

# Πολυτεχνείο Κρήτης

## Σχολή Χημικών Μηχανικών & Μηχανικών Περιβάλλοντος Διαχείριση Νερού & Υγρών Αποβλήτων

---



«Συγκριτική Τεχνο-οικονομική Μελέτη Μονάδας Αντιδραστήρα Κινούμενης  
Κλίνης & Συστήματος Τεχνητού Υγροβιότοπου για την επεξεργασία αστικών  
λυμάτων: εφαρμογή στον οικισμό Μαραθίου Χανίων»

### Διπλωματική Εργασία

Παλιούρας Ξενοφών

Εξεταστική Επιτροπή

Αλέξανδρος Στεφανάκης, Επίκουρος Καθηγητής(επιβλέπων)

Νικόλαος Παρανυχιανάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Πέτρος Γκίκας, Καθηγητής

Χανιά, Ιούλιος 2022

## Περιεχόμενα

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	4
2.1. Συλλογή και μεταφορά λυμάτων .....	4
2.2. Επεξεργασία λυμάτων .....	5
2.3. Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων .....	6
2.4. Μέθοδοι επεξεργασίας .....	7
2.5. Επεξεργασία λυμάτων με τεχνολογία MBBR.....	9
2.6. Επεξεργασία λυμάτων με τεχνολογία τεχνητού υγροβιότοπου .....	13
2.6.1. Κατηγοριοποίηση τεχνητών υγροβιότοπων .....	16
2.6.2. Συνεισφορά του αερισμού στην απόδοση επεξεργασίας λυμάτων σε τεχνητούς υγροβιότοπους .....	21
2.7. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	27
2.7.1. Εφαρμογή στα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης .....	28
2.7.2. Νομοθεσία για τα Αστικά Λύματα στην Ελλάδα .....	28
2.7.3. Νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα .....	29
2.7.4. Πίνακες ορίων εκροής από Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων στην Ελλάδα .....	29
2.7.5. Διαχείριση Λυμάτων από Μικρούς Οικισμούς .....	35
2.7.6. Διάθεση Επεξεργασμένων Λυμάτων .....	36
2.8. ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	37
2.8.1. Σκοπιμότητα υλοποίησης μελέτης .....	37
2.8.2. Συσχέτιση του έργου με άλλα έργα.....	40
2.8.3. Στόχος μελέτης .....	41
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	42
4. ΒΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ .....	44
4.1. Είδος και μέγεθος του έργου.....	44
4.2. Γεωγραφική θέση και υπαγωγή του έργου .....	44
4.2.1. Θέση .....	44
4.2.2. Διοικητική υπαγωγή.....	44
4.3. Έδαφος.....	44
4.4. Κλίμα.....	45
4.5. Υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία λυμάτων .....	45
5. ΜΕΛΕΤΗ MBBR.....	51
5.1. Περιγραφή προτεινόμενων έργων εγκατάστασης .....	51
5.2. Διάγραμμα ροής εγκατάστασης .....	52
5.3. Αναλυτική Περιγραφή Έργων .....	53
5.4. Έργα Πολιτικού Μηχανικού .....	63
5.5. Ηλεκτρομηχανολογικά Έργα – Εξοπλισμός .....	64
5.6. Σχέδια Εγκατάστασης .....	65
5.7. Προϋπολογισμός Έργων – Κατασκευή & Εγκατάσταση Εξοπλισμού (Στάδιο 1) .....	69
5.8. Προϋπολογισμός Έργων – Λειτουργία & Συντήρηση (Στάδιο 2).....	72
6. ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΥ .....	75
6.1. Περιγραφή προτεινόμενων έργων εγκατάστασης .....	75
6.2. Διάγραμμα ροής εγκατάστασης .....	77
6.3. Αναλυτική Περιγραφή Έργων .....	78
6.4. Έργα Πολιτικού Μηχανικού .....	85
6.5. Ηλεκτρομηχανολογικά Έργα – Εξοπλισμός .....	87
6.6. Σχέδια Εγκατάστασης .....	88
6.7. Προϋπολογισμός Έργων – Κατασκευή & Εγκατάσταση Εξοπλισμού .....	95
6.8. Προϋπολογισμός Έργων – Λειτουργία & Συντήρηση (Στάδιο 2).....	97
7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ .....	99
8. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	112
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	119
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	121

## **1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια συγκριτική τεχνο-οικονομική μελέτη Μονάδας Αντιδραστήρα Κινούμενης Κλίνης & Συστήματος Τεχνητού Υγροβιότοπου για την επεξεργασία αστικών λυμάτων με εφαρμογή στον οικισμό Μαραθίου Χανίων. Αρχικά γίνεται μία εισαγωγή στην διαδικασία συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας και διάθεσης λυμάτων, ενώ παρατίθεται και το θεσμικό πλαίσιο σχετικά με την επεξεργασία και διάθεση των υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο στόχος και η σκοπιμότητα υλοποίησης της παρούσας μελέτης και αναλύεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται. Έπειτα, για κάθε μία από τις δύο προτάσεις, όπου η μία είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή μονάδας επεξεργασίας με τεχνολογία MBBR, ενώ η άλλη είναι τεχνολογία των τεχνητών υγροβιότοπων, δίνεται αναλυτική τεχνική περιγραφή της εγκατάστασης (έργων πολιτικού μηχανικού & ηλεκτρομηχανολογικών έργων), παρουσιάζονται σχέδια, προμετρήσεις, προϋπολογισμός κατασκευής και κοστολόγηση της λειτουργίας συντήρησης σε βάθος 10ετίας. Επιπλέον, γίνεται ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κάθε τεχνολογικής πρότασης τόσο στο στάδιο της κατασκευής, όσο και στο στάδιο της λειτουργίας. Τέλος, ακολουθεί μία συγκριτική, συγκεντρωτική, ανάλυση των δύο εναλλακτικών τεχνολογιών για την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του Μαραθίου, λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές, κατασκευαστικές, λειτουργικές, αλλά και περιβαλλοντικές απαιτήσεις σε βάθος 10ετίας, και προτείνεται η βέλτιστη λύση.

## **2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **2.1. Συλλογή και μεταφορά λυμάτων**

Από την αρχαιότητα, οι κάτοικοι των οργανωμένων οικισμών, έχοντας καταλάβει την αναγκαιότητα απομάκρυνσης των λυμάτων από τον οικιστικό ιστό, προχώρησαν στην κατασκευή δικτύων συλλογής και μεταφοράς των λυμάτων προς κοντινούς αποδέκτες.

Από ανασκαφές σε πόλεις της αρχαιότητας όπου άκμαζαν την περίοδο 2.500 π.Χ. όπως στη Μεσοποταμία και την Ινδία, έχουν ανευρεθεί συστήματα συλλογής και μεταφοράς ακαθάρτων υδάτων, τα οποία μέχρι και σήμερα εντυπωσιάζουν τους μηχανικούς και τους αρχαιολόγους που τα μελετούν. Φαίνεται, οι πολιτισμοί αυτοί έδιναν μεγάλη αξία στην αναγκαιότητα ύπαρξης βασικών υποδομών υγιεινής, όπως οι υποδομές διαχείρισης υγρών αποβλήτων, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με την γενικότερη αντίληψη που υπερίσχυε στην Ευρώπη για πολλούς αιώνες μετά την εξαφάνιση αυτών των πολιτισμών(Martz, 1970).

Πιο συγκεκριμένα, αρχαιολογικές έρευνες και άλλες μαρτυρίες υποδεικνύουν ότι στην Κρήτη, κατά τη Μινωική περίοδο εφαρμόστηκαν προηγμένες, για την εποχή, υδραυλικές και υγειονομικές τεχνικές για την διαχείριση των υγρών αποβλήτων των οικισμών και των ανακτόρων. Οι εγκαταστάσεις που σχεδίασαν οι μηχανικοί της εποχής, περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό, κατασκευή και χρήση λουτρών, καθώς και υποδομές για τη συλλογή, μεταφορά και διάθεση υγρών αποβλήτων και όμβριων υδάτων. Οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν αυτή την εποχή, καθώς και η υδραυλική και αρχιτεκτονική τους λειτουργία, αποτελούν μερικά από τα πιο αξιόλογα επιτεύγματα του Μινωικού πολιτισμού και χαρακτηρίζονται προηγμένα για την εποχή τους, ενώ μπορούν να συγκριθούν με αντίστοιχα σύγχρονα συστήματα που κατασκευάστηκαν και καθιερώθηκαν σαν φιλοσοφία και αναγκαιότητα μόλις στο δεύτερο μισό του 19<sup>ου</sup> αιώνα στις πόλεις της Ευρώπης και της Αμερικής(Angelakis & Koutsoyiannis, 2003).

Αντίστοιχα, ιδιαίτερη σημασία στην υγιεινή των πόλεων, των οικισμών και των ανακτόρων έδιναν και οι Ρωμαίοι. Στην Ρώμη είχε κατασκευαστεί σύστημα υπονόμων όπου αποχετεύονταν οι κατοικίες, οι δρόμοι και τα δημόσια λουτρά, ενώ κάποιες από τις υποδομές που κατασκευάστηκαν από τους Ρωμαίους, χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα.

Η φιλοσοφία της αποχέτευσης, αφέθηκε σε δεύτερη μοίρα κατά των Μεσαίων. Η κατανάλωση νερού για καθαριότητα μειώθηκε στο ελάχιστο, ενώ οι χώροι υγιεινής ήταν ελάχιστοι (π.χ. αποχωρητήρια σε έρκερ πάνω από την τάφρο των κάστρων). Οι συνέπειες αυτής της κατάστασης, έχουν καταγραφεί στην ιστορία με τη μορφή λοιμών και επιδημιών που μάστιζαν την Ευρώπη αυτή τη περίοδο.

Οι συνθήκες δεν άλλαξαν ιδιαίτερα μέχρι και σχετικά πρόσφατα, δηλαδή στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Ίσως η επίδραση των υγρών αποβλήτων να έγινε ακόμη εντονότερη στους νεότερους χρόνους, μέχρι να ξεκινήσει η κατασκευή των σύγχρονων συστημάτων αποχέτευσης, λόγω της συγκέντρωσης των πληθυσμών στα αστικά κέντρα.

## **2.2. Επεξεργασία λυμάτων**

Ωστόσο, ακόμη και με σύγχρονα συστήματα συλλογής και μεταφοράς των λυμάτων, η διάθεση εξακολουθεί να αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα που χρήζει αντιμετώπισης. Τα ανεπεξέργαστα λύματα όταν οδηγούνται σε κάποιον αποδέκτη δημιουργούν σοβαρή περιβαλλοντική επιβάρυνση και έχουν ανυπολόγιστες συνέπειες για την περιοχή διάθεσης. Οι πιο συχνοί αποδέκτες είναι τα ποτάμια ή ρέματα, οι λίμνες, η θάλασσα και οι βόθροι. Από τα παραπάνω συνήθως υπάρχει μόλυνση των επιφανειακών υδάτων, του υδροφόρου, δυσοσμία, επηρεάζεται η πανίδα και τα οικοσυστήματα και γενικά δημιουργείται μία κατάσταση που υποβαθμίζει την περιοχή τοπικά και πολλές φορές και ευρύτερα. Για παράδειγμα, είναι συχνό το φαινόμενο στη Νότια Κρήτη, όπου σε τουριστικές περιοχές που υπάρχει διάθεση ανεπεξέργαστων λυμάτων στη θάλασσα, παρατηρείται έντονη περιβαλλοντική επιβάρυνση στις παραλίες, με τα νερά να είναι ακατάλληλα και ενίοτε τα υποθαλάσσια ρεύματα

να μεταφέρουν την επιβάρυνση αυτή και σε γειτονικές παραθαλάσσιες περιοχές.

Επομένως, από τα παραπάνω κρίνεται επιτακτική η ανάγκη κατάλληλης επεξεργασίας των λυμάτων- αναλόγως του αποδέκτη και των αναγκών της περιοχής. Το παραπάνω είναι ένα κρίσιμο ερώτημα που πρέπει να διερευνάται και να αξιολογείται κατάλληλα από τις αρμόδιες υπηρεσίες και τους μελετητές μηχανικούς, καθώς τα όρια εκροών που έχει καθορίσει ο νομοθέτης προσδιορίζονται με βάση τους πιθανούς αποδέκτες και τις ιδιαιτερότητες που τους χαρακτηρίζουν.

### **2.3. Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων**

Το πρώτο σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων που αναπτύχθηκε ήταν το 1914 στην Αγγλία, και συγκεκριμένα είναι το σύστημα της ενεργού ιλύος (Metcalf et al., 2009), σύστημα το οποίο βρίσκει μέχρι και σήμερα εφαρμογή στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων όπως και οι παραλλαγές του. Από τότε, οι επιστήμονες και οι μηχανικοί έχουν εξελίξει τις μονάδες για να είναι πιο αποδοτικές από άποψη κατάληψης χώρου, κατανάλωσης ενέργειας, παραγωγής λιγότερων παραπροϊόντων από την επεξεργασία και ποιότητας εκροής. Τα τελευταία χρόνια, έχουν λανσαριστεί στην αγορά νέες τεχνολογίες, παραλλαγές τους, έχουν πατενταριστεί τεχνικές επεξεργασίας, κατασκευάζονται περίπλοκες προκατασκευασμένες μονάδες επεξεργασίας με εγγυημένα αποτελέσματα από τον κατασκευαστή τους, ωστόσο ο κρίσιμος παρονομαστής παραμένει πάντα ο ίδιος, δηλαδή ο συνδυασμός αρχικού κόστους κατασκευής και κόστους συντήρησης της εγκατάστασης.

Σήμερα, λόγω της νομοθεσίας και της πολιτικής που χαράζουν και προωθούν τα σύγχρονα κράτη για περεταίρω διασφάλιση του περιβάλλοντος, έχει δημιουργηθεί η ανάγκη για εξυπηρέτηση ολοένα και περισσότερων οικισμών και απομονωμένων υποδομών, όπως οι τουριστικές, για την επεξεργασία και ασφαλή διάθεση των παραγόμενων λυμάτων τους. Ειδικά στην Ελλάδα, οι

μεγαλύτερες πόλεις έχουν ήδη κεντρικό βιολογικό καθαρισμό που τις εξυπηρετεί, όπως και τις γύρω από αυτές περιοχές και οικισμούς.

Οι βιολογικοί αυτοί είναι συνήθως συμβατικής τεχνολογίας, με ικανότητα να εξυπηρετούν μεν πολλούς ισοδύναμους κατοίκους, αλλά για πολλούς λόγους δεν δύναται η συνεχής σύνδεση ολόενα και πιο απομακρυσμένων υποδομών σε αυτούς, για λόγους οικονομικούς (απαραίτητη κατασκευή μεγάλων και ακριβών δικτύων μεταφοράς, αντλιοστασίων, μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για την μεταφορά των λυμάτων - τα αντλιοστάσια λυμάτων είναι μη αποδοτικά ενεργειακά) αλλά και πρακτικούς (δεν γίνεται να υπάρχουν συνεχείς επεκτάσεις των εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού, καθίσταται προβληματικός ο έλεγχος και διαχείριση πολλών αντλιοστασίων, δυσκολότερη η επιτήρηση τεράστιων σε μήκος δικτύων για πιθανές εμφράξεις και βλάβες (D. Koutsogiannis, 2011).

Λόγω των παραπάνω, έχει δημιουργηθεί η τάση οι μηχανικοί και οι υπεύθυνοι φορείς να αναζητούν περισσότερο «τοπικές» λύσεις για την διαχείριση των λυμάτων σε αυτές τις περιπτώσεις. Οι λύσεις αυτές μπορούν να αφορούν στη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία & διάθεση των λυμάτων ενός οικισμού με μικρότερα σε μήκος δίκτυα, με εγκαταστάσεις επεξεργασίας απλές στην λειτουργία, οικονομικές (όχι ενεργοβόρες και με παραγωγή λιγότερων παραπροϊόντων από την επεξεργασία των λυμάτων) και τέλος φιλικές προς το περιβάλλον.

#### **2.4. Μέθοδοι επεξεργασίας**

Οι μέθοδοι επεξεργασίας που κυριαρχούν οι φυσικές δυνάμεις είναι γνωστές ως φυσικές διεργασίες (unit operations) (Metcalf et al., 2009). Οι μέθοδοι επεξεργασίας κατά τις οποίες η απομάκρυνση των ρυπογόνων ουσιών επιτυγχάνεται με χημικές και βιολογικές αντιδράσεις είναι γνωστές ως χημικές και βιολογικές διεργασίες (chemical and biological processes) (Metcalf et al., 2009). Για την τυποποίηση και την ευκολότερη αντίληψη των διαδικασιών, οι

διεργασίες σήμερα ομαδοποιούνται σε στάδια τα οποία αφορούν διάφορους βαθμούς επεξεργασίας τα οποία είναι (Crites & Tchobanoglous, 1998):

- Προεπεξεργασία (προκαταρκτική επεξεργασία)

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας απομακρύνονται όλα τα μεγάλα στερεά (όπως ρούχα, μωρομάντηλα, πέτρες, χαλίκια) καθώς και η άμμος, υλικά τα οποία αν προχωρήσουν στα επόμενα στάδια της εγκατάστασης μπορούν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτες βλάβες στον μηχανολογικό εξοπλισμό και εμφράξεις στις σωληνώσεις

- Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Στο στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, συνήθως με την διεργασία της καθίζησης (sedimentation) απομακρύνονται αιωρούμενα στερεά και μέρος του οργανικού υλικού αλλά και τα λίπη και έλαια

- Προχωρημένη πρωτοβάθμια

Παρόμοια με το προηγούμενο στάδιο, με διαφορά ότι μπορεί να υπάρχει προσθήκη χημικών ουσιών για την ευκολότερη και γρηγορότερη απομάκρυνση στερεών και οργανικού υλικού ή/και με την παρεμβολή μέσων διήθησης

- Δευτεροβάθμια (με ή χωρίς απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών)

Στο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας απομακρύνονται τα βιοαποικοδομήσιμα οργανικά τα οποία εντοπίζονται στο λύμα είτε ως διαλυμένα είτε ως αιωρούμενα, καθώς και τα αιωρούμενα στερεά. Αναφέρεται και ως συμβατική επεξεργασία

Στην περίπτωση απομάκρυνσης και θρεπτικών συστατικών εννοείται συνήθως η αφαίρεση του αζώτου και το φωσφόρου

- Προχωρημένη ή τριτοβάθμια επεξεργασία

Στην ελληνική νομοθεσία, γίνεται αναφορά στην τριτοβάθμια επεξεργασία ως το στάδιο όπου απομακρύνονται τα αιωρούμενα στερεά μετά την



δευτεροβάθμια επεξεργασία, συνήθως με χρήση διηθητικών μεσών ενώ πολλοί περιλαμβάνουν και το στάδιο της απολύμανσης σε αυτό το κομμάτι.

Αντίστοιχα η προχωρημένη επεξεργασία νοείται, πάλι σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία στο στάδιο απομάκρυνσης διαλυμένων και αιωρούμενων υλικών που παραμένουν μετά τη συνηθισμένη βιολογική επεξεργασία όταν η εκροή θα χρησιμοποιείται για εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης όπως αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις.

## **2.5. Επεξεργασία λυμάτων με τεχνολογία MBBR**

Η μέθοδος επεξεργασίας MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) αποτελεί μια από τις πλέον δοκιμασμένες και αποτελεσματικές τεχνολογίες για τη βιολογική επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων. Η συγκεκριμένη τεχνολογία πρωτοεμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και, μέχρι σήμερα, έχει εξελιχθεί σε ένα σύγχρονο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με συνεχώς αυξανόμενες εφαρμογές σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο.

Σε αντιδραστήρες που χρησιμοποιείται η παραπάνω τεχνολογία, υπάρχει ανάμικτο υγρό υπό αιώρηση καθώς και βιοφορείς(ειδικό υλικό συγκεκριμένων προδιαγραφών και σχήματος) η οποίοι ευνοούν την ανάπτυξη βιοφίλμ στην επιφάνειά τους. Η βιολογική επεξεργασία λαμβάνει χώρα εντός του αντιδραστήρα, τόσο στο ανάμικτο υγρό που αιωρείται η βιομάζα, όσο και στο βιοφίλμ των βιοφορέων με τους οποίους βιοφορείς πληρώνεται ο βιολογικός αντιδραστήρας.

Το σύστημα MBBR συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας με αυτά των συστημάτων αιωρούμενης βιομάζας.

Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι ότι δεν απαιτείται η ανακυκλοφορία ιλύος όπως συμβαίνει στην κλασσική μέθοδο ενεργού ιλύος, χρησιμοποιείται το σύνολο του όγκου του βιολογικού αντιδραστήρα, και μάλιστα πολύ αποτελεσματικότερα, ενώ η κατανάλωση ενέργειας είναι μειωμένη σε σύγκριση με τα συμβατικά

συστήματα ενεργού ιλύος (ΕΙ) λόγω των υψηλών ρυθμών αντίδρασης και της απουσίας ανακυκλοφορίας της ιλύος (Ødegaard et al., 2000).

Πιο συγκεκριμένα, λόγω της ύπαρξης των βιοφορέων με την ειδική γεωμετρία τους, επιτρέπεται η ανάπτυξη πολλαπλάσιας ποσότητας βιομάζας απ' ότι θα είχαμε εάν υπήρχε μόνο ανάμικτο υγρό με αιωρούμενη βιομάζα, με αποτέλεσμα της μεγάλης αύξησης του μεγέθους της ειδικής επιφάνειας, μέγεθος που είναι κρίσιμο για την ανάπτυξη βιομάζας σε δεδομένο όγκο.

Επιπλέον, επειδή η βιομάζα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αναπτύσσεται, κυρίως -αλλά όχι μόνο, στους βιοφορείς, υπάρχει μικρότερη ανάγκη για απομάκρυνση της από τον αντιδραστήρα, ενώ λόγω του υλικού και της γεωμετρίας των τελευταίων, αυτή συγκρατείται εκεί και δεν αποκολλάται συχνά. Έτσι, όσο μεγαλύτερη επιφάνεια και βιομάζα υπάρχει, τόσο υψηλότεροι είναι οι ρυθμοί αντίδρασης με το προς επεξεργασία λύμα και πιο αποτελεσματική και ταχύτερη είναι η διεργασία (Metcalf & Eddy, 1991).

Τέλος, το σύστημα MBBR μπορεί να ανταπεξέλθει σε απότομες αυξομειώσεις του υδραυλικού φορτίου με την κατάλληλη προσθήκη πληρωτικού υλικού και παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία σε τυχόν αυξανόμενες απαιτήσεις δυναμικότητας με την αύξηση του ποσοστού πλήρωσης της δεξαμενής (Ødegaard, 2000).

Παρόλα αυτά, η μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας με MBBR είναι ευέλικτη και μπορεί να συνδυαστεί πολύ καλά και με την μέθοδο της ανακυκλοφορίας ενεργούς ιλύος. Από τον συνδυασμό των παραπάνω, προκύπτει μια σταθερή και αποδοτική διεργασία που είναι γνωστή ως MBBR-IFAS (Moving Bed Biofilm Reactor) - (Integrated Fixed-Film Activated Sludge), η οποία έχει ακόμη υψηλότερο βαθμό απόδοσης και σημαντικά καλύτερη ποιότητα εκροής καθώς βελτιώνεται σημαντικά η καθαρισιμότητα της περίσσειας ιλύος.

Η λειτουργία του αντιδραστήρα αυτού, επιτυγχάνεται με την έγχυση και πλήρωση της δεξαμενής με ειδικό πληρωτικό υλικό (βιοφορείς) που διαδραματίζει το ρόλο του φορέα ανάπτυξης της βιομάζας. Το υλικό αυτό κινείται μαζί με το ανάμικτο υγρό και την υπόλοιπη αιωρούμενη βιομάζα εντός του αντιδραστήρα, κίνηση η οποία προκαλείται από κατάλληλο σύστημα

αερισμού στους αερόβιους αντιδραστήρες ή με αναδευτήρες στους ανοξικούς αντιδραστήρες. Το πληρωτικό υλικό είναι κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο με πυκνότητα ελαφρά μικρότερη αυτής του νερού και σε σχήμα μικρών κυλίνδρων ή δίσκων περί τα 9-64 mm σε διάμετρο, ανάλογα με την εφαρμογή και μεγάλη ενεργή επιφάνεια επαφής ( $> 500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) (Ødegaard et al., 2000).

Ο ρυθμός πλήρωσης των βιοφορέων στον αντιδραστήρα ποικίλει από 10% έως 65%, ανάλογα την εφαρμογή. Στο βιοφίλμ που σχηματίζεται πάνω στους βιοφορείς, οι μικροοργανισμοί είναι καλά προστατευμένοι, πράγμα που καθιστά τη διεργασία ανεκτική στις μεταβολές και διαταράξεις ακόμη και σε ακραία φορτία. Η ενεργή βιομάζα που αναπτύσσεται είναι αυτορυθμιζόμενη και εξαρτάται από το εισερχόμενο φορτίο και τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Καθώς οι βιοφορείς βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, η διεργασία δεν επηρεάζεται από τα εισερχόμενα αιωρούμενα σωματίδια. (Ødegaard et al., 2000)

Το οξυγόνο που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για τις βιολογικές διεργασίες παρέχεται με κατάλληλο σύστημα αερισμού τοποθετημένο στον πυθμένα του αερόβιου αντιδραστήρα το οποίο συνδράμει όχι μόνο στην απαραίτητη πρόσδοση οξυγόνου αλλά και στην κίνηση ώστε η κατανομή βιομάζας να είναι ομοιόμορφη εντός του αντιδραστήρα. Πρωτεύοντα ρόλο, όπως σε κάθε διεργασία προσκολλημένης βιομάζας, έχει η διάχυση των συστατικών του οργανικού υποστρώματος στρωτά (βιολογικό «φίλμ»), το οποίο θα πρέπει ιδανικά να είναι λεπτό και κατά το δυνατόν ομοιόμορφα κατανεμημένο στην επιφάνεια του φορέα. Για την εξασφάλιση των παραπάνω συνθηκών, απαιτείται η διατήρηση έντονων συνθηκών τυρβώδους ροής εντός της δεξαμενής ώστε αφενός να ενισχύεται η μεταφορά των συστατικών στο βιολογικό «φίλμ», αφετέρου να διατηρείται ένα λεπτό στρώμα βιολογικού στρώματος στον φορέα, οι οποίες επιτυγχάνονται ως επί το πλείστον με την εφαρμογή συστημάτων διάχυσης μεσαίας ή χονδρής φυσαλίδας (Ødegaard et al., 2000).



**Εικόνα 1 : Πληρωτικό υλικό σε αιώρηση μέσα σε δεξαμενή αερισμού –  
λεπτομερής άποψη πληρωτικού υλικού**

Για να διατηρείται το πληρωτικό υλικό εντός του αντιδραστήρα, μία κατάλληλη διάταξη κοσκίνισης τοποθετείται στην εκροή. Η ανάδευση ρυθμίζεται προς τα πάνω, με τέτοιο τρόπο ώστε οι βιοφορείς να κινούνται συνεχώς αλλά και προς την επιφάνεια της διάταξης κοσκίνισης. Με αυτό τον τρόπο εμποδίζεται η έμφραξη της διάταξης κοσκίνισης.

Αντίθετα, η περίσσεια ιλύς, η οποία προκύπτει κυρίως από την αποκόλληση βιομάζας από τους βιοφορείς, παρακάμπτει τις διατάξεις κοσκίνισης της εκροής και εισέρχεται στη μονάδα καθίζησης.

Λόγω της μικρής απαίτησης ωφέλιμου όγκου από τα συστήματα αυτά, ο χρόνος παραμονής ενδεικτικά κυμαίνεται σε συγκριτικά χαμηλά επίπεδα της τάξης των 15-90 λεπτών της ώρας, εξαρτώμενος πάντα από το οργανικό και λοιπό ρυπαντικό φορτίο των εισερχομένων υγρών αποβλήτων.

Τα βασικότερα **πλεονεκτήματα** που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός συστήματος MBBR συνοψίζονται στη συνέχεια(Ødegaard et al., 2000):

- Συμπαγής διάταξη: Μικρή απαιτούμενη έκταση
- Λειτουργική αξιοπιστία: Σταθερότητα σε υψηλές μεταβολές φορτίων, ανεκτικότητα σε διακυμάνσεις, γρήγορη επαναφορά μετά από μεγάλες διαταράξεις, οι αντιδραστήρες δεν φράσσουν, δεν υπάρχει κίνδυνος διόγκωσης της ιλύος.

- Ευελιξία: Ευελιξία στα σχήματα αντιδραστήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, σε τυχόν αυξανόμενες απαιτήσεις δυναμικότητας με την αύξηση του ποσοστού πλήρωσης της δεξαμενής, δυνατότητα χρήσης υφιστάμενων δεξαμενών για βιοαντιδραστήρες, ευκολία σε μελλοντικές επεκτάσεις
- Πολλές εφαρμογές ανά τον κόσμο.
- Άλλα χαρακτηριστικά του συστήματος: Χαμηλό φορτίο κατά το στάδιο του διαχωρισμού, σχετικά χαμηλή παραγωγή ιλύος, μειωμένη κατανάλωση ενέργειας **σε σχέση με συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος.**

Τα κύρια **μειονεκτήματα** της μεθόδου του αντιδραστήρα MBBR είναι(Ødegaard et al., 2000):

- Η καθίζηση απαιτεί χρήση κροκιδωτικού για καλύτερα αποτελέσματα εκροής αναφορικά με την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών. Στις περιπτώσεις όπου η χρήση χημικών δεν είναι θεμιτή χρησιμοποιείται η παραλλαγή του MBBR-IFAS με πολύ καλά αποτελέσματα.
- Υψηλό σχετικά κόστος κατασκευής
- Αναγκαιότητα κατασκευής δεξαμενής εξισορρόπησης.

## **2.6. Επεξεργασία λυμάτων με τεχνολογία τεχνητού υγροβιότοπου**

Ως υγροβιότοπος ορίζεται μία περιοχή η οποία είτε πλημμυρίζει από επιφανειακό νερό, είτε τα εδάφη της βρίσκονται σε κατάσταση κορεσμού λόγω της υψηλής στάθμης του υπόγειου νερού, όσο συχνά και με τέτοια διάρκεια, ώστε να έχουν χαρακτηριστικά εδάφη, να υποστηρίζουν βλάστηση που έχει προσαρμοσθεί σε υγρές συνθήκες και να λαμβάνουν χώρα σε αυτές τις περιοχές βιολογικές λειτουργίες και δραστηριότητες προσαρμοσμένες στο υγρό περιβάλλον (Τσιχριντζής Β.Α., 2000).

Οι υγροβιότοποι αποτελούν τμήματα του εδάφους κατακλυζόμενα με νερό, συνήθως μικρού βάθους (μικρότερο των 0,6 m), στα οποία αναπτύσσονται φυτά όπως είναι: διάφορα είδη κύπερης, καλάμια, είδη βούρλων και άλλα είδη ψαθιού και αφράτου. Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα

ανάπτυξης των βακτηριακών μεμβρανών, βοηθά στη διήθηση και στην προσρόφηση συστατικών των αποβλήτων, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα του νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην επεξεργασία των ρυπασμένων υδάτων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο τεχνητοί, όσο και φυσικοί υγροβιότοποι. Οι φυσικοί όμως υγροβιότοποι έχουν περιορισμένη χρήση που συνίσταται στην αποδοχή και/ή περαιτέρω επεξεργασία εκροών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι (Constructed Wetlands – CWs) μπορούν να χαρακτηριστούν ως μία νέα σχετικά τεχνολογία επεξεργασίας για τα υγρά απόβλητα. Ως φυτική ύλη χρησιμοποιούνται φυτά που αναφύονται όπως τα νεροκάλαμα, τα βούρλα και το ψαθί. Στα συστήματα αυτά, το απόβλητο εφαρμόζεται είτε πάνω είτε κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Reed SC et al., 1995). Ως τεχνητός υγροβιότοπος μπορεί να χαρακτηριστεί ένας υγροβιότοπος που κατασκευάζεται σε μία περιοχή όπου δεν υπήρχε πριν, με τεχνικά μέσα.

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Σήμερα, χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων, αποβλήτων από τη γεωργία και την βιομηχανία διύλισης πετρελαίου, τα στραγγίδια από compost και ΧΥΤΑ, για κάποια είδη βιομηχανικών αποβλήτων, την βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων και άλλων.

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι είναι μονάδες που χαρακτηρίζονται από χαμηλό κατασκευαστικό κόστος και μπορούν να αποδώσουν εντυπωσιακά αποτελέσματα στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, εφόσον έχουν σχεδιαστεί και μελετηθεί σωστά. Επιπλέον, με σωστή λειτουργία κατά το χρόνο ζωής τους και με αντίστοιχη συντήρηση, όχι μόνο εξασφαλίζουν την αποδοτικότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής του έργου, αλλά μπορούν να έχουν και ελάχιστες απαιτήσεις σε λειτουργικά κόστη όπως ρεύμα, αντικαταστάσεις μηχανολογικού εξοπλισμού(έχουν ελάχιστο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό σε σχέση με τις κλασσικές μονάδες επεξεργασίας), απαιτήσεις σε χημικά και μικρή παραγωγή παραπροϊόντων (Davis L. et al., 1995). Η εμπειρία που έχει προκύψει από τη λειτουργία τέτοιων εγκαταστάσεων ανά τον κόσμο, έχει δείξει



ότι το λειτουργικό κόστος μπορεί να είναι έως και 90% μικρότερο σε σχέση με το λειτουργικό κόστος που απαιτείται για μία συμβατική μονάδα επεξεργασίας λυμάτων.

Οι τεχνητοί υδροβιότοποι μπορούν να αποτελούν μία βιώσιμη και φθηνή λύση κατά την αξιολόγηση των δυνατών επιλογών για μία εγκατάσταση επεξεργασίας, και δεδομένου και των εκάστοτε τοπικών συνθηκών και του σωστού σχεδιασμού, δύνανται να μην αποτελούν επιβαρυντικό παράγοντα για τα κατάντη υδάτινα διαμερίσματα (Melbourne water, 2005). Οι εγκαταστάσεις με αυτή την τεχνολογία, μπορούν να επιτελούν πρωτοβάθμια ή/και δευτεροβάθμια επεξεργασία με πολύ καλή ποιότητα εκροής, ενώ εάν απαιτηθεί, μπορούν με κάποιες προσθήκες/τροποποιήσεις να έχουν και εκροή προχωρημένης επεξεργασίας.

Στην τεχνολογία αυτή χρησιμοποιούνται κατά κόρον φυσικές διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές μπορεί να είναι η καθίζηση, η φίλτρανση, η βιολογική επεξεργασία κλπ, οι οποίες μπορεί μάλιστα να χρησιμοποιούνται και στις κλασσικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, ωστόσο είναι τόσο εντατικοποιημένης μορφής στις τελευταίες, που έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε κατασκευές πολύπλοκων διατάξεων και εξοπλισμού. Αντίθετα, οι τεχνητοί υδροβιότοποι έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό την απλότητα, τόσο στον σχεδιασμό όσο και στην κατασκευή, με ότι αυτό σημαίνει στην κατασκευή ενός δημόσιου(και όχι μόνο) έργου. Δεν έχουν πολλά μηχανικά μέρη, ενώ ο εξοπλισμός αποτελείται κυρίως από αντλίες (και κάποιους φυσητήρες εάν χρησιμοποιείται αερισμός)(Α. Ι. Stefanakis, 2019). Ως εκ τούτου οι απαιτήσεις σε ενέργεια είναι χαμηλές, ενώ όπως όλα τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας βασίζονται (είτε σε μικρότερο είτε σε μεγαλύτερο βαθμό) σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως την ηλιακή ακτινοβολία, την ενέργεια του νερού της βροχής, το επιφανειακό νερό, την κινητική ενέργεια του ανέμου, το έδαφος κλπ(Α. Stefanakis et al., 2014).

Τα πλεονεκτήματα μίας τέτοιας απλής κατασκευής είναι αρκετά, μεταξύ αυτών, η ταχύτητα διεκπεραίωσης του έργου, η αποφυγή κατασκευαστικών λαθών και ατελειών, η αποφυγή χρησιμοποίησης πολύπλοκου και ακριβού εξοπλισμού που τις περισσότερες φορές έρχεται από το εξωτερικό, η εύκολη αποκατάσταση

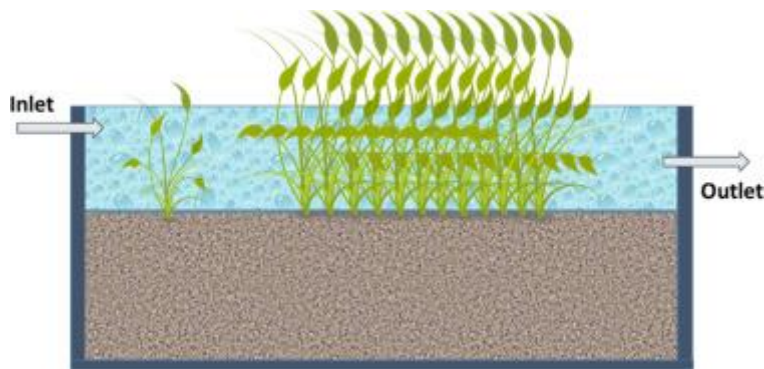
βλαβών στην εγκατάσταση(λόγω των παραπάνω), η εύκολη επέκταση, και τέλος η φθηνή και εύκολη λειτουργία και συντήρηση του έργου καθ' όλη την διάρκεια ζωής του. Ωστόσο, ένα συγκριτικό μειονέκτημα σε σχέση με μία μονάδα με πολλές μηχανικές εγκαταστάσεις, είναι η μεγαλύτερη απαίτηση σε χώρο που χρειάζονται συνήθως οι τεχνητοί υγροβιότοποι. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια η έρευνα έχει προχωρήσει και οι τεχνολογίες που αφορούν στο σχεδιασμό τεχνητών υγροβιότοπων έχουν εξελιχθεί. Ως αποτέλεσμα, πλέον πολλές φορές επιλέγονται σχεδιασμοί υβριδικών συστημάτων, ή η προσθήκη αέρα στην επεξεργασία ή/και άλλων τεχνικών ώστε να μειώνεται περεταίρω η ανάγκη για δέσμευση λειτουργικού χώρου(A. I. Stefanakis, 2019).

### **2.6.1. Κατηγοριοποίηση τεχνητών υγροβιότοπων**

#### Τεχνητοί υγροβιότοποι ελεύθερης επιφανειακής ροής

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι ελεύθερης επιφάνειας είναι υγροβιότοποι όπου το υγρό απόβλητο διοχετεύεται στην επιφάνεια του νερού(A. I. Stefanakis, 2020). Επιπλέον, εκτός της αποτελεσματικότητας για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, χρησιμεύουν για την καταπολέμηση των πλημμυρών και της διάβρωσης των ακτών (Farooqi et al., 2008). Στους υγροβιότοπους αυτούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν πληθώρα φυτών στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού, όπως αναφερόμενα φυτά (*Typha*, *Phragmites*, *Scirpus*), υποβρύχια φυτά (*Potamogeton*, *Elodea*) και επιπλέοντα φυτά (*Eichornia*, *Lemna*) (DBT, 2019). Η μέση απόδοση απομάκρυνσης για ίχνη μετάλλων είναι (Σίδηρος 53%, Χαλκός 45%, Ψευδάργυρος 52% και Μόλυβδος 52%), για BOD και COD(50-60%), για TSS (70%-80%), και άζωτο (50%-65%) (El-Sheikh et al., 2010).

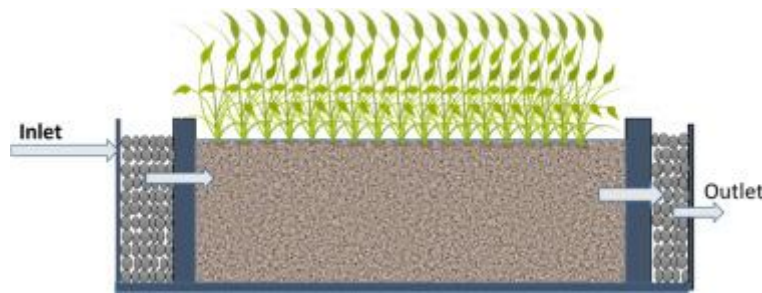




**Εικόνα 2 : Τεχνητός υγροβιότοπος ελεύθερης επιφανειακής ροής**

Τεχνητοί υγροβιότοποι οριζόντιας υπόγειας ροής (Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland- HFCW)

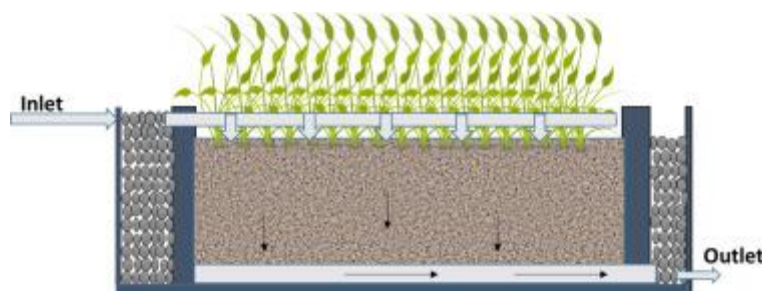
Οι τεχνητοί υγροβιότοποι οριζόντιας υπόγειας ροής είναι επίσης γνωστοί και ως κλίνες καλαμιών. Το υγρό απόβλητο ρέει οριζόντια, διά του υλικού πλήρωσης της κλίνης. Η απαιτούμενη έκταση για υγροβιότοπους οριζόντιας ροής είναι περίπου 5-10 m<sup>2</sup>/PE (PE – ισοδύναμος κάτοικος) (DBT, 2019). Το λύμα περνάει από αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες. Σε αυτούς τους υγροβιότοπους, οι αερόβιες συνθήκες επικρατούν στο ριζικό σύστημα και η οργανική ύλη αποδομείται σε αυτό το στάδιο (DBT, 2019). Το σύστημα αυτό είναι αποτελεσματικό για την απομάκρυνση ρυπαντών όπως το BOD, το COD, το αμμωνιακό άζωτο, τα φωσφορικά, τα TSS κλπ. (Solano et al., 2004). Η τεχνολογία αυτή μπορεί να επιλέγεται για επεξεργασία διάφορων αποβλήτων, μεταξύ αυτών βιομηχανικά απόβλητα, αγροτικά απόβλητα, απόβλητα από εξορύξεις και άλλα (Stefanakis et al., 2014). Τα HFCW απαιτούν περισσότερη έκταση από τους υγροβιότοπους κατακόρυφης ροής, όμως αποδίδουν καλύτερα στην απονιτροποίηση (Saeed & Sun, 2012; Gholipour and Stefanakis, 2021).



**Εικόνα 3 : Τεχνητός υγροβιότοπος οριζόντιας υπόγειας ροής**

Τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής (Vertical Flow Constructed Wetland-VFCW)

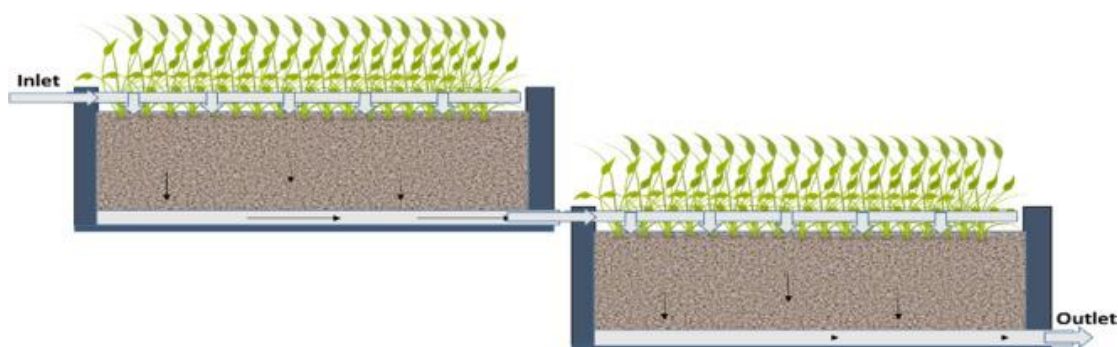
Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής είναι υγροβιότοποι όπου το απόβλητο βυθίζεται από την επιφάνεια και εκρέει από τον πυθμένα (Stefanakis et al., 2014). Το λύμα ρέει κατακόρυφα δηλαδή δια μέσω του πληρωτικού υλικού (Tilley et al., 2014). Οι υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής προσφέρουν αερόβιες συνθήκες, και ως εκ τούτου επιτυγχάνουν υψηλά ποσοστά απονιτροποίησης καθώς και απομάκρυνσης BOD, COD και άλλων ρύπων (A. I. Stefanakis & Tsihrintzis, 2012). Η απαιτούμενη επιφάνεια για υγροβιότοπους κατακόρυφης ροής είναι περίπου 1–3 m<sup>2</sup>/PE, το οποίο είναι σαφώς μικρότερο από τους υγροβιότοπους οριζόντιας ροής, αλλά έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις σε παρακολούθηση και συντήρηση (DBT, 2019).



**Εικόνα 4 : Τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης ροής**

### Τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής Γαλλικού τύπου

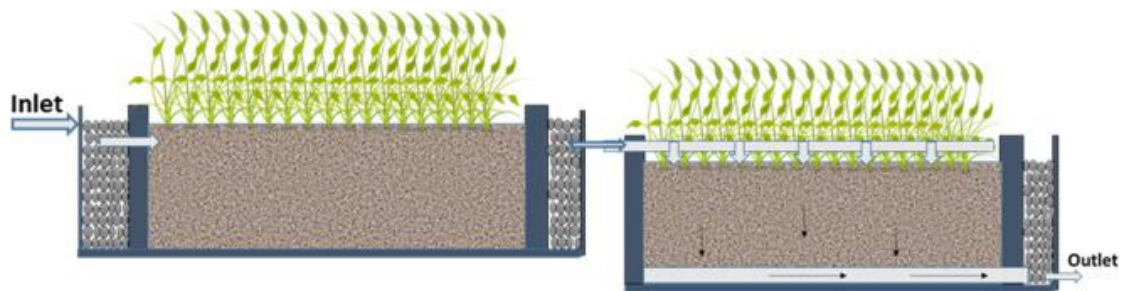
Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής Γαλλικού τύπου είναι υγροβιότοποι δύο σταδίων, τα οποία λειτουργούν σε σειρά (Stefanakis et al., 2014). Είναι ένας τύπος υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής και έχει παρόμοια απόδοση καθαρισμού με τους κλασσικούς υγροβιότοπους κατακόρυφης ροής, με διαφορά όμως ότι μπορεί να δεχτεί ανεπεξέργαστο λύμα (Al-Wahaibi et al., 2021). Η απαιτούμενη έκταση για αυτούς τους υγροβιότοπους είναι 2.0–2.5 m<sup>2</sup>/PE (DBT, 2019). Τέλος, ο υγροβιότοπος αυτός παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με τον σχεδιασμό υδραυλικής φόρτισης και το κλίμα της κάθε περιοχής (Paing et al., 2015).



**Εικόνα 5 : Τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης ροής Γαλλικού τύπου**

### Υβριδικοί τεχνητοί υγροβιότοποι

Οι υβριδικοί τεχνητοί υγροβιότοποι είναι ένα σύστημα όπου αποτελείται από πολλαπλά στάδια, που επιτυγχάνεται με συνδυασμό του υγροβιότοπου οριζόντιας ροής και το υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής (Davis L. et al., 1995). (Gholipour and Stefanakis, 2021). Η απόδοση αυτών των υγροβιότοπων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τους άλλους τύπους καθώς δημιουργούν αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες αναλόγως και των χαρακτηριστικών του εισερχόμενου λύματος (Saeed & Sun, 2012).



**Εικόνα 6 : Υβριδικός τεχνητός υγροβιότοπος**

#### Αεριζόμενοι υγροβιότοποι

Για να καλυφθούν οι ανάγκες σε οξυγόνο που απαιτούνται για την αποδοτικότερη επεξεργασία του υγρού αποβλήτου, μπορεί να εγκατασταθεί συσκευή πρόσδοσης αέρα. Για την αποδόμηση της οργανικής ύλης απαιτείται οξυγόνο, ενώ με την περεταίρω προσθήκη του, με μηχανικά μέσα, στο σύστημα αυξάνεται κατακόρυφα ο ρυθμός επεξεργασίας. Ακόμη όμως και με την απαραίτητη προσδιδόμενη ενέργεια που απαιτείται από τον φυσητήρα για το σύστημα του αεριζόμενου υγροβιότοπου, αυτή η τεχνολογία μπορεί να αρκετά αποδοτικότερη με χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις από την συμβατική επεξεργασία ενεργού ιλύος (A. I. Stefanakis, 2021).



**Εικόνα 7 : Αεριζόμενος τεχνητός υγροβιότοπος**

### **2.6.2. Συνεισφορά του αερισμού στην απόδοση επεξεργασίας λυμάτων σε τεχνητούς υδροβιότοπους**

Οι τεχνητοί υδροβιότοποι έχουν αρκετό ερευνητικό ενδιαφέρον σχετικά με την απομάκρυνση αρκετών ρύπων, παθογόνων και θρεπτικών λόγω του χαμηλού κόστους κατασκευής και λειτουργίας (Shingare et al., 2019).

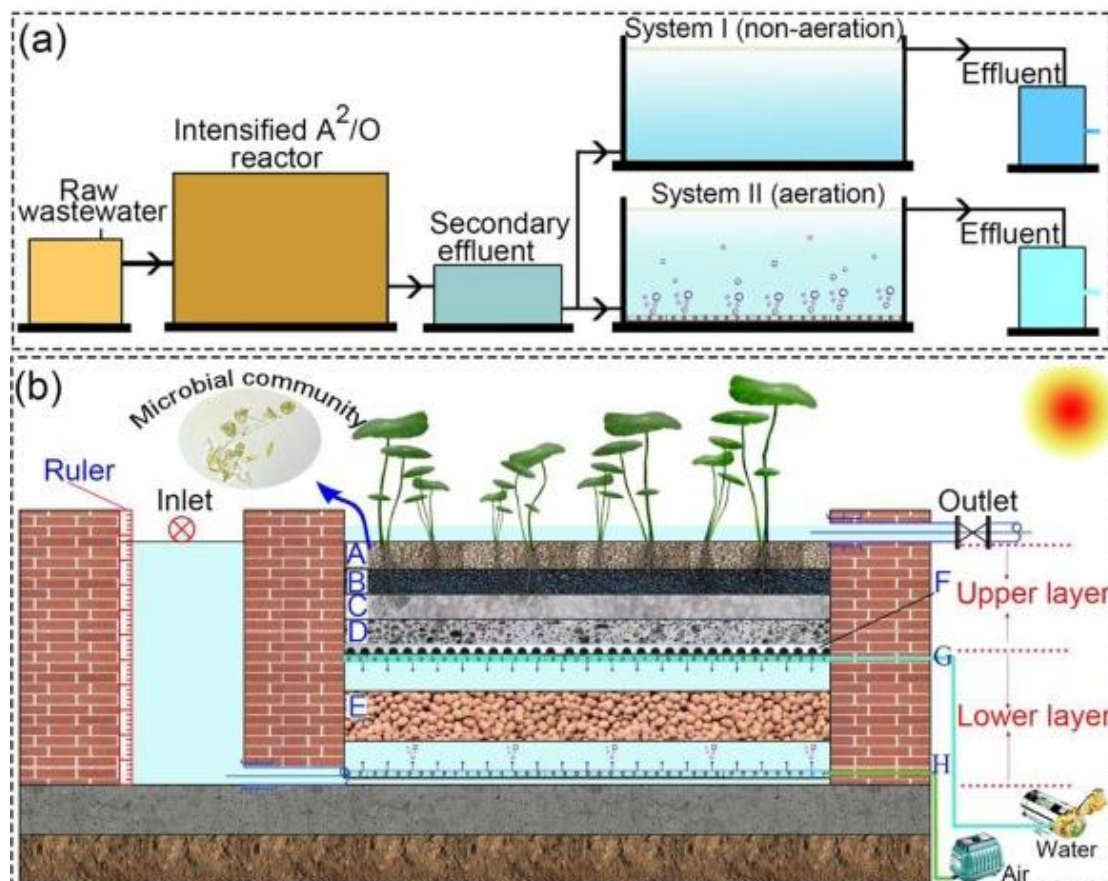
Ωστόσο, η απομάκρυνση θρεπτικών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες όπως τα φυτά που έχουν εγκατασταθεί, τους μικροοργανισμούς, το πορώδες κ.α. Εκτός των παραπάνω, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και το οξυγόνο που υπάρχει στο λύμα.

Για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας επεξεργασίας ενός υδροβιότοπου, μπορούν να γίνουν τροποποιήσεις στον σχεδιασμό του, όπως η χρήση υβριδικών συστημάτων υδροβιότοπων και η δημιουργία βέλτιστης διάταξης για την πλήρη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου και των θετικών χαρακτηριστικών κάθε είδους υδροβιότοπου. Παράλληλα όμως μπορούν να υπάρξουν βελτιστοποιήσεις και στις αναερόβιες και αερόβιες συνθήκες που επικρατούν εντός του υδροβιότοπου για την απομάκρυνση οργανικών και θρεπτικών. Για παράδειγμα οι αλλαγές στο διαλυμένο οξυγόνο στο λύμα (DO) μπορούν να βελτιώσουν την λειτουργία του τεχνητού υδροβιότοπου παρέχοντας ιδανικότερες συνθήκες για τις μικροβιακές κοινότητες που αναπτύσσονται εντός του.

Οι (Li et al., 2021) χρησιμοποίησαν μία πιλοτική μονάδα για την επεξεργασία οικιακών υγρών αποβλήτων από το campus ενός πανεπιστημίου στο Yunnan της Κίνας. Πιο συγκεκριμένα, μετά τη συλλογή του ανεπεξέργαστου αποβλήτου, τοποθετήθηκε ένας πιλοτικός αντιδραστήρας με αναερόβιες-ανοξικές/οξικές συνθήκες για την παραγωγή δευτεροβάθμιας εκροής, όπου μετά για την δευτεροβάθμια εκροή ακολουθούσε η περεταίρω επεξεργασία με δύο διαφορετικά συστήματα- ένα υδροβιότοπο χωρίς αερισμό και ένα με αερισμό, οπότε και από την ίδια δευτεροβάθμια εκροή προκύπτουν δύο τελικές εκροές. Το σύστημα φαίνεται γραφικά παρακάτω όπου διακρίνονται οι φάσεις, τα δύο συστήματα επεξεργασίας της δευτεροβάθμιας εκροής(με αερισμό και χωρίς) με



τις εκροές τους ενώ από κάτω διακρίνεται πιο λεπτομερώς το αεριζόμενο σύστημα.



**Εικόνα 8 : (α) Διάγραμμα ροής μονάδας επεξεργασίας (β) Διάταξη συστήματος επεξεργασίας δευτεροβάθμιας εκροής με αερισμό**

Από την έρευνα τους, προκύπτει ότι η παροχή οξυγόνου μπορεί να έχει ιδιαίτερα ισχυρή επίδραση στην μικροβιακή δομή, την ποικιλία και το βιοφίλμ που αναπτύσσεται εντός του υγροβιότοπου, το οποίο συνεπάγεται και αυξημένη απομάκρυνση οργανικών και θρεπτικών. Επιπλέον, ιδιαίτερη επίδραση έχει και ο χρόνος παραμονής. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη απόδοση απομάκρυνσης που πέτυχαν για COD (90%), TN (91%) και TP (94%) είναι ιδιαίτερα υψηλές και παρακάτω φαίνεται πως διαμορφώνονται σε σχέση με το DO και τον χρόνο παραμονής.

Επιπλέον των παραπάνω, παρατήρησαν ότι ο αερισμός είχε θετική επίδραση και στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών και στην ποικιλία τους. Για παράδειγμα, στο σύστημα που δεν είχε αερισμό παρατηρήθηκαν λιγότερα *Bacteroidetes* και *Actinobacteria* τα οποία σύμφωνα με τους (Fu et al., 2019) συνεισφέρουν στην απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι τεχνητοί υγροβιότοποι έχουν γνωρίσει ιδιαίτερη ανάπτυξη σαν τεχνολογία για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, και ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη σχεδιασμού υγροβιότοπων και τρόποι λειτουργίας, ενώ στόχος αποτελεί η βέλτιστη απόδοση με το λιγότερο δυνατό κόστος λειτουργίας και κατασκευής, παράλληλα με την ελάχιστη χρήση γης. Έχει παρατηρηθεί ότι ένας ιδιαίτερα καθοριστικός παράγοντας μείωσης της απόδοσης καθαρισμού, είναι το οξυγόνο που βρίσκεται εντός της κλίνης, ειδικά σε υγροβιότοπους οριζόντιας ροής όπου η κλίνη βρίσκεται πάντα γεμάτη με νερό. Σύμφωνα με τους (Nivala et al., 2013), πράγματι η απόδοση απομάκρυνσης N σε τέτοια συστήματα μπορεί να είναι μειωμένη λόγω της μικρής συγκέντρωσης οξυγόνου. Λόγω των παραπάνω, πολλές ερευνητικές ομάδες (Pelissari et al., 2018)(Wang et al., 2017), έχουν προχωρήσει στην διερεύνηση της επίδρασης της αυξημένης παρουσίας οξυγόνου εντός της κλίνης. Αυτή η στρατηγική έχει δοκιμαστεί για διάφορα είδη υγρών αποβλήτων σε υγροβιότοπους οριζόντιας ροής, όπως αστικών αποβλήτων, βιομηχανικών, αποβλήτων από χοιροστάσια και στραγγίδια από χωματερές. Επίσης σημαντικός παράγοντας μπορεί να είναι και η ανακυκλοφορία.

Επιπλέον, οι αεριζόμενοι υγροβιότοποι, έχει βρεθεί ότι μπορούν να απομακρύνουν όχι μόνο τα θρεπτικά όπως το φώσφορο και άζωτο, πλέον του COD, αλλά και συγκεκριμένους βιομηχανικούς ρύπους όπως το νιτροβενζόλιο (Kirui et al., 2016) και φαινολικές ενώσεις (Rossmann et al., 2012).

Εκτός των μεγάλων φορτίων σε θρεπτικά και παθογόνα, τα αστικά απόβλητα μπορούν να περιέχουν και χιλιάδες οργανικούς μικρορύπους, ουσίες που αποβάλλονται στο λύμα καθημερινά από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αυτές οι ουσίες, επίσης γνωστές και ως ρύποι αναδυόμενου ενδιαφέροντος, και

αποτελούνται από φαρμακευτικά και προϊόντα περιποίησης (συμπεριλαμβανομένων των αντιβιοτικών), επιβραδυντές φλόγας κλπ. Γενικά, έχει παρατηρηθεί ότι οι οξειδωτικές διεργασίες συνεισφέρουν στην βελτίωση της απομάκρυνσης των ουσιών που μπορούν να βιοδιασπώνται πιο εύκολα, ενώ οι μη-βιοδιασπώμενες ουσίες απομακρύνονται συνήθως με τη ρόφηση σε στερεά (Ávila & García, 2015), (Sochacki et al., 2018).

Με βάση τα παραπάνω, οι (Ávila et al., 2021) ερεύνησαν την επίδραση του αερισμού, καθώς και του τρόπου αερισμού, στην απομάκρυνση 13 φαρμακευτικών ουσιών σε τεχνητούς υγροβιότοπους οριζόντιας ροής. Το σύστημα που χρησιμοποίησαν, τροφοδοτούνταν από μία σηπτική δεξαμενή όπου συγκέντρωνε τα υγρά απόβλητα ενός κτιρίου γραφείων περίπου 50 ατόμων. Το υγρό απόβλητο αντλούνταν από τη σηπτική δεξαμενή, σε μία δεξαμενή με συνεχή ανάδευση, και από εκεί τροφοδοτούσε τρία συστήματα οριζόντιας ροής, με ίση παροχή στο καθένα, όπου το ένα ήταν χωρίς αερισμό, το ένα ήταν με συνεχή αερισμό και το τελευταίο με αερισμό κατά διαστήματα.

Τα τρία συστήματα, αποτελούνταν από χαλίκι βάθους 35 εκ., η στάθμη του νερού ήταν στα 10 εκ. πάνω από την στάθμη των χαλικιών, με συνολικό βάθος νερού 1 μέτρο. Ως φυτό χρησιμοποιήθηκε το κοινό καλάμι (*Phragmites australis*). Οι υγροβιότοποι φορτίζονταν συνεχώς, ενώ ο χρόνος παραμονής ήταν 5,5 ημέρες. Ο ρυθμός επιφανειακής φόρτισης είναι  $7,2 \text{ cm}^2 \text{ day}^{-1}$  ενώ ο ρυθμός οργανικής φόρτισης είναι περίπου  $8 \text{ g COD m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

Από τα δείγματα που λήφθηκαν στις εκροές βρέθηκε ότι, η μέση θερμοκρασία και το pH ήταν  $28,5 \pm 1,3 \text{ }^\circ\text{C}$  και  $7,5 \pm 10,3$  αντίστοιχα, ενώ όπως αναμενόταν, το διαλυμένο οξυγόνο ήταν σε άμεση συνάρτηση με τον αερισμό και πιο συγκεκριμένα, στην εκροή του συστήματος χωρίς αερισμό ήταν  $0,02 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $7,2 \pm 0,2 \text{ mg L}^{-1}$  στην εκροή του συστήματος με συνεχόμενο αερισμό και στο άλλο σύστημα  $1,0 \pm 0,4 \text{ mg L}^{-1}$ .

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται και οι μέσες συγκεντρώσεις των βασικών παραμέτρων στο λύμα και τα ποσοστά απομάκρυνσής τους.



**Πίνακας 1 : Μέσες συγκεντρώσεις και ποσοστά απόδοσης κύριων  
παραμέτρων λύματος στα τρία συστήματα**

	Μονάδα	Εισροή	Συνεχής αερισμός (CW1)	RE %	Διακοπτόμενος αερισμός (CW2)	RE %	Χωρίς αερισμό (CW3)	RE %
T	°C	n.a.	27,7±1,1	-	28,4±1,2	-	29,5±1,1	-
pH	-	7,2±0,0	7,5±0,1	-	7,2±0,1	-	7,7±0,3	-
DO	mg L <sup>-1</sup>	0,6±0,8	7,2±0,2	-	1,0±0,4	-	0,02±0,02	-
COD	mg L <sup>-1</sup>	106±23,5	67,0±16,7	37	52,4±14,6	51	67,1±16,8	37
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	mg L <sup>-1</sup>	13,1±12,1	0,07±0,14	99	0,12±0,3	99	6,05±3,1	53
TKN	mg L <sup>-1</sup>	20,9±13,9	4,6±3,1	78	4,0±2,0	80	13,7±3,0	34
NO <sub>2</sub> -N	mg L <sup>-1</sup>	4,5±2,4	0,3±0,4	93	Μη ανιχνεύσιμο	100	3,4±2,4	18
NO <sub>3</sub> -N	mg L <sup>-1</sup>	8,2±4,8	22,4±7,2	0	12,3±7,9	0	7,1±4,3	29

Όπως ήταν αναμενόμενο, το διαλυμένο οξυγόνο DO είναι μεγαλύτερο στα δύο συστήματα με αερισμό, αντίθετα με το σύστημα που δεν υπάρχει προσθήκη αέρα. Επιπλέον, στον συνεχή αερισμό και στο σύστημα χωρίς αερισμό υπάρχει αντίστοιχη μείωση COD, η οποία όμως είναι μικρότερη από το σύστημα με διακοπτόμενο αερισμό. Πιο συγκεκριμένα το ποσοστό απομάκρυνσης COD στα δύο παραπάνω είναι 37% ενώ στο σύστημα με διακοπτόμενο αερισμό είναι 51%. Τέλος, η απομάκρυνση ολικού αζώτου είναι μεγαλύτερη στο σύστημα με τον διακοπτόμενο αερισμό, αν θεωρηθεί ότι είναι το άθροισμα όλων των μεγεθών που αφορούν το άζωτο.

Αντιθέτως η συγκέντρωση αζώτου στην εκροή του συστήματος με συνεχή αερισμό είναι μεγαλύτερη απ' ότι στο σύστημα χωρίς αερισμό, αυτό όμως προκύπτει λόγω της μεγάλης παρουσίας νιτρικών εξαιτίας του συνεχούς αερισμού. Αντιθέτως, η απομάκρυνση μεμονωμένα του αζώτου κατά Kjeldahl

και των νιτρωδών είναι σαφώς μεγαλύτερη στον συνεχή αερισμό απ' ό τι στο σύστημα χωρίς αερισμό.

#### Επίδραση του αερισμού στην απομάκρυνση φαρμακευτικών ουσιών

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι με συνεχή ή διακοπτόμενο αερισμό είναι αρκετά αποδοτικοί στην απομάκρυνση του ουσιών που μελετήθηκαν. Με εξαίρεση την Λοραζεπάμη (46,4%) και την Καρβαμαζεπίνη (51,7%), οι υπόλοιπες ουσίες απομακρύνθηκαν σε ποσοστό τουλάχιστον 83% στον υγροβιότοπο με συνεχή αερισμό. Η Ακεταμινοφαίνη απομακρύνθηκε σε ποσοστό 90% και στα δύο συστήματα με αερισμό. Η Κετοπροφένη επίσης απομακρύνθηκε σε εύρος 64-100% και 60-97% αντίστοιχα στα αεριζόμενα συστήματα, ενώ στο μη αεριζόμενο η απόδοση απομάκρυνσης ήταν μικρότερη, μεταξύ 30-74%. Η Δικλοφενάκη αφαιρέθηκε σε ποσοστό  $97\% \pm 4$  στον υγροβιότοπο με συνεχή αερισμό, και  $64\% \pm 34$  στον υγροβιότοπο με διακοπτόμενο αερισμό, ενώ στον υγροβιότοπο χωρίς αερισμό δεν φαίνεται να απομακρυνόταν τόσο αποτελεσματικά, με μέγιστη απόδοση 54%. Αντίστοιχα και η Γεμφιβροζίλη εξαλείφθηκε στον αεριζόμενο υγροβιότοπο, και σε ποσοστό 92% στον υγροβιότοπο με διακοπτόμενο αερισμό, ενώ δεν φαίνεται να απομακρυνόταν καθόλου στον μη αεριζόμενο υγροβιότοπο. Σχετικά με την Καρβαμαζεπίνη, ήταν η ουσία που εντοπιζόταν στα λιγότερα δείγματα στην εισροή και με στις μικρότερες συγκεντρώσεις, ενώ η απόδοση αφαίρεσης ήταν της τάξεως του 40-50%. Τέλος, η Λοραζεπάμη ήταν η ουσία με τις μικρότερες αποδόσεις απομάκρυνσης  $<90\%$  στα δύο συστήματα με αερισμό, και συγκεκριμένα  $54 \pm 15\%$  και  $45 \pm 14\%$  στον συνεχή και διακοπτόμενο αερισμό. Στο αναερόβιο σύστημα η απομάκρυνση ήταν παρόμοια, σε ποσοστό  $35 \pm 15\%$ .

Με βάση τα παραπάνω, οι ερευνητές κατέληξαν ότι ο αερισμός σε τεχνητούς υγροβιότοπους οριζόντιας ροής αποδεικνύεται ως μία αποδοτική λύση για την απομάκρυνση του αζώτου αλλά και κάποιων φαρμακευτικών ουσιών. Επιπλέον, οι υγροβιότοποι με αερισμό, αν και είναι σαφώς ακριβότεροι στην λειτουργία τους από τους υγροβιότοπους χωρίς αερισμό, αποτελούν

αποδοτικές εναλλακτικές για αποκεντρωμένη επεξεργασία λυμάτων, και μειώνουν αρκετά την περιβαλλοντική επίδραση μπορεί να έχει η διάθεση λυμάτων στους αποδέκτες. Τέλος, σχετικά με το κόστος λειτουργίας αεριζόμενων υγροβιότοπων, μπορούν να επιλέγονται και λύσεις με διακοπτόμενο αερισμό αντί για συνεχή, καθώς φαίνεται ότι είναι εξίσου αποδοτικοί αλλά σαφώς οικονομικότεροι στην λειτουργία τους.

## **2.7. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

Η Διαχείριση των αστικών λυμάτων καθορίζεται από την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ «για την επεξεργασία και διάθεση αστικών λυμάτων», όπως αυτή τροποποιήθηκε με την Οδηγία 98/15/ΕΕ. Στην Ελλάδα η εν λόγω οδηγία έχει ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 5673/400/1997 (Φ.Ε.Κ. 192Β/14-3-1997) με τίτλο "Μέτρα και Όροι για την επεξεργασία των Αστικών Λυμάτων".

Από την οδηγία αυτή ορίζεται η ελάχιστη αναγκαία τεχνική υποδομή σε δίκτυα αποχέτευσης και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που πρέπει να διαθέτουν οι πόλεις και οι οικισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ανάλογα με τον ισοδύναμο πληθυσμό και τον αποδέκτη των επεξεργασμένων λυμάτων και διακρίνοντας τους υδάτινους αποδέκτες στους οποίους καταλήγουν τα αστικά λύματα σε τρεις κατηγορίες:

- σε κανονικούς
- ευαίσθητους
- και λιγότερο ευαίσθητους

Επιπλέον, από την οδηγία αυτή καθορίζονται τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων λυμάτων που πρέπει να επιτυγχάνονται στις εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και παράλληλα προβλέπει συγκεκριμένα χρονικά όρια μέσα στα οποία οι οικισμοί, που εμπίπτουν στις διατάξεις της, οφείλουν να ολοκληρώσουν την απαιτούμενη σε κάθε περίπτωση υποδομή συλλογής, επεξεργασίας και διάθεσης των αστικών τους λυμάτων.

Οι διατάξεις που ορίζουν την απαιτούμενη υποδομή, με βάση τα ανωτέρω κριτήρια (ισοδύναμο πληθυσμό, κατηγορία αποδέκτη), ορίζουν ταυτόχρονα και τις χρονικές προθεσμίες μέσα στις οποίες πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί όλες οι αναγκαίες υποδομές.

Στο πέρας του χρονικού ορίζοντα εφαρμογής της Οδηγίας όλοι οι οικισμοί με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο των 2.000 θα πρέπει να διαθέτουν αποχετευτικό δίκτυο και εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων.

Ως προς το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας η Οδηγία καθορίζει εν γένει ως ελάχιστη την δευτεροβάθμια.

Για περιπτώσεις όμως απόρριψης λυμάτων σε ευαίσθητες περιοχές απαιτείται η βιολογική επεξεργασία με απομάκρυνση αζώτου ή/και φωσφόρου (τριτοβάθμια επεξεργασία).

### **2.7.1. Εφαρμογή στα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης**

Από τον Ιανουάριο του 1999 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει δημοσιεύσει 7 εκθέσεις σχετικά με την εφαρμογή της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ και την πρόοδο που έχουν σημειώσει τα κράτη μέλη.

Με βάση την τελευταία έκθεση της Ε.Ε. στις περισσότερες χώρες της Ε.Ε. των 27 τα ποσοστά συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις της Οδηγίας είναι ιδιαίτερα υψηλά. Η εικόνα είναι διαφορετική για τις νεότερες χώρες, οι οποίες παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερα ποσοστά και έχουν αρκετό δρόμο να διανύσουν μέχρι την πλήρη συμμόρφωση.

### **2.7.2. Νομοθεσία για τα Αστικά Λύματα στην Ελλάδα**

- [Οδηγία 91/271/ΕΟΚ](#)
  - [Εναρμόνιση – ΚΥΑ 5673/400/1997 \(Β 192\)](#) "Μέτρα και Όροι για την επεξεργασία των Αστικών Λυμάτων"
- Διπλωματική Εργασία

- [ΚΥΑ 19661/1982/1999 \(B 1811\)](#) "Τροποποίηση της ΚΥΑ 5673 – Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών"
- [ΚΥΑ 48392/939/2002 \(B 405\)](#) "Συμπλήρωση του καταλόγου ευαίσθητων περιοχών"

### **2.7.3. Νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα**

- [Κοινή Υπουργική Απόφαση 145116/2011](#): "Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις"
- [Εγκύκλιος 145447](#): Διευκρινίσεις σχετικά με την ορθή εφαρμογή της ΚΥΑ 45116/02-02-2011 (ΦΕΚ Β'354/2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις».
- [Εγκύκλιος 1589](#): Διευκρινίσεις σχετικά με την ορθή εφαρμογή της ΚΥΑ 45116/02-02-2011 (ΦΕΚ Β'354/2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις» μετά την έκδοση του Ν. 4014/2011 (ΦΕΚ 209/21-09-2011)
- [ΚΥΑ 191002/2013](#): Τροποποίηση της υπ'αριθ. 145116/2011 κοινής υπουργικής απόφασης "Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Β' 354)" και συναφείς διατάξεις

### **2.7.4. Πίνακες ορίων εκροής από Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων στην Ελλάδα**

**Πίνακας 1:** Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και  
Διπλωματική Εργασία

αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διαμέσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p><b>Περιορισμένη άρδευση</b> Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται</p> <p><b>Βιομηχανική χρήση</b> Νερό ψύξης μιας χρήσης</p> <p>Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, (με την επιφύλαξη των παραγράφων 4 και 5 του άρθρου 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά<sup>(6)</sup></p>	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία <sup>(α), (β)</sup> Απολύμανση <sup>(γ)</sup>	<p>BOD<sub>5</sub>, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>EC: μια ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

## Σημειώσεις Πίνακα 1

α) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD5/SS σε συμφωνία με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 45 mg/l, με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση των υγρών αποβλήτων σε ταμιευτήρες, γίνεται άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορρύπανση ζωνών ή γίνεται εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα. Στις περιπτώσεις αυτές οι μέσες συγκεντρώσεις αζώτου πρέπει να μην υπερβαίνουν τα 15 mg/l.



β) Στην περίπτωση κοινοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο από 2000 ισοδύναμους κατοίκους και οικιακών ιδιωτικών συστημάτων επεξεργασίας επιτρέπονται οι τύποι επαναχρησιμοποίησης του Πίνακα 1 μετά από εφαρμογή μεθόδων επεξεργασίας, που δεν επιτυγχάνουν για τα BOD<sub>5</sub>/SS τα όρια της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97, με την προϋπόθεση ότι τεκμηριωμένα εξασφαλίζεται η μη επαφή κοινού και γεωργών με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Στις περιπτώσεις των κοινοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας ως μέγιστη διάμεση τιμή *Escherichia coli* τίθενται τα 1000 EC/ 100ml.

γ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδοι καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν την εκροή την απαιτούμενη διάμεση συγκέντρωση *Escherichia coli*. Σε κάθε περίπτωση και στο βαθμό που η επεξεργασία συνίσταται στην ελάχιστη απαιτούμενη κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται γινόμενο υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής (C·t) μεγαλύτερο ή ίσο από 30 mg·min/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 30 min, ενώ για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 70 mWsec/cm<sup>2</sup> στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 50%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης.

δ) Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη να τεκμηριώνεται η επάρκεια του εδαφικού συστήματος να επιτυγχάνει συγκράτηση οργανικών.

**Πίνακας 2:** Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών

αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού  
ψύξης μιας χρήσης

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητ α (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p><b>Απεριόριστη άρδευση</b> Όλες οι καλλιέργειες όπως οπωροφόρα δένδρα, λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμικήττα. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής της άρδευσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.</p> <p><b>Βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης</b> επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, νερό διεργασιών κλπ<sup>(1)</sup></p>	<p>≤ 5 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 50 για το 95 % των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία<sup>(2)</sup> ακολουθούμενη από Τριτοβάθμια επεξεργασία<sup>(3)</sup> και Απολύμανση<sup>(5)</sup></p>	<p>BOD<sub>5</sub>, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p>EC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις.. Κατ εξάιρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής μία ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl<sub>2</sub> συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

## Σημειώσεις Πίνακα 2

ε) Όπως η σημείωση (α) του Πίνακα 1. Στην περίπτωση άρδευσης σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητες λόγω νιτρορύπανσης απαιτείται απομάκρυνση αζώτου μέσω νιτροποίησης – απονιτροποίησης, ώστε οι συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ολικού αζώτου να είναι μικρότερες από 2 mg/l και 15 mg/l αντίστοιχα

στ) Κατάλληλο σύστημα που να επιτυγχάνει τα αναφερόμενα στον Πίνακα 2 όρια για το BOD<sub>5</sub>, τα SS και τη θολότητα. Ενδεικτικά, κατ' ελάχιστον προσθήκη κατάλληλου κροκιδωτικού (π.χ.θειικού αργιλίου ) σε δόση μεγαλύτερη από 10 mg/l και απευθείας διύλιση σε διυλιστήριο άμμου με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: βάθος διυλιστικού μέσου (L) ≥ 1,40 m, ενεργή διάμετρο κόκκων άμμου (De) ≈ 1 mm, συντελεστή ομοιομορφίας κόκκων άμμου (u) 1,45–1,60 και επιφανειακή φόρτιση ≤ 8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr για κανονικές συνθήκες λειτουργίας.



ζ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδος καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση *Escherichia coli* για το 80% των δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου  $\geq 2$  mg/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min, ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν από την επαναχρησιμοποίηση θα εξετάζεται κατά περίπτωση. Για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 60 mWsec/cm<sup>2</sup> στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης.

η) Για νερό βιομηχανικών διεργασιών θα εφαρμόζονται από την ενδιαφερόμενη βιομηχανία τα εκάστοτε απαιτούμενα πρόσθετα προχωρημένα συστήματα επεξεργασίας για απομάκρυνση ιόντων και άλλων διαλυμένων ενώσεων ή/και στοιχείων.

**Πίνακας 3:** Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Ολικά κολοβακτηριδία (TC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p><b>Αστική χρήση</b> Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαγιών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρομίων, διακοσμητικά σιντριβάνια Πόσιμα με καταιονισμό απαγορεύεται.</p> <p><b>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων</b> που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις</p> <p><b>Περιστατικό πράσινο</b> συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών<sup>(Α)</sup></p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95 % των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή -</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία<sup>(B)</sup> ακολουθούμενη από Προχωρημένη επεξεργασία<sup>(B)</sup> και Απολύμανση<sup>(C)</sup></p>	<p>BOD<sub>5</sub>, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p>TC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους επτά ανά εβδομάδα και τρεις ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής δύο ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl<sub>2</sub> συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

### Σημειώσεις Πίνακα 3

θ) Όπως η σημείωση (α) του Πίνακα 1 με την πρόσθετη απαίτηση να επιτυγχάνεται απομάκρυνση αζώτου μέσω νιτροποίησης–απονιτροποίησης, ώστε οι συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ολικού αζώτου να είναι μικρότερες από 2 mg/l και 15 mg/l αντίστοιχα

ι) Κατάλληλο σύστημα μεμβρανών (συνιστάται τουλάχιστον υπερδιήθηση) ή ισοδύναμο σύστημα επεξεργασίας που να επιτυγχάνει τα αναφερόμενα στον Πίνακα 3 όρια για το BOD<sub>5</sub>, τα SS και τη θολότητα. Στην περίπτωση χρήσης βιολογικών αντιδραστήρων μεμβράνης (membrane bioreactors) είναι δυνατή η συγχώνευση της δευτεροβάθμιας και προχωρημένης επεξεργασίας.

κ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδος καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριδίων για το 80% των δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου ≥ 2 mg/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min, ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν από την

επαναχρησιμοποίηση θα εξετάζεται κατά περίπτωση. Για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση  $60 \text{ mWsec/cm}^2$  στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης.

λ) Στις περιπτώσεις δασών είναι δυνατή η κατά περίπτωση, μετά από τεκμηρίωση, εφαρμογή των απαιτήσεων του Πίνακα 2 ή του Πίνακα 1.

#### **2.7.5. Διαχείριση Λυμάτων από Μικρούς Οικισμούς**

Στην Ελλάδα η κατηγορία των κοινοτήτων με πληθυσμούς κάτω των 2000 κατοίκων εκτιμάται ότι αντιστοιχεί σε περίπου 2,5 εκατομμύρια ισοδύναμους κατοίκους. Στις παραπάνω περιπτώσεις, δεν κρίνεται θεσμικά απαιτητή η κατασκευή εκτεταμένων δικτύων αποχέτευσης, αλλά η εφαρμογή «κατάλληλων» συστημάτων διαχείρισης και επεξεργασίας των λυμάτων σε πιο τοπικό επίπεδο.

Η ευελιξία αυτή, ειδικότερα ως προς την προσφερόμενη δυνατότητα αποφυγής κατασκευής εκτεταμένων και δυσανάλογα δαπανηρών σε τέτοιες περιπτώσεις δικτύων αποχέτευσης, προσφέρει ευκαιρίες για εφαρμογή ρεαλιστικών επιλογών, που βασίζονται σε αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας και εν γένει διαχείρισης των λυμάτων. Τα συστήματα αυτά μπορεί κατά περίπτωση να αποδειχθεί ότι προσφέρουν τον βέλτιστο συνδυασμό οικονομικής και χωρίς εξειδικευμένες απαιτήσεις λειτουργίας και προστασίας του υδάτινου και ευρύτερου περιβάλλοντος, κάτι που δεν εξασφαλίζεται με το κατά κανόνα εφαρμοζόμενο σύστημα των βόθρων.

Ειδικότερα για τα συστήματα μικρής κλίμακας θα πρέπει κατά κανόνα να εξετάζεται και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών, συνήθως για άρδευση. Η επαναχρησιμοποίηση προϋποθέτει την

υιοθέτηση των απαιτούμενων από την σχετική νομοθεσία ποιοτικών χαρακτηριστικών ώστε να επιτυγχάνεται:

- Προστασία της δημόσιας υγείας. Το επαναχρησιμοποιούμενο νερό θα πρέπει να είναι ασφαλές και η χρήση του να μην εγκυμονεί κινδύνους, οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με τους παθογόνους μικροοργανισμούς που περιέχονται στα λύματα.
- Προστασία του περιβάλλοντος. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η αποφυγή ρύπανσης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, καθώς και η προστασία της φυσικής πανίδας και χλωρίδας στην και περί την, αρδεύομενη περιοχή.
- Προστασία των αρδευόμενων φυτών. Θα πρέπει να εξετάζονται ενδεχόμενες δυσμενείς επιπτώσεις στα φυτά που αρδεύονται και στο έδαφος από την παρουσία χημικών ενώσεων και στοιχείων στα λύματα (π.χ. βαρέα μέταλλα, νάτριο κλπ.)

#### **2.7.6. Διάθεση Επεξεργασμένων Λυμάτων**

Σχετικά με τον προσδιορισμό του απαραίτητου βαθμού επεξεργασίας των λυμάτων, αυτός καθορίζεται πάντα με βασικό κριτήριο επιλογής τον τρόπο διάθεσης, την φύση και τον χαρακτήρα του αποδέκτη των επεξεργασμένων λυμάτων.

Για την διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων ισχύει ότι:

- Η Υ.Δ. Ε1β/65 αν και αποτελεί έως και σήμερα, σε μεγάλο βαθμό, το βασικό θεσμικό πλαίσιο που διέπει την διάθεση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων, κρίνεται αναχρονιστικό. Ενώ για την εποχή της, μπορούσε να θεωρηθεί πρωτοποριακή, σήμερα δεν συμβαδίζει με τις σημερινές ανάγκες, την υφιστάμενη περιβαλλοντική επιβάρυνση, την επιστήμη και τις τεχνολογίες που έχουν εξελιχθεί γύρω από την επεξεργασία λυμάτων.
- Η Κ.Υ.Α. 5673/400/1997, καθόρισε ότι τα αστικά λύματα που διοχετεύονται αποχετευτικά δίκτυα, πριν τη διάθεσή τους σε υδάτινο

αποδέκτη θα υφίσταται «κατάλληλη επεξεργασία» (Άρθρο 7), ήτοι «επεξεργασία με μέθοδο ή/και σύστημα διάθεσης που επιτρέπει στα ύδατα υποδοχής να ανταποκρίνονται στους σχετικούς ποιοτικούς στόχους και στις συναφείς διατάξεις της παρούσας οδηγίας και άλλων κοινοτικών οδηγιών» (Άρθρο 2, παρ. 9).

- Με την Κ.Υ.Α. 145116/2011 (ΦΕΚ 354) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», δημιουργήθηκε ένα νέο θεσμικό πλαίσιο, δεδομένου ότι στην ως άνω Κ.Υ.Α. περιλαμβάνεται και η διάθεση στο έδαφος για τροφοδότηση – εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα και συγκεκριμένα οι περιπτώσεις επιφανειακής διήθησης (επιφανειακή ή υπεδάφια διάθεση) και τροφοδότησης μέσω γεωτρήσεων (άρθρο 2, παρ. ιβ.). Επίσης με την ως άνω Κ.Υ.Α. τίθενται όροι και προϋποθέσεις για την επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων για άρδευση.

## **2.8. ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **2.8.1. Σκοπιμότητα υλοποίησης μελέτης**

Η περιοχή του Μαραθίου είναι γνωστή κυρίως για τις πάντα υπήνεμες και βραβευμένες με Γαλάζια σημαία παραλίες της που προσελκύουν αρκετούς κατοίκους της ευρύτερης περιοχής, επισκέπτες και τουρίστες. Η περιοχή εμφανίζει επίσης ιδιαίτερο αρχαιολογικό ενδιαφέρον, με σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα και μεγάλο τμήμα της έχει κηρυχθεί ως αρχαιολογικός χώρος.

Με δεδομένη και την προβλεπόμενη περαιτέρω ανάπτυξη της περιοχής, η υλοποίηση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, θα επιλύσει την παρούσα έλλειψη υποδομών διαχείρισης των παραγόμενων λυμάτων από τις δραστηριότητες της περιοχής, δεδομένου ότι, στην παρούσα κατάσταση, δεν υπάρχουν δίκτυα αποχέτευσης και τα λύματα καταλήγουν κυρίως σε απορροφητικούς βόθρους. Ο τρόπος όμως αυτός διαχείρισης των λυμάτων μέσω διάθεσης σε απορροφητικούς βόθρους, εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους

μόλυνσης των υπογείων υδάτων, της παραλιακής ζώνης και της θάλασσας και γενικά αποτελεί παράγοντα υποβάθμισης του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος της περιοχής, της ταυτότητάς της και των αναπτυξιακών προοπτικών της.

Ο οικισμός του Μαραθίου διαθέτει οικονομία που βασίζεται κατά κόρον στο θερινό τουρισμό.

Η παραλιακή ζώνη της περιοχής είναι εξαιρετικά δημοφιλής και προσελκύει αρκετούς επισκέπτες και παραθεριστές. Για την εξυπηρέτηση των επισκεπτών έχουν αναπτυχθεί τουριστικές μονάδες, ταβέρνες – καφέ κλπ.

Ο οικισμός του Μαραθίου δεν διαθέτει αποχετευτικά δίκτυα(μέχρι τώρα-βρίσκονται στην φάση κατασκευής) και η διάθεση των λυμάτων τους γίνεται ως επί το πλείστον σε απορροφητικούς βόθρους, συνιστώντας μόνιμη απειλή για το περιβάλλον, την παραλιακή ζώνη, την ταυτότητα της περιοχής, των αναπτυξιακών προοπτικών της και τη δημόσια υγεία.

Επομένως, με δεδομένη και την προβλεπόμενη περαιτέρω ανάπτυξη της περιοχής, επιβάλλεται η εξεύρεση άμεσης λύσης, με την κατασκευή και τη λειτουργία κατάλληλων έργων διαχείρισης των λυμάτων που θα καλύψουν τις ανάγκες της περιοχής κατά τα επόμενα χρόνια. Συγκεκριμένα απαιτείται η κατασκευή νέων υποδομών συλλογής και μεταφοράς των λυμάτων στις περιοχές που σήμερα δεν διαθέτουν και η κατασκευή σύγχρονης Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων για την επεξεργασία τους. Στη συνέχεια απαιτείται η δημιουργία κατάλληλων υποδομών διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων, με τρόπο ασφαλή και περιβαλλοντικά αποδεκτό, προκειμένου το μεγαλύτερο δυνατό μέρος τους να επαναχρησιμοποιείται για ωφέλιμο σκοπό (κάλυψη αρδευτικών αναγκών σε καλλιέργειες της περιοχής), ειδικά κατά τους θερινούς μήνες που οι αρδευτικές ανάγκες είναι αυξημένες.

Τα παραπάνω αναδεικνύουν τη σκοπιμότητα του υπό μελέτη έργου. Οι γενικοί στόχοι του είναι:

α) η κατασκευή και λειτουργία σύγχρονης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (Ε.Ε.Λ.), που θα λειτουργεί οικονομικά, απλά, αποδοτικά, χωρίς πολύπλοκα μηχανήματα που απαιτούν συστηματική συντήρηση, με ελάχιστη εποπτεία, ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, με ελαστικότητα στις φορτίσεις και στις εποχιακές διακυμάνσεις και με ελάχιστες οχλήσεις και επιπτώσεις για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

β) Ο αποτελεσματικός καθαρισμός των λυμάτων με απομάκρυνση, στον επιθυμητό βαθμό, όλων σχεδόν των κύριων και δευτερευόντων ρυπαντικών συστατικών των λυμάτων, (όπως των αιωρούμενων στερεών, οργανικού φορτίου, ενώσεων αζώτου και φωσφόρου, ίχνη ανόργανων και οργανικών στοιχείων και ουσιών, μικροοργανισμών και άλλων ρυπαντικών συστατικών).

γ) Η εκπλήρωση της βούλησης που υπάρχει σε ευρωπαϊκό και τοπικό επίπεδο για επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων, που πλέον έχει εκφραστεί και σε επίπεδο νομοθεσίας. Επισημαίνεται ότι τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, όσο και η ελληνική νομοθεσία με την ΚΥΑ 5673/400/97, αναφέρουν για τα επεξεργασμένα λύματα ότι «υποβάλλονται όταν κρίνεται σκόπιμο κατά προτεραιότητα σε επαναχρησιμοποίηση» (ΚΥΑ 5673/400/97, άρθ. 10). Πλέον, με τη θέσπιση και εφαρμογή και της ΚΥΑ οικ. 145116/2011 (ΦΕΚ 354-Β-2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων & διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», δίδονται οι κατάλληλες προδιαγραφές και μέτρα ώστε η εκροή της Ε.Ε.Λ. να μπορεί διατεθεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα στη γύρω περιοχή για επαναχρησιμοποίηση.

δ) Η παραγωγή εκροής υψηλής ποιότητας, κατάλληλης για επαναχρησιμοποίηση σε αρδεύσεις καλλωπιστικών ή καλλιεργειών, χωρίς μεγάλα δίκτυα και αντλιοστάσια μεταφοράς της εκροής και η εξοικονόμηση υδατικών πόρων που μπορεί να επιτευχθεί με την επαναχρησιμοποίηση.

Εκτός των παραπάνω στόχων, η κατασκευή και λειτουργία των παραπάνω υποδομών διαχείρισης των λυμάτων, θα συμβάλλει:



α) Στη διαφύλαξη του φυσικού, ανθρωπογενούς και αρχαιολογικού περιβάλλοντος της περιοχής, και της ιδιαίτερης ταυτότητάς της, που αποτελεί πολύτιμη κληρονομιά για τον τόπο

β) Στην προστασία της δημόσιας υγείας

γ) Στην ενδυνάμωση της τοπικής οικονομίας, της ήπιας τουριστικής ανάπτυξης και της γενικότερης αναπτυξιακής πορείας της περιοχής

Γενικότερα, η ανάπτυξη σωστών και λειτουργικών υποδομών διαχείρισης των λυμάτων αποτελούν σήμερα κρίσιμο παράγοντα για τη βιωσιμότητα της περιοχής. Δεν είναι θέμα απλά κάλυψης τυπικών υποχρεώσεων, αλλά ουσιαστικό εργαλείο για τη βιώσιμη ανάπτυξή της.

### **2.8.2. Συσχέτιση του έργου με άλλα έργα**

Το υπό μελέτη έργο αποτελεί βασικό έργο υποδομής της περιοχής, απαραίτητο για την ομαλή διαβίωση, την προστασία του φυσικού και ανθρωπογενούς του περιβάλλοντος, της δημόσιας υγείας και των αναπτυξιακών προοπτικών της. Ο σχεδιασμός της παρούσας αφορά μόνο το στάδιο επεξεργασίας των παραγόμενων λυμάτων αστικού τύπου. Είναι συμβατό τόσο με τα υπόλοιπα έργα υποδομής της περιοχής, όσο και με το χαρακτήρα της τελευταίας και τις δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην περιοχή.

Το υπό μελέτη έργο δε συσχετίζεται με τις υφιστάμενες υποδομές διαχείρισης των λυμάτων της περιοχής, καθότι αυτές δεν υφίστανται και το σύνολο των υποδομών είναι νέο, έχει σχεδιαστεί ώστε να εξυπηρετεί και να συνεργάζεται με την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων και αυτή τη στιγμή είναι στη φάση κατασκευής. Επιπλέον, δεν προβλέπεται να δημιουργηθεί οποιοδήποτε πρόβλημα κατά τη διάρκεια κατασκευής των νέων υποδομών.



### **2.8.3. Στόχος μελέτης**

Στόχος της παρούσας μελέτης, είναι η συγκριτική ανάλυση δύο διαφορετικών τεχνολογιών για τις ίδιες συνθήκες έργου. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιείται για τον βιολογικό του οικισμού του Μαραθίου, και συγκρίνει τα αποτελέσματα των δύο προσεγγίσεων τόσο με βάση το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του σε βάθος χρόνου, όσο και σε απαιτήσεις και επιπτώσεις που απορρέουν από την κάθε επιλογή.

Πρόκειται για δύο τελείως διαφορετικές φιλοσοφίες στην επεξεργασία λυμάτων, καθώς η πρόταση επεξεργασίας με MBBR χρησιμοποιεί κατά κόρον μηχανολογικό εξοπλισμό, προκατασκευασμένες μονάδες και απαιτητικό αυτοματισμό και αισθητήρες, ενώ η πρόταση του τεχνητού υγροβιότοπου στηρίζεται κυρίως στις φυσικές διεργασίες και υλικά.

Η σύγκριση αφορά τόσο στην δυσκολία κατασκευής και λειτουργίας, αλλά και στις απαιτήσεις σε προσωπικό, σε αναλώσιμα, σε απαιτήσεις έκτασης γης καθώς και στις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.

### **3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Για την σύνταξη της παρούσας μελέτης, ακολουθήθηκε ο παρακάτω τρόπος εργασίας όπως περιγράφεται. Αρχικά, συλλέχθηκαν κάποια βασικά δεδομένα όπως το κλίμα, το μέγεθος του έργου και ο χαρακτήρας της περιοχής. Στη συνέχεια, μελετήθηκαν τα ρυπαντικά και υδραυλικά φορτία σχεδιασμού της εγκατάστασης, ορίστηκαν τα ποιοτικά στοιχεία εκροής σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Πίνακα 2 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011 (ΦΕΚ 354 Β), και προσδιορίστηκαν οι δύο τεχνολογίες σχεδιασμού για την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του οικισμού του Μαραθίου.

Οι δύο τεχνολογίες που μελετήθηκαν είναι η ΕΕΛ με προκατασκευασμένες μονάδες MBBR(Moving Bed Bio-reactor) και του τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής σε παραλλαγή του γαλλικού τύπου με τεχνητό αερισμό. Για τους απαραίτητους υπολογισμούς τόσο σε διαστασιολόγηση(υγειονομολογικοί υπολογισμοί, διαστασιολόγηση δεξαμενών, διαστασιολόγηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού), όσο και σε υπολογισμούς προμετρήσεων και ενεργειακών καταναλώσεων, χρησιμοποιήθηκαν υπολογιστικά φύλλα. Για την σύνταξη των σχεδίων χρησιμοποιήθηκε λογισμικό CAD 2-D.

Για την κοστολόγηση των έργων πολιτικού μηχανικού χρησιμοποιήθηκαν τα τιμολόγια των δημοσίων έργων του υπουργείου, ενώ για την κοστολόγηση του εξοπλισμού οι τιμές έχουν παρθεί από καταλόγους εμπορίου ή/και προσφορές από προμηθευτές. Σχετικά με την εκτίμηση του κόστους λειτουργίας των εγκαταστάσεων έχουν χρησιμοποιηθεί τιμές αγοράς, καθώς και έχουν γίνει και κάποιες υποθέσεις/παραδοχές.

Επιπλέον, των παραπάνω πραγματοποιήθηκε και μία εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τις δύο τεχνολογίες η οποία και παρατίθεται στο κεφάλαιο 6, και στην οποία γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις στο περιβάλλον τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά την λειτουργία της εγκατάστασης για κάθε τεχνολογία.

Μετά το πέρας των υπολογισμών, της διαστασιολόγησης των εγκαταστάσεων, τον σχεδιασμό, τις προμετρήσεις, την κοστολόγηση των έργων, και εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση των δύο τεχνολογιών όπως αναλύεται στο κεφάλαιο 7 της παρούσας, και στην οποία λαμβάνονται υπόψη τόσο οικονομικά όσο και ποιοτικά κριτήρια.

## **4. ΒΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

### **4.1. Είδος και μέγεθος του έργου**

Το έργο αφορά το στάδιο επεξεργασίας λυμάτων (όχι συλλογή & διάθεση) για την περιοχή του Μαραθίου Δήμου Χανίων, που βρίσκεται στα νοτιοανατολικά παράλια της χερσονήσου του Ακρωτηρίου. Το έργο σχεδιάζεται για την εξυπηρέτηση 1.200 ισοδύναμων κατοίκων της περιοχής μελέτης για χρονικό ορίζοντα 20ετίας (Α' φάση). Η Β' Φάση (40ετία) δεν λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα μελέτη.

### **4.2. Γεωγραφική θέση και υπαγωγή του έργου**

#### **4.2.1. Θέση**

Η θέση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων βρίσκεται σε ύψωμα στα βορειοανατολικά του Μαραθίου, με ξηρική, χαμηλή βλάστηση, ενώ δεν έχει ορατότητα από την παραλιακή ζώνη της περιοχής και γενικά τις κατοικίες που έχουν αναπτυχθεί.

#### **4.2.2. Διοικητική υπαγωγή**

Η περιοχή της μελέτης διοικητικά υπάγεται στην δημοτική ενότητα Ακρωτηρίου του Δήμου Χανίων, ο οποίος βρίσκεται στην Περιφερειακή Ενότητα Χανίων της Περιφέρειας Κρήτης.

### **4.3. Έδαφος**

Τα χαρακτηριστικά του εδάφους του Μαραθίου, είναι κοινά με του υπόλοιπου Ακρωτηρίου και είναι κυρίως η μεγάλη περατότητα και η καλή στράγγιση. Ως απόρροια των παραπάνω σπάνια παρατηρούνται μεγάλες επιφανειακές απορροές (πχ. Λίμνες) παρά μόνο σε ακραία φαινόμενα κι αυτό διότι το μεγαλύτερο μέρος της βροχής απορροφάται εύκολα από το έδαφος.

Τέλος, το έδαφος δεν θεωρείται συνεχές (εκτός από την περιοχή του Σταυρού που έχει αμμώδες έδαφος), καθώς το βραχώδες έδαφος αποτελεί το 50-70% της επιφάνειας του.

#### **4.4. Κλίμα**

Το κλίμα του Ακρωτηρίου χαρακτηρίζεται ως εύκρατο-μεσογειακό και είναι αρκετά ξηροθερμικό. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει ηλιοφάνεια το 70% των ημερών του έτους. Ο χειμώνας είναι ήπιος σχετικά, ενώ το καλοκαίρι είναι θερμό και ξηρό. Τα κύρια χαρακτηριστικά του καιρού από τον μήνα Νοέμβριο ως και το Μάρτιο είναι το κρύο και οι συχνές βροχοπτώσεις, ενώ αντίστοιχα από το Μάρτιο έως και τον Αύγουστο παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας, που ακολουθείται από σταθερή μείωση μέχρι τον Ιανουάριο.

Σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό Χανίων στο Πολυτεχνείο στο Ακρωτήρι, για το έτος 2018, η μέγιστη θερμοκρασία και η ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Ιανουάριο ήταν 18,6 και 5,7 βαθμοί Κελσίου αντίστοιχα. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για το έτος 2018 ήταν 46,33 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης για το ίδιο έτος 556,00mm. Επιπλέον ο άνεμος στην περιοχή του Ακρωτηρίου είναι Βορειοδυτικός, εκτός από τους χειμερινούς μήνες που ο άνεμος είναι Νότιος, με μέση ένταση 5 μποφόρ.

#### **4.5. Υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία λυμάτων**

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα υδραυλικά φορτία λυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη και σχεδιασμό των δύο διαφορετικών τεχνολογιών.

**Πίνακας 3 : Υδραυλικά φορτία λυμάτων**

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΜΟΝΑΔΑ	20ετία	
			ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
<b>ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ</b>	<b>PE</b>	<b>ισοδ. κάτοικος</b>	<b>200</b>	<b>1.200</b>
ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΥΜΑΤΩΝ / ΚΑΤΟΙΚΟ	q	lt/d/PE	120,00	135,00
ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΥΜΑΤΩΝ / ΚΑΤΟΙΚΟ	q <sub>max</sub>	lt/d/PE	180,00	200,00
<b>ΜΕΣΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ</b>	<b>Q<sub>d</sub></b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>24,00</b>	<b>162,00</b>
ΜΕΣΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	Q <sub>d</sub>	lt/sec	0,28	1,88
<b>ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ</b>	<b>Q<sub>d,max</sub></b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>36,00</b>	<b>240,00</b>
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	Q <sub>d,max</sub>	lt/sec	0,42	2,78
ΜΕΣΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (μέγιστο ημερήσιο υδραυλικό φορτίο ανηγμένο σε ωριαία βάση)	Q <sub>h</sub>	m <sup>3</sup> /h	1,50	10,00
ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΑΙΧΜΗΣ --- $P = 1,5 + 2,5(Q_{d,max})^{-1/2}$	k	-	5,37	3,00
ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΑΙΧΜΗΣ ΛΟΓΩ ΔΙΚΤΥΟΥ	k <sub>δίκτ.</sub>	-	3,00	3,00
<b>ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ</b>	<b>Q<sub>h,max</sub></b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>4,50</b>	<b>30,00</b>
ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	Q <sub>h,max</sub>	lt/sec	1,25	8,33

Ο Βιολογικός Καθαρισμός της περιοχής Μαραθίου θα δέχεται λύματα που προέρχονται κυρίως από υπολείμματα τουαλέτας, απόνερα λουτρού και κουζίνας, απόνερα καθαριότητας κλπ. (οικιακά ή αστικά λύματα). Σε αυτά περιλαμβάνονται οργανικές ουσίες σε διάλυση ή αιωρούμενα σωματίδια, λίπη-έλαια, ανόργανες ουσίες και διαλυμένα αέρια. Δεν προβλέπεται όμως να επεξεργάζεται βιομηχανικά λύματα, τα οποία αν διοχετευτούν στο δίκτυο χωρίς την προβλεπόμενη από τον Νόμο προεπεξεργασία είναι δυνατόν να επιφέρουν ανυπολόγιστες και μόνιμες βλάβες στην εγκατάσταση. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται ενδεικτικά μια τυπική σύνθεση των οικιακών λυμάτων (βασισμένη σε ποσότητα λυμάτων 180 λίτρα/κατ.-ημ.).

**Πίνακας 4 : Τυπική σύνθεση οικιακών – αστικών λυμάτων (180 λίτ./ κατ.-ημ.)**

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (γραμ/κατ-ημ)	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ (mg/l)
Ολικά στερεά	115-170	680-1000
Πτητικά στερεά	65-85	380-500
Αιωρούμενα στερεά	35-50	200-290
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο	50-70	290-410
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο	115-125	680-730
Ολικό Άζωτο	6-17	35-100
Αμμωνία	1-3	6-18
Νιτρικά & Νιτρώδη	<1	<5
Ολικός Φώσφορος	1-4	6-24
Ολικά κωλοβακτηρίδια		$10^{10} - 10^{12}$ απ/ml
Κοπρανώδη κωλοβακτηρίδια		$10^8 - 10^{10}$ απ/ml



### Ποιοτικά στοιχεία των λυμάτων

Τα ρυπαντικά φορτία των λυμάτων υπολογίζονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 5 : Ρυπαντικά φορτία λυμάτων**

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΜΟΝΑΔΑ	20 ετία	
			ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	PE	κάτοικος	200	1.200
ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΥΜΑΤΩΝ / ΚΑΤΟΙΚΟ	q	lt/d/PE	120,00	135,00
ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΥΜΑΤΩΝ / ΚΑΤΟΙΚΟ	q <sub>max</sub>	lt/d/PE	180,00	200,00
ΜΕΣΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	Q <sub>d</sub>	m <sup>3</sup> /d	24,00	162,00
ΜΕΣΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	Q <sub>d</sub>	lt/sec	0,28	1,88
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	Q <sub>d,max</sub>	m <sup>3</sup> /d	36,00	240,00
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	Q <sub>d,max</sub>	lt/sec	0,42	2,78
ΜΕΣΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (μέγιστο ημερήσιο υδραυλικό φορτίο ανηγμένο σε ωριαία βάση)	Q <sub>h</sub>	m <sup>3</sup> /h	1,50	10,00
ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΑΙΧΜΗΣ --- $P = 1,5 + 2,5(Q_{d,max})^{-1/2}$	k	-	5,37	3,00
ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΑΙΧΜΗΣ ΛΟΓΩ ΔΙΚΤΥΟΥ	k <sub>δίκτ.</sub>	-	3,00	3,00
ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	Q <sub>h,max</sub>	m <sup>3</sup> /h	4,50	30,00

ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	$Q_{h,max}$	lt/sec	1,25	8,33
ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΚΑΤΟΙΚΟ ΠΡΙΝ ΤΗ ΣΗΠΤΙΚΗ		gr BOD <sub>5</sub> /PE- d	60	60
ΟΛΙΚΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	Lbod	kgr BOD <sub>5</sub> /d	12,0	72,0
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΝΑ Ι.Κ.		gr SS/PE- d	70	70
ΑΖΩΤΟ ΑΝΑ Ι.Κ.		gr TN/PE- d	8	8
ΦΩΣΦΟΡΟΣ ΑΝΑ Ι.Κ.		gr TP/PE- d	2	2
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ	Lss	kgr SS/d	14,00	84,00
ΑΖΩΤΟ	Ln	kgr TN/d	1,60	9,60
ΦΩΣΦΟΡΟΣ	Lp	kgr TP/d	0,50	3,00

### **Αποδέκτης επεξεργασμένων και ποιοτικά στοιχεία εκροής**

Για την διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων, έχει επιλεχθεί η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων προς άρδευση δασικής έκτασης, η οποία αποτελείται κυρίως από σκληρόφυλλα ξηροφυτικά είδη.

Η απαιτούμενη ποιότητα εκροής που επιλέγεται είναι αυτή του Πίνακα 2 του Παραρτήματος Ι της νέας ΚΥΑ 145116/2011 (ΦΕΚ 354 Β).

Τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων μετά και την απολύμανση θα είναι:

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο	BOD <sub>5</sub>	≤ 10 mg/l (για 80% δειγμάτων)
Αιωρούμενα στερεά	S.S.	≤ 10 mg/l (για 80% δειγμάτων)
Εντερικά κολοβακτηρίδια	Escherichia coli	≤ 5 αποικ./100 ml (για 80% δειγμάτων & ≤ 50 αποικ./100 ml (για 95% δειγμάτων )
Θολότητα	N.T.U.	≤ 2 mg/l (διάμεση τιμή)
Ολικό Άζωτο	TN	≤ 20 mg/l
Ολικός Φώσφορος	TP	≤ 10 mg/l

## **5. ΜΕΛΕΤΗ MBBR**

### **5.1. Περιγραφή προτεινόμενων έργων εγκατάστασης**

Τα λύματα της ευρύτερης περιοχής της ΤΚ Μαραθίου και Λουτρακίου συγκεντρώνονται με αντλήσεις και μέσω του κεντρικού αγωγού προσαγωγής, καταλήγουν απευθείας στην μονάδα προεπεξεργασίας της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Η μονάδα προεπεξεργασίας είναι compact και περιλαμβάνει εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση και συμπίεση εσχαρισμάτων όπου καταλήγουν σε κάδους συλλογής και απόρριψης.

Τα προεπεξεργασμένα λύματα, καταλήγουν σε δεξαμενή εξισορρόπησης και τροφοδοσίας από σκυρόδεμα. Στην δεξαμενή αυτή, είναι εγκατεστημένα τα απαραίτητα αντλητικά συγκροτήματα λυμάτων, τα οποία είναι τρία δίδυμα στο σύνολο, και όπου το κάθε ένα, μέσω κατάλληλου αυτοματισμού, τροφοδοτεί τις γραμμές βιολογικής επεξεργασίας. Στην εγκατάσταση, προβλέπεται η τοποθέτηση τριών ίδιων γραμμών επεξεργασίας, με χρήση προκατασκευασμένων compact μονάδων MBBR (σε container). Οι γραμμές είναι σε παράλληλη λειτουργία, σε περιόδους αιχμής μπορεί να λειτουργούν και οι τρεις, ενώ σε περιόδους χαμηλής φόρτισης, για παράδειγμα το χειμώνα, επαρκεί η λειτουργία της μίας.

Η περίσσεια ιλύς οδηγείται, μέσω αντλιών, σε δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης και τροφοδοσίας compact μονάδας επεξεργασίας ιλύος, όπου μετά την επεξεργασία της, συγκεντρώνεται και απορρίπτεται.

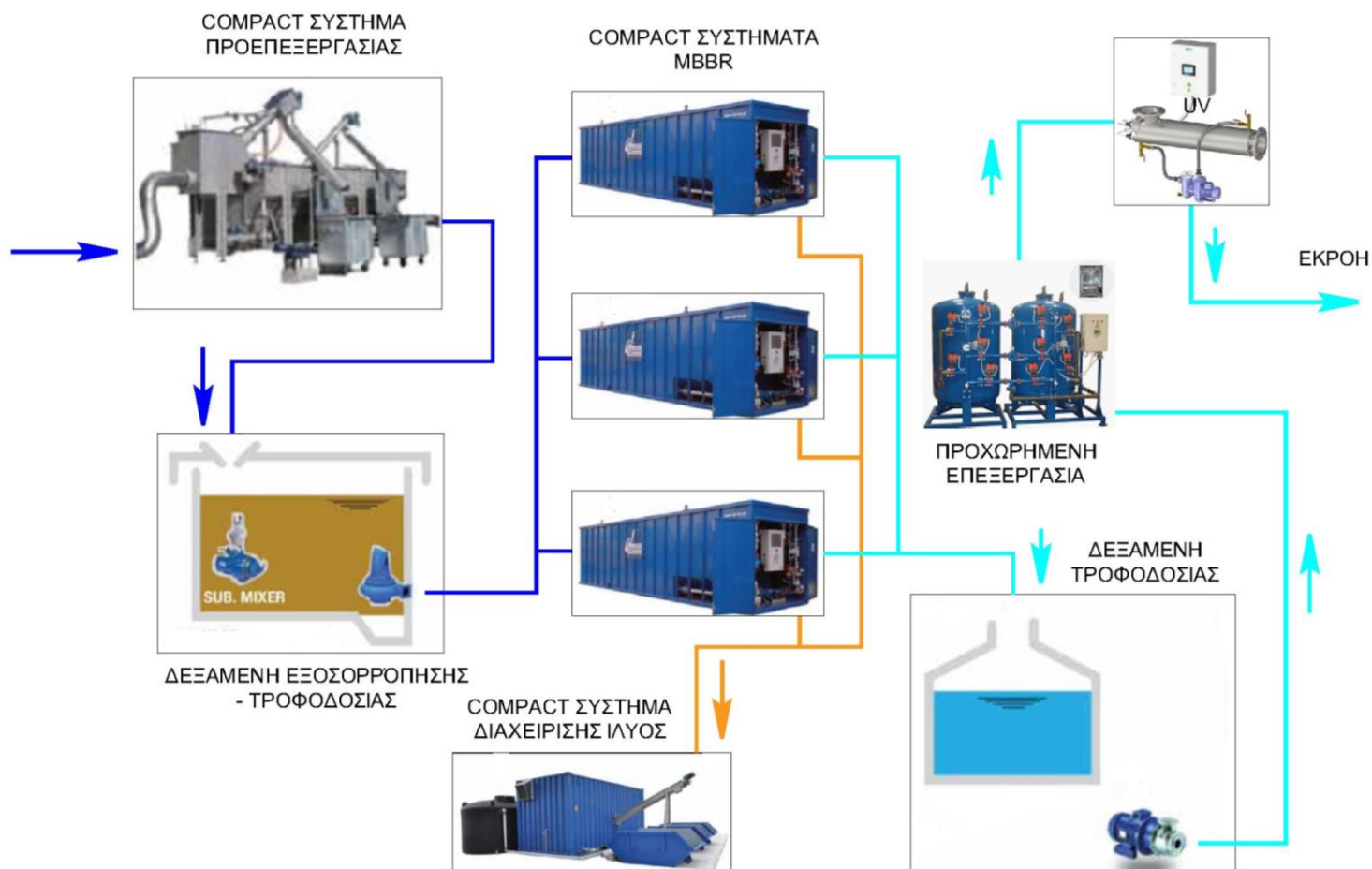
Τα επεξεργασμένα λύματα, καταλήγουν σε δεξαμενή τροφοδοσίας της μονάδας απολύμανσης. Η απολύμανση που επιλέγεται είναι με τεχνολογία υπεριώδους ακτινοβολίας, σε κλειστό σύστημα. Τα λύματα, επαρκώς επεξεργασμένα σύμφωνα με την απαιτούμενη ποιότητα εκροής, αποθηκεύονται σε δεξαμενή καθαρών.

Ο απαραίτητος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός όπως ηλεκτρολογικοί πίνακες, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος εφεδρικής λειτουργίας κ.α. στεγάζονται σε

οικίσκο που προβλέπεται να κατασκευαστεί στην οροφή των δεξαμενών σύμφωνα με τα σχέδια.

Τέλος, προβλέπεται να υπάρξει κατάλληλη διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου, όπου περιλαμβάνει περίφραξη με συρματοπλέγμα, περιμετρική δενδροφύτευση καθώς και κατασκευή εσωτερικής οδοποιίας για την εύκολη πρόσβαση σε όλα τα μέρη της εγκατάστασης.

## 5.2. Διάγραμμα ροής εγκατάστασης



**Εικόνα 9 : Διαγράμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων με τεχνολογία MBBR με προκατασκευασμένες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας**

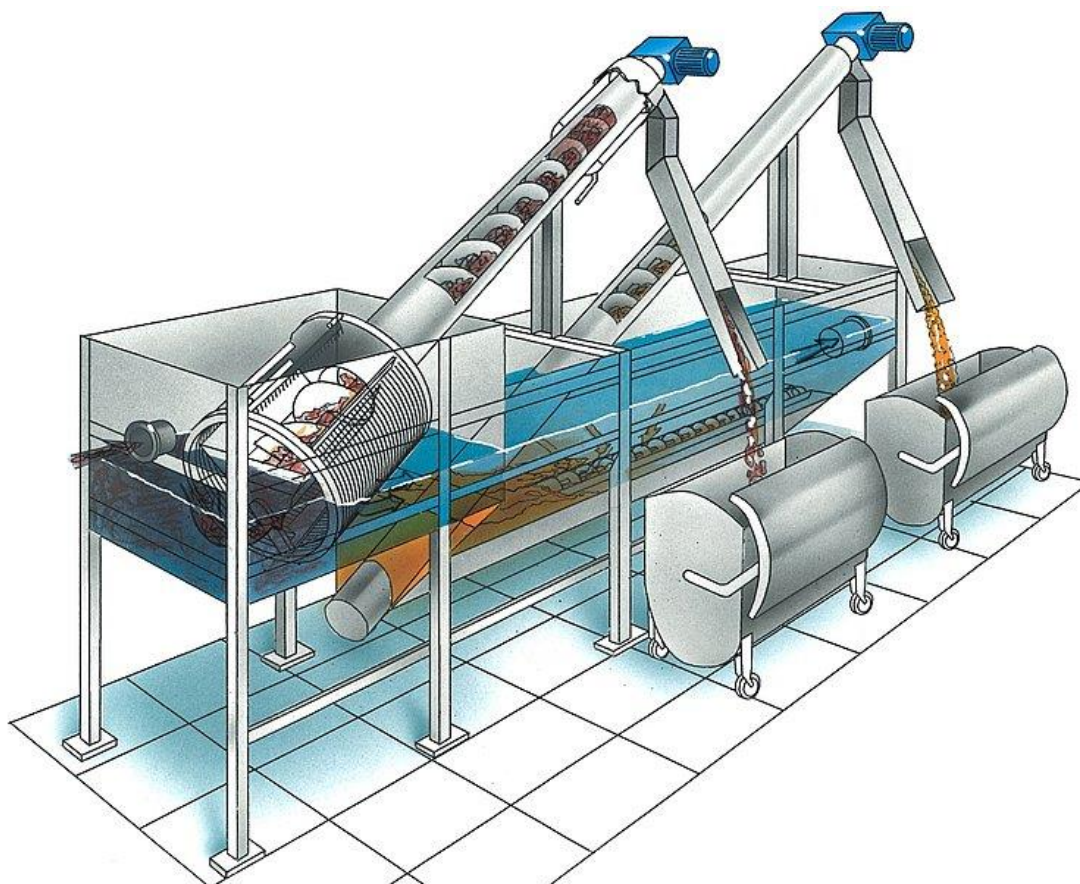
### 5.3. Αναλυτική Περιγραφή Έργων

#### Προεπεξεργασία Λυμάτων

Για την απαραίτητη προεπεξεργασία των λυμάτων θα εγκατασταθεί compact κλειστό προκατασκευασμένο σύστημα προεπεξεργασίας παροχής σχεδιασμού 9 l/s.

Το συγκρότημα προεπεξεργασίας συνδυάζει τις κάτωθι λειτουργίες:

- Εσχάρωση και συμπίεση των εσχαρισμάτων
- Εξαγωγή και απόρριψη των εσχαρισμάτων σε κάδο
- Διαχωρισμό, πλύση και αφυδάτωση της άμμου
- Εξαγωγή και απόρριψη της άμμου σε κάδο
- Απομάκρυνση λιπών & ελαίων
- Εξαγωγή και απόρριψη των λιπών & ελαίων σε δοχείο



**Εικόνα 10 : Τυπική διάταξη compact συστήματος προεπεξεργασίας**



Τα ανεπεξέργαστα λύματα φτάνουν στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων με αντλιοστάσια (όχι βαρυτικά), επομένως δεν απαιτείται η κατασκευή νέου αντλιοστασίου ανύψωσης.

Η μονάδα προεπεξεργασίας έχει αυτοματοποιημένη λειτουργία που ρυθμίζεται από τον αυτοματισμό της εγκατάστασης. Λειτουργεί αυτόνομα, χωρίς να απαιτείται επιτήρηση από προσωπικό.

Τέλος, τα προεπεξεργασμένα και λεπτοκοσκινισμένα λύματα καταλήγουν με βαρύτητα στην δεξαμενή εξισορρόπησης – τροφοδοσίας της βιολογικής επεξεργασίας.

### **Εξισορρόπηση λυμάτων – αντλιοστάσιο τροφοδοσίας βιολογικής βαθμίδας**

Όπως προαναφέρθηκε, τα προεπεξεργασμένα λύματα καταλήγουν με στην δεξαμενή εξισορρόπησης από οπλισμένο σκυρόδεμα, η οποία θα είναι διαστάσεων 8,00 x 8,00 x 3,00 m (L x W x H) και ωφέλιμου όγκου αποθήκευσης 160 m<sup>3</sup>.

Ο επιλεγόμενος ωφέλιμος όγκος αντιστοιχεί σε ~ 100% της μέσης ημερήσιας παροχής του Έργου (162 m<sup>3</sup>/d).

Η χρήση της δεξαμενής εξισορρόπησης αποσκοπεί στην εξομάλυνση των ημερήσιων υδραυλικών και ρυπαντικών διακυμάνσεων των εισερχόμενων λυμάτων, στην επαρκή ανάμιξή τους για την αποτροπή της καθίζησης στερεών και την παραγωγή ενός επαρκώς ομογενοποιημένου (ομοιόμορφου) ρεύματος τροφοδοσίας προς την ακολουθούσα βαθμίδα βιολογικής επεξεργασίας.

Η δεξαμενή εξισορρόπησης των λυμάτων θα εξοπλιστεί με τρία ζεύγη υποβρύχιων αντλιών, (3+3 εφεδρικές), με αυτόματα εναλλασσόμενη λειτουργία για την ομοιόμορφη φθορά τους. Έκαστο ζεύγος θα τροφοδοτεί και το αντίστοιχο συγκρότημα βιολογικής επεξεργασίας κατάντη, με την παροχή σχεδιασμού των αντλιών θα είναι 10 m<sup>3</sup>/h.

Επιπλέον, επειδή ο ενεργός όγκος της δεξαμενής ενώ έχει ιδανικό ενεργό όγκο για τις παροχές του Θέρους, θεωρείται μεγάλος για τις παροχές του Χειμώνα, επομένως, κρίνεται αναγκαία η εγκατάσταση υποβρύχιου αεριστήρα για τον προ-αερισμό των λυμάτων καθ' όλη την περίοδο του χειμώνα, και τα βράδια το καλοκαίρι, ώστε λόγω των μεγαλύτερων περιόδων παραμονής των λυμάτων, σε αυτές τις περιόδους, να μην δημιουργούνται συνθήκες σήψης.

### **Βιολογική Επεξεργασία Λυμάτων - τεχνολογία MBBR-IFAS**

Για τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων, επιλέχθηκε η τεχνολογία του υβριδικού αντιδραστήρα αιωρούμενης-προσκολλημένης βιομάζας MBBR-IFAS με προκατασκευασμένες μονάδες.

Τα κριτήρια επιλογής της τεχνολογίας αυτής με αυτή τη φιλοσοφία είναι:

- Η δυνατότητα προσαρμογής σε σημαντικές εποχικές αυξομειώσεις στο υδραυλικό και ρυπαντικό φορτίο των προς επεξεργασία λυμάτων, γεγονός που παρατηρείται πολύ συχνά σε μικρούς ή τουριστικούς οικισμούς και κοινότητες
- Η σημαντική εξοικονόμηση όγκου βιοαντιδραστήρων και δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης καθώς και η ευκολία κατασκευής και εγκατάστασης
- Η χαμηλή παραγωγή περίσσειας ιλύος προς απόρριψη σε σχέση με μία μονάδα επεξεργασίας λυμάτων με τεχνολογία ενεργού ιλύος
- Ο μέγιστος δυνατός αυτοματισμός στη λειτουργία, χωρίς την ανάγκη για ανθρώπινη, επιτόπου, παρουσία για έλεγχο της εγκατάστασης
- Η ευκολία στην παρακολούθηση και ρύθμιση των διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων με την εγκατάσταση του απαραίτητου αυτοματισμού
- Η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών οχλήσεων (οσμή, θόρυβος κλπ)
- Η εγγυημένη λειτουργία της βιολογικής επεξεργασίας (για δεδομένη εισροή) από τον κατασκευαστή

Για την κάλυψη των απαιτήσεων σχεδιασμού της βιολογικής βαθμίδας του οικισμού του Μαραθίου θα εγκατασταθούν τρεις (3) ανεξάρτητες ισοδύναμες γραμμές βιολογικής επεξεργασίας, ικανότητας εξυπηρέτησης 400 ΙΚ και παροχής σχεδιασμού 80 m<sup>3</sup>/day έκαστη, που θα λειτουργούν εν παραλλήλω.

Κάθε συγκρότημα θα αποτελείται από μια αυτόνομη μονάδα που έχει τη μορφή και τις διαστάσεις ISO-standard container. Τα συγκροτήματα θα είναι διαμερισματοποιημένα και χρησιμοποιούν πολλαπλούς βιοαντιδραστήρες που λειτουργούν υπό καθεστώς εμβολικής ροής (plug flow),

Το compact σύστημα βιολογικής επεξεργασίας θα περιλαμβάνει τα παρακάτω διακριτά διαμερίσματα:

- Ανοξικό διαμέρισμα αντίδρασης MBBR-IFAS για προηγηθείσα απονιτροποίηση (προαπονιτροποίηση)
- 1ο αερόβιο διαμέρισμα αντίδρασης MBBR-IFAS για κύρια απομάκρυνση οργανικού άνθρακα
- 2ο αερόβιο διαμέρισμα αντίδρασης MBBR-IFAS για συμπληρωματική απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και νιτροποίηση
- Διαμέρισμα διαύγασης με λαμέλες για διαχωρισμό αιωρούμενων στερεών από την επεξεργασμένη εκροή
- Διαμέρισμα μηχανοστασίου για εγκατάσταση του μηχανολογικού εξοπλισμού και του ηλεκτρολογικού πίνακα ελέγχου



**Εικόνα 11 : Τυπική διάταξη compact μονάδας MBBR σε container**

Στο ανοξικό διαμέρισμα αντίδρασης που προηγείται, λαμβάνει χώρα προαπονιτροποίηση (predenitrification) των λυμάτων. Για το σκοπό αυτό, το νιτροποιημένο μικτό υγρό ανακυκλοφορείται από το 3<sup>ο</sup> αερόβιο διαμέρισμα στο τμήμα εισόδου του ανοξικού διαμερίσματος, όπου αναμιγνύεται με τα τροφοδοτούμενα λύματα από τη δεξαμενή εξισορρόπησης. Η ανάμιξη εντός του ανοξικού διαμερίσματος θα πραγματοποιείται μέσω κατάλληλου υποβρύχιου αναδευτήρα οριζόντιας ροής τύπου προπέλας.

Η ταχύτητα περιστροφής της έλικας του αναδευτήρα θα ρυθμίζεται μέσω μετατροπέα συχνότητας στροφών (inverter), έτσι ώστε να μπορεί να ανταπεξέρχεται σε αυξομειώσεις της παροχής αλλά και για τη λειτουργία το χειμώνα που, προφανώς, θα έχει μικρότερες ανάγκες. Ο αναδευτήρας είναι εγκατεστημένος σε κατάλληλο βάθος στο τμήμα εισόδου του ανοξικού διαμερίσματος

Στο 1<sup>ο</sup> αερόβιο διαμέρισμα αντίδρασης πραγματοποιείται το μεγαλύτερο ποσοστό της αποδόμησης του οργανικού φορτίου των λυμάτων ( $BOD_5$  και COD). Ένα μέρος του οργανικού φορτίου οξειδώνεται απευθείας προς διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) και νερό προς κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μικροοργανισμών, ενώ ένα άλλο μέρος ενσωματώνεται στη συντιθέμενη

βιομάζα (αφομοίωση). Το διαμέρισμα είναι πληρωμένο σε ποσοστό περίπου 65% με το προαναφερθέν ειδικό πλαστικό υλικό, ενώ η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου πραγματοποιείται τόσο από την αιωρούμενη βιομάζα, όσο και από το βιοφίλμ.

Στο 2<sup>ο</sup> αερόβιο διαμέρισμα αντίδρασης καταναλώνεται περαιτέρω το οργανικό φορτίο που περιέχεται στην εκροή του 1<sup>ου</sup> αερόβιου διαμερίσματος. Η διεργασία είναι ίδια με αυτή που περιγράφηκε προηγουμένως. Πέραν της συμπληρωματικής αποδόμησης του οργανικού φορτίου που προαναφέρθηκε, σε αυτό το δεύτερο αερόβιο διαμέρισμα, λαμβάνει χώρα και νιτροποίηση των λυμάτων.

Στο ίδιο διαμέρισμα, λαμβάνει χώρα επίσης και η δοσομέτρηση του απαραίτητου κροκιδωτικού για να επιτευχθεί η χημική αποφωσφόρωση των λυμάτων. Το προστιθέμενο διάλυμα χλωριούχου πολυαργιλίου (Poly-Aluminum Chloride, PACl) αντιδρά με τα φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) που περιέχονται στο μικτό υγρό, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται δυσδιάλυτα φωσφορικά άλατα του αργιλίου και την παράλληλη κατανάλωση αλκαλικότητας.

Η χημική λάσπη που προκύπτει, γίνεται μέρος των αιωρούμενων στερεών του ανάμεικτου υγρού (MLSS), ενώ αυξάνει σημαντικά τη συγκέντρωση των αδρανών στερεών στο εσωτερικό των αντιδραστήρων. Τελικά, τα χημικά στερεά που παράγονται, συγκαθιζάνουν με τα υπόλοιπα αιωρούμενα στερεά (βιολογικά, αλλά και μη) στο ακόλουθο διαμέρισμα διαύγασης και απομακρύνονται από το σύστημα μέσω της διεργασίας απόρριψης λάσπης.

Στο 3<sup>ο</sup> διαμέρισμα αντίδρασης, τα λύματα αφήνονται να ηρεμήσουν για ένα χρονικό διάστημα, έτσι ώστε η ενεργή ιλύς να καθιζάνει στον πυθμένα της δεξαμενής με τη βοήθεια των λαμέλων.

Από το θάλαμο αυτό αναρροφά και η αντλία ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού, όπου ανακυκλοφορεί στο 1<sup>ο</sup> ανοξικό διαμέρισμα.

Το απαιτούμενο οξυγόνο που απαιτείται από τους αερόβιους αντιδραστήρες παροχετεύεται διαμέσου δίλοβων φυσητήρων και κατάλληλου δικτύου

σωληνώσεων. Για τη διάχυση της αναγκαίας ποσότητας αέρα σε κάθε διαμέρισμα, χρησιμοποιείται κατάλληλα διαστασιολογημένο δίκτυο σωληνώσεων από ανοξείδωτο χάλυβα, το οποίο οδηγεί σε σωληνωτούς διαχύτες χονδρής φυσαλίδας, επίσης από ανοξείδωτο χάλυβα, με τις απαραίτητες ειδικές συσκευές.

### **Επεξεργασία Ιλύος**

Η περίσσεια ιλύς, η οποία παράγεται από τα compact συστήματα βιολογικής επεξεργασίας, οδηγείται μέσω κατάλληλων αντλιών απόρριψης ιλύος σε δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η εν λόγω δεξαμενή θα έχει ωφέλιμο όγκο αποθήκευσης περί τα 50 m<sup>3</sup>.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, η μέγιστη ημερήσια απόρριψη περίσσειας ιλύος εκτιμάται σε 12 m<sup>3</sup>/d και, ως εκ τούτου, η χωρητικότητα της δεξαμενής ιλύος που υπολογίζεται, θα είναι ικανή να καλύψει με ασφάλεια τις ανάγκες προσωρινής αποθήκευσης ιλύος της εγκατάστασης.

Δίπλα στην δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης ιλύος, θα εγκατασταθεί και το σύστημα μηχανικής πάχυνσης-αφυδάτωσης.

Λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα σε στερεά της αφυδατωμένης ιλύος ίση με 18% (ελάχιστη απαίτηση- λαμβάνοντας υπόψη 180 ημέρες χειμώνα και 180 ημέρες καλοκαίρι, υπολογίζεται ότι η ημερήσια παραγωγή λάσπη θα είναι περίπου 16 kg το χειμώνα και 90kg το καλοκαίρι, σε περίοδο αιχμής.

Η μονάδα μηχανικής πάχυνσης-αφυδάτωσης θα είναι εγκατεστημένη εντός ειδικά διαμορφωμένου ISO-standard container, μαζί με όλο τον απαραίτητο μηχανολογικό εξοπλισμό που την αποτελεί(δοσομετρικές αντλίες, κοχλίες κλπ).





**Εικόνα 12 : Τυπική διάταξη compact μονάδας αφυδάτωσης**

### **Προχωρημένη Επεξεργασία**

Η προχωρημένη επεξεργασία θα επιτυγχάνεται με τη χρήση πολυστρωματικών με τροφοδοσία από αντλιοστάσιο. Η δεξαμενή τροφοδοσίας της προχωρημένης επεξεργασίας, θα είναι διαστάσεων 2,50 x 2,50 x 3,00 m και ωφέλιμου όγκου 14 m<sup>3</sup>.

Η διύλιση είναι μία φυσική διαδικασία κατά την οποία απομακρύνονται από κολλοειδή και λεπτά αιωρούμενα στερεά καθώς διέρχονται από ένα πορώδες μέσο όπως είναι το στρώμα άμμου ή άλλου κοκκώδους υλικού, προκαλώντας ταυτόχρονα ταπείνωση της τιμής της θολότητας. Στην περίπτωση εφαρμογής της διύλισης σε δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα, είναι δυνατό να επιτευχθεί πρόσθετη απομάκρυνση BOD και αιωρούμενων στερεών. Η διύλιση εφαρμόζεται, επίσης, και για την βελτίωση της απόδοσης καταστροφής των παθογόνων στη διαδικασία της απολύμανσης.

Σκοπός της διύλισης είναι να απομακρύνει σωματίδια όπως ανόργανα αιωρούμενα στερεά, κολλοειδή και μικροοργανισμούς, (βακτηρίδια, ιούς, άλγη). Τα σωματίδια έχουν μεγέθη που ποικίλουν.

Στα συστήματα διύλισης με άμμο, η φίλτρανσης επιτυγχάνεται με τη διέλευση των υγρών μέσα από ένα στρώμα διηθητικού μέσου, που είναι χαλαζιακή άμμος. Τα αιωρούμενα στερεά συγκρατούνται στην επιφάνεια και σε κάποιο βάθος του στρώματος του διηθητικού μέσου και το νερό εξάγεται διυλισμένο. Η προσθήκη κροκιδωτικού μπορεί να γίνεται απευθείας στα λύματα προς διήθηση

εντός θαλάμου μίξης και ομογενοποίησης ακριβώς πριν την είσοδο τους στα φίλτρα. Επιπλέον, τα αμμόφιλτρα θα καθαρίζονται με τη διαδικασία της αντίστροφης πλύσης.



**Εικόνα 13 : Τυπική διάταξη πολυστρωματικών φίλτρων**

Θα εγκατασταθούν δύο αμμόφιλτρα (1+1 εφεδρικό) παροχής σχεδιασμού 30 m<sup>3</sup>/h έκαστο, με το αντίστοιχο δίδυμο αντλητικό συγκρότημα (κι αυτό 1+1 εφεδρικό) αντίστοιχης παροχής σχεδιασμού και κατάλληλου μανομετρικού.

### **Απολύμανση**

Η εκροή από την προχωρημένη επεξεργασία θα οδηγείται σε δεξαμενή τροφοδοσίας της απολύμανσης. Για την απολύμανση θα εγκατασταθεί διάταξη απολύμανσης με UV – κλειστού τύπου, όπου θα τροφοδοτείται από κατάλληλες υποβρύχιες αντλίες τοποθετημένες εντός δεξαμενής τροφοδοσίας. Η δεξαμενή τροφοδοσίας της απολύμανσης θα είναι διαστάσεων 2,50 x 2,50 x 3,00 και ωφέλιμου όγκου 14 m<sup>3</sup>.

Η μονάδα απολύμανσης θα είναι παροχής σχεδιασμού 30 m<sup>3</sup>/h, με το αντίστοιχο δίδυμο αντλητικό συγκρότημα (1+1 εφεδρική) αντίστοιχης παροχής σχεδιασμού και κατάλληλου μανομετρικού, ενδεικτικά 6 mΣΥ.



**Εικόνα 14 : Τυπική διάταξη μονάδας απολύμανσης UV κλειστού τύπου**

Επιλέχθηκε απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία παρά το μεγαλύτερο αρχικό κόστος, αποτελεί μία φυσική μέθοδος απολύμανσης, που δεν παράγει παραπροϊόντα και υπολειμματικές συγκεντρώσεις όπως η χλωρίωση.

### **Εκροή**

Τα απολυμασμένα λύματα, θα καταλήγουν σε δεξαμενή αποθήκευσης καθαρών, διαστάσεων 5,20 x 3,80 x 3,00 και ωφέλιμου όγκου 60 m<sup>3</sup>. Στην δεξαμενή εκροής δεν θα προβλεφθεί κάποιο αντλιοστάσιο εκροής, καθώς δεν πρόκειται να ληφθεί υπόψη στην παρούσα μελέτη η διαχείριση εκροής, είτε ως κατασκευαστικό κόστος, είτε ως λειτουργικό.

#### 5.4. Έργα Πολιτικού Μηχανικού

Πίνακας 6 : Προμέτρηση έργων Π.Μ.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ Π.Μ.		
Γενικές εκσκαφές σε εδάφη γαιώδη - ημιβραχώδη, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	374,00	m <sup>3</sup>
Γενικές εκσκαφές σε εδάφη βραχώδη, εκτός από γρανιτικά-κροκαλοπαγή, χωρίς χρήση εκρηκτικών υλών, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	374,00	m <sup>3</sup>
Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφής γαιωδών ή ημιβραχωδών & αμμοχαλίκων	231,00	m <sup>3</sup>
Φορτοεκφόρτωση βραχωδών υλικών ή καθαιρεθέντος οπλισμένου ή άοπλου σκυροδέματος	231,00	m <sup>3</sup>
Ξυλότυποι ή σιδηρότυποι επιπέδων επιφανειών	591,00	m <sup>2</sup>
Αποστάτες σιδηροπλισμού σκυροδεμάτων	549,00	m <sup>2</sup>
Παραγωγή, μεταφορά, διάστρωση, συμπύκνωση και συντήρηση σκυροδέματος για κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15	35,00	m <sup>3</sup>
Παραγωγή, μεταφορά, διάστρωση, συμπύκνωση και συντήρηση σκυροδέματος για κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37	113,00	m <sup>3</sup>
Κατασκευή συμπιεσμένου επιχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	287,00	m <sup>3</sup>
Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού οπλισμού σκυροδεμάτων B500C κατά ΕΛΟΤ 1421-3	13.535,00	kgr
Δομικά πλέγματα B500C (S500s)	1.050,00	kgr
Στεγανοποιητικό υλικό μάζας σκυροδέματος	162,00	kgr
Στεγανωτική επάλειψη σκυροδέματος	252,00	m <sup>2</sup>
Καλύμματα φρεατίων ανοξείδωτα INOX 304L	446,00	kgr
Οπτοπλινθοδομές με διακένους τυποποιημένους οπτοπλίνθους 6x9x19 cm πάχους 1/2 πλίνθου (δρομικοί τοίχοι)	44,00	m <sup>2</sup>
Γραμμικά διαζώματα (σενάζ) από ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα δρομικών τοίχων	22,00	m
Επιχρίσματα τριπτά - τριβιδιστά με τσιμεντοκονίαμα	91,00	m <sup>2</sup>
Επίστρωση απλή με ασφαλτόπανο	61,00	m <sup>2</sup>
Θερμική απομόνωση οροφών και δαπέδων με φύλλα διογκωμένης πολυστερίνης	61,00	m <sup>2</sup>
Θερμομόνωση τοίχων με πλάκες από αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη	46,00	m <sup>2</sup>
Βιομηχανικό δάπεδο	27,00	m <sup>2</sup>
Περιθώρια (σοβατεπιά) από κεραμικά πλακίδια	30,00	μμ
Χρωματισμοί επί εσωτερικών επιφανειών επιχρισμάτων με χρήση πλαστικών ακρυλικών χρωμάτων, ακρυλικής ή πολυβινυλικής βάσεως	95,00	m <sup>2</sup>
Χρωματισμοί επί εξωτερικών επιφανειών επιχρισμάτων με χρήση πλαστικών ακρυλικών χρωμάτων, ακρυλικής ή πολυβινυλικής βάσεως	91,00	m <sup>2</sup>
Υαλοστάσια αλουμινίου μεμονωμένα, δίφυλλα, με ή χωρίς σταθερό φεγγίτη, ανοιγόμενα περί κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα	5,00	m <sup>2</sup>
Θύρες αλουμινίου χωρίς υαλοστάσιο	5,00	m <sup>2</sup>

Διάστρωση επιφάνειας γηπέδου με χαλίκι 3Α, πάχους 10 cm και μεμβράνη HDPE 1.5mm	37,00	m <sup>3</sup>
Περίφραξη με συρματοπλέγμα	115,00	m
Περιμετρική Δενδροφύτευση	115,00	τεμ
Καγκελόπορτα, διαστάσεων 2,00×4,00m, από χαλύβδινα προφίλ, με την απαιτούμενη αντισκωριακή προστασία	1,00	τεμ
ΦΙΑΤΡΟ COMPOST 200m3-8m2	1	τεμ

## 5.5. Ηλεκτρομηχανολογικά Έργα – Εξοπλισμός

Πίνακας 7 : Προμέτρηση εξοπλισμού

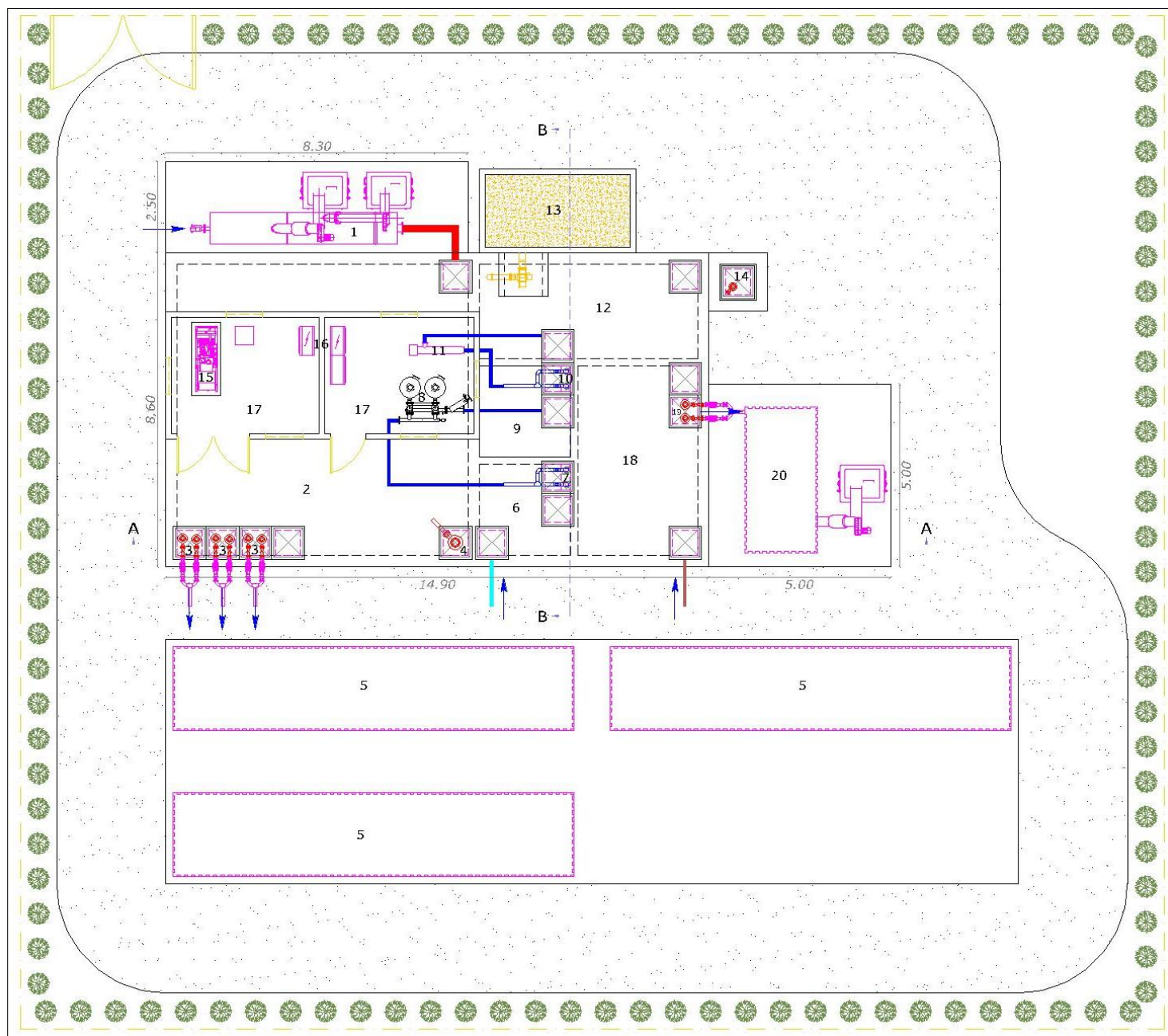
A/A	ΕΙΔΟΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ
1	Compact Σύστημα Προεπεξεργασίας Λυμάτων INOX 304 για παροχή 9,00 l/s, με εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση, παρακαμπτήρια εσχάρα, κοχλίες και κάδοι άμμου-εσχαρισμάτων, κλπ	1
2	Αεριστήρας Venturi Jet	1
3	Αντλία τροφοδοσίας MBBR (3+3 εφεδρικές)	6
4	Φυσητήρας (3+3 εφεδρικοί)	6
5	Αντλία ανακυκλοφορίας νιτρικών (3+3 εφεδρικές)	6
6	Αντλία ανακυκλοφορίας - απόρριψης περίσσειας ιλύος (2+1 εφεδρική)	3
7	Αντλία Τροφοδοσίας Φίλτρων προχωρημένης επεξεργασίας (1+1 εφεδρική)	2
8	Αντλία Τροφοδοσίας UV (1+1 εφεδρική)	2
9	Μονάδα απολύμανσης UV κλειστού τύπου	1
10	Συγκρότημα αφυδάτωσης ιλύος (μηχανικό- φυγοκεντρικό ή κοχλιωτό, με δοσομετρικές αντλίες πολυηλεκτρολύτη, κοχλίες απομάκρυνσης ιλύος κλπ)	1
11	Αντλίες τροφοδοσίας ιλύος(1+1 εφεδρική)	2
12	Σύστημα απόσμησης	1
13	Βοηθητικός εξοπλισμός(δοσομετρικές αντλίες χημικών, κροκιδωτικών, μετρητές DO & αισθητήρες κλπ-αντιμετωπίζονται ως σύνολο)	1
14	Container MBBR βιολογικού αντιδραστήρα (απονιτροποίηση, νιτροποίηση), με υδραυλικές υποδοχές	3
15	Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος 80 kVA	1
16	Ηλεκτρολογική & Υδραυλική Εγκατάσταση, πλήρης με τηλεμετρία	1
17	Σύστημα αυτοματισμού	1

## 5.6. Σχέδια Εγκατάστασης

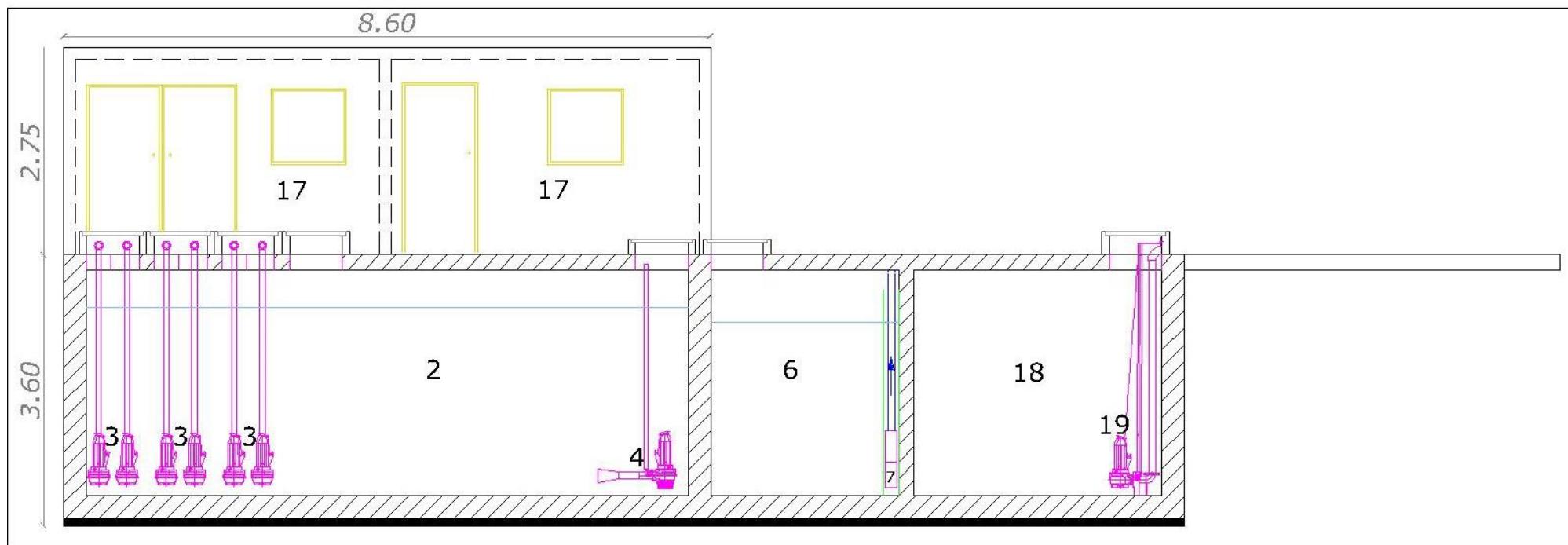
**Πίνακας 8 : Υπόμνημα MBBR**

1	COMPACT ΜΟΝΑΔΑ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ
2	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
3	ΔΙΔΥΜΑ ΑΝΤΛΗΤΙΚΑ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
4	ΑΕΡΙΣΤΗΡΑΣ VENTURI JET
5	COMPACT ΜΟΝΑΔΕΣ MBBR
6	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
7	ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
8	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
9	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ UV
10	ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ UV
11	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ UV
12	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΘΑΡΩΝ
13	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΜΗΣΗΣ COMPOST
14	ΦΡΕΑΤΙΟ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΛΙΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΟΥΣ
15	ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ
16	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
17	ΟΙΚΙΣΚΟΣ ΣΤΕΓΑΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ
18	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΙΛΥΟΣ
19	ΔΙΔΥΜΟ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΙΛΥΟΣ ΠΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
20	ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΙΛΥΟΣ

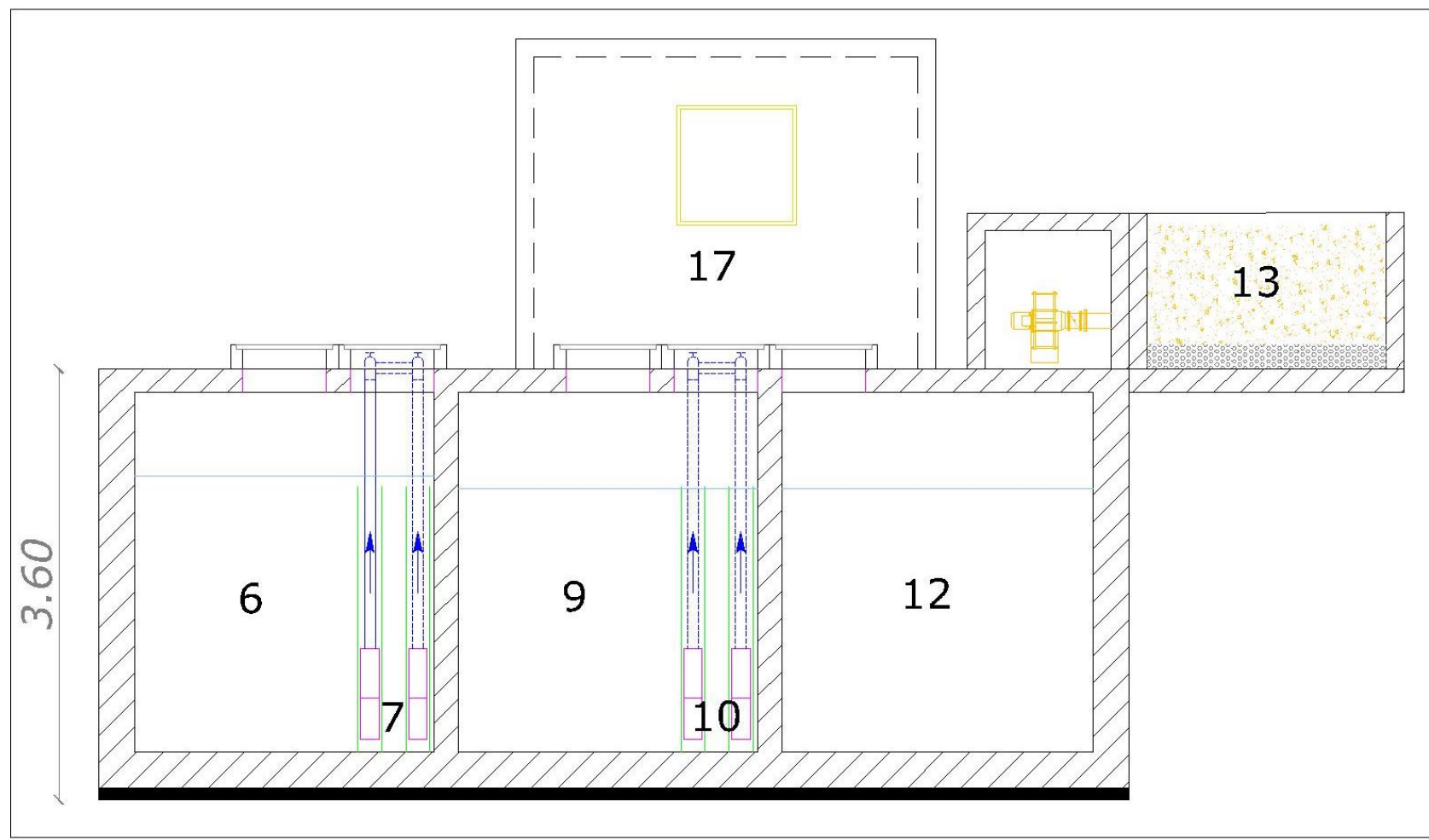




Εικόνα 15 : Κάτοψη μονάδας



Εικόνα 16 : Τομή Α-Α



Εικόνα 17 :Τομή Β-Β

### 5.7. Προϋπολογισμός Έργων – Κατασκευή & Εγκατάσταση Εξοπλισμού (Στάδιο 1)

**Πίνακας 9 : Προϋπολογισμός έργων Π.Μ.**

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΑ	ΤΙΜΗ	ΣΥΝΟΛΟ
1	Γενικές εκσκαφές σε εδάφη γαιώδη - ημιβραχώδη, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	374,00	m <sup>3</sup>	2,10 €	785,40 €
2	Γενικές εκσκαφές σε εδάφη βραχώδη, εκτός από γρανιτικά-κροκαλοπαγή, χωρίς χρήση εκρηκτικών υλών, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	374,00	m <sup>3</sup>	25,80 €	9.649,20 €
3	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφής γαιωδών ή ημιβραχωδών & αμμοχαλίκων	231,00	m <sup>3</sup>	3,21 €	741,51 €
4	Φορτοεκφόρτωση βραχωδών υλικών ή καθαιρεθέντος οπλισμένου ή άοπλου σκυροδέματος	231,00	m <sup>3</sup>	3,26 €	753,06 €
5	Ξυλότυποι ή σιδηρότυποι επιπέδων επιφανειών	591,00	m <sup>2</sup>	8,20 €	4.846,20 €
6	Αποστάτες σιδηροπλισμού σκυροδεμάτων	549,00	m <sup>2</sup>	2,20 €	1.207,80 €
7	Παραγωγή, μεταφορά, διάστρωση, συμπίκνωση και συντήρηση σκυροδέματος για κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15	35,00	m <sup>3</sup>	77,00 €	2.695,00 €
8	Παραγωγή, μεταφορά, διάστρωση, συμπίκνωση και συντήρηση σκυροδέματος για κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37	113,00	m <sup>3</sup>	103,00 €	11.639,00 €
9	Κατασκευή συμπιεσμένου επιχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	287,00	m <sup>3</sup>	0,52 €	149,24 €
10	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού οπλισμού σκυροδεμάτων B500C κατά ΕΛΟΤ 1421-3	13.535,00	kgr	0,98 €	13.264,30 €
11	Δομικά πλέγματα B500C (S500s)	1.050,00	kgr	1,01 €	1.060,50 €
12	Στεγανοποιητικό υλικό μάζας σκυροδέματος	162,00	kgr	0,52 €	84,24 €
13	Στεγανωτική επάλειψη σκυροδέματος	252,00	m <sup>2</sup>	14,40 €	3.628,80 €

14	Καλύμματα φρεατίων ανοξείδωτα INOX 304L	446,00	kg	10,00 €	4.460,00 €
15	Οπτοπλινθοδομές με διακένους τυποποιημένους οπτοπλίνθους 6x9x19 cm πάχους 1/2 πλίνθου (δρομικοί τοίχοι)	44,00	m <sup>2</sup>	19,50 €	858,00 €
16	Γραμμικά διαζώματα (σενάζ) από ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα δρομικών τοίχων	22,00	m	16,80 €	369,60 €
17	Επιχρίσματα τριπτά - τριβιδιστά με τσιμεντοκονίαμα	91,00	m <sup>2</sup>	13,50 €	1.228,50 €
18	Επίστρωση απλή με ασφαλτόπανο	61,00	m <sup>2</sup>	7,90 €	481,90 €
19	Θερμική απομόνωση οροφών και δαπέδων με φύλλα διογκωμένης πολυστερίνης	61,00	m <sup>2</sup>	14,00 €	854,00 €
20	Θερμομόνωση τοίχων με πλάκες από αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη	46,00	m <sup>2</sup>	11,80 €	542,80 €
21	Βιομηχανικό δάπεδο	27,00	m <sup>2</sup>	22,50 €	607,50 €
22	Περιθώρια (σοβατεπιά) από κεραμικά πλακίδια	30,00	μμ	4,50 €	135,00 €
23	Χρωματισμοί επί εσωτερικών επιφανειών επιχρισμάτων με χρήση πλαστικών ακρυλικών χρωμάτων, ακρυλικής ή πολυβινυλικής βάσεως	95,00	m <sup>2</sup>	9,00 €	855,00 €
24	Χρωματισμοί επί εξωτερικών επιφανειών επιχρισμάτων με χρήση πλαστικών ακρυλικών χρωμάτων, ακρυλικής ή πολυβινυλικής βάσεως	91,00	m <sup>2</sup>	10,10 €	919,10 €
25	Υαλοστάσια αλουμινίου μεμονωμένα, δίφυλλα, με ή χωρίς σταθερό φεγγίτη, ανοιγόμενα περί κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα	5,00	m <sup>2</sup>	190,00 €	950,00 €
26	Θύρες αλουμινίου χωρίς υαλοστάσιο	5,00	m <sup>2</sup>	175,00 €	875,00 €
27	Διάστρωση επιφάνειας γηπέδου με χαλίκι 3A, πάχους 10 cm και μεμβράνη HDPE 1.5mm	37,00	m <sup>3</sup>	70,15 €	2.595,55 €
28	Περίφραξη με συρματοπλέγμα	115,00	m	14,90 €	1.713,50 €
29	Περιμετρική Δενδροφύτευση	115,00	τεμ	38,90 €	4.473,50 €
30	Καγκελόπορτα, διαστάσεων 2,00x4,00m, από χαλύβδινα προφίλ, με την απαιτούμενη αντισκωριακή προστασία	1,00	τεμ	1.500,00 €	1.500,00 €
31	Οικοδομικά έργα βιόφιλτρου	1,00	τεμ	7.000,00 €	7.000,00 €
					<b>80.923,20 €</b>



**Πίνακας 10 : Προϋπολογισμός εξοπλισμού**

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΤΙΜΗ	ΣΥΝΟΛΟ
1	Compact Σύστημα Προεπεξεργασίας Λυμάτων INOX 304 για παροχή 9,00 l/s, με εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση, παρακαμπτήρια εσχάρα, κοχλίες και κάδοι άμμου-εσχαρισμάτων, κλπ	1	25.000,00 €	25.000,00 €
2	Αεριστήρας Venturi Jet	1	3.500,00 €	3.500,00 €
3	Αντλία τροφοδοσίας MBBR(3+3 εφεδρικές)	6	3.500,00 €	21.000,00 €
4	Φυσητήρας (3+3 εφεδρικοί)	6	2.500,00 €	15.000,00 €
5	Αντλία ανακυκλοφορίας νιτρικών (3+3 εφεδρικές)	6	4.000,00 €	24.000,00 €
6	Αντλία ανακυκλοφορίας - απόρριψης περίσσειας ιλύος (2+1 εφεδρική)	3	2.500,00 €	7.500,00 €
7	Αντλία Τροφοδοσίας Φίλτρων προχωρημένης επεξεργασίας (1+1 εφεδρική)	2	2.300,00 €	4.600,00 €
8	Αντλία Τροφοδοσίας UV (1+1 εφεδρική)	2	2.300,00 €	4.600,00 €
9	Μονάδα απολύμανσης UV κλειστού τύπου	1	15.000,00 €	15.000,00 €
10	Συγκρότημα αφυδάτωσης ιλύος(μηχανικό-φυγοκεντρικό ή κοχλιωτό, με δοσομετρικές αντλίες πολυηλεκτρολύτη, κοχλίες απομάκρυνσης ιλύος κλπ)	1	35.000,00 €	35.000,00 €
11	Αντλίες τροφοδοσίας ιλύος(1+1 εφεδρική)	2	2.000,00 €	4.000,00 €
12	Σύστημα απόσμησης	1	15.000,00 €	15.000,00 €
13	Βοηθητικός εξοπλισμός(δοσομετρικές αντλίες χημικών, κροκιδωτικών, μετρητές DO & αισθητήρες κλπ-αντιμετωπίζονται ως σύνολο)	1	30.000,00 €	30.000,00 €
14	Container MBBR βιολογικού αντιδραστήρα(απονιτροποίηση, νιτροποίηση), με υδραυλικές υποδοχές	3	100.000,00 €	300.000,00 €
15	Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος 80 kVA	1	14.000,00 €	14.000,00 €
16	Ηλεκτρολογική & Υδραυλική Εγκατάσταση, πλήρης με τηλεμετρία	1	25.000,00 €	25.000,00 €
17	Σύστημα αυτοματισμού	1	2.000,00 €	2.000,00 €
				<b>545.200,00 €</b>

## 5.8. Προϋπολογισμός Έργων – Λειτουργία & Συντήρηση (Στάδιο 2)

### Κατανάλωση Ενέργειας

**Πίνακας 11 : Καταναλισκόμενη ενέργεια**

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΤΕΜΑ ΧΙΑ	ΤΕΜΑΧΙΑ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡ ΓΙΑ	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ (kW)	ΑΠΟΡ. ΙΣΧΥΣ (kW)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙ ΑΣ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΧΕΙΜΩΝΑ (hr)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙ ΑΣ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΘΕΡΟΣ (hr)	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚ ΟΜΕΝΕΣ kWh ΗΜΕΡΗΣΙΩΣ ΠΕΡΙΟΔΟ ΧΕΙΜΩΝΑ (Kwh/day)	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚ ΟΜΕΝΕΣ kWh ΗΜΕΡΗΣΙΩΣ ΠΕΡΙΟΔΟ ΘΕΡΟΣ (Kwh/day)	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣ ΚΟΜΕΝΕΣ kWh ΕΤΗΣΙΩΣ (Kwh/year)	ΕΤΗΣΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€/year) [kWh -> 0,13 cents]
1	Compact Σύστημα Προεπεξεργασίας Λυμάτων INOX 304 για παροχή 9,00 l/s, με εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση, παρακαμπτήρια εσχάρα, κοχλίες και κάδοι άμμου-εσχαρισμάτων, κλπ	1	1	4,20	4,20	3,36	4	12	13,44	40,32	9.676,80	1.257,98
2	Αεριστήρας Venturi Jet	1	1	4,00	4,00	3,20	24	6	76,80	19,20	17.280,00	2.246,40
3	Αντλία τροφοδοσίας MBBR(3+3 εφεδρικές)	6	3	3,00	9,00	7,20	0,5	2	3,60	14,40	3.240,00	421,20
4	Αναδευτήρας	3	3	2,00	6,00	4,80	8	24	38,40	115,20	27.648,00	3.594,24
5	Φυσητήρας (3+3 εφεδρικοί)	6	3	4,00	12,00	9,60	6	22	57,60	211,20	48.384,00	6.289,92
6	Αντλία ανακυκλοφορίας νιτρικών (3+3 εφεδρικές)	6	3	2,50	7,50	6,00	6	22	36,00	132,00	30.240,00	3.931,20
7	Αντλία ανακυκλοφορίας - απόρριψης περισσειας ιλύος (2+1 εφεδρική)	3	2	1,60	3,20	2,56	6	22	15,36	56,32	12.902,40	1.677,31
8	Αντλία Τροφοδοσίας Φίλτρων προχωρημένης επεξεργασίας (1+1 εφεδρική)	2	1	2,20	2,20	1,76	2	6	3,52	10,56	2.534,40	329,47
9	Αντλία Τροφοδοσίας UV (1+1 εφεδρική)	2	1	2,20	2,20	1,76	2	6	3,52	10,56	2.534,40	329,47
10	Μονάδα απολύμανσης UV κλειστού τύπου	1	1	1,60	1,60	1,60	2	6	3,20	9,60	2.304,00	299,52
11	Αντλία Τροφοδοσίας ιλύος (1+1 εφεδρική)	2	1	1,10	1,10	0,88	2	6	1,76	5,28	1.267,20	164,74
12	Συγκρότημα αφυδάτωσης ιλύος(μηχανικό-φυγοκεντρικό ή κοχλιωτό, με δοσομετρικές αντλίες πολυηλεκτρολύτη, κοχλίες απομάκρυνσης ιλύος κλπ)	1	1	3,20	3,20	2,56	2	6	5,12	15,36	3.686,40	479,23
13	Ανεμιστήρας Αποσμήσης βιοφίλτρου	1	1	3,60	3,60	2,88	24	24	69,12	69,12	24.883,20	3.234,82



14	Βοηθητικός εξοπλισμός (δοσομετρικές αντλίες χημικών, κροκιδωτικών, μετρητές DO & αισθητήρες κλπ-αντιμετωπίζονται ως σύνολο)	1	1	3,00	3,00	3,00	24	24	72,00	72,00	25.920,00	3.369,60
					62,80	51,16			399,44	781,12	212.500,80	27.625,10

### Διαχείριση Ιλύος

Όπως έχει υπολογιστεί, η ημερήσια παραγωγή στερεών σε Kg SS/day, για το χειμώνα και το θέρος θα είναι ίση με:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
ημερήσια παραγωγή λάσπης	kg SS/d	15,86	89,33

Λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα σε στερεά της αφυδατωμένης ιλύος ίση με 18% (ελάχιστη απαίτηση) προκύπτει η παρακάτω συνολική ετήσια ποσότητα (λαμβάνοντας υπόψη 180 ημέρες χειμώνα και 180 ημέρες καλοκαίρι

**Πίνακας 12 : Ετήσιο κόστος διαχείρισης ιλύος**

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
ημερήσια παραγωγή λάσπης	kg SS/d	16	90
Αφυδατωμένη πίδα	tn/day	0,1	0,5
Ημέρες /έτος	day	180	180
Συνολική ετήσια αφυδατωμένη πίδα προς διάθεση	tn/year	18	90
Κόστος διαχείρισης αφυδατωμένης πίδα	€/tn	60	60
<b>Συνολικό ετήσιο κόστος διαχείρισης παραγόμενης αφυδατωμένης ιλύος</b>	<b>€/year</b>	<b>6.450</b>	

### Κόστος Χημικών

Τα χρησιμοποιούμενα χημικά είναι :

- Κροκιδωτικό για την χημική αποφωσφόρωση
- Πολυηλεκτρολύτης για την αφυδάτωση

Οι αντίστοιχες καταναλώσεις φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

**Πίνακας 13 : Ετήσιο κόστος χημικών**

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
Κροκιδωτικό χημικής αποφωσφόρωσης			
Κροκιδωτικό χημικής αποφωσφόρωσης XP,Prec (φώσφορος για χημική κατακρήμνιση)	Kg/day	0,5	3
Κατανάλωση PAC, (17,3% Al2O3)	Kg/day	3,39	20,34
Πυκνότητα	kg/m3	1.350	1.350
Κατανάλωση PAC, (17,3% Al2O3)	Lt/day	2,51111	15,066
	m3/year	3,164	
Μοναδιαίο κόστος PAC	€/kg	0,5	
Ετήσιο κόστος κατανάλωσης PAC	€/έτος	2.135,7	
Πολυηλεκτρολύτης αφυδάτωσης			
Δόση πολυηλεκτρολύτη (ξηρής σκόνης) για αφυδάτωση λάσπης	kg/tn D.S.	10	10
Απαιτούμενη ποσότητα ξηρού πολυηλεκτρολύτη	Kg/day	0,16	0,9
Ετήσια κατανάλωση	kg/year	190,8	
Μοναδιαίο κόστος πολυηλεκτρολύτη	€/kg	6	
Ετήσιο κόστος κατανάλωσης	€/έτος	1.144,8	

### **Κόστος προσωπικού**

Για την σωστή, ομαλή και αποδοτική λειτουργία της ΕΕΛ σύμφωνα με το σύστημα επεξεργασίας που προδιαγράφεται στην παρούσα, θα απαιτηθεί κατ' ελάχιστον το ακόλουθο προσωπικό:

- ❖ Ένας (1) Μηχανικός Π.Ε. Χημικός Μηχανικός ή Μηχανικός Περιβάλλοντος για την επίβλεψη, οργάνωση και λειτουργία της ΕΕΛ, μερικής απασχόλησης, 2.500 € / έτος
- ❖ Ένας (1) Μηχανικός Τ.Ε. Ηλεκτρολόγος για την λειτουργία-συντήρηση της ΕΕΛ, μερικής απασχόλησης, 2.000 € / έτος
- ❖ Ένας (1) Μηχανικός Τ.Ε. Υδραυλικός για την λειτουργία-συντήρηση της ΕΕΛ, μερικής απασχόλησης, 1.500 € / έτος

Κόστος απασχόλησης του παραπάνω προσωπικού: **6.000 € / έτος**

## **6. ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΥ**

### **6.1. Περιγραφή προτεινόμενων έργων εγκατάστασης**

Για τον οικισμό του Μαραθίου, μελετήθηκε ως δεύτερη εναλλακτική η κατασκευή τεχνητού υγροβιότοπου τεχνολογίας κατακόρυφης ροής με τεχνητό αερισμό. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται μία παραλλαγή ΤΥ κατακόρυφης ροής, που είναι το γαλλικό σύστημα σε συνδυασμό με τεχνητό αερισμό, όπως έχει παρουσιαστεί από τον Stefanakis (2021). Ο υγροβιότοπος σχεδιάζεται για την εξυπηρέτηση 1.200 ΙΚ.

Το εν λόγω σύστημα θα αποτελείται από μία μονάδα προεπεξεργασίας (εσχάρωση), δεξαμενή τροφοδοσίας κλινών, τρεις κλίνες, σύστημα απολύμανσης με UV, δεξαμενή καθαρών και οικίσκο στέγασης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Το πλεονέκτημα της παραπάνω τεχνολογίας έγκειται στην αποφυγή σηπτικής δεξαμενής ή δεξαμενής καθίζησης για την προεπεξεργασία των λυμάτων, ενώ η μονάδα προεπεξεργασίας που υπολογίζεται, είναι υπεραρκετή για την επαρκή προεπεξεργασία των λυμάτων, πριν φτάσουν στις κλίνες.

Το σύστημα κατακόρυφης ροής σχεδιάζεται με βάση την τιμή απαίτησης σε έκταση ίση με  $1,2 \text{ m}^2/\text{PE}$  (Stefanakis et al., 2014), ενώ τα λύματα εφαρμόζονται σε όλη την επιφάνεια της κλίνης μέσω δικτύου σωληνώσεων, και βαρυτικά οδηγούνται από την επιφάνεια της κλίνης στον πυθμένα όπου, μέσω διάτρητου συλλεκτήριου αγωγού, συλλέγονται και οδηγούνται στο επόμενο στάδιο της απολύμανσης. Το σύστημα δέχεται τα αστικά λύματα χωρίς να απαιτείται πρωτοβάθμια επεξεργασία σε σηπτική δεξαμενή ή δεξαμενή καθίζησης, καθώς ο σχεδιασμός έχει το πλεονέκτημα τα οργανικά στερεά να συγκρατούνται στην επιφάνεια της κλίνης και να διαχωρίζονται από την υγρή φάση. Δημιουργείται σταδιακά, κατά αυτόν τον τρόπο, ένα στρώμα αφυδατωμένης ιλύος καθώς η παρουσία των καλαμιών και του ριζικού συστήματος, αφυδατώνουν και ξηραίνουν, με την πάροδο του χρόνου, τα συσσωρευμένα οργανικά στερεά (Stefanakis & Tsihrintzis, 2012). Παράλληλα, ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στους πόρους του υποστρώματος δημιουργώντας αερόβιες συνθήκες που ευνοούν την αποδόμηση του οργανικού φορτίου και την νιτροποίηση

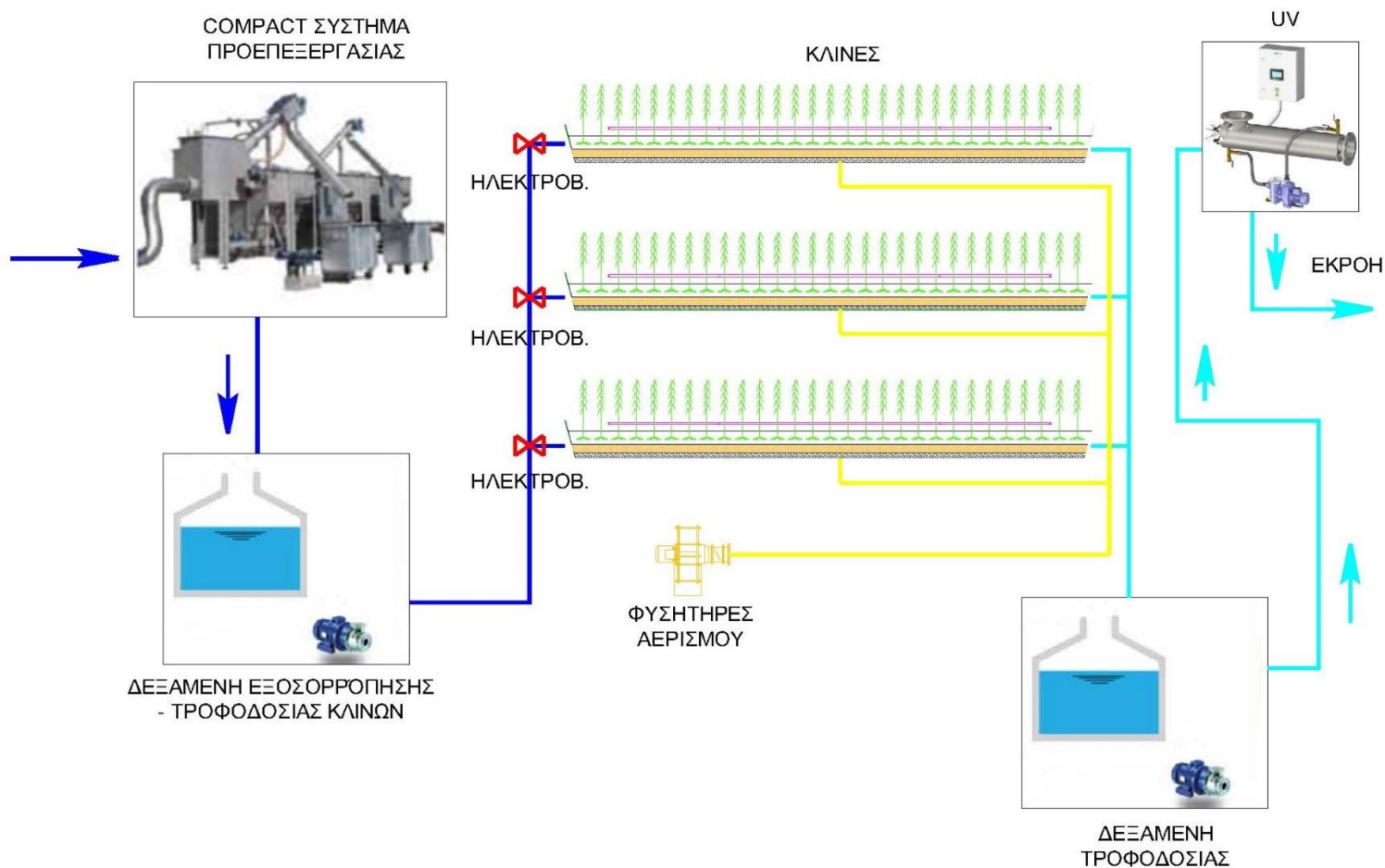
(Stefanakis et al., 2014). Παρόλα αυτά, για την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, προστίθεται τεχνητός αερισμός στην διεργασία, μέσω φυσητήρων και ειδικής διάταξης σωληνώσεων αερισμού, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στον πυθμένα της κάθε κλίνης.

Η κάθε κλίνη πληρώνεται με τρεις στρώσεις διαφορετικής κοκκομετρίας, όπου στο κατώτερο στρώμα, που εφάπτεται του φυσικού/διαμορφωμένου εδάφους, τοποθετείται ειδική μεμβράνη από HDPE πάχους 1,5 mm για την στεγανοποίηση της και την αποφυγή διαρροής λυμάτων προς το έδαφος και τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, ενώ στην ανώτερη στρώση υπάρχει η φυτική ύλη.

Η βλάστηση (*Phragmites australis*) διαδραματίζει πολλαπλό ρόλο, διότι η βακτηριακή κοινότητα αναπτύσσεται κυρίως στο υπόστρωμα της, ενώ παράλληλα μέσω της διήθησης και της προσρόφησης των συστατικών του αποβλήτου, συντελεί στην περεταίρω επεξεργασία του (Gorgoglione & Torretta, 2018).

Οι διεργασίες που συντελούν στην απομάκρυνση των ρύπων από το προς επεξεργασία απόβλητο, βασίζονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, όπως η πρόσληψη από τα φυτά, η οξείδωση, η μικροβιακή αποικοδόμηση, η διήθηση στο υπόστρωμα καθώς επίσης η προσρόφηση, η καθίζηση και η πτητικότητα (Lai et al., 2020).

## 6.2. Διάγραμμα ροής εγκατάστασης



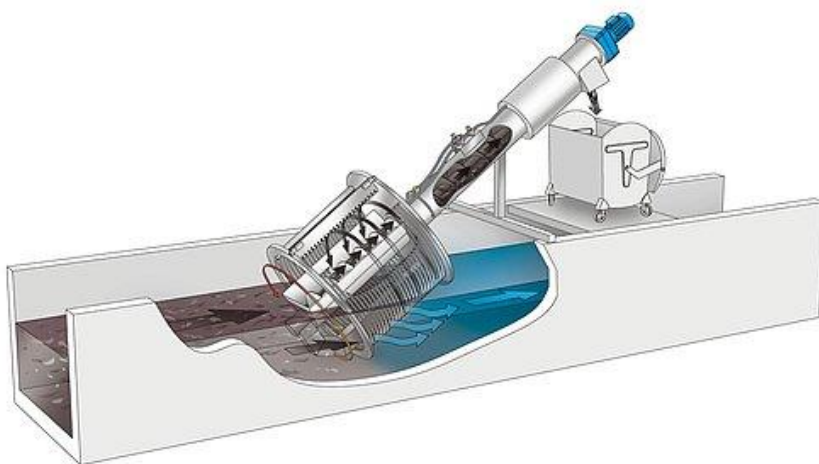
Εικόνα 18 : Διάγραμμα ροής ΕΕΛ με τεχνολογία τεχνητού υδροβιότοπου

### 6.3. Αναλυτική Περιγραφή Έργων

#### Προεπεξεργασία Λυμάτων (Εσχάρωση)

Για την απαραίτητη εσχάρωση των λυμάτων θα εγκατασταθεί compact κλειστό προκατασκευασμένο σύστημα παροχής σχεδιασμού 9 l/s. Το συγκρότημα προεπεξεργασίας συνδυάζει τις κάτωθι λειτουργίες:

- Εσχάρωση και συμπίεση των εσχαρισμάτων
- Εξαγωγή και απόρριψη των εσχαρισμάτων σε κάδο



**Εικόνα 19 : Τυπική διάταξη compact συστήματος προεπεξεργασίας**

Τα ανεπεξεργαστα λύματα φτάνουν στην ΕΕΛ (όχι βαρυτικά), επομένως δεν απαιτείται η κατασκευή νέου αντλιοστασίου ανύψωσης.

Τέλος, τα προεπεξεργασμένα λύματα καταλήγουν με βαρύτητα στην δεξαμενή εξισορρόπησης – τροφοδοσίας του υγροβιότοπου.

### **Εξισορρόπηση λυμάτων – αντλιοστάσιο τροφοδοσίας υγροβιότοπου**

Όπως προαναφέρθηκε, τα προεπεξεργασμένα λύματα καταλήγουν με στην δεξαμενή εξισορρόπησης από οπλισμένο σκυρόδεμα, η οποία θα είναι ωφέλιμων διαστάσεων 3,00 x 3,00 x 2,50 m (L x W x H) και ενεργού όγκου 15,3 m<sup>3</sup>.

Η χρήση της δεξαμενής εξισορρόπησης αποσκοπεί στην εξομάλυνση των ημερήσιων υδραυλικών και ρυπαντικών διακυμάνσεων των εισερχόμενων λυμάτων, στην επαρκή ανάμιξή τους για την αποτροπή της καθίζησης στερεών και την παραγωγή ενός επαρκώς ομογενοποιημένου (ομοιόμορφου) ρεύματος τροφοδοσίας προς το σύστημα του Τεχνητού Υγροβιότοπου, δεδομένου ότι οι κλίνες του υγροβιότοπου θα φορτίζονται με συγκεκριμένο χρονικό πρόγραμμα που θα ορίζεται από τον αυτοματισμό. Με δεδομένο ότι ο ελάχιστος χρόνος συγκράτησης στην δεξαμενή τροφοδοσίας είναι περίπου μισή ώρα για την μέγιστη ωριαία παροχή σχεδιασμού, και βάσει του κύκλου τροφοδοσίας που έχει επιλεχθεί για τις κλίνες(batch ανά μία ώρα περίπου και για 5 min), κρίνεται ότι διαστασιολόγηση της δεξαμενής τροφοδοσίας, είναι επαρκής.

Η δεξαμενή τροφοδοσίας των λυμάτων θα εξοπλιστεί με ένα ζεύγος υποβρύχιων αντλιών (1+1 εφεδρική), με αυτόματα εναλλασσόμενη λειτουργία για την ομοιόμορφη φθορά τους. Το ζεύγος θα τροφοδοτεί τις κλίνες βιολογικής επεξεργασίας με χρονικό πρόγραμμα, αλλά και με χρήση ηλεκτροβανών, όπως περιγράφεται παρακάτω.



### **Κλίνες τεχνητών υγροβιότοπων**

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το σύστημα που έχει επιλεχθεί είναι τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης ροής, και αποτελεί παραλλαγή του γαλλικού τύπου σε συνδυασμό με τεχνητή παροχή αέρα. Αποτελείται ουσιαστικά από τρεις κλίνες, όπου σε αυτές συντελείται η απαραίτητη βιολογική επεξεργασία του λύματος προς απομάκρυνση των ρυπαντών σε αποδεκτά επίπεδα για την ζητούμενη ποιότητα εκροής, ενώ παράλληλα συντελείται και η επεξεργασία ιλύος. Το λύμα εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια των κλινών, και κινείται καθοδικά, λόγω βαρύτητας, διεισδύοντας στα κατώτερα στρώματα, όπου και τελικά απομακρύνεται από τις κλίνες.

Προβλέπεται η κατασκευή τριών κλινών, καθαρών διαστάσεων 24 μ. x 25 μ. και βάθους 1,7 μ. έκαστη. Η κάθε κλίνη περιλαμβάνει τρεις στρώσεις διαφορετικής κοκκομετρίας και συνολικού ύψος 1,2 μ. Πιο συγκεκριμένα, οι στρώσεις είναι (από τον πυθμένα προς την ανώτερη επιφάνεια της κλίνης) πρώτα μία στρώση ύψους 20 cm με χονδρό χαλίκι κοκκομετρίας 20-90 mm, μετά μία στρώση ύψους 60 cm με μέτριο χαλίκι κοκκομετρίας 10-20 mm και τέλος μία τελική στρώση ύψους 40 cm με χαλίκι κοκκομετρίας 2-6 mm. Μεταξύ της κατώτερης στρώσης χαλικιού, πάνω από το υπόστρωμα υπάρχει ελεύθερο ύψος 50 cm για την εναπόθεση λύματος προς επεξεργασία.

Στα ανάντη της κάθε κλίνης, είναι εγκατεστημένη κατάλληλη ηλεκτροβάνα. Με την χρήση των παραπάνω ηλεκτροβανών, καθώς και με το χρονικό πρόγραμμα της αντλίας τροφοδοσίας των κλινών, επιτυγχάνεται τόσο η ομοιόμορφη φόρτιση των κλινών, όσο και η επαρκής παραμονή των προς επεξεργασία λυμάτων σε αυτές για την αποδοτικότερη επεξεργασία τους και προστασία των καλαμιών.

Στην επιφάνεια των κλινών, θα κατασκευαστεί εκτεταμένο δίκτυο σωληνώσεων τροφοδοσίας, όπως φαίνεται και στα σχέδια της παρούσας, με τον κεντρικό αγωγό τροφοδοσίας κάθε κλίνης να είναι HDPE III D100 10 atm, και με τους δευτερεύοντες κλάδους εναπόθεσης λύματος να είναι HDPE III D50 10 atm. Οι

κλάδοι εναπόθεσης, ανά κάποια μέτρα είναι ειδικά διαμορφωμένοι ώστε να τροφοδοτούν το λύμα ομοιόμορφα στην επιφάνεια των κλινών.

Στον πυθμένα της κάθε κλίνης, είναι τοποθετημένο δίκτυο αγωγών τροφοδοσίας με αέρα, οι οποίοι είναι διάτρητοι σε όλο το μήκος τους εντός των κλινών με αποτέλεσμα να υπάρχει διάχυση αέρα κατά μήκος όλου του υποστρώματος κάθε κλίνης. Ο κεντρικός αγωγός τροφοδοσίας κάθε κλίνης είναι από πολυαιθυλένιο D50, και οι κλάδοι διάχυσης είναι διαμέτρου D20.

Τέλος, στην μία πλευρά της κάθε κλίνης, είναι τοποθετημένος διάτρητος αγωγός ονομαστικής διαμέτρου D160, οποίος θα συγκεντρώνει τα επεξεργασμένα λύματα, και θα τα οδηγεί στο επόμενο στάδιο της απολύμανσης.

Όλες οι κλίνες είναι φυτεμένες με κοινό καλάμι (*Phragmites Australis*), τα οποία είναι φυτεμένα στο ανώτερο στρώμα χαλικιού. Η εφαρμογή του λύματος αρχίζει αμέσως μετά την ανάπτυξη των καλάμιων.

Η στάθμη των προς επεξεργασία λυμάτων στις κλίνες, ρυθμίζεται μέσω ειδικής συσκευής, η οποία είναι απλή στην λειτουργία και στην κατασκευή της, και δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις. Η διαδικασία της ρύθμισης στάθμης του υγρού στις κλίνες γίνεται χειροκίνητα, και με αυτό τον τρόπο, διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του ΤΥ τόσο σε περιόδους υψηλών φορτίσεων(θέρος), όσο και σε περιόδους χαμηλής φόρτισης(χειμώνας).

Ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στους πόρους των υλικών δημιουργώντας ένα περιβάλλον στο οποίο επικρατούν οι αερόβιες συνθήκες που ευνοούν την αποδόμηση του οργανικού φορτίου και τη νιτροποίηση (Stefanakis et al., 2014). Τα λύματα, χωρίς πρωτοβάθμια επεξεργασία (παρά μόνο προεπεξεργασία) εφαρμόζουν στην επιφάνεια των κλινών, με τα οργανικά στερεά να συκρατούνται στην επιφάνεια τους και να διαχωρίζονται από την υγρή φάση. Λόγω της παρουσίας των καλάμιων και του ριζικού συστήματος τους που εντοπίζεται στα υποστρώματα, δημιουργείται σταδιακά ένα στρώμα αφυδατωμένης ιλύος, που συνεχώς αφυδατώνεται και ξηραίνεται όσο

προχωράει η παραμονή του στην επιφάνεια των κλινών (Stefanakis & Tsihrintzis, 2012).

Κάθε κλίνη θα φορτίζεται για περίοδο δύο ημερών, ενώ οι υπόλοιπες κλίνες θα είναι σε ηρεμία σε αυτό το διάστημα, που σημαίνει ότι το λύμα προς επεξεργασία έχει διάρκεια επεξεργασίας, χωρίς νέα φόρτιση, τεσσάρων ημερών. Ο τρόπος φόρτισης ρυθμίζεται από της ηλεκτροβάνες πριν από κάθε κλίνη, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Παράλληλα με την τροφοδοσία του λύματος, υπάρχει συνεχής παροχή οξυγόνου στον πυθμένα της εκάστοτε κλίνης, ώστε μέσω του τεχνητού αερισμού, να αυξάνεται η διαθεσιμότητα οξυγόνου σε όλα τα υποστρώματα με αποτέλεσμα να ενισχύονται οι αερόβιες συνθήκες. Μέσω της ενίσχυσης των αερόβιων συνθηκών βελτιώνεται και η απόδοση απομάκρυνσης οργανικών αλλά και της νιτροποίησης για την απομάκρυνση του αζώτου (Stefanakis et al., 2014). Η διαβάθμιση του υποστρώματος που επιλέχθηκε είναι ιδανική ώστε με την σύσταση που παρέχουν, να ευνοούν την απομάκρυνση των ρυπαντών, ενώ παράλληλα λειτουργεί και ως μέσο διήθησης. Τέλος, μέσω της αυξανόμενης διαβάθμισης προς τον πυθμένα, ευνοείται η ευκολότερη στράγγιση των επεξεργασμένων λυμάτων ώστε να συγκεντρωθούν και να απομακρυνθούν με τον διάτρητο αγωγό προς το επόμενο και τελικό στάδιο επεξεργασίας, την απολύμανση.

### **Επεξεργασία Ιλύος**

Για την επεξεργασία ιλύος, δεν προβλέπεται κάποια ιδιαίτερη διάταξη ή εξοπλισμός. Το λύμα ύστερα από την εσχάρωση τροφοδοτείται απευθείας, χωρίς περαιτέρω επεξεργασία πάνω στις κλίνες, μέσω της διάταξης σωληνώσεων, και παράλληλα με την επεξεργασία για απομάκρυνση των ρυπαντών, λαμβάνει χώρα και η επεξεργασία της ιλύος. Με την μέθοδο αυτή, δεν υπάρχει παραγωγή ιλύος, πχ δευτεροβάθμιας σε καθημερινή βάση, και η μονή λάσπη που παρατηρείται είναι αυτή που συγκεντρώνεται στις επιφάνειες των κλινών μέσω της φόρτισης με λύμα (Stefanakis et al., 2014)

Πρόκειται για ένα φυσικό και ήπιο οικολογικό σύστημα, όπου χωρίς την χρήση χημικών και εξοπλισμού παρατηρείται ελάχιστη παραγωγή ιλύος, η οποία λόγω της χαμηλής φόρτισης των κλινών, είναι μικρή σε όγκο και δεν παράγει δυσάρεστες οσμές. Η μόνο απαίτηση που υπάρχει, είναι ότι μετά από 10-12 χρόνια, πρέπει να γίνει απομάκρυνση της χωνευμένης ιλύος που έχει συσσωρευτεί στην επιφάνεια των κλινών, και η οποία θα έχει αποκτήσει πολύ καλά χαρακτηριστικά που ευνοούν την αξιοποίησή της στη γεωργία.

### **Απολύμανση**

Η εκροή από τον υγροβιότοπο θα οδηγείται σε δεξαμενή τροφοδοσίας της απολύμανσης. Για την απολύμανση θα εγκατασταθεί διάταξη απολύμανσης με UV – κλειστού τύπου, όπου θα τροφοδοτείται από κατάλληλες υποβρύχιες αντλίες τοποθετημένες εντός δεξαμενής τροφοδοσίας. Η δεξαμενή τροφοδοσίας της απολύμανσης θα είναι καθαρών διαστάσεων καθαρών 2,50 x 1,20 x 3,20 μ. και ενεργού όγκου περίπου 2 μ<sup>3</sup>.

Η μονάδα απολύμανσης θα είναι παροχής σχεδιασμού 30 m<sup>3</sup>/h, με το αντίστοιχο δίδυμο αντλητικό συγκρότημα (1+1 εφεδρική) αντίστοιχης παροχής σχεδιασμού και κατάλληλου μανομετρικού. Επιλέχθηκε απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία παρά το μεγαλύτερο αρχικό κόστος, αποτελεί μία φυσική μέθοδος απολύμανσης, που δεν παράγει παραπροϊόντα και υπολειμματικές συγκεντρώσεις όπως η χλωρίωση.



**Εικόνα 20 : Τυπική διάταξη μονάδας απολύμανσης UV κλειστού τύπου**

### **Εκροή**

Τα απολυμασμένα λύματα, θα καταλήγουν σε δεξαμενή αποθήκευσης καθαρών, διαστάσεων 6,00 x 5,20 x 3,20 μ. και ωφέλιμου όγκου 91 m<sup>3</sup>. Στην δεξαμενή εκροής δεν θα προβλεφθεί κάποιο αντλιοστάσιο εκροής, καθώς δεν πρόκειται να ληφθεί υπόψη στην παρούσα μελέτη η διαχείριση εκροής, είτε ως κατασκευαστικό κόστος, είτε ως λειτουργικό.

#### 6.4. Έργα Πολιτικού Μηχανικού

**Πίνακας 14 : ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ Π.Μ.**

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΑ
1	Γενικές εκσκαφές σε εδάφη γαιώδη - ημιβραχώδη, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	2.388,00	m <sup>3</sup>
2	Γενικές εκσκαφές σε εδάφη βραχώδη, εκτός από γρανιτικά-κροκαλοπαγή, χωρίς χρήση εκρηκτικών υλών, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	2.388,00	m <sup>3</sup>
3	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφής γαιωδών ή ημιβραχωδών & αμμοχαλίκων	2.193,00	m <sup>3</sup>
4	Φορτοεκφόρτωση βραχωδών υλικών ή καθαιρεθέντος οπλισμένου ή άοπλου σκυροδέματος	2.253,00	m <sup>3</sup>
5	Ξυλότυποι ή σιδηρότυποι επιπέδων επιφανειών	350,00	m <sup>2</sup>
6	Αποστάτες σιδηροπλισμού σκυροδεμάτων	308,00	m <sup>2</sup>
7	Παραγωγή, μεταφορά, διάστρωση, συμπίκνωση και συντήρηση σκυροδέματος για κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15	28,00	m <sup>3</sup>
8	Παραγωγή, μεταφορά, διάστρωση, συμπίκνωση και συντήρηση σκυροδέματος για κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37	55,00	m <sup>3</sup>
9	Κατασκευή συμπίεσμένου επιχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	273,00	m <sup>3</sup>
10	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού οπλισμού σκυροδεμάτων B500C κατά ΕΛΟΤ 1421-3	6.575,00	kgr
11	Δομικά πλέγματα B500C (S500s)	840,00	kgr
12	Στεγανοποιητικό υλικό μάζας σκυροδέματος	76,00	kgr
13	Στεγανωτική επάλειψη σκυροδέματος	147,00	m <sup>2</sup>
14	Καλύμματα φρεατίων ανοξείδωτα INOX 304L	254,00	kgr
15	Οπτοπλινθοδομές με διακένους τυποποιημένους οπτοπλίνθους 6x9x19 cm πάχους 1/2 πλίνθου (δρομικοί τοίχοι)	45,00	m <sup>2</sup>
16	Γραμμικά διαζώματα (σενάζι) από ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα δρομικών τοίχων	22,00	m
17	Επιχρίσματα τριπτά - τριβιδιστά με τσιμεντοκονίαμα	91,00	m <sup>2</sup>
18	Επίστρωση απλή με ασφαλτόπανο	61,00	m <sup>2</sup>
19	Θερμική απομόνωση οροφών και δαπέδων με φύλλα διογκωμένης πολυστερίνης	61,00	m <sup>2</sup>
20	Θερμομόνωση τοίχων με πλάκες από αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη	46,00	m <sup>2</sup>
21	Βιομηχανικό δάπεδο	28,00	m <sup>2</sup>
22	Περιθώρια (σοβατεπιά) από κεραμικά πλακίδια	30,00	μμ
23	Χρωματισμοί επί εσωτερικών επιφανειών επιχρισμάτων με χρήση πλαστικών ακρυλικών χρωμάτων, ακρυλικής ή πολυβινυλικής βάσεως	99,00	m <sup>2</sup>

24	Χρωματισμοί επί εξωτερικών επιφανειών επιχρισμάτων με χρήση πλαστικών ακρυλικών χρωμάτων, ακρυλικής ή πολυβινυλικής βάσεως	91,00	m <sup>2</sup>
25	Υαλοστάσια αλουμινίου μεμονωμένα, δίφυλλα, με ή χωρίς σταθερό φεγγίτη, ανοιγόμενα περί κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα	4,00	m <sup>2</sup>
26	Θύρες αλουμινίου χωρίς υαλοστάσιο	5,00	m <sup>2</sup>
27	Στεγανοποίηση με μεμβράνη πολυαιθυλενίου (PE) πάχους 1,5 mm	2.229,00	m <sup>2</sup>
28	Κατασκευή επιστρώματος μεμβράνης από διαβαθμισμένο φραυστό υλικό	358,00	m <sup>3</sup>
29	Φίλτρα στραγγιστηρίων από διαβαθμισμένα αδρανή κοκκομετρίας 10-20/2-6 mm	1.790,00	m <sup>3</sup>
30	Φυτική ύλη(καλαμιές)	1.610,00	τεμ
31	Σωλήνας τροφοδοσίας D100	120,00	m
32	Σωλήνας τροφοδοσίας D50	345,00	m
33	Διάτρητος σωλήνας D160	70,00	m
34	Σωλήνας αερισμού D50	50,00	m
35	Σωλήνας αερισμού D20	1.440,00	m
36	Διάστρωση επιφάνειας γηπέδου με χαλίκι 3Α, πάχους 10 cm και μεμβράνη HDPE 1.5mm	79,00	m <sup>3</sup>
37	Περίφραξη με συρματόπλεγμα	268,00	m
38	Περιμετρική Δενδροφύτευση	273,00	τεμ
39	Καγκελόπορτα, διαστάσεων 2,00 × 4,00 m, από χαλύβδινα προφίλ, με την απαιτούμενη αντισκωριακή προστασία	1,00	τεμ



## 6.5. Ηλεκτρομηχανολογικά Έργα – Εξοπλισμός

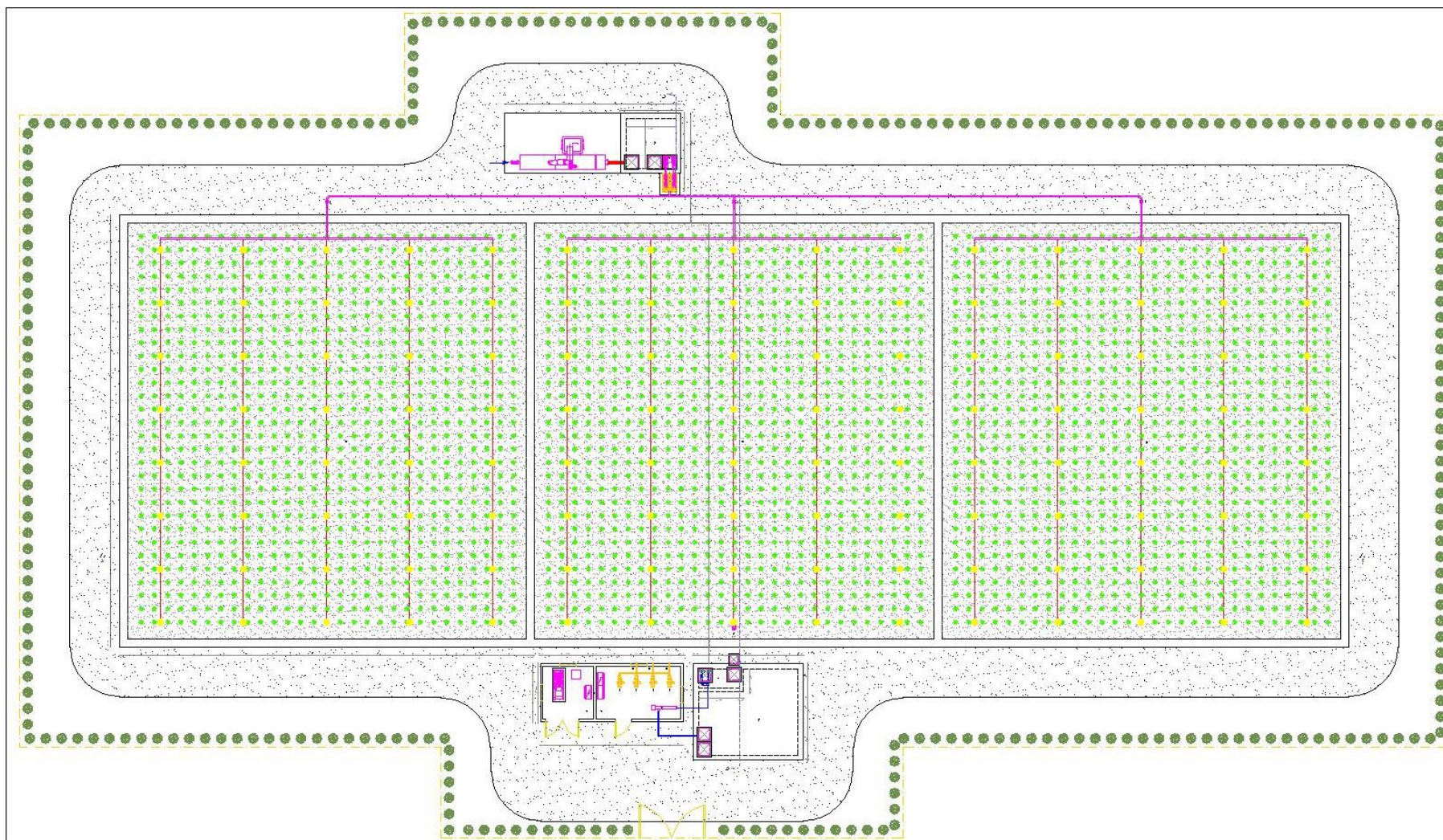
Πίνακας 15 : Προμέτρηση εξοπλισμού

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ
1	Compact Σύστημα Προεπεξεργασίας Λυμάτων INOX 304 για παροχή 9,00 l/s, με εσχάρωση, κοχλίες και κάδοι εσχαρισμάτων, κλπ	1
3	Αντλία τροφοδοσίας υγροβιότοπου (1+1 εφεδρική)	2
4	Φυσητήρας (3+1 εφεδρικός)	4
8	Αντλία Τροφοδοσίας UV (1+1 εφεδρική)	2
9	Μονάδα απολύμανσης UV κλειστού τύπου	1
11	Σύστημα απόσμησης δεξαμενής προεπεξεργασίας	1
12	Βοηθητικός εξοπλισμός(δοσομετρικές αντλίες χημικών, κροκιδωτικών, μετρητές DO & αισθητήρες κλπ-αντιμετωπίζονται ως σύνολο)	1
14	Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος 50 kVA	1
15	Ηλεκτρολογική & Υδραυλική Εγκατάσταση, πλήρης με τηλεμετρία	1
16	Σύστημα αυτοματισμού	1

## 6.6. Σχέδια Εγκατάστασης

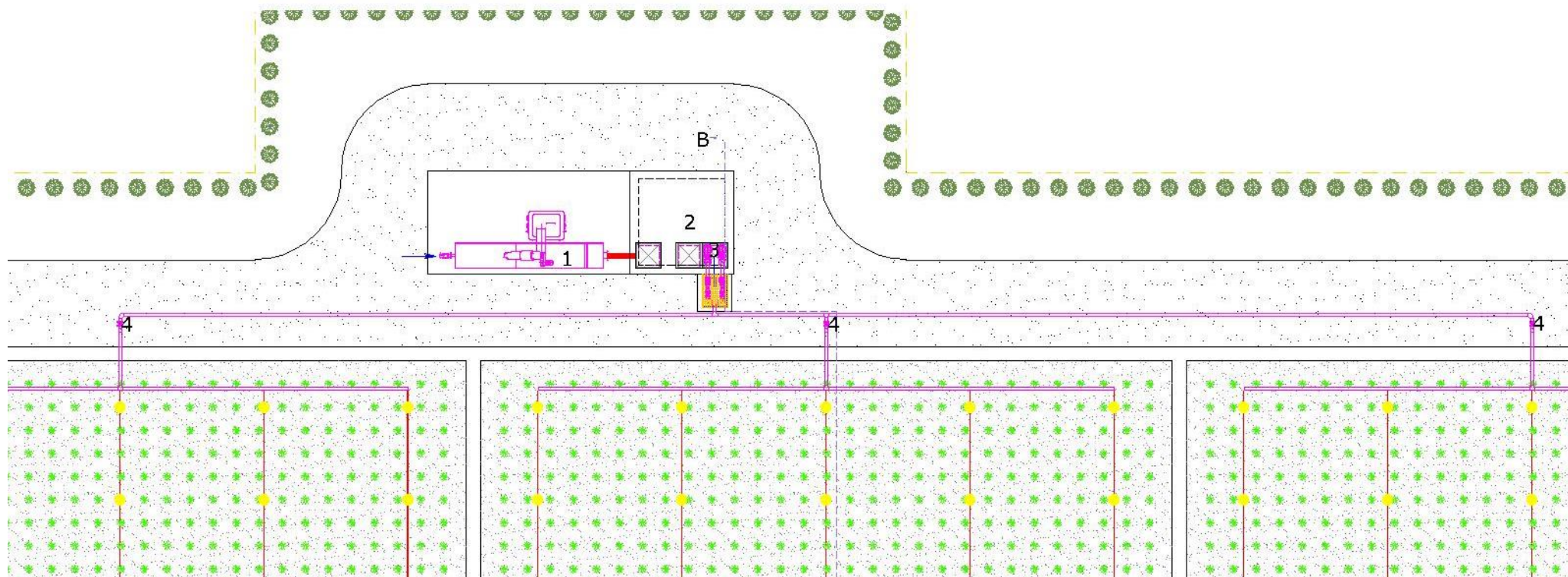
**Πίνακας 16 : Υπόμνημα ΤΥ**

1	COMPACT ΜΟΝΑΔΑ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ
2	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΛΙΝΩΝ
3	ΔΙΔΥΜΟ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΛΙΝΩΝ
4	ΗΛΕΚΤΡΟΒΑΝΑ
5	ΚΛΙΝΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
6	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΚΛΙΝΩΝ
7	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΥΥ
8	ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΥΥ
9	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΥΥ
10	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΘΑΡΩΝ
11	ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ
12	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
13	ΟΙΚΙΣΚΟΣ ΣΤΕΓΑΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ
14	ΦΥΣΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ
15	ΑΓΩΓΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ
16	ΔΙΑΤΡΗΤΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

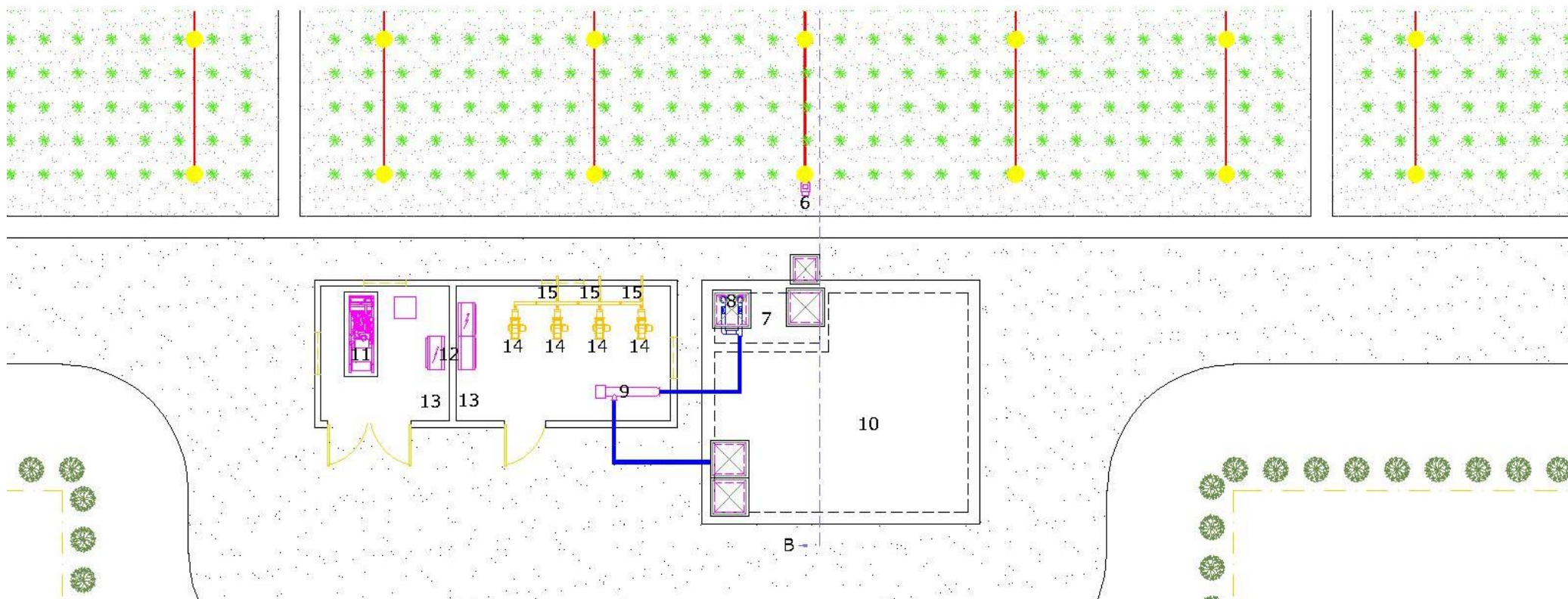


**Εικόνα 21 : Κάτοψη εγκατάστασης Τεχνητού Υδροβιότοπου**





Εικόνα 22 : Κάτοψη εγκατάστασης-λεπτομέρειες Τεχνητού Υγροβιότοπου(a)

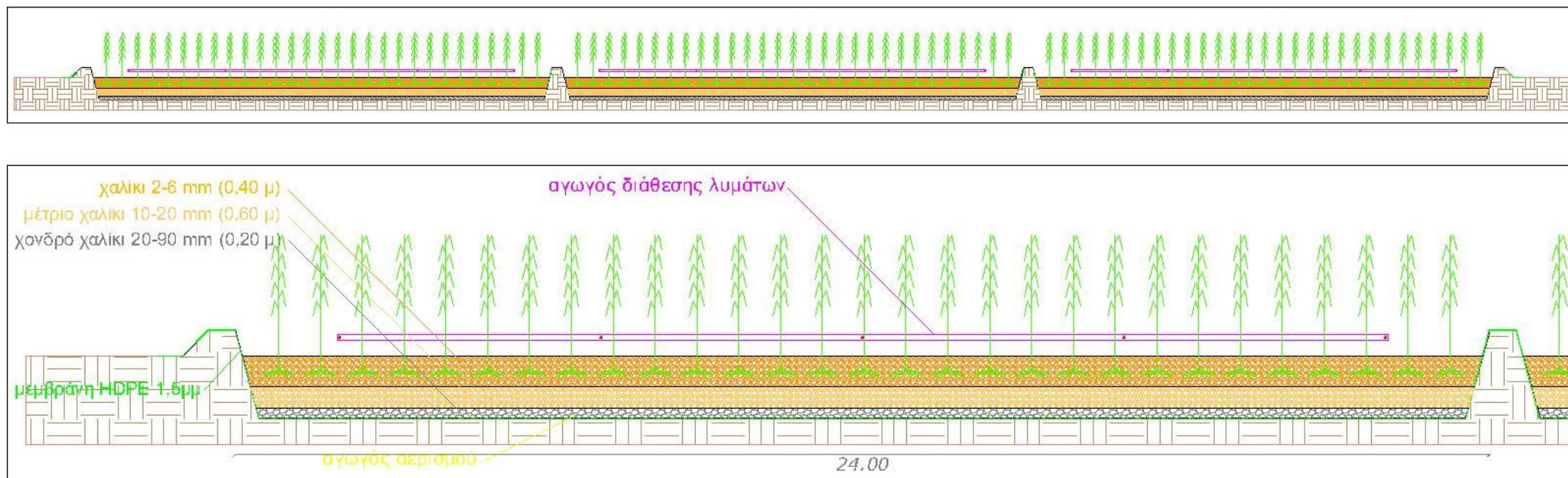


**Εικόνα 23 : Κάτοψη εγκατάστασης-λεπτομέρειες Τεχνητού Υγροβιότοπου(b)**



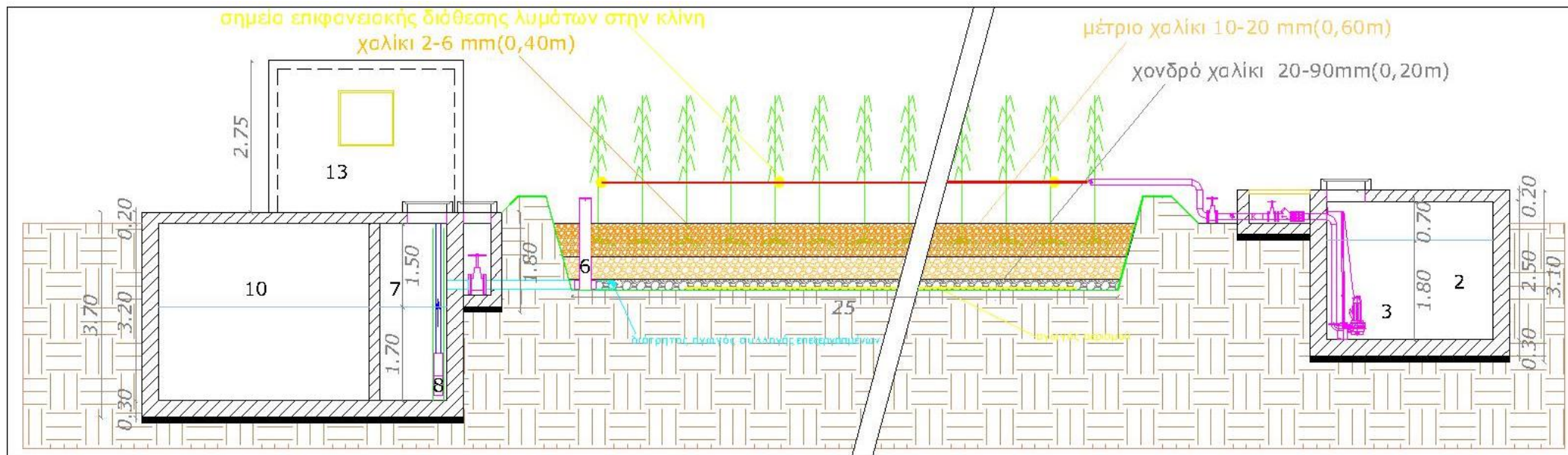
**Εικόνα 24 : Κάτοψη πυθμένα εγκατάστασης Τεχνητού Υγροβιότοπου**





Εικόνα 25 : Τομή A-A και κλίνης Τεχνητού Υγροβιότοπου





Εικόνα 26 : Τομή Β-Β Τεχνητού Υγροβιότοπου

## 6.7. Προϋπολογισμός Έργων – Κατασκευή & Εγκατάσταση Εξοπλισμού

Πίνακας 17 : Προϋπολογισμός έργων Π.Μ.

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΑ	ΤΙΜΗ	ΣΥΝΟΛΟ
1	Γενικές εκσκαφές σε εδάφη γαιώδη - ημιβραχώδη, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	2.388,00	m <sup>3</sup>	2,10 €	5.014,80 €
2	Γενικές εκσκαφές σε εδάφη βραχώδη, εκτός από γρανιτικά-κροκαλοπαγή, χωρίς χρήση εκρηκτικών υλών, χωρίς την καθαρή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	2.388,00	m <sup>3</sup>	25,80 €	61.610,40 €
3	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφής γαιωδών ή ημιβραχωδών & αμμοχαλικών	2.193,00	m <sup>3</sup>	3,21 €	7.039,53 €
4	Φορτοεκφόρτωση βραχωδών υλικών ή καθαιρεθέντος οπλισμένου ή άοπλου σκυροδέματος	2.253,00	m <sup>3</sup>	3,26 €	7.344,78 €
5	Ξυλότυποι ή σιδηρότυποι επιπέδων επιφανειών	350,00	m <sup>2</sup>	8,20 €	2.870,00 €
6	Αποστάτες σιδηροπλισμού σκυροδεμάτων	308,00	m <sup>2</sup>	2,20 €	677,60 €
7	Παραγωγή, μεταφορά, διάστρωση, συμπύκνωση και συντήρηση σκυροδέματος για κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15	28,00	m <sup>3</sup>	77,00 €	2.156,00 €
8	Παραγωγή, μεταφορά, διάστρωση, συμπύκνωση και συντήρηση σκυροδέματος για κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37	55,00	m <sup>3</sup>	103,00 €	5.665,00 €
9	Κατασκευή συμπίεσμένου επιχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	273,00	m <sup>3</sup>	0,52 €	141,96 €
10	Προμήθεια και τοποθέτηση σιδηρού οπλισμού σκυροδεμάτων B500C κατά ΕΛΟΤ 1421-3	6.575,00	kg	0,98 €	6.443,50 €
11	Δομικά πλέγματα B500C (S500s)	840,00	kg	1,01 €	848,40 €
12	Στεγανοποιητικό υλικό μάζας σκυροδέματος	76,00	kg	0,52 €	39,52 €
13	Στεγανωτική επάλειψη σκυροδέματος	147,00	m <sup>2</sup>	14,40 €	2.116,80 €
14	Καλύμματα φρεατίων ανοξείδωτα INOX 304L	254,00	kg	10,00 €	2.540,00 €
15	Οπτοπλινθοδομές με διακένους τυποποιημένους οπτοπλίνθους 6x9x19 cm πάχους 1/2 πλίνθου (δρομικοί τοίχοι)	45,00	m <sup>2</sup>	19,50 €	877,50 €
16	Γραμμικά διαζώματα (σενάζ) από ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα δρομικών τοίχων	22,00	m	16,80 €	369,60 €
17	Επιχρίσματα τριπτά - τριβιδιστά με τσιμεντοκονίαμα	91,00	m <sup>2</sup>	13,50 €	1.228,50 €
18	Επίστρωση απλή με ασφαλτόπανο	61,00	m <sup>2</sup>	7,90 €	481,90 €
19	Θερμική απομόνωση οροφών και δαπέδων με φύλλα διογκωμένης πολυστερίνης	61,00	m <sup>2</sup>	14,00 €	854,00 €
20	Θερμομόνωση τοίχων με πλάκες από αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη	46,00	m <sup>2</sup>	11,80 €	542,80 €
21	Βιομηχανικό δάπεδο	28,00	m <sup>2</sup>	22,50 €	630,00 €
22	Περιθώρια (σοβατεπιά) από κεραμικά πλακίδια	30,00	μμ	4,50 €	135,00 €
23	Χρωματισμοί επί εσωτερικών επιφανειών επιχρισμάτων με χρήση πλαστικών ακρυλικών χρωμάτων, ακρυλικής ή πολυβινυλικής βάσεως	99,00	m <sup>2</sup>	9,00 €	891,00 €
24	Χρωματισμοί επί εξωτερικών επιφανειών επιχρισμάτων με χρήση πλαστικών ακρυλικών χρωμάτων, ακρυλικής ή πολυβινυλικής βάσεως	91,00	m <sup>2</sup>	10,10 €	919,10 €

25	Υαλοστάσια αλουμινίου μεμονωμένα, δίφυλλα, με ή χωρίς σταθερό φεγγίτη, ανοιγόμενα περί κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα	4,00	m <sup>2</sup>	190,00 €	760,00 €
26	Θύρες αλουμινίου χωρίς υαλοστάσιο	5,00	m <sup>2</sup>	175,00 €	875,00 €
27	Στεγανοποίηση με μεμβράνη πολυαιθυλενίου (PE) πάχους 1,5 mm	2.229,00	m <sup>2</sup>	5,70 €	12.705,30 €
28	Κατασκευή επιστρώματος μεμβράνης από διαβαθμισμένο φραυστό υλικό	358,00	m <sup>3</sup>	13,15 €	4.707,70 €
29	Φίλτρα στραγγιστηρίων από διαβαθμισμένα αδρανή κοκομετρίας 10-20/2-6 mm	1.790,00	m <sup>3</sup>	12,15 €	21.748,50 €
30	Φυτική ύλη(καλαμιές)	1.610,00	τεμ	3,00 €	4.830,00 €
31	Σωλήνας τροφοδοσίας D100	120,00	m	10,10 €	1.212,00 €
32	Σωλήνας τροφοδοσίας D50	345,00	m	4,00 €	1.380,00 €
33	Διάτρητος σωλήνας D160	70,00	m	15,50 €	1.085,00 €
34	Σωλήνας αερισμού D50	50,00	m	4,00 €	200,00 €
35	Σωλήνας αερισμού D20	1.440,00	m	2,50 €	3.600,00 €
36	Διάστρωση επιφάνειας γηπέδου με χαλίκι 3Α, πάχους 10 cm και μεμβράνη HDPE 1.5mm	79,00	m <sup>3</sup>	70,15 €	5.541,85 €
37	Περίφραξη με συρματοπλέγμα	268,00	m	14,90 €	3.993,20 €
38	Περιμετρική Δενδροφύτευση	273,00	τεμ	38,90 €	10.619,70 €
39	Καγκελόπορτα, διαστάσεων 2,00×4,00m, από χαλύβδινα προφίλ, με την απαιτούμενη αντισκωριακή προστασία	1,00	τεμ	1.500,00 €	1.500,00 €
					<b>186.195,94 €</b>

**Πίνακας 18 : Προϋπολογισμός εξοπλισμού**

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΤΙΜΗ	ΣΥΝΟΛΟ
1	Compact Σύστημα Προεπεξεργασίας Λυμάτων INOX 304 για παροχή 9,00 l/s, με εσχάρωση, κοχλίες και κάδοι εσχарισμάτων, κλπ	1	15.000,00 €	15.000,00 €
2	Αντλία τροφοδοσίας υγροβιότοπου(1+1 εφεδρική)	2	5.500,00 €	11.000,00 €
3	Φυσητήρας (3+1 εφεδρικός)	4	4.500,00 €	18.000,00 €
4	Αντλία Τροφοδοσίας UV (1+1 εφεδρική)	2	2.300,00 €	4.600,00 €
5	Μονάδα απολύμανσης UV κλειστού τύπου	1	15.000,00 €	15.000,00 €
6	Βοηθητικός εξοπλισμός	1	10.000,00 €	10.000,00 €
7	Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος 50 kVA	1	12.000,00 €	12.000,00 €
8	Ηλεκτρολογική & Υδραυλική Εγκατάσταση, πλήρης με τηλεμετρία	1	10.000,00 €	10.000,00 €
9	Σύστημα αυτοματισμού	1	2.000,00 €	2.000,00 €
				<b>97.600,00 €</b>

## 6.8. Προϋπολογισμός Έργων – Λειτουργία & Συντήρηση (Στάδιο 2)

Πίνακας 19 : Καταναλισκόμενη ενέργεια

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΤΕΜΑΧΙΑ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ (kW)	ΑΠΟΡ. ΙΣΧΥΣ (kW)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΧΕΙΜΩΝΑ (hr)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΘΕΡΟΣ (hr)	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣ ΚΟΜΕΝΕΣ kWh ΗΜΕΡΗΣΙΩΣ ΠΕΡΙΟΔΟ ΧΕΙΜΩΝΑ (Kwh/day)	ΚΑΤΑΝΑΛ ΙΣΚΟΜΕΝ ΕΣ kWh ΗΜΕΡΗΣΙ ΩΣ ΠΕΡΙΟΔΟ ΘΕΡΟΣ (Kwh/day)	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣ ΚΟΜΕΝΕΣ kWh ΕΤΗΣΙΩΣ (Kwh/year)	ΕΤΗΣΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙ ΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€/year) [kWh -> 0,13 cents]
1	Compact Σύστημα Προεπεξεργασίας INOX 304 για παροχή 9,00 l/s, με εσχάρωση, κοχλίες και κάδοι εσχαρισμάτων, κλπ	1	1	2,20	2,20	1,76	4	12	7,04	21,12	5.068,80	658,94
2	Αντλία τροφοδοσίας υγροβιότοπου (1+1 εφεδρική)	2	1	4,00	4,00	3,20	1,2	5,4	3,84	17,28	3.801,60	494,21
3	Φυσητήρας (3+1 εφεδρικός)	4	1	8,00	8,00	6,40	12	24	53,76	153,60	37.324,80	4.852,22
4	Αντλία Τροφοδοσίας UV (1+1 εφεδρική)	2	1	2,20	2,20	1,76	2	6	3,52	10,56	2.534,40	329,47
5	Μονάδα απολύμανσης UV κλειστού τύπου	1	1	1,60	1,60	1,60	2	6	3,20	9,60	2.304,00	299,52
6	Βοηθητικός εξοπλισμός	1	1	1,50	1,50	1,50	24	24	36,00	36,00	12.960,00	1.684,80
					19,50	16,22			107,36	248,16	63.993,60	8.319,17

### Διαχείριση Ιλύος

Η διαχείριση ιλύος περιλαμβάνει την συλλογή της από τις επιφάνειες των κλινών ανά 10-12 περίπου χρόνια και την μεταφορά τους για γεωργική χρήση.

Η ποσότητα που υπολογίζεται να απομακρύνεται είναι περίπου  $(24 \times 25 \times 3 \times 0,60)1.080 \text{ m}^3$ , όπου με αναγωγή στην 10 ετία προκύπτει  $1.350 \text{ m}^3$ .

Το κόστος διαχείρισης αφυδατωμένης ιλύος (εδώ υπολογίζεται μόνο συλλογή-μεταφορά) θεωρείται 15 ευρώ/ $\text{m}^3$ , επομένως σε βάθος 10ετίας το συνολικό κόστος διαχείρισης ιλύος θα είναι 20.250 ευρώ, ή **2.000 ευρώ περίπου κατ' έτος**.

### Κόστος Χημικών

Με την παρουσία τεχνολογία δεν υπάρχουν απαιτήσεις σε οποιουδήποτε είδους χημικά

### Κόστος Προσωπικού

Για την σωστή, ομαλή και αποδοτική λειτουργία της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων σύμφωνα με το σύστημα επεξεργασίας που προδιαγράφεται στην παρούσα, θα απαιτηθεί κατ' ελάχιστον το ακόλουθο προσωπικό:

- ❖ Ένας (1) Μηχανικός Τ.Ε. Ηλεκτρολόγος για την λειτουργία-συντήρηση της ΕΕΛ, μερικής απασχόλησης, 1.500 € / έτος
- ❖ Ένας (1) Μηχανικός Τ.Ε. Υδραυλικός για την λειτουργία-συντήρηση της ΕΕΛ, μερικής απασχόλησης, 1.500 € / έτος

Κόστος απασχόλησης του παραπάνω προσωπικού: **3.000 € / έτος**, καθώς οι απαιτήσεις για επιθεώρηση/συντήρηση είναι ιδιαίτερα χαμηλές, με έως δύο επισκέψεις τον μήνα να κρίνονται επαρκείς.

## 7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Το έργο ως δραστηριότητα κατατάσσεται ως **Εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων (πόλεων και οικισμών) με διάθεση επεξεργασμένων υγρών σε επιφανειακό υδάτινο αποδέκτη ή τη θάλασσα (α/α 19)**, σύμφωνα με το Παράρτημα 4 της Υ.Α. ΔΙΠΑ οικ. 37674/27-7-2016 (ΦΕΚ 2471/Β/10-8-2016) για την «Τροποποίηση και κωδικοποίηση της υπουργικής απόφασης 1958/2012 - Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες σύμφωνα με το άρθρο 1 παράγραφος 4 του Ν. 4014/21.9.2011 (ΦΕΚ 209/Α/2011) όπως αυτή έχει τροποποιηθεί και ισχύει», και συγκεκριμένα στην **υποκατηγορία Α2** της παραπάνω Υ.Α. (Ισοδύναμος πληθυσμός = 1.200, που είναι <100.000).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει ένα έργο αυτής της κατηγορίας στο περιβάλλον, χωρίζονται σε επιπτώσεις από την κατασκευή του έργου και στις επιπτώσεις από τη λειτουργία του έργου. Απαραίτητη προϋπόθεση αποδοχής του έργου είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις να μην καταλήγουν σε σοβαρές βλάβες του περιβάλλοντος, ενώ οι ενδιάμεσες μεταβολές να γίνονται με τέτοιο ρυθμό όπου το περιβάλλον θα προλαβαίνει να τις απορροφήσει. Έτσι για να γίνει η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός έργου, καθορίζονται οι παράμετροι του περιβάλλοντος οι οποίες υφίστανται τις επιπτώσεις, και στη συνέχεια αξιολογούνται οι μεταβολές της ποιότητάς τους.

Παρακάτω ακολουθούν συγκριτικοί Πίνακες των επιπτώσεων που ενδέχεται να προκύψουν τόσο στην φάση της κατασκευής, όσο και στη φάση της λειτουργίας των δύο συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων που μελετώνται. Ο **Πίνακας 20** και ο **Πίνακας 21** αφορούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την λειτουργία και την κατασκευή της ΕΕΛ με το σύστημα MBBR. Ο **Πίνακας 22** και ο **Πίνακας 23** αφορούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την λειτουργία και κατασκευή της ΕΕΛ με το σύστημα ΤΥ.



**Πίνακας 20 : Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ΕΕΛ με  
σύστημα MBBR κατά την φάση της κατασκευής**

Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ΕΕΛ με το Σύστημα MBBR κατά την φάση κατασκευής												
ΦΑΣΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ		ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ			ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ			
		ΘΕΤΙΚΕΣ	ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΜΕΤΡΙΩΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΜΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΑΜΕΛΗΤΕΕΣ	ΜΟΝΙΜΕΣ	ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ	ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ	ΟΛΙΚΩΣ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ
ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Κλίμα						✓					
	Μορφολογία		✓		✓				✓		✓	
	Γεωλογία & έδαφος		✓		✓				✓		✓	
	Φυσικό Περιβάλλον		✓	✓					✓		✓	
	Ανθρωπογενές Περιβάλλον		✓	✓					✓			✓
	Κοινωνία - Οικονομία		✓	✓					✓			✓
	Τεχνικές υποδομές		✓	✓					✓			✓
	Ποιότητα του αέρα		✓	✓					✓			✓
	Θόρυβος & Δονήσεις		✓	✓					✓			✓
	Ύδατα		✓			✓			✓			✓



**Πίνακας 21 : Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ΕΕΛ με το  
σύστημα MBBR κατά την φάση της λειτουργίας**

Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ΕΕΛ με το Σύστημα MBBR κατά την φάση λειτουργίας												
ΦΑΣΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ		ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ			ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ			
		ΘΕΤΙΚΕΣ	ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΜΕΤΡΙΩΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΜΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΑΜΕΛΗΤΕΕΣ	ΜΟΝΙΜΕΣ	ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ	ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ	ΟΛΙΚΩΣ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ
ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	Κλίμα						✓					
	Μορφολογία		✓			✓		✓		✓		
	Γεωλογία & έδαφος		✓			✓		✓		✓		
	Φυσικό Περιβάλλον	✓		✓				✓			✓	
	Ανθρωπογενές Περιβάλλον	✓		✓				✓			✓	
	Κοινωνία - Οικονομία	✓		✓				✓			✓	
	Τεχνικές υποδομές	✓		✓				✓			✓	
	Ποιότητα του αέρα		✓			✓			✓		✓	
	Θόρυβος & Δονήσεις		✓			✓			✓		✓	
	Ύδατα	✓		✓				✓			✓	

**Πίνακας 22 : Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ΕΕΛ με το  
σύστημα ΤΥ κατά την φάση της κατασκευής**

Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ΕΕΛ με το Σύστημα ΤΥ κατά την φάση κατασκευής												
ΦΑΣΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ		ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ			ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ			
		ΘΕΤΙΚΕΣ	ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΜΕΤΡΙΩΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΜΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΑΜΕΛΗΤΕΕΣ	ΜΟΝΙΜΕΣ	ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ	ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ	ΟΛΙΚΩΣ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ
ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Κλίμα						✓					
	Μορφολογία		✓		✓				✓		✓	
	Γεωλογία & έδαφος		✓		✓				✓		✓	
	Φυσικό Περιβάλλον		✓	✓					✓		✓	
	Ανθρωπογενές Περιβάλλον		✓	✓					✓			✓
	Κοινωνία - Οικονομία		✓	✓					✓			✓
	Τεχνικές υποδομές		✓	✓					✓			✓
	Ποιότητα του αέρα		✓	✓					✓			✓
	Θόρυβος & Δονήσεις		✓	✓					✓			✓
	Ύδατα		✓						✓			✓

**Πίνακας 23 : Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ΕΕΛ με το  
σύστημα ΤΥ κατά την φάση της λειτουργίας**

Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ΕΕΛ με το Σύστημα ΤΥ κατά την φάση λειτουργίας												
ΦΑΣΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ		ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ			ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ			
		ΘΕΤΙΚΕΣ	ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΜΕΤΡΙΩΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΜΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΑΜΕΛΗΤΕΕΣ	ΜΟΝΙΜΕΣ	ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ	ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ	ΟΛΙΚΩΣ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ
ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	Κλίμα						✓					
	Μορφολογία	✓		✓				✓			✓	
	Γεωλογία & έδαφος		✓			✓		✓		✓		
	Φυσικό Περιβάλλον	✓		✓				✓			✓	
	Ανθρωπογενές Περιβάλλον	✓		✓				✓			✓	
	Κοινωνία - Οικονομία	✓		✓				✓			✓	
	Τεχνικές υποδομές	✓		✓				✓			✓	
	Ποιότητα του αέρα		✓			✓			✓		✓	
	Θόρυβος & Δονήσεις						✓					
	Ύδατα	✓		✓				✓			✓	

### **Επιπτώσεις στα κλιματολογικά χαρακτηριστικά (κατασκευή/λειτουργία)**

Η μικρή κλίμακα των έργων (εκσκαφές, τοποθετήσεις αγωγών, μηχανήματα σε λειτουργία) που θα εκτελεστούν τμηματικά δεν αναμένεται να επηρεάσουν τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Δεν θα υπάρξει καμιά αλλαγή ούτε στην θερμοκρασία ούτε στην υγρασία της περιοχής. Αυτό αφορά και τα δυο προτεινόμενα συστήματα τόσο στην φάση της κατασκευής όσο και της λειτουργίας, για αυτό οι επιπτώσεις θεωρούνται αμελητέες.

### **Επιπτώσεις στα μορφολογικά & τοπιολογικά χαρακτηριστικά (κατασκευή/λειτουργία)**

Κατά την φάση της κατασκευής και των δύο συστημάτων αναμένονται προσωρινές αλλαγές στο φυσικό τοπίο λόγω των εκσκαφών και της παρουσίας του εργοταξίου, οι οποίες όμως εκτιμώνται ως τοπικές και μέτριες. Κατά την φάση της λειτουργίας θα υπάρχουν επιπτώσεις μετρίως σημαντικές, λόγω των κατασκευών των οικίσκων και των δεξαμενών και των κλινών και για τα δύο συστήματα.

Αλλαγή στο φυσικό ανάγλυφο χαρακτηριστικά γίνεται μόνο τοπικά, στη θέση του έργου, και το έργο μετά την περάτωσή του θα είναι ελάχιστα ορατό ακόμη και σε πολύ μικρή απόσταση. Κατά τη διάρκεια των χωματουργικών έργων θα προκληθούν οχλήσεις από τη σκόνη και την διακίνηση βαρέων οχημάτων, αυτό όμως δεν δημιουργεί πρόβλημα διότι η χωροθέτηση της μονάδας θεωρούμε ότι θα γίνει εκτός οικισμού.

### **Επιπτώσεις στα γεωλογικά, τεκτονικά & εδαφολογικά χαρακτηριστικά στη φάση της κατασκευής/λειτουργίας**

Κατά την διάρκεια της κατασκευής και για τα δύο συστήματα, θεωρούμε ότι δε θα δημιουργηθούν φαινόμενα κατολισθήσεων και καθιζήσεων καθώς και ότι δε θα καταστραφεί κάποιο μοναδικό γεωλογικό ή φυσικό φαινόμενο. Κατά τη

διαμόρφωση του οικοπέδου της εγκαταστάσεως, θα προκύψουν διασπάσεις και μετατοπίσεις, επιφανειακού στρώματος του εδάφους. Υπολογίζεται ότι υλικά της εκσκαφής θα χρησιμοποιηθούν για επιχώσεις και διαμορφώσεις του περιβάλλοντα χώρου των εγκαταστάσεων. Τα υπόλοιπα υλικά, θα μεταφερθούν και θα διατεθούν σε αδειοδοτημένη επιχείρηση διαχείρισης αποβλήτων εκσκαφών στο Χορδάκι, χωρίς να δημιουργήσουν το παραμικρό πρόβλημα.

Όσο αφορά την φάση λειτουργίας δεν αναμένονται δυσμενείς επιπτώσεις από την λειτουργία, πάρα μόνο θετικές λόγω της εγκατάλειψης της χρήσης των μη στεγανών βόθρων. Επίσης δε συντρέχει κίνδυνος διαρροής ή έκρηξης επικίνδυνων ουσιών, διότι οι μόνες χημικές ουσίες που θα υπάρχουν στην μονάδα MBBR είναι ο πολυηλεκτρολύτης για την αφυδάτωση λάσπης καθώς και το κροκιδωτικό αποφωσφόρωσης, και μάλιστα σε μικρές ποσότητες. Τα συγκεκριμένα χημικά θα είναι αποθηκευμένα σε χώρους που διαθέτουν σύστημα συγκέντρωσης διαρροών.

Το σύστημα των ΤΥ δεν χρειάζεται χημικά για την λειτουργία του και ούτε προκύπτουν παραπροϊόντα διεργασιών, οπότε οι επιπτώσεις από την λειτουργία του είναι αμελητέες.

### **Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον στη φάση της κατασκευής/λειτουργίας**

Κατά την διάρκεια της κατασκευής αναμένεται διατάραξη της πανίδας και της χλωρίδας στην περιοχή εκτέλεσης των έργων εξαιτίας του θορύβου, της σκόνης και της ανθρώπινης παρουσίας, οι οποίες όμως κρίνονται μη σημαντικές λόγω της μικρής κλίμακας. Οι αισθητικές επιπτώσεις από την παρουσία του εργοταξίου είναι αναπόφευκτες, μάλιστα στη συγκεκριμένη περίπτωση εκτιμάται ότι οι επιπτώσεις δεν θα είναι έντονες, λόγω του μικρού εύρους εργασιών. Τα παραπάνω ισχύουν και για τα δυο συστήματα.

Ο σχεδιασμός των έργων και του περιβάλλοντα χώρου και των δύο συστημάτων έγινε ώστε στην φάση της λειτουργίας να μην υπάρχει αισθητική υποβάθμιση αλλά εναρμονισμός με το φυσικό τοπίο και την αρχιτεκτονική φυσιογνωμία των μικρών οικισμών. Τα κτίρια που προτείνονται διαθέτουν κεραμοσκεπή, όπως η πλειονότητα των κτιρίων στους μικρούς οικισμούς του ελληνικού χώρου, ενώ οι ΤΥ εντάσσονται στο φυσικό τοπίο ως ενδιαιτήματα. Τα φυτά που θα καλλιεργηθούν στον περιβάλλοντα χώρο της ΕΕΛ, θα είναι ενδημικά είδη της περιοχής. Η πανίδα της περιοχής θεωρούμε ότι δεν θα επηρεαστεί, με μείωση του αριθμού των σπανίων ή υπό προστασία ειδών ζώων, καθώς το γήπεδο των εγκαταστάσεων θα απέχει εκ της χωροθετήσεως, από περιοχές προστασίας της φύσης και ιδιαίτερου φυσικού κάλλους. Το φυσικό περιβάλλον θα ευνοηθεί, λόγω της βελτίωσης της ποιότητας των αποδεκτών.

Λόγω της φύσεως των αποβλήτων υπάρχει μικρή πιθανότητα εμφάνισης εντόμων μόνο στο σύστημα του υγροβιότοπου και το φαινόμενο μπορεί να ενταθεί εάν δεν τηρούνται οι κανόνες υγιεινής. Τα έντομα είναι επικίνδυνα για τη διάδοση ασθενειών και μπορούν να ελεγχθούν με τακτική χρήση εντομοκτόνου. Επίσης συστήνεται ο τακτικός καθαρισμός όλων των χώρων και η αυστηρή τήρηση των κανόνων υγιεινής. Μάλιστα για το σύστημα MBBR δε θα πρέπει να γίνεται αποθήκευση της ιλύος και των εσχαρισμάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά να διατίθενται σε εγκεκριμένους χώρους ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Μια ΕΕΛ σχεδιασμένη σωστά δεν θα αλλοιώσει την αισθητική του τοπίου, αλλά θα συντελέσει στην επίλυση του προβλήματος της διάθεσης των λυμάτων, που πραγματοποιείται μέσω ενός μη περιβαλλοντικά αποδεκτού τρόπου και θα οδηγήσει στην εξυγίανση των εδαφών και των υδάτινων αποδεκτών.

**Επιπτώσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον στη φάση της κατασκευής/λειτουργίας**

Τα έργα των εγκαταστάσεων και για τα δύο συστήματα τόσο στην φάση της λειτουργίας όσο και στην φάση της κατασκευής, δεν θα αλλάξουν ούτε θα καταστρέψουν κάτι από την πολιτιστική κληρονομιά μας. Η θέση του γηπέδου θα απέχει από περιοχές με ιστορικό ή τουριστικό ενδιαφέρον, μάλιστα έχει προβλεφθεί ζώνη δενδροφύτευσης για την πλήρη απόκρυψη της.

Τα έργα θα επηρεάσουν θετικά τον οικισμό σε θέματα υγιεινής και προστασίας του περιβάλλοντος, αφού θα απαλλάξει την περιοχή από την ανεξέλεγκτη απόρριψη των βοθρολυμάτων στα ρέματα της ευρύτερης περιοχής. Επίσης δεν θα υπάρξει επιπρόσθετη κίνηση τροχοφόρων, αλλά αντιθέτως μείωση, διότι με την λειτουργία μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, θα μειωθεί σημαντικά η κίνηση των βοθροφόρων οχημάτων, εφόσον ο οικισμός θα συνδεθεί με το δίκτυο αποχέτευσης και καταργήσει τους βόθρους.

### **Επιπτώσεις στα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά στη φάση της κατασκευής/λειτουργίας**

Η ΕΕΛ δεν θα δημιουργήσει κανένα κίνδυνο της υγείας των ανθρώπων της περιοχής, αλλά αντίθετα θα τους απαλλάξει από οποιονδήποτε κίνδυνο έχουν μέχρι σήμερα με την λειτουργία των βόθρων. Αυτό ισχύει και για την φάση λειτουργίας αλλά και για την φάση της κατασκευής.

Μόνο για τους συντηρητές της ΕΕΛ, είναι πιθανή η έκθεση της υγείας τους σε κίνδυνο, οι οποίοι όμως υποχρεωτικά θα πρέπει να κάνουν μια σειρά εμβολίων και να λαμβάνουν καθημερινά μέτρα προστασίας της υγείας τους, όταν έρχονται σε επαφή με τα λύματα. Επίσης μια ΕΕΛ ως έργο υποδομής, διευκολύνει την οικιστική ανάπτυξη μιας περιοχής.

Οι επιπτώσεις στη φάση κατασκευής του έργου στο κοινωνικό-οικονομικό περιβάλλον είναι ως επί το πλείστον ουδέτερες ή θετικές, άρα δεν απαιτείται καμία ιδιαίτερη μέριμνα. Στην φάση της λειτουργίας μιας ΕΕΛ, οι επιπτώσεις είναι θετικές διότι δημιουργούνται θέσεις εργασίας.



## **Επιπτώσεις στις τεχνικές υποδομές στη φάση της κατασκευής/λειτουργίας**

Θα γίνει σύνδεση των έργων με το υπάρχον δίκτυο ηλεκτρισμού, με το δίκτυο τηλεπικοινωνιών και με το δίκτυο της ύδρευσης κατά την φάση της κατασκευής και φυσικά της λειτουργίας. Με τη λειτουργία της μονάδας σε συνδυασμό με την κατασκευή εσωτερικού δικτύου αποχέτευσης θα καταργηθούν όλοι οι βόθροι εντός του οικισμού.

## **Επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα στη φάση της κατασκευής/λειτουργίας**

Οι επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα στη φάση της κατασκευής, οφείλονται κυρίως στη δημιουργία σκόνης. Το πρόβλημα αυτό είναι αναπόφευκτο σε τέτοιου είδους εργασίες, και θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για την ελαχιστοποίηση του. Η απόσταση του έργου από κατοικίες καθιστά τις επιπτώσεις από την έκλυση σκόνης στο ανθρωπογενές περιβάλλον αμελητέες, όμως επιβαρύνεται το φυσικό περιβάλλον, το προσωπικό καθώς επίσης δημιουργείται και αισθητική όχληση.

Τα SS οφείλονται σε σωματίδια κυρίως από αδρανή υλικά (άμμος, τσιμέντο, μπάζα, χώματα κ.λπ) τα οποία είναι αβλαβή (μη τοξικά, μη επικίνδυνα). Σε ότι αφορά τους ρύπους οι οποίοι προσροφώνται στα σωματίδια, οφείλονται κυρίως σε τυχαία διαρροή καυσίμων και λιπαντικών των οχημάτων και μηχανημάτων του εργοταξίου, και ο μόνος τρόπος αντιμετώπισης είναι ο περιορισμός τέτοιου είδους περιστατικών, μέσω προσεκτικής διαχείρισης.

Συνίσταται λοιπόν, η λειτουργία των μηχανημάτων και των οχημάτων που εργάζονται στο χώρο, να γίνεται με τους κατάλληλους χειρισμούς. Να διαβρέχονται τακτικά οι περιοχές όπου γίνονται εργασίες διάστρωσης των εσωτερικών οδών πρόσβασης κατά τους ξηρούς κυρίως μήνες. Η μεταφορά των αδρανών υλικών να διενεργείται πάντοτε από φορτηγά αυτοκίνητα που

είναι σκεπασμένα. Τα παραπάνω ισχύουν και για την κατασκευή και των δυο συστημάτων.

Η εκσκαφή των κλινών ΤΥ θα είναι εκτεταμένη εξαιτίας της φύσης του έργου και άρα οι επιπτώσεις από την παρουσία σκόνης μεγαλύτερες από ότι για το σύστημα MBBR, του οποίου θα είναι περιορισμένες και δεν θα υπερβαίνουν τις εκπομπές που παράγονται από την κατασκευή ενός δομικού έργου.

Οι κυριότερες πιθανές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα, κατά την διάρκεια της λειτουργίας μιας ΕΕΛ είναι οι δυσάρεστες οσμές, οι πτητικοί υδρογονάνθρακες που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, οι θόρυβοι και τα έντομα.

Η συνήθης όχληση από τη λειτουργία μίας ΕΕΛ είναι οι δυσοσμίες. Οι οσμές που συνήθως επικρατούν σε τέτοιους χώρους προέρχονται από ανόργανα αέρια όπως το υδρόθειο ( $H_2S$ ) και η αμμωνία ( $NH_3$ ). Δύσοσμες ουσίες που εντοπίζονται είναι οι μερκαπτάνες, τα οργανικά σουλφίδια και οι αμίνες, που προκύπτουν από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης.

Οι θέσεις στο χώρο μιας ΕΕΛ όπου εκλύονται δυσάρεστες οσμές είναι τα αντλιοστάσια, η εσχάρωση, καθώς επίσης και οι εγκαταστάσεις πάχυνσης, αφυδάτωσης και αποθήκευσης της ιλύος. Στην προτεινόμενη εγκατάσταση του συστήματος MBBR εκτιμάται ότι οι εκλύσεις δυσοσμιών στην ατμόσφαιρα θα είναι πολύ περιορισμένες, έως και ανύπαρκτες, καθώς όλες οι επιμέρους μονάδες επεξεργασίας θα είναι κλειστές και αποσμούμενες.

Επίσης τα λύματα δεν θα πρέπει να παραμένουν στάσιμα για μεγάλο χρονικό διάστημα, στους αγωγούς παράκαμψης, καθώς ευνοείται η έκλυση οσμών. Τέλος, θα πρέπει να αποφεύγεται η ύπαρξη μεγάλων ελεύθερων υψών πτώσης κατάντη των υπερχειλιστών διότι με την απότομη αναταραχή, διευκολύνεται η έκλυση των δυσοσμιων αερίων στην ατμόσφαιρα και η εκπομπή σταγονιδίων. Η ζώνη δενδροφύτευσης που έχει προβλεφθεί θα λειτουργεί και ως ανεμοφράκτης και θα αποτελεί ένα μέσο παρεμπόδισης της συγκέντρωσης δυσοσμιών στον αέρα.

## **Θόρυβοι και δονήσεις στη φάση της κατασκευής/λειτουργίας**

Τα μηχανήματα που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του έργου διαφέρουν ελάχιστα από αυτά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός συνήθους οικοδομικού έργου. Οι θόρυβοι και οι δονήσεις που θα προκληθούν κατά τη φάση της κατασκευής των δύο συστημάτων θα είναι παροδικοί.

Κατά την φάση της λειτουργίας για το σύστημα MBRB ισχύει ότι η στάθμη θορύβου στην περιοχή δεν πρόκειται να αυξηθεί καθώς τα μόνα εκτεθειμένα μηχανήματα και αναδευτήρες, είναι μικρής ισχύος και έχουν χαμηλή στάθμη θορύβου. Τα μηχανήματα υψηλής στάθμης θορύβου πχ φυσητήρες, και άλλων μηχανημάτων που λειτουργούν με υψηλές ταχύτητες, θα είναι κλεισμένοι σε ηχομονωμένους χώρους και κάποια από αυτά εντός ηχομονωτικών κλωβών. Η στάθμη του θορύβου στο όριο της εγκατάστασης δεν θα υπερβαίνει τα 65 dB, οπότε δεν θα εκτίθεται κανείς άνθρωπος σε υψηλή στάθμη θορύβου. Επιπλέον λόγω της χωροθέτησης του γηπέδου θα υπάρχει ικανή απόσταση από τον οικισμό. Κατά την φάση της λειτουργίας για το σύστημα ΤΥ οι θόρυβοι και οι δονήσεις θεωρούνται αμελητέοι, λόγω της απουσίας μηχανημάτων.

Η αντιμετώπιση του παραγόμενου θορύβου αποτελεί σημαντικό παράγοντα κατά το σχεδιασμό των ενδιάμεσων διεργασιών της εγκατάστασης, αλλά και του συνόλου της διάταξης της εγκατάστασης. Ο παραγόμενος θόρυβος επηρεάζει μόνο το προσωπικό της μονάδας εφόσον υπάρχει επαρκής απόσταση από τον οικισμό. Για να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις από μια ΕΕΛ στον περιβάλλοντα χώρο, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ωριαίες και εποχιακές διακυμάνσεις. Εκτιμάται ότι δεν θα υπάρξει έντονο πρόβλημα ηχορύπανσης, όμως για την κατασκευή των έργων πρέπει να τηρούνται σχολαστικά όλα τα προβλεπόμενα από την ισχύουσα Ελληνική νομοθεσία περί εργοταξιακού θορύβου.

## **Επιπτώσεις στα ύδατα στη φάση της κατασκευής/λειτουργίας**

Οι επιπτώσεις των έργων τόσο κατά την διάρκεια της κατασκευής όσο και κατά την λειτουργία, κρίνονται αμελητέες και για τα δύο συστήματα που μελετώνται. Η μικρή επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα έργα και η μη επέμβαση στις υπάρχουσες οδεύσεις όμβριων θα διασφαλίζουν την πλήρη ελευθερία κίνησης επιφανειακών νερών και την ανεμπόδιστη αποστράγγιση της περιοχής. Επιπλέον δεν θα γίνει καμιά επέμβαση στα υπάρχοντα ρέματα, ούτε στη ροή τυχόν άλλων επιφανειακών νερών, διότι η απαιτούμενη έκταση της ΕΕΛ είναι σχετικά πολύ μικρή, ειδικά για το σύστημα MBBR.

Καμιά αλλαγή στο ρυθμό και στη ποσότητα απόπλυσης του εδάφους, δε θα συμβεί διότι όλα τα όμβρια χωρίς επιπρόσθετα εμπόδια θα καταλήγουν στα ρέματα, όπως δε θα υπάρξει αλλαγή στην κατεύθυνση ή στην παροχή των υπογείων υδάτων. Τέλος οι απαιτήσεις νερού για πλύσεις και άρδευση εντός της ΕΕΛ θα καλύπτεται από τα επεξεργασμένα λύματα και δε θα καταναλώνεται νερό που προορίζεται για τις ανάγκες του κοινού.

Κατά την διάρκεια της κατασκευής, για τη βέλτιστη προστασία του περιβάλλοντος, προτείνεται να μην διατίθενται τα λύματα ανεξέλεγκτα, αλλά να εγκατασταθούν εργοταξιακές τουαλέτες χημικής επεξεργασίας. Τέλος ειδικά απόβλητα κατά τη φάση κατασκευής, προέρχονται από τη συντήρηση των μηχανημάτων και οχημάτων (πχ λιπαντικά) που χρησιμοποιούνται στο εργοτάξιο, και δευτερευόντως, κάποιες μικρές ποσότητες καυσίμων από τυχαία περιστατικά (διαρροές, βλάβες κλπ). Τα ειδικά απόβλητα που παράγονται και οφείλονται στις παραπάνω αιτίες, θεωρούνται τοξικές ουσίες και χρήζουν προσεκτικής διαχείρισης. Θα πρέπει λοιπόν να υπάρχουν αποθηκευμένα σε στο εργοτάξιο διάφορα υλικά (π.χ. πριονίδι, άμμος) μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η προσρόφηση και η συγκράτηση τους. Σε ότι αφορά τα στερεά απόβλητα ίδιας σύστασής με τα οικιακά, θα πρέπει να συλλέγονται μέσα σε κάδους ή σε σακούλες, και έπειτα να αποθηκεύονται προσεκτικά. Έπειτα θα οδηγούνται για διάθεση στον ίδιο χώρο, μαζί με τα οικιακά απορρίμματα της περιοχής.

## 8. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Ακολουθεί η συγκριτική ανάλυση των δύο τεχνολογιών για την ΕΕΛ Μαραθίου.

**Πίνακας 24 : Συγκριτική ανάλυση προτεινόμενων τεχνολογιών**

	Τεχνολογία Επεξεργασίας	
Παράμετρος	Σύστημα MBBR	Σύστημα TY
Ποιότητα Εκροής	Όμοια	
Απαιτούμενη Προεπεξεργασία	Εσχάρωση, αμμοσυλλογή, λιποσυλλογή	Εσχάρωση
Απαιτήσεις σε χημικά	PAC, (17,3% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 3,164 m <sup>3</sup> /year Πολυηλεκτρολύτης αφυδάτωσης 190,8 kg/year	Καμία
Παραπροϊόντα	Εσχαρίσματα - Άμμος - Λίπη - Ιλύς - Στραγγίδια	Εσχαρίσματα
Παραγόμενη Ιλύς	Ιλύς δευτεροβάθμιας επεξεργασίας με μηχανική επεξεργασία για την ασφαλή διάθεσή της Παράγεται και απομακρύνεται καθ' όλη την περίοδο φόρτισης της ΕΕΛ	Σταθεροποιημένη και αφυδατωμένη λάσπη χωρίς μηχανική επεξεργασία - Απομακρύνεται κάθε 10-12 περίπου χρόνια
Απαίτηση Εξειδικευμένου Προσωπικού	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Απαίτηση σε συχνή επιτήρηση	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Περιβαλλοντικές Οχλήσεις (λειτουργία)	Θόρυβος/Οσμές	Οσμές
Έκταση	0,90 στρ.	3,60 στρ.
Εξοπλισμός	Εκτεταμένη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού:	Ελάχιστες απαιτήσεις: αντλίες τροφοδοσίας κλινών

	αντλίες(τροφοδοσίας & δοσομέτρησης, ιλύος), αισθητήρια(οξυγονόμετρα κλπ.), πολύπλοκοι αυτοματισμοί, συνεχή παραμετροποίηση και ρύθμιση	με ηλεκτροβάνες, απολύμανση
Ενεργειακές απαιτήσεις κατ' έτος	212.500,80 kWh	63.993,60 kWh
Κόστος Κατασκευής	ΠΜ: 80.923,20 € ΗΜ: 545.200,00 € <b>ΣΥΝΟΛΟ: 626.123, 20 €</b>	ΠΜ : 186.195,94 € ΗΜ : 97.600,00 € <b>ΣΥΝΟΛΟ: 283.795,94 €</b>
Κόστος λειτουργίας /έτος	ΕΝΕΡΓΕΙΑ: 27.625,10 € ΙΛΥΣ: 6.450,00 € ΧΗΜΙΚΑ: 1.144,80 € ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ: 6.000,00 € <b>ΣΥΝΟΛΟ: 41.219,90 €</b>	ΕΝΕΡΓΕΙΑ: 8.319,17 € ΙΛΥΣ: 2.000,00 € ΧΗΜΙΚΑ: 0 € ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ: 3.000,00 € <b>ΣΥΝΟΛΟ: 13.319,17 €</b>
Κόστος λειτουργίας /10 ετία	<b>412.199,00 €</b>	<b>133.191,70 €</b>
Κόστος κύκλου ζωής εγκατάστασης (10 ετία)	<b>1.038.322,20 €</b>	<b>416.987,64 €</b>

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Ως προς την ποιότητα εκροής της κάθε πρότασης, δεν υπάρχουν διαφορές, καθώς έχουν σχεδιαστεί και οι δύο βάσει των ίδιων απαιτήσεων εκροής, και βάσει πρότερης εμπειρίας και της βιβλιογραφίας και οι δύο τεχνολογίες είναι το ίδιο αποδοτικές ως προς την απομάκρυνση των ρυπαντών από το λύμα προς επεξεργασία. Θεωρείται ότι τηρούνται οι απαιτήσεις για εκροή του Πίνακα 2.

Και στις δύο προτάσεις επεξεργασίας λυμάτων για την ΕΕΛ Μαραθίου, απαιτείται κάποιου είδους προεπεξεργασία, πριν τα λύματα φτάσουν στην βιολογική επεξεργασία. Ωστόσο, οι απαιτήσεις σε κάθε τεχνολογία είναι σαφώς διαφορετικές. Πιο συγκεκριμένα, στην πρόταση με χρήση τεχνητού

υγροβιότοπου, είναι ελάχιστες οι απαιτήσεις προεπεξεργασίας σε σχέση με το σύστημα MBBR. Στο σύστημα MBBR προηγείται, της βιολογικής επεξεργασίας, προεπεξεργασία με compact σύστημα εσχάρωσης, αμμοσυλλογής και λιπосуλλογής, ενώ στο σύστημα ΤΥ απαιτείται μόνο απλή εσχάρωση.

Τα παραπροϊόντα στο σύστημα MBBR αποτελούνται από τα εσχαρίσματα, την άμμο, τα λίπη (απόρροια της προεπεξεργασίας) καθώς και την επεξεργασμένη ιλύ σε καθημερινή βάση. Επιπλέον, παραπροϊόντα είναι και τα στραγγίδια. Στον τεχνητό υγροβιότοπο τα μόνα παραπροϊόντα είναι τα εσχαρίσματα της προεπεξεργασίας.

Η ιλύς στο MBBR προκύπτει από την βιολογική επεξεργασία. Αυτή αφαιρείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα από τα container της βιολογικής επεξεργασίας και στη συνέχεια περνάει από την απαραίτητη, μηχανική, επεξεργασία για ασφαλή τελική διάθεση. Στον ΤΥ δεν υφίσταται κάποιου είδους μηχανική επεξεργασία για την ιλύ, και ουσιαστικά δεν απαιτείται διάταξη διαχείρισης ιλύος. Μόνη απαίτηση για την ιλύ στον ΤΥ που προδιαγράφεται, είναι η απομάκρυνσή της κάθε 10-12 χρόνια περίπου.

Σχετικά με το απαραίτητο προσωπικό και την απαιτούμενη επιτήρηση για κάθε πρόταση, είναι σαφές ότι οι δύο προτάσεις διαφέρουν ως προς τις απαιτήσεις τους. Η ΕΕΛ με MBBR, λόγω του πολύπλοκου και εξειδικευμένου εξοπλισμού που απαιτεί, χρειάζεται και το αντίστοιχο εξειδικευμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό για την ομαλή λειτουργία της. Τόσο οι αυτοματισμοί της εγκατάστασης, όσο οι συνεχείς μετρήσεις από τα εγκατεστημένα αισθητήρια καθιστούν αναγκαία τη συχνή επιτήρηση. Παράλληλα όσο περισσότερος εξοπλισμός υπάρχει σε μία εγκατάσταση, τόσο περισσότερες είναι και οι φθορές σε κινητήρες και μικρούλικά αντλιών, ανεμιστήρων, ηλεκτροβάνες κλπ. Αντιθέτως στο σύστημα με ΤΥ, δεν υπάρχει εξειδικευμένος εξοπλισμός, ούτε αισθητήρια. Οι αντλίες τροφοδοσίας των κλινών λειτουργούν με απλά αισθητήρια στάθμης και πρόβλεψη ξηρής λειτουργίας, με την απαραίτητη παραμετροποίηση του αυτοματισμού τους για χειμώνα και θέρος, όπως αντίστοιχα και οι φυσητήρες τεχνητού αερισμού. Επιπλέον, υπάρχουν μόνο οι ηλεκτροβάνες τροφοδοσίας των κλινών. Οι απαιτήσεις σε παρουσία



προσωπικού, δεν είναι μεγάλες σε κανονική λειτουργία των δύο συστημάτων. Και στα δύο συστήματα χρειάζεται παραμετροποίηση για ομαλή λειτουργία τόσο σε χειμώνα όσο και θέρος, ενώ μία απλή 1 έως 2 φορές κάθε μήνα είναι επαρκής και για τα δύο, με τη διαφορά ότι στην εγκατάσταση με MBBR, ουσιαστικά θα είναι πυκνότερες από το σύστημα με ΤΥ λόγω των συχνότερων βλαβών σε εξοπλισμό.

Με την πρόταση των μονάδων κινούμενης κλίνης, ο σχεδιασμός πραγματοποιείται με έμφαση στον εξοπλισμό, και πόσο μάλλον σε προκατασκευασμένες λύσεις. Αυτό σημαίνει ότι κάθε compact μονάδα είναι σχεδιασμένη από τον κατασκευαστή/προμηθευτή ώστε να δεσμεύει το λιγότερο δυνατό χώρο, λόγω βέλτιστης χωροθέτησης του εξοπλισμού εντός των container. Δεν υπάρχουν εκτεταμένες κατασκευές από σκυρόδεμα παρά μόνο βάσεις τοποθέτησης των container και οι απαραίτητες δεξαμενές αποθήκευσης και τροφοδοσίας των συστημάτων. Για παράδειγμα κάθε container βιολογικής επεξεργασίας, μπορεί να εμπεριέχει όλα τα απαραίτητα ηλεκτρομηχανολογικά μέρη που είναι απαραίτητα για την αυτόνομη λειτουργία του, όπως control panel χειρισμού, τοπικό ηλεκτρολογικό πίνακα, φυσητήρες, όλες τις απαραίτητες αντλίες, τα αισθητήρια, τις λαμέλες κλπ. Παράλληλα δεν απαιτείται η κατασκευή δεξαμενών βιολογικής επεξεργασίας με τοιχία από σκυρόδεμα. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τις ελάχιστες απαιτήσεις σε χώρο για την κατασκευή του βιολογικού τέτοιας τεχνολογίας. Αντιθέτως, στα συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων, απαιτούνται σαφώς περισσότερα έργα εκσκαφών. Οι διαμορφώσεις στο γήπεδο της ΕΕΛ είναι εκτεταμένες, και ο αναγκαίος χώρος που απαιτείται για την κατασκευή των κλινών είναι πολλαπλάσιος από αυτόν που απαιτείται για την κατασκευή μίας ΕΕΛ με προκατασκευασμένες μονάδες. Στην παρούσα διπλωματική μάλιστα, από την σύγκριση των δύο προτάσεων, προκύπτει ότι ο απαιτούμενος χώρος για την κατασκευή ΕΕΛ με προκατασκευασμένες μονάδες MBBR είναι περίπου 1 στρέμμα, ενώ για την κατασκευή ΕΕΛ ίδιας δυναμικότητας με τεχνητό υγροβιότοπο απαιτείται τριπλάσια έκταση, ήτοι 3,6 στρέμματα.

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, η πρόταση με χρήση MBBR που περιγράφεται, απαιτεί χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού με πολλά αισθητήρια

και αντλίες, με ότι συνέπειες έχει αυτό και για τις απαιτήσεις του αυτοματισμού. Για την αποδοτική επεξεργασία των λυμάτων, αξιοποιούνται τόσο φυσικές όσο και χημικές διεργασίες. Αντιθέτως η πρόταση με ΤΥ είναι σαφώς πιο απλή, στηρίζεται σε φυσικά εμφανιζόμενες διεργασίες και ο μόνος εξοπλισμός εντοπίζεται στην προεπεξεργασία/τροφοδοσία του λύματος, στον αερισμό και στην απολύμανση.

Η κατανάλωση ενέργειας διαφέρει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των δύο προτάσεων. Πιο συγκεκριμένα, στην ΕΕΛ με τεχνολογία MBBR με προκατασκευασμένες μονάδες η κατανάλωση ενέργειας κατ' έτος υπολογίζεται σε 212.500,80 kWh, ενώ με την τεχνολογία ΤΥ σε 63.993,60 kWh. Η διαφορά είναι αρκετά μεγάλη, αφού είναι τουλάχιστον τριπλάσια η κατανάλωση στο σύστημα MBBR. Η παραπάνω διαφοροποίηση, ενώ πρόκειται για ΕΕΛ ίδιας δυναμικότητας είναι λογική, αφού στην πρόταση με MBBR υπάρχει πολύς εξοπλισμός που απαιτείται για την επεξεργασία όπως αντλίες, φυσητήρες και λοιποί κινητήρες. Ιδιαίτερες απαιτήσεις για ενέργεια υπάρχουν στην βιολογική επεξεργασία, ενώ δεν λείπει και η συνεισφορά στην κατανάλωση ενέργειας για ανάγκες διαχείρισης ιλύος. Αντιθέτως, στο σύστημα ΤΥ η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας εντοπίζεται στον αερισμό των κλινών. Η τροφοδοσία της βιολογικής επεξεργασίας και της απολύμανσης έχει ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις που είναι οι απολύτως αναγκαίες, για την δυναμικότητα της ΕΕΛ.

Σημαντικός παράγοντας στην σύγκριση των δύο προτάσεων είναι και το αρχικό κόστος κατασκευής της κάθε μονάδας. Στο κόστος κατασκευής περιλαμβάνονται και προμετρώνται ξεχωριστά το κόστος κατασκευής των έργων πολιτικού μηχανικού, και ξεχωριστά το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και των αντίστοιχων εργασιών που τον αφορούν. Το κόστος έργων ΠΜ για την ΕΕΛ με MBBR είναι 80.923,20 € ενώ για το σύστημα με ΤΥ είναι 186.195,94 €. Το κόστος έργων ΗΜ είναι 545.200,00 € και 97.600,00 € αντίστοιχα. Τα παραπάνω δικαιολογούνται από το γεγονός ότι στο μεν σύστημα MBBR υπάρχουν ελάχιστες κατασκευές από σκυρόδεμα, που αφορούν κυρίως υπόγειες δεξαμενές τροφοδοσίας/εξισορρόπησης/αποθήκευσης. Αντίστοιχα στον ΤΥ, απαιτούνται εκτεταμένες εκσκαφές και διαμορφώσεις εδάφους που αποτελούν

και το κύριο παράγοντα που επηρεάζει το κόστος ΠΜ σε αυτή την επιλογή, ενώ είναι περίπου διπλάσιο σε σχέση με την άλλη πρόταση. Σχετικά με τα έργα ΗΜ, τα κόστη είναι αντιστρόφως ανάλογα μεταξύ των δύο προτάσεων. Στο MBBR το κόστος για εξοπλισμό και εργασίες ΗΜ είναι πενταπλάσιο του ΤΥ. Το παραπάνω προκύπτει, προφανώς, από το γεγονός ότι στην κατασκευή που προδιαγράφεται το MBBR απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός σε κάθε στάδιο της επεξεργασίας, όπως και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί. Στην πρόταση με ΤΥ ο εξοπλισμός είναι ελάχιστος, με κύρια διαφορά να εντοπίζεται στους φυσητήρες, τις αντλίες τροφοδοσίας των κλινών, και την μονάδα προεπεξεργασίας που είναι απλή αυτόματη εσχάρα, ενώ στο MBBR περιλαμβάνει λιποσυλλογή και αμμοσυλλογή, επιπλέον της εσχάρωσης. Οι διατάξεις απολύμανσης, καθαρών και οι οικίσκοι είναι παρόμοιοι και στις δύο περιπτώσεις.

Όσον αφορά τα ετήσια λειτουργικά κόστη των δύο εγκαταστάσεων, αυτά αποτελούνται από το κόστος ενέργειας, το κόστος διαχείρισης ιλύος, τα χημικά που απαιτούνται καθώς και τις ανάγκες σε προσωπικό. Όπως αναφέρθηκε και αναλύθηκε παραπάνω, οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις στις δύο μονάδες είναι 212.500,80 kWh και 63.993,60 kWh για το MBBR και τον ΤΥ αντίστοιχα, που σε κόστος αντιστοιχούν σε 27.625,10 € και 8.319,17 €. Οι παραπάνω τιμές προκύπτουν με την παραδοχή ότι η kWh κοστολογείται με 15 λεπτά του ευρώ. Το ετήσιο κόστος διαχείρισης ιλύος σε κάθε πρόταση αναλύεται σε προηγούμενο κεφάλαιο, και εκτιμάται σε 6.450,00 € για το MBBR και 2.000,00 € για τον ΤΥ. Εδώ φαίνεται ότι η διαφορά είναι διακριτή, και αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας που επιλέχθηκε για τον ΤΥ με τις δυνατότητες παράλληλης επεξεργασίας της ιλύος με τη βιολογική επεξεργασία στην ίδια κλίνη. Οι απαιτήσεις σε χημικά για το MBBR υπολογίζονται σε 1.144,80 € κατ' έτος, και αφορούν σε κροκιδωτικά και πολυηλεκτρολύτες. Στον ΤΥ δεν υπάρχει καμία, απολύτως, απαίτηση για χρήση χημικών σε κανένα από τα στάδια επεξεργασίας του. Τέλος, το κόστος προσωπικού για την μονάδα MBBR είναι 6.000,00 € κατ' έτος ενώ για τον ΤΥ 3.000,00 €. Για τον υπολογισμό των παραπάνω λήφθηκαν υπόψη οι εκάστοτε απαιτήσεις σε επιτήρηση, τις ανάγκες σε παραμετροποίηση αναλόγως των συνθηκών, αλλά κυρίως στην



Συγκριτική Τεχνο-οικονομική Μελέτη Μονάδας Αντιδραστήρα Κινούμενης  
Κλίνης & Συστήματος Τεχνητού Υγροβιότοπου για την επεξεργασία  
αστικών λυμάτων: εφαρμογή στον οικισμό Μαραθίου Χανίων

απαιτούμενη εξειδίκευση προσωπικού και τις ανάγκες σε επιδιόρθωση  
βλαβών, οι οποίες είναι σαφώς ανάλογες του εγκατεστημένου εξοπλισμού.

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έλλειψη αξιοποιήσιμου νερού, αναμφισβήτητα, αποτελεί και θα συνεχίσει να αποτελεί μία πρόκληση για τις σύγχρονες κοινωνίες. Η ρύπανση των υδάτων, η υπερκατανάλωση, η αύξηση του πληθυσμού καθώς και τα φαινόμενα λειψυδρίας, τείνουν να μειώνουν συνεχώς τα διαθέσιμα αποθέματα νερού, με αποτέλεσμα οι υπεύθυνοι φορείς για την διαχείριση του νερού, να ψάχνουν συνεχώς νέες λύσεις για εξοικονόμηση, επαναχρησιμοποίηση και εξεύρεση νέων υδατικών πόρων.

Στους μικρότερους οικισμούς, σε αντίθεση με τα μεγάλα αστικά κέντρα, επικρατεί η τάση για την κατασκευή αποκεντρωμένων συστημάτων μικρής κλίμακας για την επεξεργασία των λυμάτων. Τα πλεονεκτήματα αυτής της στρατηγικής, είναι ότι τα συστήματα αυτά δεν απαιτούν την κατασκευή εκτεταμένων δικτύων και είναι πιο ευέλικτα και εύκολα στην κατασκευή και συντήρηση, σε σχέση με τα μεγάλα κεντρικά συστήματα επεξεργασίας. Παράλληλα, επειδή οι εγκαταστάσεις είναι πάντα έξω από τα όρια των οικισμών, υπάρχουν συχνά στην ευρύτερη περιοχή που κατασκευάζονται, εκτάσεις με καλλιέργειες προς άρδευση.

Στην ελληνική νομοθεσία, για την απεριόριστη άρδευση, πρέπει να τηρούνται τα όρια του πίνακα 2 της ΚΥΑ 145116/2011 «Καθορισμός μέτρων, όρων & διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις». Βάσει αυτών των ορίων εκροής, μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν δύο προτάσεις για την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του οικισμού του Μαραθίου. Η μία πρόταση που προδιαγράφεται είναι με χρήση προκατασκευασμένων μονάδων MBBR για τη βιολογική επεξεργασία, και η άλλη είναι με χρήση τεχνητού υγροβιότοπου.

Το σύστημα με τις προκατασκευασμένες μονάδες MBBR έχει μικρότερες απαιτήσεις σε έργα πολιτικού μηχανικού και έκταση για κατασκευές. Αντίστοιχα, ο τεχνητός υγροβιότοπος, απαιτεί σαφώς μεγαλύτερη έκταση, κυρίως για χωματουργικά και διαμορφώσεις εδάφους, και συνεπώς έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις σε έργα πολιτικού μηχανικού, όχι όμως σε εργασίες σκυροδέτησης. Και οι δύο προτάσεις δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη δυσκολία στην κατασκευή

τους, ωστόσο το κόστος κατασκευής των έργων πολιτικού μηχανικού του τεχνητού υγροβιότοπου είναι περίπου διπλάσιο από το MBBR.

Το κύριο χαρακτηριστικό του τεχνητού υγροβιότοπου, είναι η περιορισμένη χρήση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και οι ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις στη λειτουργία του. Επιπλέον, είναι σαφώς απλούστερη και οικονομικότερη η διαχείριση ιλύος, ενώ δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για την παραμετροποίηση και λειτουργία του, με τις επισκέψεις προσωπικού να είναι ελάχιστες.

Στο οικονομικό σκέλος της συγκριτικής ανάλυσης των δύο προτάσεων, από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι το κόστος κατασκευής της εγκατάστασης με MBBR είναι περίπου διπλάσιο του κόστους κατασκευής του τεχνητού υγροβιότοπου. Ωστόσο, το συγκριτικό πλεονέκτημα της πρότασης με χρήση τεχνητού υγροβιότοπου, είναι το λειτουργικό κόστος. Πιο συγκεκριμένα, ύστερα από σύγκριση των δύο προτάσεων, προκύπτει ότι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας MBBR, έναντι του ΤΥ, περίπου τριπλάσιο σε βάθος 10ετίας.

Το κόστος κύκλου ζωής, για την 10ετία, της εγκατάστασης MBBR είναι περίπου 1.000.000 € ενώ του ΤΥ είναι περίπου 400.000 €, και επομένως κρίνεται ότι η πρόταση κατασκευής μονάδας επεξεργασίας λυμάτων με τεχνητό υγροβιότοπο, όπως προδιαγράφεται στην παρούσα, για τον οικισμό του Μαραθίου είναι η πιο συμφέρουσα οικονομικά, ενώ δεν υπολείπεται και βάσει των τεχνικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων που τέθηκαν.



## 10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-Wahaibi, B. M., Jafary, T., Al-Mamun, A., Baawain, M. S., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., & Stefanakis, A. I. (2021). Operational modifications of a full-scale experimental vertical flow constructed wetland with effluent recirculation to optimize total nitrogen removal. *Journal of Cleaner Production*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126558>
- Angelakis, A. N., & Koutsoyiannis, D. (2003). Urban Water Engineering and Management in Ancient Greece. In *Encyclopedia of water Science*.
- Ávila, C., & García, J. (2015). Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in the Environment and Their Removal from Wastewater through Constructed Wetlands. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 67, 195–244. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63299-9.00006-5>
- Ávila, C., García-Galán, M. J., Uggetti, E., Montemurro, N., García-Vara, M., Pérez, S., García, J., & Postigo, C. (2021). Boosting pharmaceutical removal through aeration in constructed wetlands. *Journal of Hazardous Materials*, 412, 125231. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.125231>
- Crites, R. W., & Tchobanoglous, G. (1998). Small and decentralized wastewater management systems. *McGrawHill Series in Water Resources and Environmental Engineering*.
- Davis L., Edwards R, Garber L, & Isaacs B. (1995). *A Handbook of Constructed Wetlands, General Considerations* (Vol. 1). US Environmental Protection Agency (EPA).
- DBT. (2019). *Manual on constructed wetland as an alternative technology for sewage management in india*. Department of Bio Technology (DBT), NewDelhi.
- El-Sheikh, M. A., Saleh, H. I., El-Quosy, D. E., & Mahmoud, A. A. (2010). Improving water quality in polluted drains with free water surface constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 36(10), 1478–1484. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2010.06.030>
- Farooqi, I. H., Basheer, F., & Chaudhari, R. (2008). *Constructed wetland system (CWS) for wastewater treatment*. In: *Proceedings of Taal2007: The 12thWorld Lake Conference*. pp. 1004–1009.

- Fu, J., Lin, Z., Zhao, P., Wang, Y., He, L., & Zhou, J. (2019). Establishment and efficiency analysis of a single-stage denitrifying phosphorus removal system treating secondary effluent. *Bioresource Technology*, 288, 121520. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2019.121520>
- Gorgoglione, A., & Torretta, V. (2018). Sustainable management and successful application of constructed wetlands: A critical review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/su10113910>
- Kirui, W. K., Wu, S., Kizito, S., Carvalho, P. N., & Dong, R. (2016). Pathways of nitrobenzene degradation in horizontal subsurface flow constructed wetlands: Effect of intermittent aeration and glucose addition. *Journal of Environmental Management*, 166, 38–44. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2015.10.001>
- Lai, X., Zhao, Y., Pan, F., Yang, B., Wang, H., Wang, S., & He, F. (2020). Enhanced optimal removal of nitrogen and organics from intermittently aerated vertical flow constructed wetlands: Relative COD/N ratios and microbial responses. *Chemosphere*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125556>
- Li, J., Zheng, L., Ye, C., Ni, B., Wang, X., & Liu, H. (2021). Evaluation of an intermittent-aeration constructed wetland for removing residual organics and nutrients from secondary effluent: Performance and microbial analysis. *Bioresource Technology*, 329, 124897. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.124897>
- Martz, Υδραυλική των οικισμών, Μέρος 2, Αποχετευσεις, Μετάφραση: Γ. Χατζηθεωδόρου, Μ. Γκιούρδας, Αθήνα 1970
- Melbourne water. (2005). *Constructed shallow lake system: Design guideline for developers. Version 2*.
- Metcalf, & Eddy. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, (Third Edition)*.
- Metcalf, W., Eddy, C., & Tchobanoglous, G. (2009). Metcalf and Eddy Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. In *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse McGraw Hill. New York, NY*.

- Nivala, J., Wallace, S., Headley, T., Kassa, K., Brix, H., van Afferden, M., & Müller, R. (2013). Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands. *Ecological Engineering*, 61, 544–554. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2012.08.028>
- Ødegaard, H. (2000). Advanced compact wastewater treatment based on coagulation and moving bed biofilm processes. *Water Science and Technology*, 42(12). <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0235>
- Ødegaard, H., Gisvold, B., Helness, H., Sjøvold, F., & Zuliang, L. (2000). High Rate Biological / Chemical Treatment Based on the Moving Bed Biofilm Process Combined with Coagulation. *Chemical Water and Wastewater Treatment VI*, 245–255. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-59791-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-642-59791-6_23)
- Paing, J., Guilbert, A., Gagnon, V., & Chazarenc, F. (2015). Effect of climate, wastewater composition, loading rates, system age and design on performances of French vertical flow constructed wetlands: A survey based on 169 full scale systems. *Ecological Engineering*, 80, 46–52.
- Pelissari, C., Guivernau, M., Viñas, M., García, J., Velasco-Galilea, M., Souza, S. S., Sezerino, P. H., & Ávila, C. (2018). Effects of partially saturated conditions on the metabolically active microbiome and on nitrogen removal in vertical subsurface flow constructed wetlands. *Water Research*, 141, 185–195. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2018.05.002>
- Reed SC, Crites RW, & Middlebrooks EJ. (1995). *Natural systems for waste management and treatment*. McGraw-Hill, Inc.
- Rossmann, M., de Matos, A. T., Abreu, E. C., e Silva, F. F., & Borges, A. C. (2012). Performance of constructed wetlands in the treatment of aerated coffee processing wastewater: Removal of nutrients and phenolic compounds. *Ecological Engineering*, 49, 264–269. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2012.08.017>
- Saeed, T., & Sun, G. (2012). A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *Journal of Environmental Management*, 112, 429–448.
- Shingare, R. P., Thawale, P. R., Raghunathan, K., Mishra, A., & Kumar, S. (2019). Constructed wetland for wastewater reuse: Role and efficiency in

- removing enteric pathogens. *Journal of Environmental Management*, 246, 444–461. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.05.157>
- Sochacki, A., Felis, E., Bajkacz, S., Nowrotek, M., & Miksch, K. (2018). Removal and transformations of diclofenac and sulfamethoxazole in a two-stage constructed wetland system. *Ecological Engineering*, 122, 159–168. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2018.07.039>
- Solano, M. L., Soriano, P., & Ciria, M. P. (2004). Constructed Wetlands as a Sustainable Solution for Wastewater Treatment in Small Villages. *Biosystems Engineering*, 87(1), 109–118.
- Stefanakis, A., Akratos, C. S., & Tsihrintzis, V. A. (2014). Vertical Flow Constructed Wetlands: Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment. In *Vertical Flow Constructed Wetlands: Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment*. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-01288-4>
- Stefanakis, A. I. (2019). The Role of Constructed Wetlands as Green Infrastructure for Sustainable Urban Water Management. *Sustainability (Switzerland)*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/su11246981>
- Stefanakis, A. I. (2020). Constructed wetlands for sustainable wastewater treatment in hot and arid climates: Opportunities, challenges and case studies in the Middle East. In *Water (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/W12061665>
- Stefanakis, A. I. (2021). *A Two-Stage Constructed Wetland Design Integrating Artificial Aeration and Sludge Mineralization for Municipal Wastewater Treatment*. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5499-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5499-5_7)
- Stefanakis, A. I., & Tsihrintzis, V. A. (2012). Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands. *Chemical Engineering Journal*, 181–182. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.108>
- Tilley, E., Ulrich, L., & Luthi, C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies, second ed. Eawag*.
- Wang, Z., Huang, M., Qi, R., Fan, S., Wang, Y., & Fan, T. (2017). Enhanced nitrogen removal and associated microbial characteristics in a modified single-stage tidal flow constructed wetland with step-feeding. *Chemical*

Δ. Κουτσογιάννης, Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, Έκδοση 4, 180 pages, doi:10.13140/RG.2.1.2169.1125, *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011*

Τσιχριντζής Β.Α. (2000). *Οικολογική Μηχανική και Τεχνολογία, Τόμος Ι(Διαχείριση Απορροής, Ρύπων και Φερτών) και Τόμος ΙΙ(Φυσικές μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων-Πρόληψη Ρύπανσης), Εκδόσεις Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.*