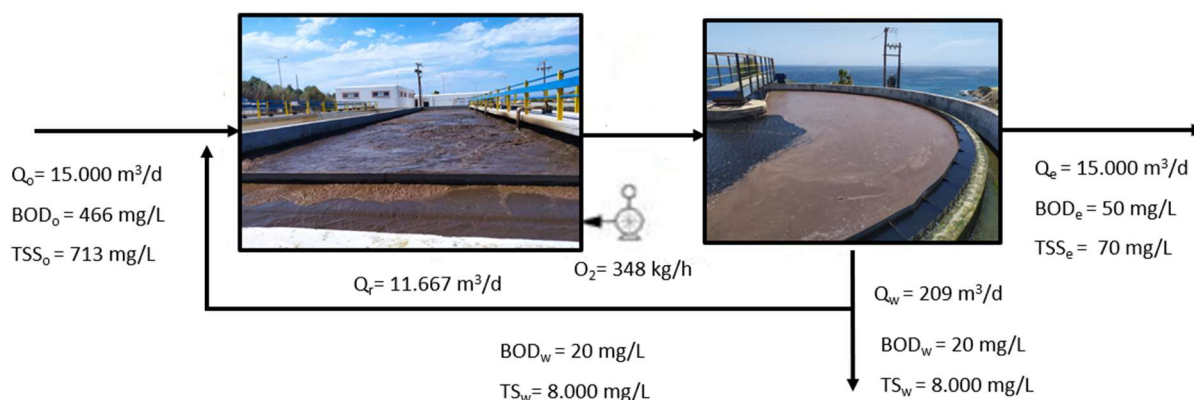
Με τη μείωση της υφιστάμενης ποσότητας δευτεροβάθμιας ιλύος από 19 έως 66%, θα παραχθούν παράλληλα από 0,5 – 0,6 t/d PSS σε ξηρή βάση για το πρώτο σενάριο. Δεδομένου ότι τα PSS έχουν HHV μεταξύ 21-23 MJ/kg (Μάναλη, 2023) δύναται να χρησιμοποιούνται για ενεργειακούς σκοπούς. Στον Πίνακα 9.5 παρουσιάζεται η παραγωγή πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος για το πρώτο σενάριο.

Πίνακας 9.5: Παραγωγή πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος για το πρώτο σενάριο.

Παράμετρος	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνιση		Αναβάθμιση μονάδας με συνδυασμένη επεξεργασία	
Παραγωγή πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος					
Παραγωγή δευτεροβάθμιας ιλύος (Q _w), m ³ /d	189	155	110	110	65
Ποσότητα δευτεροβάθμιας ιλύος (υγρή βάση), t/d	197	161	114	114	68
Ποσοστό μείωσης της δευτεροβάθμιας ιλύος, %	-	19	43	43	66
Ποσότητα πρωτοβάθμιων βιοστερεών (ξηρή βάση), t/d	-	0,5	0,6	0,6	0,6

9.3.2 Αποτελέσματα δευτέρου σεναρίου

Τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας για την υπερφορτωμένη ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου χωρίς καμία παρέμβαση παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.11. Τα αναλυτικά ισοζύγια μάζας και ενέργειας παρουσιάζονται στον Πίνακα III 2 του Παραρτήματος III.



Σχήμα 9.11: Ισοζύγια μάζας δευτέρου σεναρίου για την ΕΕΛ χωρίς καμία αναβάθμιση.

Τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας για τη ΕΕΛ του δευτέρου σεναρίου με αναβάθμιση με μικροκόσκινο τύπου RBF με ικανοποιητική απόδοση απεικονίζονται στο Σχήμα 9.12. Η κατανάλωση του απαιτούμενου οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού δύναται να μειωθεί από 348 σε 303 kg O₂/h (13% εκτιμώμενη μείωση). Ωστόσο, αναμένεται ότι η κατανάλωση ενέργειας των δεξαμενών αερισμού θα μειωθεί από 0,11 σε 0,10 kWh/m³ (9% εκτιμώμενη μείωση).

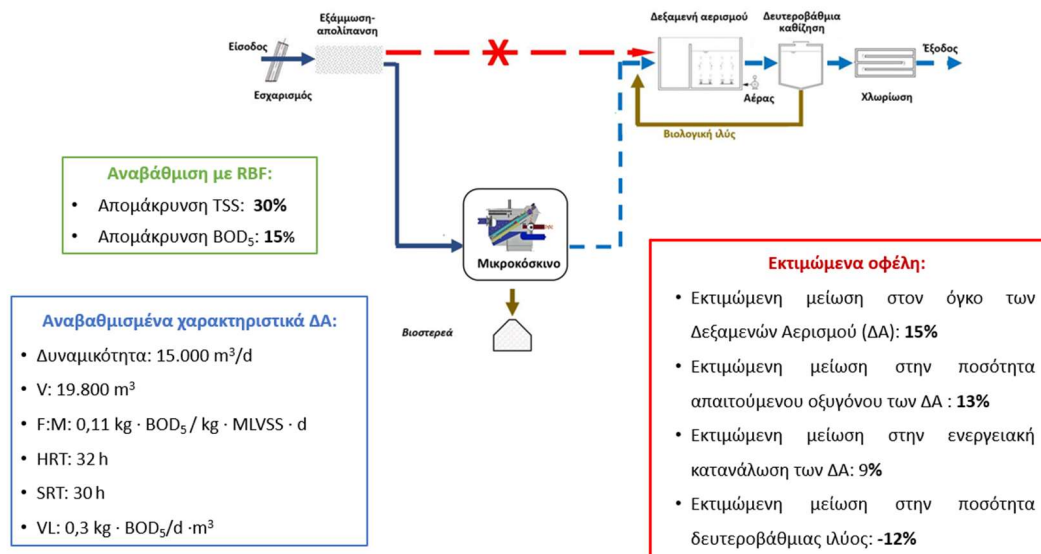


Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Σχήμα 9.12: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου ικανοποιητικής απόδοσης.

Τα εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με αναβάθμιση με μικροκόσκινου τύπου RBF με ικανοποιητική απόδοση παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.13.

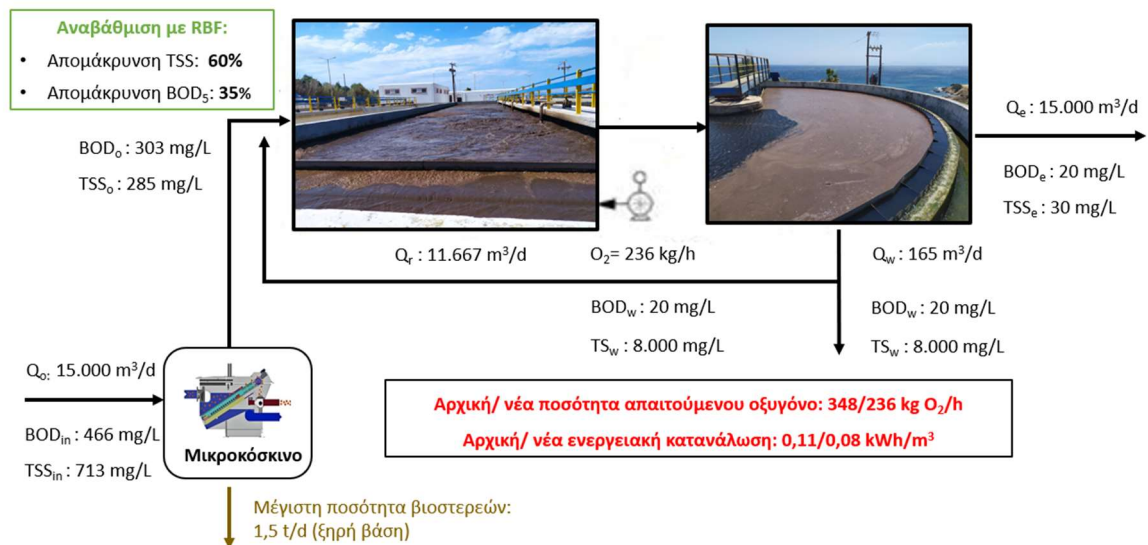


Σχήμα 9.13: Εκτιμώμενα οφέλη για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου ικανοποιητικής απόδοσης.

Τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας για την ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με αναβάθμιση με μικροκόσκινο εξαιρετικής απόδοσης απεικονίζονται στο Σχήμα 9.14. Η κατανάλωση του απαιτούμενου οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού δύναται να μειωθεί από 348 σε 236 kg O₂/h (32% εκτιμώμενη μείωση). Ωστόσο, αναμένεται ότι η κατανάλωση ενέργειας των δεξαμενών αερισμού θα μειωθεί από 0,11 σε 0,08 kWh/m³ (27% εκτιμώμενη μείωση).

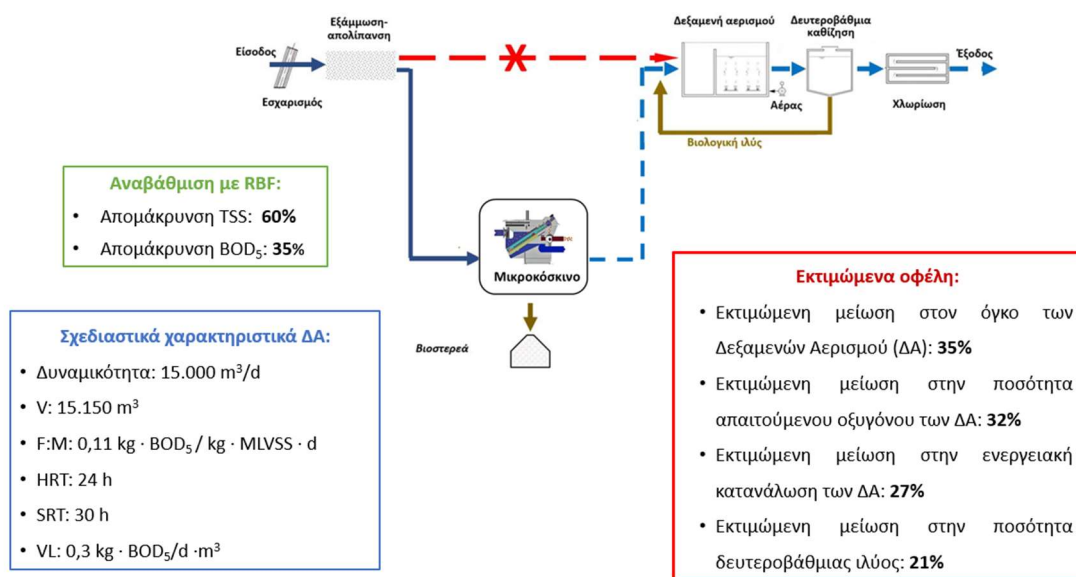


Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Σχήμα 9.14: Ισοζύγια μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου εξαιρετικής απόδοσης.

Τα εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με αναβάθμιση με μικροκόσκινο εξαιρετικής απόδοσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.15.

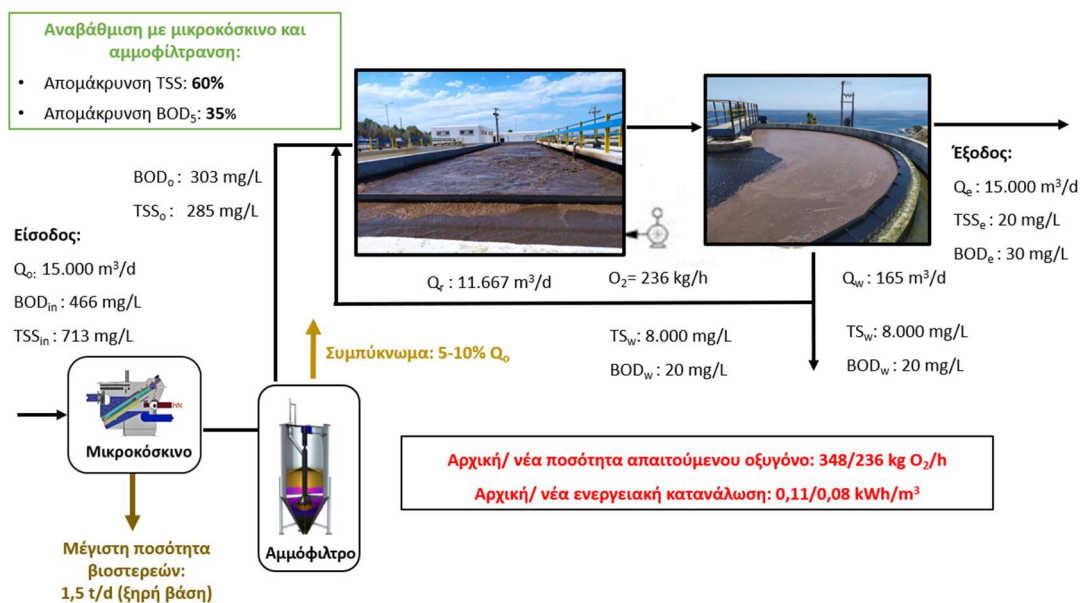


Σχήμα 9.15: Εκτιμώμενα οφέλη για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με τη χρήση μικροκόσκινου εξαιρετικής απόδοσης.

Τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας για την ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης με ικανοποιητική απόδοση παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.16. Η κατανάλωση του απαιτούμενου οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού δύναται να μειωθεί από 348 σε 236 kg O₂/h (32% εκτιμώμενη μείωση). Ωστόσο, αναμένεται ότι η κατανάλωση ενέργειας των δεξαμενών αερισμού θα μειωθεί από 0,11 σε 0,08 kWh/m³ (27% εκτιμώμενη μείωση).

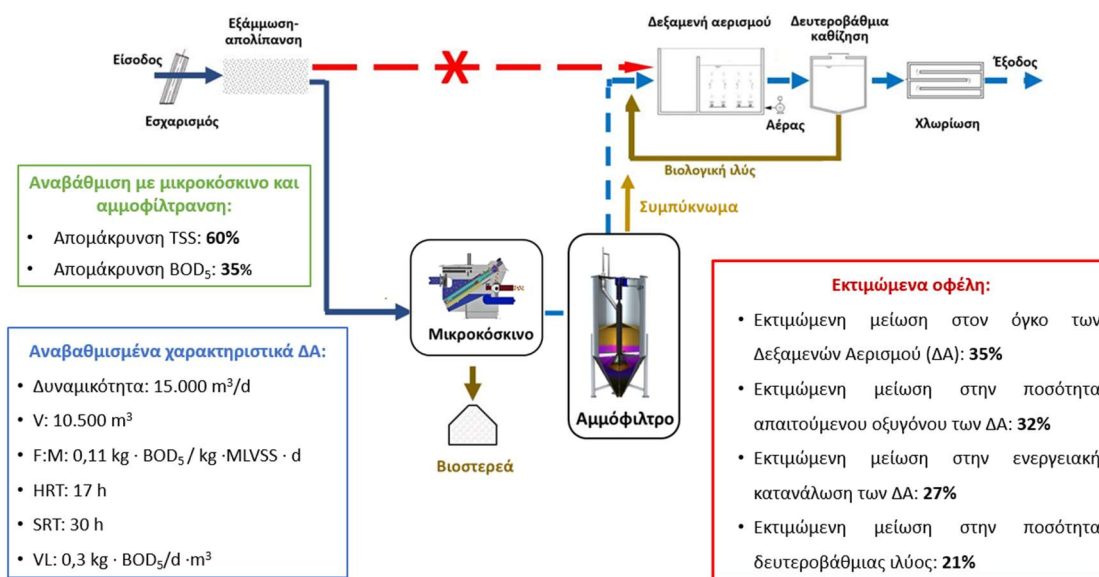


Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Σχήμα 9.16: Ισοζύγιο μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης ικανοποιητικής απόδοσης.

Τα εκτιμώμενα οφέλη για ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης με ικανοποιητική απόδοση παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.17.

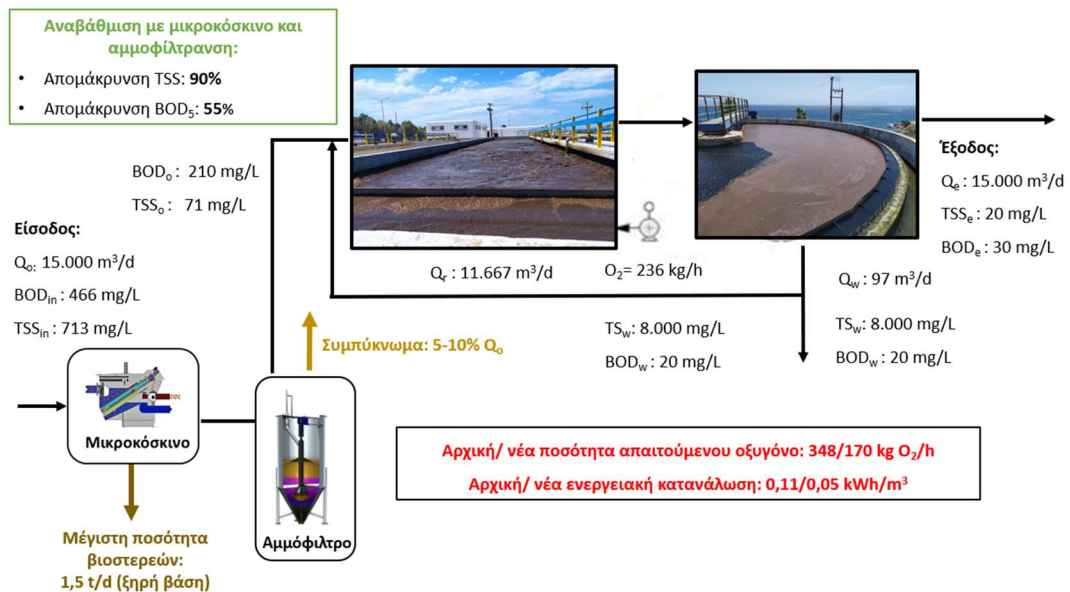


Σχήμα 9.17: Εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης ικανοποιητικής απόδοσης.

Τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας για τη ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης με εξαιρετική απόδοση φαίνονται στο Σχήμα 9.18. Η κατανάλωση του απαιτούμενου οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού δύναται να μειωθεί από 348 σε 170 kg O₂/h (51% εκτιμώμενη μείωση). Ωστόσο, αναμένεται ότι η κατανάλωση ενέργειας των δεξαμενών αερισμού θα μειωθεί από 0,11 σε 0,05 kWh/m³ (54% εκτιμώμενη μείωση).

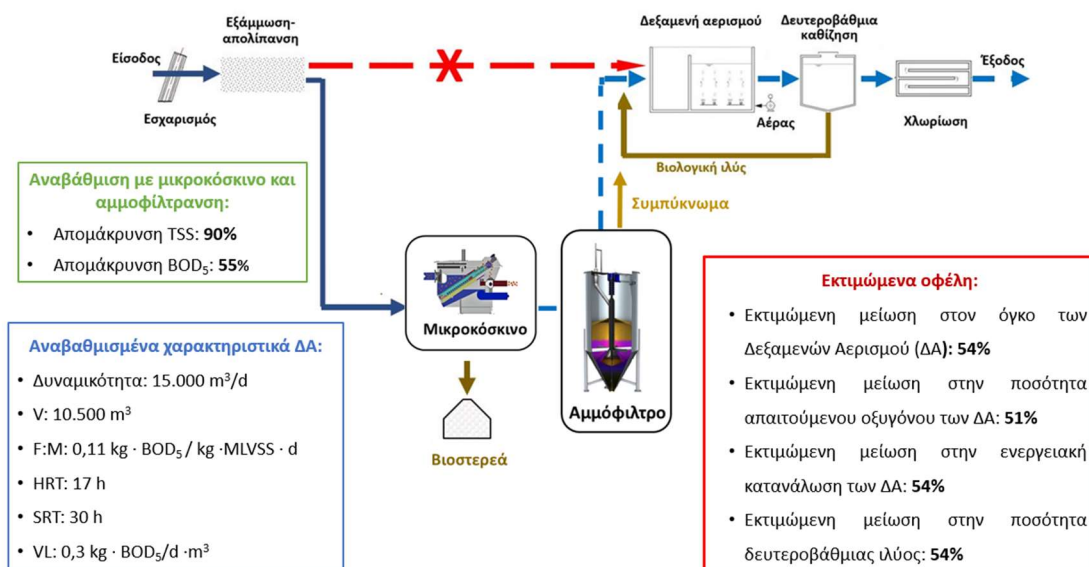


Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Σχήμα 9.18: Ισοζύγιο μάζας για την αναβάθμιση της ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης εξαιρετικής απόδοσης.

Τα εκτιμώμενα οφέλη για τη ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης με εξαιρετική απόδοση παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.19.



Σχήμα 9.19: Εκτιμώμενα οφέλη για την ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου με τη χρήση μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης εξαιρετικής απόδοσης.

Τα δεδομένα στον Πίνακα 9.6 απεικονίζουν σημαντικές μειώσεις που κυμαίνονται από 15% έως 54% στον όγκο των δεξαμενών αερισμού για την ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου, με την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης. Επιπλέον, δύναται να υπάρξουν σημαντικές μειώσεις στην απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού, που κυμαίνονται μεταξύ 13 και 51%. Επιπλέον, αναμένεται να συμβούν σημαντικές μειώσεις στην κατανάλωση των δεξαμενών, μεταξύ 9-54 %. Τέλος, εκτιμάται ότι θα μειωθεί η ποσότητα δευτεροβάθμιας ιλύος από 21% έως 54%.



Πίνακας 9.6: Εκτιμώμενα οφέλη από τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης για το δεύτερο σενάριο.

Παράμετρος	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνιση		Αναβάθμιση μονάδας με συνδυασμένη επεξεργασία	
Όγκος δεξαμενών αερισμού, m ³	23.300	19.800	15.150	15.150	10.500
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	15	35	35	54
Ωριαία ποσότητα απαιτούμενου οξυγόνου, kg O ₂ /h	348	303	236	236	170
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	13	32	32	51
Ενεργειακή κατανάλωση, kWh/m ³	0,11	0,10	0,08	0,08	0,05
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	9	27	27	54
Παραγωγή δευτεροβάθμιας ιλύος (Q _w), m ³ /d	209	233	165	165	97
Ποσότητα δευτεροβάθμιας ιλύος (υγρή βάση), t/d	217	242	172	172	101
Ποσοστό μείωσης της δευτεροβάθμιας ιλύος, %	-	- 12	21	21	54

*Για τον υπολογισμό της ποσότητας της δευτεροβάθμιας ιλύος θεωρήθηκε η πυκνότητα ίση με 1.040 kg/m³ (Qasim and Zhu, 2017)



9.3.2.1. Εκτίμηση της ποσότητας πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος

Με τη μείωση της υφιστάμενης ποσότητας δευτεροβάθμιας ιλύος από 21 έως 54%, θα παραχθούν παράλληλα από 0,7-1,5 t/d PSS σε ξηρή βάση για το πρώτο σενάριο. Δεδομένου ότι τα PSS έχουν HHV μεταξύ 21-23 MJ/kg (Μάναλη, 2023) δύναται να χρησιμοποιηθούν για ενεργειακούς σκοπούς. Στον Πίνακα 9.7 παρουσιάζεται η παραγωγή πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος για το δεύτερο σενάριο.

Πίνακας 9.7: Παραγωγή πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος για το δεύτερο σενάριο.

Παράμετρος	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνιση	Αναβάθμιση μονάδας με συνδυασμένη επεξεργασία		
Παραγωγή πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος					
Παραγωγή δευτεροβάθμιας ιλύος (Q _w),m ³ /d	209	233	165	165	97
Ποσότητα δευτεροβάθμιας ιλύος (υγρή βάση)*, t/d	217	242	172	172	101
Ποσοστό μείωσης της δευτεροβάθμιας ιλύος,	-	- 12	21	21	54
Ποσότητα πρωτοβάθμιων βιοστερεών (ξηρή βάση), t/d	-	0,7	1,5	1,5	1,5

*Για τον υπολογισμό της ποσότητας της δευτεροβάθμιας ιλύος θεωρήθηκε η πυκνότητα ίση με 1.040 kg/m³ (Qasim and Zhu, 2017)

9.3.3 Σύγκριση σεναρίων

Στον Πίνακα 9.8, παρουσιάζεται η σύγκριση των εκτιμώμενων οφελών των δύο σεναρίων. Αρχικά, παρατηρούνται παρόμοια ποσοστά μείωσης στο όγκο των δεξαμενών αερισμού και στα δύο σενάρια τόσο με την αναβάθμιση με μικροκοσκίνιση μεμονωμένα, όσο και με συνδυασμό επεξεργασίας με μικροκοσκίνιση ακολουθούμενη από αμμοφίλτρανση. Στο σενάριο 2 όπου για επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνιση ικανοποιητικής απόδοσης δεν θα υπάρξει κάποια μείωση στην ποσότητα της δευτεροβάθμιας ιλύος, αλλά κάποια μικρή αύξηση. Αυτό συμβαίνει διότι με την εφαρμογή του συστήματος μικροκοσκίνισης τα όρια εκροών των TSS και BOD₅ στην έξοδο της δευτεροβάθμιας καθίζησης προσαρμόστηκαν έτσι ώστε η ΕΕΛ του δεύτερου σεναρίου να πληροί τα νομοθετικά όρια της οδηγίας (91/271/ΕΟΚ). Παρόλα αυτά, τα ποσοστά μείωσης της ποσότητας δευτεροβάθμιας ιλύος ήταν αρκετό υψηλό και στα δύο σενάρια. Το εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης στην ενεργειακή κατανάλωση των δεξαμενών αερισμού των δύο ΕΕΛ προσδιορίστηκε από 9 έως 54% και για τα δύο σενάρια.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Πίνακας 9.8: Σύγκριση εκτιμώμενων οφελών των δύο σεναρίων.

Σενάρια	Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνιση		Αναβάθμιση μονάδας με συνδυασμένη επεξεργασία			
	ΕΕΛ πρώτου σεναρίου υ	ΕΕΛ δεύτερο υ σεναρίου	Πρώτο σενάριο	Δεύτερο σενάριο	Πρώτο σενάριο	Δεύτερο σενάριο
Παράμετροι εισόδου			(ικανοποιητική - εξαιρετική) απόδοση	(ικανοποιητική - εξαιρετική) απόδοση	(ικανοποιητική - εξαιρετική) απόδοση	(ικανοποιητική - εξαιρετική) απόδοση
Μέση ημερήσια παροχή, m ³ /d	10.000	15.000	10.000	15.000	10.000	15.000
BOD _o , mg/L	466	466	396-303	396-303	303-210	303-210
TSS _o , mg/L	713	713	499-285	499-285	285-71	285-71
Παράμετροι εξόδου						
BOD _e , mg/L	20	50	20	50	20	50
TSS _e , mg/L	30	70	30	70	30	70
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης στο όγκο των δεξαμενών αερισμού, %	-	-	15-35	15-35	35-55	35-54
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης στην ποσότητα απαιτούμενου οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού, %	-	-	14-33	13-32	33-52	32-51
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης στην ενεργειακή κατανάλωση των δεξαμενών αερισμού, %	-	-	9-27	9-27	27-54	27-54
Ποσοστό μείωσης της ποσότητας δευτεροβάθμιας ιλύος, %	-	-	19-43	21	43-66	21-54



Κεφάλαιο 10: Συμπεράσματα και μελλοντική στόχοι διδακτορικής διατριβής

Ο μεγαλύτερος όγκος παραγωγής λυμάτων εξαιτίας της μεγάλης αύξησης του πληθυσμού έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται προβλήματα υπερφόρτωσης σε πολλές ΕΕΛ με συνέπεια τη μειωμένη αποδοτικότητα επεξεργασίας λυμάτων και ιλύος. Οι ΕΕΛ καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας για την επεξεργασία των λυμάτων καθώς οι μονάδες χρησιμοποιούν προηγμένες διεργασίες επεξεργασίας για να ανταποκριθούν στις αυξημένες απαιτήσεις ποιότητας λυμάτων και ως απάντηση στις αυξημένες ροές.

Λύση στα προαναφερθέντα προβλήματα αποτελούν δύο τέτοιες πιλοτικές μονάδες με μέγιστη δυναμικότητα εισερχόμενων αστικών λυμάτων 2.500 και 1.800 m³/d τα οποία έχουν σχεδιαστεί από το Πολυτεχνείο Κρήτης και εγκατασταθεί στις ΕΕΛ Μάρπησας (Ελλάδα) και Κυπερούντας (Κύπρος), αντίστοιχα. Τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης αποτελούνται κατά σειρά από: μικροκόσκινα και αμμόφιλτρα, ενώ το συμπύκνωμα των αμμόφιλτρων επεξεργάζεται σε δεξαμενές καθίζησης με λαμέλλες. Με αυτό τον τρόπο υφιστάμενες υπερφορτωμένες ΕΕΛ μπορούν να αναβαθμιστούν, χωρίς την ανάγκη συμβατικής επέκτασης, η οποία συνήθως έγκειται στην κατασκευή δεξαμενής καθίζησης, επέκταση της δεξαμενής αερισμού, ή αναβάθμισή της σε σύστημα MBBR ή MBR. Ακολουθώντας, παρουσιάζεται μια συνοπτική επισκόπηση των βασικών συμπερασμάτων που προέκυψαν από την παρούσα διδακτορική διατριβή.

Αρχικά, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τον προσδιορισμό των TSS, της HV των αιωρούμενων στερεών, του μεγέθους των σωματιδίων στα υγρά απόβλητα, του TOC και της αναλογίας C:H:N:O κατά τον σχεδιασμό των νέων τεχνολογιών. Τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τα προκαταρκτικά πειράματα συνοψίζονται ως εξής:

- Για την ΕΕΛ Μάρπησας, η μέση συγκέντρωση των TSS υπολογίστηκε ίση με 201 ± 29 mg/L. Η τιμή της συγκέντρωσης των TSS δεν θεωρείται υψηλή, ωστόσο με την επέκταση του δικτύου αποχέτευσης και τον εκσυγχρονισμό της ΕΕΛ αναμένεται αύξηση του φορτίου εισόδου. Συνεπώς, καθίσταται αναγκαία η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών προκειμένου η ΕΕΛ να δεχτεί αυξημένα φορτία εισόδου παράλληλα με την μείωση των ενεργειακών της αναγκών. Για την ΕΕΛ Κυπερούντας, η μέση συγκέντρωση των TSS υπολογίστηκε ίση με 970 ± 176 mg/L. Η υψηλή τιμή της συγκέντρωσης των TSS υποδηλώνει αφενός δε το αυξημένο φορτίο εισόδου της ΕΕΛ, αφετέρου δε την αναγκαιότητα εφαρμογής των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης.
- Για την ΕΕΛ Μάρπησας, η HHV των αιωρούμενων στερεών των υγρών αποβλήτων υπολογίστηκε ίση με $24,45 \pm 1,65$ MJ/kg. Ωστόσο, για την ΕΕΛ Κυπερούντας, η HHV των αιωρούμενων στερεών των υγρών αποβλήτων υπολογίστηκε ίση με $21,8 \pm 0,81$ MJ/kg. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων της HHV των PSS, παρατηρείται ότι τα παραγόμενα PSS από τη μονάδα μικροκοσκίνησης των δύο ΕΕΛ αναμένεται να έχουν υψηλό ενεργειακό δυναμικό με αποτέλεσμα να δύναται να αξιοποιηθούν για ενεργειακούς σκοπούς.
- Μία από τις κρίσιμες παραμέτρους για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας λυμάτων είναι το μέγεθος των σωματιδίων, το οποίο μπορεί να υποδεικνύει τον βαθμό στον οποίο αφαιρούνται οι ρύποι από τα λύματα. Οι κατανομές σωματιδίων είναι εξαιρετικά σημαντικές για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων επειδή επιτρέπουν την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Για παράδειγμα, η ομογενοποίηση του μεγέθους των σωματιδίων που επιτυγχάνεται με την τεχνολογία της μικροκοσκίνησης μπορεί να διευκολύνει την αποδόμηση του οργανικού φορτίου στην δεξαμενή αερισμού. Για την ΕΕΛ Μάρπησας, ο μέσος όρος του δείκτη d_{90} βρέθηκε να είναι ίσος με $92,64 \pm 8,69$ μm. Για την ΕΕΛ Κυπερούντας, μέσος όρος του δείκτη d_{90} βρέθηκε να είναι ίσος με $102,84 \pm 9,23$ μm. Τα αποτελέσματα των κατανομών παρέχουν σημαντικές



πληροφορίες για το σχεδιασμό των μικροκόσκινων και ειδικότερα θεωρούνται απαραίτητες για την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους πόρων του φιλτρώπανου των μικροκόσκινων.

- Ο TOC είναι μια παράμετρος που επιτρέπει τον άμεσο προσδιορισμό της συνολικής περιεκτικότητας σε οργανικό άνθρακα στο νερό και τα απόβλητα, ανεξάρτητα από το είδος των ενώσεων που περιέχονται. Μας δίνει πληροφορίες για τη συγκέντρωση οργανικού άνθρακα σε όλες τις ενώσεις (εύκολα αποδομούμενες, δύσκολα αποδομούμενες και μη αποδομούμενες) που περιέχονται σε ένα δείγμα αστικών λυμάτων. Έτσι, είναι μια εξαιρετική παράμετρος για την έκφραση της συγκέντρωσης οργανικής ύλης του δείγματος. Πολλές ΕΕΛ παρακολουθούν το TOC για να καθορίσουν την ποιότητα του ακατέργαστου αποβλήτου ή να καθορίσουν την αποτελεσματικότητα των διεργασιών. Εκτός από αυτές τις χρήσεις, η παρακολούθηση των αλλαγών στις συγκεντρώσεις TOC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση μόλυνσης από οργανικές ενώσεις (π.χ. πετροχημικά, διαλύτες και φυτοφάρμακα). Με αυτόν τον τρόπο, ενώ η ανάλυση TOC δεν αποκαλύπτει συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με τη φύση της απειλής, ο εντοπισμός υψηλών διακυμάνσεων στο TOC μπορεί να είναι ένας εξαιρετικός δείκτης πιθανών κινδύνων για την λειτουργικότητα και το βαθμό απόδοσης των διεργασιών στις ΕΕΛ. Για την ΕΕΛ Μάρπησσας, τα αποτελέσματα των πειραματικών αναλύσεων έδειξαν ότι η συγκέντρωση TOC ήταν κατά μέσο όρο 87 ± 13 mg/L, χωρίς σημαντική διακύμανση. Για την ΕΕΛ Κυπερούντας, τα αποτελέσματα των πειραματικών αναλύσεων έδειξαν ότι η συγκέντρωση TOC ήταν κατά μέσο όρο 71 ± 9 mg/L, χωρίς σημαντική διακύμανση.

- Η αναλογία C:H:N:O είναι κρίσιμη παράμετρος για την επίτευξη των διεργασιών της αναερόβιας χώνευσης και κομποστοποίησης, καθώς υποδηλώνει την καταλληλότητα ή ανεπάρκεια των υποστρωμάτων για αναερόβια χώνευση. Όταν η αναλογία C προς N στο μη επεξεργασμένο δείγμα κυμαίνεται μεταξύ 20/1 και 30/1, το υπόστρωμα θεωρείται κατάλληλο για αναερόβια χώνευση, με την αναλογία C/N 25 να είναι η βέλτιστη τιμή. Βάσει των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν στην στοιχειακή ανάλυση για την ΕΕΛ Μάρπησσας, διαπιστώνεται ότι το ποσοστό επί τοις εκατό του C, H, N και O για αιωρούμενα στερεά είναι $36,90 \pm 13,20$ %, $5,15 \pm 1,56$ %, $1,83 \pm 1,26$ % και $18,25 \pm 7,99$ % αντίστοιχα, ενώ η αναλογία C/N ίση με $20,14 \pm 4,61$. Ο λόγος C/N για τα αιωρούμενα στερεά, βρίσκεται εντός του εύρους τιμών. Για την ΕΕΛ Κυπερούντας, διαπιστώνεται ότι το ποσοστό επί τοις εκατό του C, H, N και O για αιωρούμενα στερεά είναι $40,27 \pm 10,45$ %, $5,07 \pm 1,16$ %, $1,58 \pm 1,16$ % και $28,21 \pm 7,32$ % αντίστοιχα, ενώ η αναλογία C/N ίση με $25,24 \pm 1,45$. Ο λόγος C/N για τα αιωρούμενα στερεά, βρίσκεται εντός του εύρους τιμών, και συνεπώς θα μπορούσε να εξεταστεί η πιθανή εφαρμογή κομποστοποίησης σε μελλοντικό χρόνο.

Κατά την αξιολόγηση της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυπερούντας, οι μέσες συγκεντρώσεις των TSS εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου και εξόδου του αμμόφιλτρου προσδιορίστηκαν ίσες με 713 ± 43 mg/L, 448 ± 32 mg/L και 335 ± 33 mg/L, αντίστοιχα. Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση των TSS για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης υπολογίστηκε ίση με 53 ± 2 %, ενώ η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση TSS με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνιση υπολογίστηκε ίση με 37 ± 2 %.

Οι μέσες συγκεντρώσεις BOD₅ εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου και εξόδου του αμμόφιλτρου υπολογίστηκαν ίσες με 466 ± 114 mg/L, 340 ± 67 mg/L και 260 ± 67 mg/L. Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση του BOD₅ για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης υπολογίστηκε ίση με 46 ± 7 %. Αντίθετα, η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση του BOD₅ με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνιση υπολογίστηκε ίση με 28 ± 8 %.

Οι μέσες συγκεντρώσεις COD εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου, εξόδου του αμμόφιλτρου υπολογίστηκαν ίσες με 711 ± 70 mg/L, 532 ± 43 mg/L και 401 ± 49 mg/L, αντίστοιχα. Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση του COD για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρασης ίση με 43 ± 3 %. Αντίθετα, η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση



του COD με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκόσκινο υπολογίστηκε ίση με $25 \pm 6\%$. Η μικροκοσκίνιση απαιτεί λιγότερο από το 5% του εμβαδού που καταλαμβάνει μια δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης ίδιας δυναμικότητας, ενώ συνήθως παράγεται καλύτερη ποιότητα εκροής. Αξίζει να σημειωθεί ότι από την μικροκοσκίνιση χρησιμοποιώντας μικροκόσκινο τύπου RBF παράγονται PSS με περιεκτικότητα σε στερεά άνω του 30%, η οποία είναι διπλάσια σε σχέση με τη συμβατική επεξεργασία.

Η προσθήκη κροκιδωτικών στο αμμόφιλτρο στην ΕΕΛ Κυπερούντας κατάφερε να αυξήσει συνολικά την αποδοτικότητα των πρωτοβάθμιων συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι μέσες συγκεντρώσεις TSS στην είσοδο, την έξοδο του μικροκόσκινου και την έξοδο του αμμόφιλτρου προσδιορίστηκαν στα 758 ± 25 mg/L, 435 ± 22 mg/L και 209 ± 26 mg/L, αντίστοιχα. Το μέσο ποσοστό απομάκρυνσης των TSS που απομακρύνθηκαν χρησιμοποιώντας συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης υπολογίστηκε ότι είναι ίσο με $72 \pm 3\%$. Αντίθετα, το μέσο ποσοστό απομάκρυνσης των TSS μόνο με επεξεργασία αποβλήτων με μικροκοσκίνιση προσδιορίστηκε ίσο με $43 \pm 3\%$.

Οι μέσες συγκεντρώσεις BOD₅ εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου και εξόδου του αμμόφιλτρου προσδιορίστηκαν ίσες με 397 ± 15 mg/L, 285 ± 9 mg/L και 184 ± 25 mg/L. Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση BOD₅ με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης υπολογίστηκε ίση με $52 \pm 5\%$. Ωστόσο, η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση του BOD₅ με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνιση προσδιορίστηκε ίση με $30 \pm 4\%$.

Οι μέσες συγκεντρώσεις COD εισόδου, εξόδου του μικροκόσκινου και εξόδου του αμμόφιλτρου υπολογίστηκαν ίσες με 692 ± 34 mg/L, 455 ± 35 mg/L και 274 ± 17 mg/L. Η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση με συνδυασμένη επεξεργασία μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης υπολογίστηκε ίση με $60 \pm 5\%$. Αντίθετα, η μέση ποσοστιαία απομάκρυνση COD που επιτεύχθηκε με την επεξεργασία των αποβλήτων με μικροκοσκίνιση προσδιορίστηκε ότι είναι ίση με $34 \pm 3\%$.

Κατά τις FAT, η ποσοστιαία απομάκρυνση των TSS υπολογίστηκε από 40 έως 58% χωρίς την προσθήκη κροκιδωτικών για το μικροκόσκινο που εγκαταστάθηκε στην ΕΕΛ Μάρπησας.

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης παρέχουν υψηλή απόδοση στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού φορτίου από τα λύματα, πριν αυτά εισέλθουν στο στάδιο της αερόβιας δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Ωστόσο, το ποσοστό μείωσης της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε ίσο με είναι 28% για την ΕΕΛ Κυπερούντας, και παρατηρήθηκε βελτίωση της ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων.

Εκτός από την αξιολόγηση των νέων τεχνολογιών, δημιουργήθηκε λογισμικό προσομοίωσης διεργασιών λυμάτων για τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Το λογισμικό δημιουργήθηκε για να διευκολύνει την εφαρμογή καινοτόμων λύσεων σε ευρύτερη κλίμακα (scale-up) με τη διαστασιολόγηση και τη προσομοίωση των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για την επεξεργασία αστικών λυμάτων. Το λογισμικό δίνει επίσης τη δυνατότητα στον χρήστη να εκτιμήσει τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολο της μονάδας με βάση τα υφιστάμενα λειτουργικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε ΕΕΛ.

Το εκτιμώμενο κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων με την εφαρμογή πρωτοβάθμιας διήθησης στην υφιστάμενη ΕΕΛ Μάρπησας υπολογίστηκε στα 0,32 €/m³. Ωστόσο, το κόστος για την αναβάθμιση της ΕΕΛ Μάρπησας με συμβατική επέκταση (επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας) υπολογίστηκε ίσο με 0,48 €/m³. Για την αναβάθμιση της ΕΕΛ Κυπερούντας, το κόστος για την πλήρη επεξεργασία των λυμάτων με πρωτοβάθμια διήθηση εκτιμήθηκε στα 0,88 €/m³. Από την άλλη, το κόστος συμβατικής επέκτασης (επέκταση της υφιστάμενης βιολογικής επεξεργασίας) προσδιορίστηκε ίσο με 1,64 €/m³ για την ΕΕΛ Κυπερούντας.



Ωστόσο, η μείωση στις εκπομπές των GHG λόγω ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται ότι θα είναι ίση με 26% και 25 για την ΕΕΛ Μάρπησας και Κυπερούντας, αντίστοιχα με την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης στις δύο ΕΕΛ.

Η ανάλυση ευαισθησίας έδειξε ότι η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας έχει τη σημαντικότερη επίδραση στο κόστος για την πλήρη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στην ΕΕΛ Κυπερούντας. Από την άλλη πλευρά, το κόστος συντήρησης και χημικών έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στο κόστος για την πλήρη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στην ΕΕΛ Μάρπησας, διασφαλίζοντας σε κάθε περίπτωση τη συνολική οικονομική βιωσιμότητα των πιλοτικών μονάδων στις δύο ΕΕΛ.

Ένας από τους στόχους της παρούσας διδακτορικής διατριβής ήταν η διερεύνηση υιοθέτησης των τεχνολογιών πρωτοβάθμιας διήθησης αστικών λυμάτων στην Ελλάδα και στην Κύπρο. Για να εξεταστεί η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από υφιστάμενες ΕΕΛ, διαμορφώθηκε ένα ερωτηματολόγιο και διανεμήθηκε σε 126 ΕΕΛ στην Ελλάδα και 17 στην Κύπρο. Το εξεταζόμενο δείγμα αποτελούταν από συνολικά είκοσι (20) ΕΕΛ με εύρος εισερχόμενης μέσης ημερήσιας παροχής στην Ελλάδα από 300 έως 30.000 m³/d και στην Κύπρο από 500 έως 29.000 m³/d. Το εύρος ΙΠ του εξεταζόμενου δείγματος στην Ελλάδα ήταν από 3.000 έως 90.000 ΙΚ, ενώ στην Κύπρο κυμαινόταν από 11.000 έως 275.000 ΙΚ. Η κύρια διεργασία επεξεργασίας λυμάτων τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Κύπρο είναι η διεργασία ενεργού ιλύος με παρατεταμένο αερισμό, με το 65% των ΕΕΛ στην Ελλάδα και το 64% στην Κύπρο να την εφαρμόζουν. Επιπλέον, φαίνεται ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό των ΕΕΛ διαθέτει τον απαραίτητο χώρο για την κατασκευή πρωτοβάθμιας καθίζησης για την επεξεργασία των λυμάτων, με 44% στην Ελλάδα και 33% στην Κύπρο. Το 80% των ΕΕΛ στην Ελλάδα έχουν επαρκή χώρο για να ενσωματώσουν τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης στην υφιστάμενη επεξεργασία των λυμάτων. Ωστόσο, μόνο το 50% των ΕΕΛ στην Κύπρο διαθέτουν τον απαραίτητο χώρο. Στην περίπτωση μη επαρκούς διαθέσιμου χώρου από τις ΕΕΛ, θα μπορούσε να εφαρμοστεί δυνητικά μόνο η τεχνολογία της μικροκοσκίνισης. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να γίνει η εφαρμογή των συστημάτων πρωτοβάθμιας διήθησης για την κάλυψη ενός μέρους και όχι του συνόλου της εισερχόμενης παροχής των ΕΕΛ. Η εφαρμογή των τεχνολογιών της παρούσας διδακτορικής διατριβής δύναται να παρέχει μια οικονομικά αποδοτική και ενεργειακά αποδοτική λύση για τη βελτίωση τόσο των νέων όσο και των σημερινών ΕΕΛ, ανεξαρτήτου μεγέθους.

Για την ποσοτικοποίηση των οφελών στη βιολογική επεξεργασία υπερφορτωμένων ΕΕΛ με τη χρήση πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης κατασκευάστηκαν δύο υποθετικά σενάρια. Το πρώτο σενάριο περιελάμβανε μια υπερφορτωμένη ΕΕΛ με μέση ημερήσια παροχή αποβλήτων ίση με 10.000 m³/d που ήταν σε συμμόρφωση με τα πρότυπα ποιότητας επεξεργασμένων αποβλήτων (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ). Το δεύτερο σενάριο συνδεόταν με μια υπερφορτωμένη ΕΕΛ με μεγαλύτερη μέση ημερήσια παροχή σε σχέση με το πρώτο σενάριο ίση με 15.000 m³/d, που τα επεξεργασμένα λύματα δεν τηρούσαν τα πρότυπα ποιότητας επεξεργασμένων αποβλήτων (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ). Τα αποτελέσματα του πρώτου και του δεύτερου σεναρίου καταδεικνύουν σημαντικές μειώσεις, που κυμαίνονται από 15% έως 55%, στο μέγεθος των δεξαμενών αερισμού με συνδυασμό επεξεργασίας μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης. Επιπλέον, σημειώθηκαν σημαντικές μειώσεις στο απαιτούμενο οξυγόνο, με μειώσεις να κυμαίνονται από 13 έως 52% για τα δύο σενάρια. Στη συνέχεια, υπήρξαν σημαντικές μειώσεις στη ηλεκτρική κατανάλωση των δεξαμενών αερισμού, που κυμαίνονταν από 9 έως 54%. Εκτιμάται ότι η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος των δύο ΕΕΛ θα μειωθεί κατά 19% έως 66%.

Προκειμένου να ενισχυθεί η αξιοπιστία των ευρημάτων σχετικά με την αποτελεσματικότητα των νέων τεχνολογιών, συνιστάται η διενέργεια πειραματικών δοκιμών στην πιλοτική μονάδα της ΕΕΛ Μάρπησας μετά την ολοκλήρωση του έργου επέκτασης και τη συγκέντρωση περισσότερων



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

πειραματικών δεδομένων στην ΕΕΛ Κυπερούντας. Έτσι, θα εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα ως αποτέλεσμα της συλλογής πρόσθετων πειραματικών δεδομένων και της εξαγωγής πιο αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων για την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης σε υφιστάμενες ΕΕΛ. Επιπλέον, για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση της απόδοσης των τεχνολογιών μικροκοσκίνισης και αμμοφίλτρανσης, είναι δυνατό να εξεταστεί πώς ανταποκρίνονται τα πρωτοβάθμια συστήματα σε υψηλούς ρυθμούς ροής και αυξήσεις αιχμής στο ρυπαντικό φορτίο των δύο ΕΕΛ. Εν κατακλείδι, τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης αποτελούν μια προσέγγιση αιχμής στον τομέα της επεξεργασίας λυμάτων, προσφέροντας σημαντικές προοπτικές ανάπτυξης νέων καινοτόμων τεχνολογιών επεξεργασίας λυμάτων με χαμηλό κόστος και ενέργεια.



Κεφάλαιο 11: Βιβλιογραφία

- (US), T.T.P., 1976. Process design manual for phosphorus removal. US Environmental Protection Agency.
- Abdelfattah, A., Ali, S.S., Ramadan, H., El-Aswar, E.I., Eltawab, R., Ho, S.-H., Elsamahy, T., Li, S., El-Sheekh, M.M., Schagerl, M., Kornaros, M., SUN, J., 2023. Microalgae-based wastewater treatment: Mechanisms, challenges, recent advances, and future prospects. *Environ. Sci. ecotechnology* 13, 100205.
- Ali-Zade, P., Ustun, O., Vardarli, F., Sobolev, K., 2008. Development of an electromagnetic hydrocyclone separator for purification of wastewater. *Water Environ. J.* 22, 11–16.
- Alizadeh, S., Chowdhury, P., Ghodsi, V., Giaccherini, F., Sarathy, S., Santoro, D., Comeau, Y., 2023. Physico-chemical characteristics and biodegradability of primary effluent and particulate matter removed by microscreens. *Water Environ. Res.* 95, e10854.
- Andoh, R.Y.G., Faram, M.G., Stephenson, A.G., Kane, A., 2001. A novel integrated system for stormwater management, in: *Novatech: 4th International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage*, Lyon, France, June. pp. 25–27.
- Andoh, R.Y.G., Hides, S.P., Saul, A.J., 2002. Improving water quality using hydrodynamic vortex separators and screening systems, in: *Global Solutions for Urban Drainage*, Proc. of the Ninth Int. Conf. on Urban Drainage, Sept 8-13 2002, Portland, OR.
- Andoh, R.Y.G., Saul, A.J., 2003. The use of hydrodynamic vortex separators and screening systems to improve water quality. *Water Sci. Technol.* 47, 175–183.
- Arterburn, R.A., 1982. The sizing and selection of hydrocyclones. *Des. Install. Comminution Circuits* 1, 597–607.
- Athanasoulia, E., Melidis, P., Aivasidis, A., 2012. Optimization of biogas production from waste activated sludge through serial digestion. *Renew. energy* 47, 147–151.
- Bayo, J., López-Castellanos, J., Martínez-García, R., Alcolea, A., Lardín, C., 2015. Hydrocyclone as a cleaning device for anaerobic sludge digesters in a wastewater treatment plant. *J. Clean. Prod.* 87, 550–557.
- Blanca, J., Alma, C., Alberto, L., 2000. Sand and synthetic medium filtration of advanced primary treatment effluent from Mexico City [J]. *Wat Res* 34, 473–480.
- Brandt, M.J., Johnson, K.M., Elphinston, A.J., Ratnayaka, D.D., 2016. *Twort's water supply*. Butterworth-Heinemann.
- Brown, D.S., 1987. Evaluation of a pulsed bed filter for filtration of municipal primary effluent. *J. (Water Pollut. Control Fed.* 72–78.
- Caliskaner, O., Pena-Tijerina, A.J., 2019. Evaluating Innovative Technologies To Replace Conventional Primary Clarifiers, in: *WEFTEC 2019*. Water Environment Federation.
- Caliskaner, O., Tchobanoglous, G., Reid, T., Davis, B., Young, R., Downey, M., 2017. First Full-Scale Installation of Primary Filtration for Advanced Primary Treatment to Save Energy and Increase Capacity, in: *WEFTEC 2017*. Water Environment Federation.
- Caliskaner, O., Tchobanoglous, G., Reid, T., Kunzman, B., Young, R., Ramos, N., 2015. Evaluation and demonstration of five different filtration technologies as an advanced primary treatment method for carbon diversion, in: *WEFTEC 2015*. Water Environment Federation.
- Caliskaner, O., Tchobanoglous, G., Reid, T., Young, R., Downey, M., Kunzman, B., 2016. Advanced primary treatment via filtration to increase energy savings and plant capacity, in: *WEFTEC 2016*. Water Environment Federation.
- Caliskaner, O., Tchobanoglous, G., Wu, Z., Young, R., Paez, C., Davis, B., Mansell, B., Ackman, P., Reid, T., Dyson, J., 2018. Performance of full scale and demonstration-scale primary filtration projects, in: *WEFTEC 2018*. Water Environment Federation, pp. 70–84.
- Caliskaner, O., Tchobanoglous, G., Young, R., Laybourne, S., 2014. Demonstration of primary effluent filtration for carbon diversion to save energy and increase plant capacity, in: *WEFTEC 2014*. Water Environment Federation.
- Capodaglio, A.G., Olsson, G., 2019. Energy issues in sustainable urban wastewater management: Use, demand reduction and recovery in the urban water cycle. *Sustainability* 12, 266.
- CH2MHIL, 2004. Southern California Water Recycling Projects Initiative: Successful Public Information and Education Strategies Technical Memorandum.



- Chan, T.F., Koodie, T., Sloper, M., Wiggam, R.W., 2017. Harnessing the power in nitrifying sand filters.
- Checa-Fernández, A., Ruiz, L.M., Torre-Marín, J.M., Muñoz-Ubina, A., Pérez, J.I., Gómez, M.A., 2024. Direct Application of Chemically Enhanced Primary Treatment in a municipal wastewater treatment plant: A case study. *Chem. Eng. Res. Des.*
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D., 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. APHA American Public Health Association.
- Committee, I.M. of U.D.E., Health, C.P., (India), E.E.O., 1999. Manual on water supply and treatment. Central Public Health and Environmental Engineering Organisation, Ministry
- Cui, X., Li, Y., Wang, X., Wang, Z., 2022. Analysis of the Net Present Value and Equivalent Annual Cost in Optimal Machine Life, in: 2022 7th International Conference on Financial Innovation and Economic Development (ICFIED 2022). Atlantis Press, pp. 2929–2933.
- Daigger, G.T., Grady, C.P.L., Love, N.G., Filipe, C.D.M., 1999. Biological wastewater treatment. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser. Ed. Marcel Dekker, New-York.*
- Degrémont, s. ., 1973. Water Treatment Handbook. Degrémont.
- Delparte, C., Pujol, R., Vion, P., 1995. Optimized lamellae settling for urban stormwater waste. *Water Sci. Technol.* 32, 127–136.
- Droste, R.L., Gehr, R.L., 2018. Theory and practice of water and wastewater treatment. John Wiley & Sons.
- Drummond, M.F., Sculpher, M.J., Claxton, K., Stoddart, G.L., Torrance, G.W., 2015. Methods for the economic evaluation of health care programmes. Oxford university press.
- Dudley, J., Mulhall, E., Solomon, S., 1994. Dudley J., Mulhall E. and Solomon S. (1994). Primary Treatment Processes to Reduce BOD and Suspended Solids - Final Report. Swindon, Wiltshire, United Kingdom.
- Dugan, G.L., 1983. WRRCTMR No. 74 Upgrading Municipal Effluent by Pulsed-Bed Filtration: Sand Island Wastewater Treatment Plant, Oahu, Hawaii.
- European Commission, 2022. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Concerning Urban Wastewater Treatment (Recast). Brussels, 26.10.2022 COM(2022) 541 final 2022/0345 (COD).
- Evoqua Water Technologies, 2014. Hydro-Clear® Filters: Count on Them 24/7/365, [WWW Document].
- Farias, F., Souza, J., Lima, W., Macêdo, A., Neto, S., Lima, A., 2011. Influence of geometric parameters of the hydrocyclone and sand concentration on the water/sand/heavy-oil separation process: Modeling and Simulation. *Int. J. Multiphys.* 5, 187–202.
- Federation, W.E., 2020. Clarifier Design, MOP FD-8, 2nd ed. Water Environment Federation.
- Federation, W.E. (Ed.), 2011. Nutrient Removal: WEF MoP No. 34, First edit. ed. McGraw-Hill Education, New York.
- Federation, W.E., 2008. Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants: MoP No. 11, Sixth Edition, 6th ed. ed. McGraw-Hill Education, New York.
- Fernandes del Pozo, D., Ahmad, A., Rehman, U., Verliefe, A., Nopens, I., 2022. A novel CFD model to predict effluent solids concentration and pressure drop in deep bed granular filters for water treatment. *Sep. Purif. Technol.* 295.
- Fitzpatrick, J., Weaver, T., Boner, M., Anderson, M., O'Bryan, C., Tarallo, S., 2011. Wet-weather piloting toward the largest compressible media filter on the planet, in: WEFTEC 2011. Water Environment Federation, pp. 5337–5353.
- Flocculation, B., n.d. Wastewater Technology Fact Sheet.
- Franchi, A., Santoro, D., 2015. Current status of the rotating belt filtration (RBF) technology for municipal wastewater treatment. *Water Pract. Technol.* 10, 319–327.
- Franchi, A., Stedman, K., Gikas, P., 2012. Enhanced primary solids removal from municipal wastewater by two steps filtration, in: Proceedings of the IWA Regional Conference on Wastewater Purification and Reuse, Heraklion, Greece. pp. 28–30.
- Geets, J., Boon, N., Verstraete, W., 2006. Strategies of aerobic ammonia-oxidizing bacteria for coping with nutrient and oxygen fluctuations. *FEMS Microbiol. Ecol.* 58, 1–13.
- Gikas, P., 2017a. Towards energy positive wastewater treatment plants. *J. Environ. Manage.* 203, 621–629. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.061>
- Gikas, P., 2017b. Ultra high temperature gasification of municipal wastewater primary biosolids in a rotary kiln reactor for the production of synthesis gas. *J. Environ. Manage.* 203, 688–694.



- Gikas, P., 2014. Electrical energy production from biosolids: a comparative study between anaerobic digestion and ultra-high-temperature gasification. *Environ. Technol.* 35, 2140–2146.
- Golwalkar, K., 2014. *Process Equipment Procurement in the Chemical and Related Industries*. Springer.
- Gopalakrishnan, V., Srinath, E.G., 1963. Some experimental observations on the use of activated sludge as fertilizer for fish culture, in: *Proceedings/Indian Academy of Sciences*. Springer, pp. 379–388.
- Gori, R., Giaccherini, F., Jiang, L.-M., Sobhani, R., Rosso, D., 2013. Role of primary sedimentation on plant-wide energy recovery and carbon footprint. *Water Sci. Technol.* 68, 870–878.
- Grady Jr, C.P.L., Lim, H.C., 1999. *Biological wastewater treatment*. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Greenberg, A.E., Klein, G., Kaufman, W.J., 1955. Effect of phosphorus on the activated sludge process. *Sewage Ind. Waste.* 277–282.
- Harleman, D.R.F., Harremoës, P., Yi, Q., 1997. Hong Kong Harbor Cleanup: International panel reviews plans for treatment upgrade. *Water Environ. Technol.* 9, 47–50.
- Hendricks, D., 2016. *Fundamentals of water treatment unit processes: physical, chemical, and biological*. Crc Press.
- Henze Christensen, M., Harremoës, P., 1977. Biological denitrification of sewage. *A Lit. Rev. Prog. Water Techn* 8, 5.
- Hoover, S.R., Porges, N., 1952. Assimilation of dairy wastes by activated sludge: II. The equation of synthesis and rate of oxygen utilization. *Sewage Ind. Waste.* 306–312.
- Hoseinzadeh, E., 2019. *Nitrogen removal processes for wastewater treatment*. Bentham science publishers.
- Howarth, R.W., Marino, R., 2006. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: evolving views over three decades. *Limnol. Oceanogr.* 51, 364–376.
- Humphreys, K.K., 1991. *Jelen's cost and optimization engineering*. McGraw-Hill Science, Engineering & Mathematics.
- Hydro International, 2024. *LamellaPlate Clarifier [WWW Document]*. URL <https://www.hydro-int.com/sites/default/files/lamella-brochure-en-gb.pdf>
- Hydro International, 2019. *Design data. Downstream Defender. Advanced hydrodynamic vortex separator [WWW Document]*. URL <https://hydro-int.com/en/products/downstream-defender> (accessed 10.18.22).
- Imasuen, E., Judd, S., Sauvignet, P., 2004. High-rate clarification of municipal wastewaters: a brief appraisal. *J. Chem. Technol. Biotechnol. Int. Res. Process. Environ. Clean Technol.* 79, 914–917.
- Jabbar, H., Al-Baidhani, J., 2005. *Design of Sedimentation Basins*. Hillah: University of Babylon.
- Jenkins, D., Wanner, J., 2014. *Activated sludge-100 years and counting*. IWA publishing.
- Jeppsson, U., 1996. *Modelling aspects of wastewater treatment processes*. Lund Institute of Technology Lund.
- Koliopoulos, G., Gikas, P., 2013. Fine mesh sieving of raw municipal wastewater for TSS and COD removal, in: *13th International Conference on Environmental Science and Technology*. Pp. 5–7. pp. 5–7.
- Koutsou, O.P., Gatidou, G., Stasinakis, A.S., 2018. Domestic wastewater management in Greece: Greenhouse gas emissions estimation at country scale. *J. Clean. Prod.* 188, 851–859.
- Lahnsteiner, J., 2020. *Handbook of water and used water purification*. Springer.
- Larsen, T.A., Gujer, W., 1996. Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Sci. Technol.* 34, 87–94.
- Lema, J.M., Martinez, S.S., 2017. *Innovative wastewater treatment & resource recovery technologies: impacts on energy, economy and environment*. IWA publishing.
- Lin, S.D., 2007. *WASTEWATER ENGINEERING*, in: Lee, C.C., Lin, S.D. (Eds.), *Handbook of Environmental Engineering Calculations*. McGraw-Hill Education, New York.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker, J., 2006. *Brock biology of microorganisms*. Pearson Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Mansell, B., Song, W., Ackman, P., Melitas, N., Tremblay, M., Caliskaner, O., Paez, C., Dyson, J., Reid, T., 2018. Evaluation of the primary filtration process at the Lancaster Water Reclamation Plant. *Proc. Water Environ. Fed.* 2018, 2534–2557.
- Metcalfe, L., Eddy, H.P., Tchobanoglous, G., 1991. *Wastewater engineering: treatment, disposal,*



- and reuse. McGraw-Hill New York.
- Mikosz, J., 2020. Introduction to wastewater treatment. Wydawnictwo PK, Kraków.
- Molinos-Senante, M., Hernandez-Sancho, F., Sala-Garrido, R., 2013. Tariffs and Cost Recovery in Water Reuse. *Water Resour. Manag.* 27, 1797–1808. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0111-4>
- Morling, S., 2019. Swedish Experience and Excellence in Wastewater Treatment Demonstrated Especially in Phosphorus Removal. *J. Water Resour. Prot.* 11, 333.
- Ncube, P., Pidou, M., Jarvis, P., 2018. The impact of filter bed depth and solids loading using a multimedia filter. *Sep. Sci. Technol.* 53, 2249–2258.
- Ni, L., Tian, J., Song, T., Jong, Y., Zhao, J., 2019. Optimizing geometric parameters in hydrocyclones for enhanced separations: a review and perspective. *Sep. Purif. Rev.* 48, 30–51.
- Nicholas, P.C., 2001. Handbook of water and wastewater treatment technologies.
- Nielsen, P.H., Saunders, A.M., Hansen, A.A., Larsen, P., Nielsen, J.L., 2012. Microbial communities involved in enhanced biological phosphorus removal from wastewater—a model system in environmental biotechnology. *Curr. Opin. Biotechnol.* 23, 452–459.
- Odegaard, H., 2005. Combining CEPT and biofilm systems, in: Proc. IWA Special Conference “Nutrient Management in Wastewater Treatment and Recycle Streams.” Lemtech Konsult, Krakow, Poland. pp. 257–270.
- Painter, H.A., 1970. A review of literature on inorganic nitrogen metabolism in microorganisms. *Water Res.* 4, 393–450.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., 2011. 353 Canadell JG et al.. 2011. A large persistent carbon Sink world’s For. *Sci.* 333, 988–993.
- Parkson, 2024. Fuzzy Filter [WWW Document]. URL <https://www.parkson.com/products/schreiber-fuzzy-filter>
- Partin, A.K., 2019. Hydrocyclone implementation at two wastewater treatment facilities to promote overall settling improvement.
- Paulsrud, B., 2000. Salsnes Filter fine mesh sieves for primary treatment – performance test at Tiendeholmen WWTP (Report No. 00-045). Oslo: Aquateam.
- Paulsrud, B., Rusten, B., Aas, B., 2014. Increasing the sludge energy potential of wastewater treatment plants by introducing fine mesh sieves for primary treatment. *Water Sci. Technol.* 69, 560–565.
- Prochaska, C., Zouboulis, A., 2020. A mini-review of urban wastewater treatment in Greece: History, development and future challenges. *Sustainability* 12, 6133.
- Qasim, S.R., 2017. Wastewater treatment plants: planning, design, and operation. Routledge.
- Qasim, S.R., Zhu, G., 2017. Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples, Volume 2:: Post-Treatment, Reuse, and Disposal. CRC Press.
- Ranjan, C., Santoro, D., Gernaey, K. V, Sin, G., 2018. Organic carbon recovery modeling for a rotating belt filter and its impact assessment on a plant-wide scale.
- Rittmann, B.E., McCarty, P.L., 2001. Environmental biotechnology: principles and applications. McGraw-Hill Education.
- Robertson, L.A., Kuenen, J.G., 1992. Nitrogen removal from water and waste. *Microb. Control pollution.* 227–267.
- Ross, G., Zabel, T.F., Edzwald, J.K., 1999. Sedimentation and Flotation, In: *Water Quality and Treatment*, 5th ed. McGraw- Hill, New York.
- Ruiken, C.J., Breuer, G., Klaversma, E., Santiago, T., Van Loosdrecht, M.C.M., 2013. Sieving wastewater—Cellulose recovery, economic and energy evaluation. *Water Res.* 47, 43–48.
- Rusten, B., Odegaard, H., 2006. Evaluation and testing of fine mesh sieve technologies for primary treatment of municipal wastewater. *Water Sci. Technol.* 54, 31–38.
- Rusten, B., Razafimanantsoa, V.A., Andriamiarinjaka, M.A., Otis, C.L., Sahu, A.K., Bilstad, T., 2016. Impact of fine mesh sieve primary treatment on nitrogen removal in moving bed biofilm reactors. *Water Sci. Technol.* 73, 337–344.
- Sarathy, S., Ho, D., Murray, A., Batstone, D., Santoro, D., 2015. Engineered fractionation of primary solids—A comparison of primary treatments using rotating belt filters and primary clarifiers. *Proc. Water Environ. Fed.* 2015, 4950–4959.
- Scarlat, N., Prussi, M., Padella, M., 2022. Quantification of the carbon intensity of electricity produced and used in Europe. *Appl. Energy* 305, 117901.



- Scott, Z., Sarathy, S., Franchi, A., Ho, D., Santoro, D., Batstone, D., Rosso, D., 2015. Primary wastewater treatment by rotating belt filters: energy assessment, in: Proceedings of the International Water Association Nutrient Removal and Recovery Conference.
- Shahabadi, M. B., Yerushalmi, L., & Haghighat, F., 2009. Impact of process design on greenhouse gas (GHG) generation by wastewater treatment plants. *Water Res.* 43, 2679–2687.
- Shammas, N.K., 2009. Biological Treatment Processes: Volume 8. Springer Science & Business Media.
- Sherratt, A., DeGroot, C.T., Santoro, D., Daynouri-Pancino, F., Mao, S., Straatman, A.G., 2017. Development of a Volume-Based Filtration Model for Predicting Full-Scale Rotating Belt Filter Performance in Wastewater Applications, in: WEFTEC 2017. Water Environment Federation.
- Shewa, W.A., Dagnew, M., 2020. Revisiting chemically enhanced primary treatment of wastewater: A review. *Sustainability* 12, 5928.
- Siatou, A., Manali, A., Gikas, P., 2020. Energy consumption and internal distribution in activated sludge wastewater treatment plants of Greece. *Water* 12, 1204.
- Soares, R.B., Memelli, M.S., Roque, R.P., Gonçalves, R.F., 2017. Comparative analysis of the energy consumption of different wastewater treatment plants. *Int. J. Archit. Arts Appl.* 3, 79–86.
- Taboada-Santos, A., Lema, J.M., Carballa, M., 2019. Opportunities for rotating belt filters in novel wastewater treatment plant configurations. *Environ. Sci. Water Res. Technol.* 5, 704–712.
- Taboada-Santos, A., Rivadulla, E., Paredes, L., Carballa, M., Romalde, J., Lema, J.M., 2020. Comprehensive comparison of chemically enhanced primary treatment and high-rate activated sludge in novel wastewater treatment plant configurations. *Water Res.* 169, 115258.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., David, H., 2003. H. Stensel D.(2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Вестник Казнму 4, 30.
- Tchobanoglous, George, Burton, F.L., Stensel, H.D., 2003. *Metcalf & Eddy wastewater engineering: treatment and reuse*. Int. Ed. McGrawHill 4, 361–411.
- Tchobanoglous, G., Stensel, H., Tsuchihashi, R., Burton, F., 2014. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery* (5th ed.), 5th ed, McGraw-Hill. New York. <https://doi.org/10.1002/9780470168219.ch8>
- Tchobanoglous, G., Burton, F., Stensel, H.D., 2003. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. Am. Water Work. Assoc. J. 95, 201.
- Tiedje, J.M., Sextstone, A.J., Myrold, D.D., Robinson, J.A., 1983. Denitrification: ecological niches, competition and survival. *Antonie Van Leeuwenhoek* 48, 569–583.
- TROJAN Technologies, 2015. Unpublished internal studies of removal of BOD,TSS,COD,N,P removal by mesh filtration enhanced by polymer addition, UC Irvine WEX Center.
- Tsamoutsoglou, K., Katzourakis, V.E., Chrysikopoulos, C. V, Gikas, P., 2024. Performance evaluation and parameter estimation of the advanced primary filtration (APF) process in wastewater treatment plants. *Sep. Purif. Technol.* 127106.
- Twort, A.C., Ratnayaka, D.D., Brandt, M.J., 2000. *Water supply*. Elsevier.
- Väänänen, J., 2017. Microsieving in municipal wastewater treatment: Chemically enhanced primary and tertiary treatment.
- Van Haandel, A., Van Der Lubbe, J., 2007. *Handbook biological waste water treatment-design and optimisation of activated sludge systems*. Webshop Wastewater Handbook.
- Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., Tilman, D.G., 1997. HUMAN ALTERATION OF THE GLOBAL NITROGEN CYCLE: SOURCES AND CONSEQUENCES. *Ecol. Appl.* 7, 737–750. [https://doi.org/https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0737:HAOTGN\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0737:HAOTGN]2.0.CO;2)
- Von Sperling, M., 2007. *Activated sludge and aerobic biofilm reactors*. IWA publishing.
- Wang, L.K., Pereira, N.C., Hung, Y.-T., 2005. *Handbook of environmental engineering*. Humana Press.
- Wang, L.K., Wang, M.-H.S., 2015. *Wet Weather Design and Operation in Water Resource Recovery Facilities*.
- Weiß, G.J., 1997. Vortex separator: proposal of a dimensioning method. *Water Sci. Technol.* 36, 201–206.
- Widajarno, R.L., Kardena, E., Arifianingsih, N.N., Helmy, Q., 2022. Activated Sludge: Conventional Dye Treatment Technique, in: *Biological Approaches in Dye-Containing Wastewater*. Springer, pp. 119–153.
- Xu, J., Qiu, T., Chen, F., Zhou, L., Li, Y., Sun, J., Du, Y., 2022. Treating Mariculture Wastewater



- Using Electrocoagulation-Microscreen Drum Filter Technology: Electrode Passivation and Influencing Factors. *Environ. Eng. Sci.* 39, 535–549.
- Yagna Prasad, K., 2019. Sedimentation in Water and Used Water Purification. *Handb. Water Used Water Purif.* 1–27. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66382-1_2-1
- Yao, K., Habibian, M.T., O'Melia, C.R., 1971. Water and Waste Water Filtration: Concepts and Applications. *Environ. Sci. Technol.* 5, 1105–1112. <https://doi.org/10.1021/es60058a005>
- Yuan, Z., Pratt, S., Batstone, D.J., 2012. Phosphorus recovery from wastewater through microbial processes. *Curr. Opin. Biotechnol.* 23, 878–883.
- Γκίκας, Π., 2020. Σχεδιασμός Χημικών και Περιβαλλοντικών Εγκαταστάσεων - Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (σημειώσεις μαθήματος). Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Morrowwater, 2024. Circular Clarifiers and thickeners [WWW Document]. URL https://morrowwater.com/wp-content/uploads/Circular_Clarifiers_and_Thickeners-Monroe_Environmental.pdf
- Μάναλη, Α., 2023. Αξιοποίηση βιοστερεών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συνδυασμό των μεθόδων μικροκοσκίνισης-αεριοποίησης.
- Στάμου, Α.Ι., Βογιατζής, Γ., 1994. Βασικές αρχές και σχεδιασμός συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων. Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, 2η Έκδοση, Αθήνα.
- Χρυσικόπουλος, Κ., 2013. Εισαγωγή στις διεργασίες καθαρισμού νερού και λυμάτων. Τζιολά.

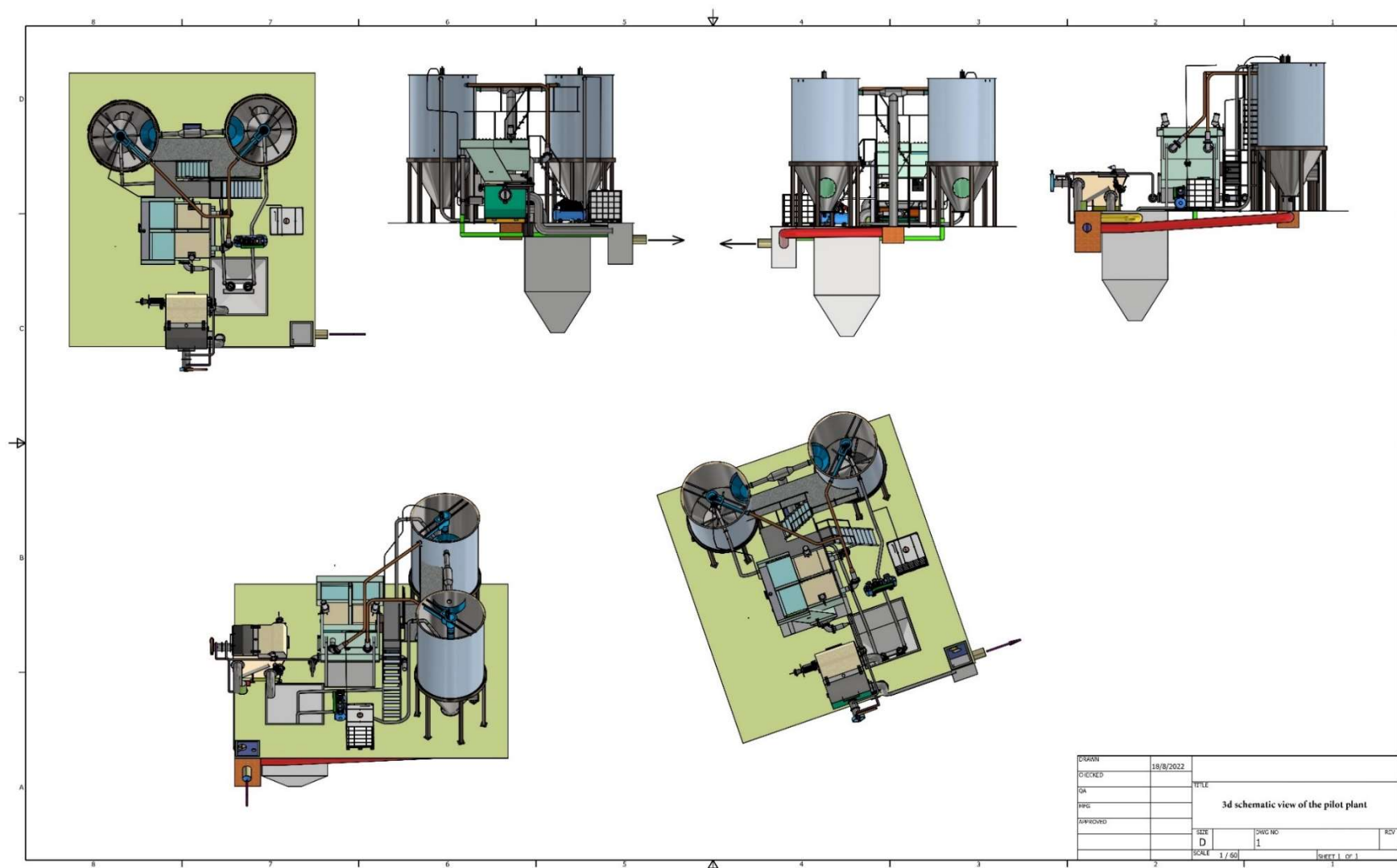


Κεφάλαιο 12: Παράρτημα

Παράρτημα Ι



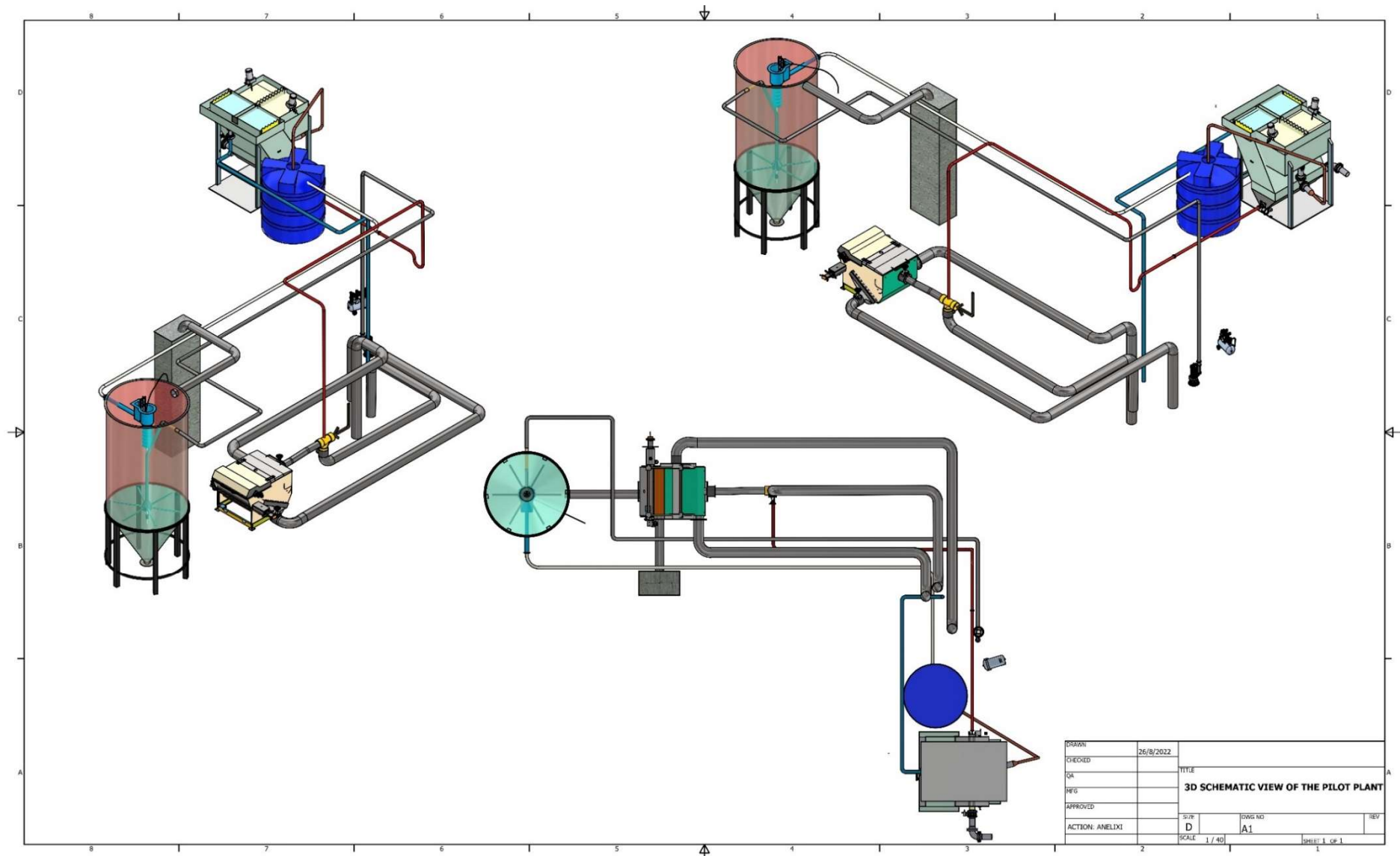
Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Σχήμα Ι.1: 3d Διάγραμμα της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Μάρπησσας.



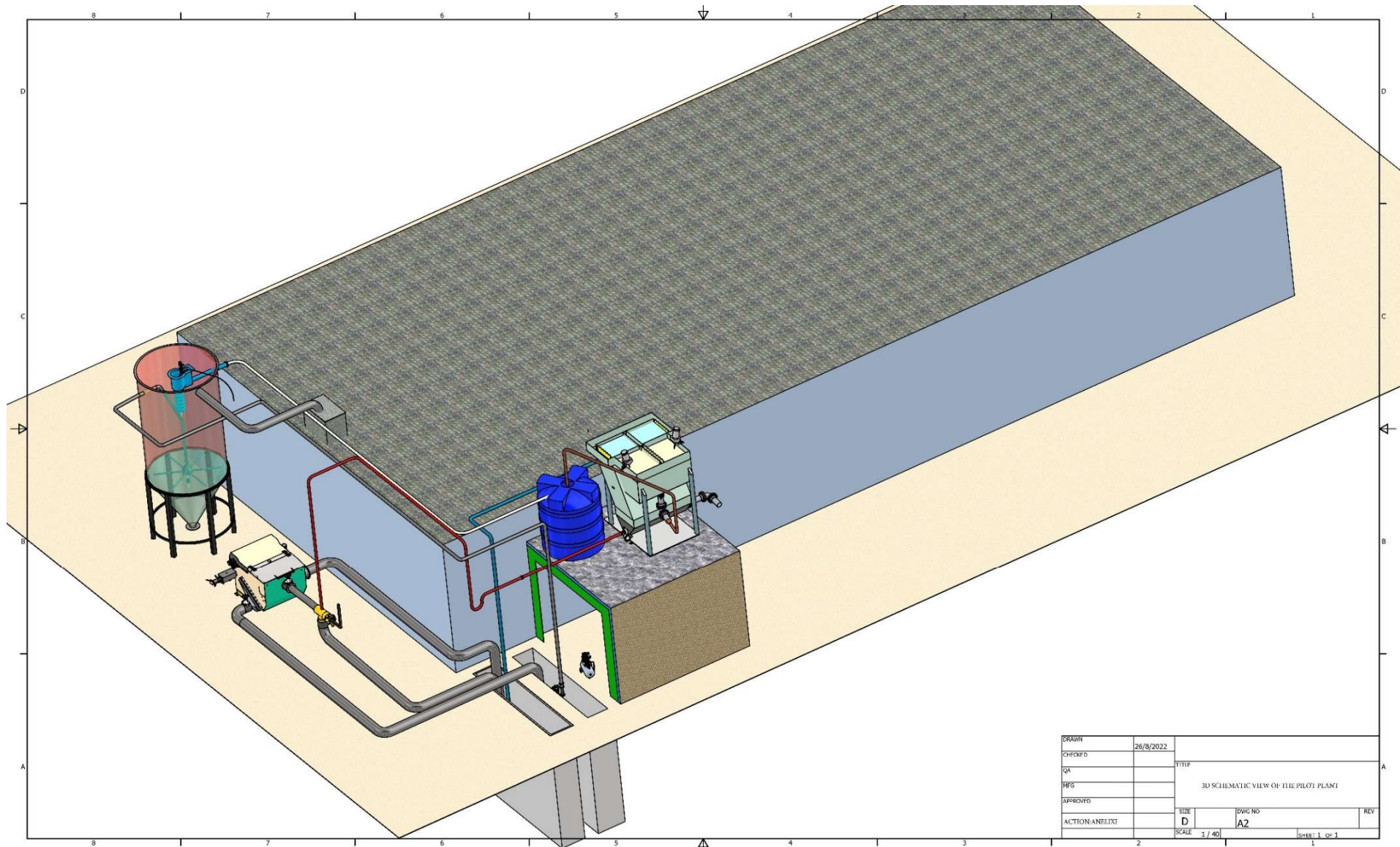
Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Σχήμα Ι 2: 3d Διάγραμμα της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυτερούνας.



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος



Σχήμα Ι 3: 3d Διάγραμμα της πιλοτικής μονάδας στην ΕΕΛ Κυτερούνας.



Παράρτημα II

Ερωτηματολόγιο ενημέρωσης για τα πρωτοβάθμια συστήματα διήθησης

A. Γενικά στοιχεία

Ονομασία της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ):

Διευθυντής της ΕΕΛ:

Ον/νυμο/Τηλέφωνο/email υπεύθυνου επικοινωνίας:

B. Τεχνικό μέρος – Σχετικά με την υφιστάμενη ΕΕΛ

1. Πότε ξεκίνησε τη λειτουργία της η ΕΕΛ;
2. Ποιος είναι ο εξυπηρετούμενος ΙΠ (θέρους/χειμώνα);
Θέρους/χειμώνα (ΙΠ):
3. Ποια είναι η μέση ημερήσια παροχή εισόδου το καλοκαίρι και το χειμώνα;
Θέρους/χειμώνα (m^3/d):
4. Διαθέτει η ΕΕΛ πρωτοβάθμια καθίζηση;
Ναι ☐ Όχι ☐
5. Ποια μέθοδο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας;
6. Διαθέτει η ΕΕΛ τριτοβάθμια επεξεργασία;
Ναι ☐ Όχι ☐
Εάν ναι, τι είδους: Εξηγήστε:
7. Ποια από τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας της ιλύος χρησιμοποιούνται στη μονάδα;
Πάχυνση ☐ Αφυδάτωση ☐ Αναερόβια χώνευση ☐ Ξήρανση ☐ Κομποστοποίηση ☐ Άλλο:
8. Ποιος ο τελικός αποδέκτης στην εγκατάσταση;
Ποτάμι ☐ Θάλασσα ☐ Λίμνη ☐ Άλλο ☐
9. Γίνεται ανάκτηση νερού για επαναχρησιμοποίηση;
Ναι ☐ Όχι ☐
Εάν ναι, τι είδους τεχνολογία χρησιμοποιείται; Εξηγήστε:
Τι αρδεύεται; Εξηγήστε:
10. Πώς διατίθεται η ιλύς;
σε ΧΥΤΑ ☐
σε γεωργικές και δασικές εκτάσεις χωρίς κομποστοποίηση ☐
σε γεωργικές και δασικές εκτάσεις μετά από κομποστοποίηση ☐
☐ άλλο: Εξηγήστε:
11. Κατά μέσο όρο, πόσες ημέρες του χρόνου παρατηρείται εκτροπή στην ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων σε σχέση με τις αναμενόμενες; Εξηγήστε:
12. Έχετε υπολογίσει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο αποβλήτου;
Ναι ☐ Όχι ☐
Εάν ναι, πόση είναι; Αναφερθείτε:



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Εναλλακτικά μπορείτε να δώσετε την ολική ετήσια παροχή και ολική ετήσια ενεργειακή κατανάλωση. Αναφερθείτε:

Γ. Σχεδιασμός αναβάθμισης της ΕΕΛ

13. Η απόδοση της ΕΕΛ (με τις τρέχουσες παροχές) είναι κατά τις περισσότερες ημέρες λειτουργίας:

Μη ικανοποιητική ☐ Ικανοποιητική ☐ Πολύ καλή ☐ Εξαιρετική ☐

14. Οι παρατηρούμενες αυξομειώσεις της παροχής της ΕΕΛ υπερβαίνουν τις παροχές σχεδιασμού;

Ναι ☐ Όχι ☐

15. Έχουν παρατηρηθεί προβλήματα υπερφόρτωσης ή μη αποτελεσματικής λειτουργίας στην υφιστάμενη ΕΕΛ; Ναι ☐ Όχι ☐

Αν ναι, περιγράψτε εν συντομία τα υφιστάμενα προβλήματα:

16. Αναμένεται σχετικά σύντομα αύξηση της εισερχόμενης παροχής (π.χ. λόγω επέκτασης του αποχετευτικού δικτύου);

Ναι ☐ Όχι ☐

17. Υπάρχουν σχέδια μελλοντικής επέκτασης ή αναβάθμισης της υφιστάμενης ΕΕΛ λόγω αύξηση της παροχής;

Ναι ☐ Όχι ☐

Εάν ναι, αναφερθείτε στην αύξηση της δυναμικότητας της ΕΕΛ και στις προτεινόμενες παρεμβάσεις αναβάθμισης.

18. Υπάρχουν σχέδια αναβάθμισης της υφιστάμενης ΕΕΛ για μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς κατά ανάγκη να αναμένεται αύξηση της παροχής;

Ναι ☐ Όχι ☐

Εάν ναι, αναφερθείτε στις πιθανές προτεινόμενες παρεμβάσεις αναβάθμισης.

19. Θεωρείτε ότι θα ήταν επωφελής για την λειτουργία της ΕΕΛ σημαντική μείωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερών (και αναλογικά του BOD₅), στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού;

Ναι ☐ Όχι ☐

Εάν ναι, τι ποσοστό μείωσης των αιρούμενων στερεών θα εξυπηρετούσε καλύτερα την ΕΕΛ 40-50% ή 80-90%; Αναφερθείτε:

20. Υπάρχει διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εγκατάσταση πρωτοβάθμιας καθίζησης;

Ναι ☐ Όχι ☐



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

21. Υπάρχει διαθέσιμος χώρος στην ΕΕΛ για την εφαρμογή των πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης η οποία απαιτεί περίπου το 10% του εμβαδού της πρωτοβάθμιας καθίζησης;
Ναι ☐ Όχι ☐

22. Θεωρείτε σημαντικό ότι τα βιοστερεά που προέρχονται από τη μικροκοσκίνιση έχουν περιεκτικότητα σε στερεά τουλάχιστον 30%;
Ναι ☐ Όχι ☐

Εάν Ναι, θα ήταν αυτός ένας σημαντικός λόγος να χρησιμοποιήσετε την τεχνολογία της μικροκοσκίνισης αντί πρωτοβάθμιας καθίζησης; Ναι ☐ Όχι ☐

Γενικά σχόλια και παρατηρήσεις

--

Ευχαριστώ για την ανταπόκρισή σας



Παράρτημα III

Πίνακας III 1: Εκτιμώμενα οφέλη από τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης για το πρώτο σενάριο.

Παράμετρος	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνιση		Αναβάθμιση μονάδας με συνδυασμένη επεξεργασία	
Παράμετροι εισόδου των δεξαμενών αερισμού		Ικανοποιητική ή απόδοση	Μέγιστη απόδοση	Ικανοποιητική απόδοση	Μέγιστη απόδοση
Μέση ημερήσια παροχή (Q_0), m^3/d	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Απομάκρυνση TSS	-	30%	60%	60%	90%
Απομάκρυνση BOD ₅	-	15%	35%	35%	55%
BOD ₀ , mg/L	466	396	303	303	210
TSS ₀ , mg/L	713	499	285	285	71
TKN ₀ , mg/L	8	8	8	8	8
Παράμετροι εξόδου στη ΔΔΚ					
BOD _e , mg/L	20	20	20	20	20
TSS _e , mg/L	30	30	30	30	30
NH ₄ – N _e , mg/L	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Εκτιμώμενα οφέλη					
Όγκος δεξαμενών αερισμού, m^3	15.533	13.200	10.100	10.100	7.000
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	15	35	35	55
Ωριαία ποσότητα απαιτούμενου οξυγόνου, kg O ₂ /h	235	202	157	157	113
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	14	33	33	52
Ενεργειακή κατανάλωση, kWh/ m^3	0,11	0,10	0,08	0,08	0,05
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	9	27	27	54
Ανακυκλοφορούσα ιλύς (Q_r), m^3/d	7.778	7.778	7.778	7.778	7.778
Παραγωγή δευτεροβάθμιας ιλύος (Q_w), m^3/d	189	155	110	110	65
Ποσότητα δευτεροβάθμιας ιλύος (υγρή βάση)*, t/d	197	161	114	114	68
Ποσοστό μείωσης της δευτεροβάθμιας ιλύος,	-	19	43	43	66
Ποσότητα πρωτοβάθμιων βιοστερεών (ξηρή βάση), t/d	-	0,5	0,6	0,6	0,6
Χαρακτηριστικά σχεδιασμού					
MLSS, mg/L	3500	3500	3500	3500	3500
BOD _w , mg/L	20	20	20	20	20
TS _w , mg/L	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
VL, kg · BOD ₅ /d · m^3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
F:M, , kg · BOD/ kg · MLVSS · d	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
HRT, h	37	32	24	24	17
SRT, h	30	30	30	30	30
Y _{obs} , kg VSS/kg BOD ₅	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
k _{nd} , d ⁻¹	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
Θερμοκρασία λυμάτων T, °C	15	15	15	15	15

*Για τον υπολογισμό της ποσότητας της δευτεροβάθμιας ιλύος θεωρήθηκε η πυκνότητα ίση με 1.040 kg/ m^3 (Qasim and Zhu, 2017)



Εφαρμογή πρωτοβάθμιων συστημάτων διήθησης για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη διαχείριση του αυξανόμενου φορτίου σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος

Πίνακας III 2: Εκτιμώμενα οφέλη από τα συστήματα πρωτοβάθμιας διήθησης για το δεύτερο σενάριο.

Παράμετρος	Υπερφορτωμένη ΕΕΛ	Αναβάθμιση μονάδας με μικροκοσκίνιση		Αναβάθμιση μονάδας με συνδυασμένη επεξεργασία	
Παράμετροι εισόδου		Ικανοποιητική ή απόδοση	Μέγιστη απόδοση	Ικανοποιητική απόδοση	Μέγιστη απόδοση
Μέση ημερήσια παροχή (Q_0), m^3/d	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Απομάκρυνση TSS	-	30%	60%	60%	90%
Απομάκρυνση BOD_5	-	15%	35%	35%	55%
BOD_0 , mg/L	466	396	303	303	210
TSS_0 , mg/L	713	499	285	285	71
TKN_0 , mg/L	8	8	8	8	8
Παράμετροι εξόδου στη ΔΔΚ					
BOD_e , mg/L	50	20	20	20	20
TSS_e , mg/L	70	30	30	30	30
$NH_4 - N_e$, mg/L	3	1,5	1,5	1,5	1,5
Εκτιμώμενα οφέλη					
Όγκος δεξαμενών αερισμού, m^3	23.300	19.800	15.150	15.150	10.500
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	15	35	35	54
Ωριαία ποσότητα απαιτούμενου οξυγόνου, kg O_2/h	348	303	236	236	170
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	13	32	32	51
Ενεργειακή κατανάλωση, kWh/ m^3	0,11	0,10	0,08	0,08	0,05
Εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης, %	-	9	27	27	54
Ανακυκλοφορούσα ιλύς (Q_r), m^3/d	11.667	11.667	11.667	11.667	11.667
Παραγωγή δευτεροβάθμιας ιλύος (Q_w), m^3/d	209	233	165	165	97
Ποσότητα δευτεροβάθμιας ιλύος (υγρή βάση)*, t/d	217	242	172	172	101
Ποσοστό μείωσης της δευτεροβάθμιας ιλύος,	-	- 12	21	21	54
Ποσότητα πρωτοβάθμιων βιοστερεών (ξηρή βάση), t/d	-	0,7	1,5	1,5	1,5
Χαρακτηριστικά σχεδιασμού					
MLSS, mg/L	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
TS_w , mg/L	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
VL, kg $\cdot BOD_5/d \cdot m^3$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
F:M, , kg $\cdot BOD/ kg \cdot MLVSS \cdot d$	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
HRT, h	37	32	24	24	17
SRT, h	30	30	30	30	30
Y_{obs} , kg VSS/kg BOD_5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
k_{nd} , d^{-1}	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
Θερμοκρασία λυμάτων T , °C	15	15	15	15	15

*Για τον υπολογισμό της ποσότητας της δευτεροβάθμιας ιλύος θεωρήθηκε η πυκνότητα ίση με 1.040 kg/ m^3 (Qasim and Zhu, 2017)

