

**Interreg**  
**Ελλάδα-Κύπρος**

Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ



**Τίτλος Πράξης:** Επιτόπια Διαχείριση Νοσοκομειακών Υγρών Αποβλήτων με Στόχο τη Βελτίωση της Απόδοσης των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων και της Αξιοποίησης των Εκροών (Treatment for Hospitals)

**Ακρώνυμο:** T4H

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ – ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ  
ΝΕΡΟΥ ΝΗΡΕΑΣ: Τεχνοοικονομική αξιολόγηση – 6.4.1.**

28/10/2023





ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ



ΚΥΠΡΙΑΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ



**Η Πράξη συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Τ.Π.Α.) και από εθνικούς πόρους της Ελλάδας και της Κύπρου στο πλαίσιο του Προγράμματος Συνεργασίας INTERREG V-A Ελλάδα-Κύπρος 2014-2020**



**Πανεπιστήμιο Κύπρου**

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
και Μηχανικών Περιβάλλοντος



**nireas**

International Water Research Center

**Δικαιούχος 4:  
Πανεπιστήμιο Κύπρου –  
Διεθνές Ερευνητικό Κέντρο Νερού  
Νηρέας**

**Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**28/10/2023**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Εισαγωγή.....  | 1  |
| 1.1   | Σκοπός.....  | 2  |
| 1.2   | Διαδικασία εκπόνησης της Τεχνοοικονομικής αξιολόγησης.....                                     | 2  |
| 2     | Πιλοτική μονάδα.....   | 4  |
| 2.1   | Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....  | 6  |
| 2.1.1 | Κεντρικό σύστημα ελέγχου.....  | 7  |
| 2.1.2 | Αναερόβιος αντιδραστήρας MBR (Anaerobic Membrane BioReactor – AnMBR)                           | 8  |
| 2.1.3 | Αερόβια μονάδα MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor).....  | 10 |
| 2.1.4 | Μονάδα μετεπεξεργασίας με φυτά <i>Lemna minor</i> .....  | 10 |
| 2.1.5 | Μονάδα απολύμανσης με τεχνολογία προηγμένης οξειδωσης (UV-C/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) .. | 11 |
| 2.1.6 | Αυτόματος δειγματολήπτης.....  | 12 |
| 2.2   | Εξοπλισμός.....  | 12 |
| 2.3   | Αποτελεσματικότητα .....   | 14 |
| 2.3.1 | Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά .....  | 14 |
| 2.3.2 | Ανάλυση φαρμακευτικών ουσιών .....   | 16 |
| 2.4   | Προμήθεια και εγκατάσταση.....   | 17 |
| 2.5   | Λειτουργικά έξοδα.....   | 18 |
| 3     | Μονάδα πλήρους εφαρμογής.....  | 21 |
| 3.1   | Παραγωγή υγρών αποβλήτων .....   | 23 |
| 3.2   | Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης.....  | 24 |
| 3.3   | Λειτουργικά Έξοδα.....   | 25 |
| 4     | Ανάλυση κόστους και οφέλους (Cost-Benefit Analysis).....                                       | 30 |
| 4.1   | Κόστη .....  | 31 |
| 4.2   | Οφέλη.....   | 32 |
| 4.3   | Προβλέψεις Αποτελεσμάτων.....  | 35 |
| 5     | Αποτελέσματα και Συμπεράσματα .....  | 37 |
| 5.1   | Σενάριο Α.....   | 37 |
| 5.2   | Σενάριο Β.....   | 38 |
| 5.3   | Σενάριο Γ .....  | 38 |
| 6     | Παραρτήματα.....   | 40 |

|     |                   |    |
|-----|-------------------|----|
| 6.1 | Παράρτημα Α.....  | 40 |
| 6.2 | Παράρτημα Β.....  | 43 |
| 7   | Βιβλιογραφία..... | 45 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Εικόνα 2-1: | Πολεοδομικό/Χωροταξικό σχέδιο Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας με επισήμανση σε κόκκινο κουτί του χώρου εγκατάστασης της πιλοτικής μονάδας .....   | 4  |
| Εικόνα 2-2: | (α) Σχέδια που αναπτύχθηκαν για την εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας (β) Η πιλοτική μονάδα εγκαταστημένη στο χώρο του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας .....  | 5  |
| Εικόνα 2-3: | Προσχέδια πιλοτικής μονάδας με αναφορά στα σημεία δειγματοληψίας.....  | 6  |
| Εικόνα 2-4: | Οθόνη LCD μαζί με τους διακόπτες και τις λυχνίες κάθε εξοπλισμού συνδεδεμένα πάνω στο ΚΣΕ .....  | 7  |
| Εικόνα 2-5: | Απεικόνιση συστήματος αναερόβιας αερόβιας επεξεργασίας στην οθόνη του κεντρικού πίνακα ελέγχου .....   | 9  |
| Εικόνα 2-6: | Απεικόνιση συστήματος μετεπεξεργασίας με φυτά <i>Lemna minor</i> και σταδίου απολύμανσης με τεχνολογία προηγμένης οξειδωσης στην οθόνη του κεντρικού πίνακα ελέγχου .....  | 11 |
| Εικόνα 2-7: | Αυτόματος φορητός δειγματολήπτης παθητικής ψύξης .....   | 12 |
| Εικόνα 6-1: | Σχέδια τμήματος της πιλοτικής μονάδας που εγκαταστάθηκε στο έδαφος που περιλαμβάνει τον αναερόβιο αντιδραστήρα MBR και το στάδιο απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία σε συνδυασμό με υπεροξειδίο υδρογόνου ..... | 40 |
| Εικόνα 6-2: | Σχέδια τμήματος της πιλοτικής μονάδας που εγκαταστάθηκε στην οροφή που περιλαμβάνει την αερόβια μονάδα ρευστοποιημένης κλίνης και το στάδιο φυτοεξυγίανσης με φυτά <i>Lemna minor</i> .....                      | 41 |
| Εικόνα 6-3: | Διάγραμμα ροής πιλοτικής μονάδας .....   | 42 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Εξίσωση 2-1: | Υπολογισμός ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας ( $E_d$ ) και τη κατανάλωση ενέργειας για ένα χρόνο ( $E_y$ ).....                            | 18 |
| Εξίσωση 2-2: | Υπολογισμός συνολικού κόστους κατανάλωσης ενέργειας για 9 μήνες ( $C_{9m}$ ) και 1 χρόνο ( $C_y$ ) λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας..... | 18 |
| Εξίσωση 2-3: | Υπολογισμός ετήσιου κόστους συντήρησης με βάση ποσοστό στο συνολικό κόστος εγκατάστασης της πιλοτικής μονάδας.....                        | 20 |
| Εξίσωση 3-1: | Υπολογισμοί για την ημερήσια παραγωγή υγρών αποβλήτων του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας .....  | 24 |

|  |    |
|--|----|
| Εξίσωση 3-2: Υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας ( $E_y$ ) της μονάδας πλήρους ανάπτυξης.....  | 26 |
| Εξίσωση 3-3: Υπολογισμός συνολικού κόστους κατανάλωσης ενέργειας για ένα έτος ( $C_y$ ) λειτουργίας της μονάδας πλήρους ανάπτυξης.....       | 26 |
| Εξίσωση 3-4: Υπολογισμός ετήσιου κόστους συντήρησης με βάση το ποσοστό στο συνολικό κόστος εγκατάστασης μιας μονάδας πλήρους εφαρμογής ..... | 27 |
| Εξίσωση 4-1: Σχέση υπολογισμού Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ).....   | 31 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Πίνακας 2-1: Κύριος εξοπλισμός πιλοτικής μονάδας .....  | 13 |
| Πίνακας 2-2: Μέσες ολικές και διαλυτές συγκεντρώσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων στα επιμέρους σημεία της πιλοτικής μονάδας καθώς και το ποσοστό των ολικών απομακρύνσεων που επιτεύχθηκαν σε κάθε περίπτωση.....          | 15 |
| Πίνακας 2-3: Μέση συγκέντρωση ανιχνεύσιμων ουσιών στις επιμέρους τεχνολογίες της πιλοτικής μονάδας και η μέση ολική απομάκρυνση που προκύπτει από τις τρεις διαδοχικές δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν .....           | 16 |
| Πίνακας 2-4: Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού και διεργασιών για τη πιλοτική μονάδα δυνατότητας ημερήσιας επεξεργασίας $1 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ .....  | 17 |
| Πίνακας 2-5: Αναλώσιμα χημικών ενώσεων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την 9-μηνη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας.....   | 19 |
| Πίνακας 2-6 Αναλώσιμα χημικών ενώσεων για τη λειτουργία της πιλοτική μονάδας για 1 χρόνο .....  | 19 |
| Πίνακας 3-1: Δεδομένα κατανάλωσης νερού του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας σύμφωνα με το ΣΑΛ για κάθε τριμηνία μεταξύ Σεπτεμβρίου 2021 – Μαρτίου 2023.....  | 23 |
| Πίνακας 3-2: Κόστη προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού και διεργασιών στη μονάδα με ικανότητα ημερήσιας επεξεργασίας $90 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ υγρών νοσοκομειακών αποβλήτων για το Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας ..... | 24 |
| Πίνακας 3-3: Κόστος εξοπλισμού που συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του κόστους συντήρησης για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής.....  | 27 |
| Πίνακας 4-1: Πίνακας με τα κόστη και οφέλη για πλάνο 30 Ετών .....  | 35 |
| Πίνακας 5-1: Καθαρή Παρούσα Αξία με προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξεως του 1% για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής.....   | 37 |
| Πίνακας 5-2: Καθαρή Παρούσα Αξία με προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξεως του 3% για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής.....   | 38 |
| Πίνακας 5-3: Καθαρή Παρούσα Αξία με προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξεως του 5% για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής.....   | 39 |

## 1 Εισαγωγή

Η μη ορθή διαχείριση των υγρών αποβλήτων αποτελεί απειλή γενικά για το περιβάλλον αλλά και για τη Δημόσια Υγεία. Τα υγρά απόβλητα των Νοσοκομειακών Μονάδων, τα οποία προκύπτουν από δραστηριότητες που αφορούν στην υγειονομική περίθαλψη, εντάσσονται σε μια ιδιαίτερη κατηγορία λόγω της παρουσίας σε αυτά υψηλών συγκεντρώσεων φαρμακευτικών ουσιών, παθογόνων μικροοργανισμών και άλλων βιολογικών παραγόντων. Η μη ασφαλής επεξεργασία τους εγείρει πληθώρα σοβαρών κινδύνων όπως η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και συνεπώς η διαχείριση τους χρήζει ιδιαίτερης προσοχής.

Γενικά η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, καθώς και οι τρόποι αντιμετώπισής της, αποτελούν διαχρονικό ζήτημα που απασχολεί τους επιστήμονες πολλών κλάδων. Ρύπανση, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, είναι «συνέπεια ανθρωπίνων δραστηριοτήτων εξαιτίας της άμεσης ή έμμεσης εισαγωγής στον αέρα, το νερό ή το έδαφος, ουσιών ή θερμότητας που μπορούν να είναι επιζήμια για την υγεία του ανθρώπου ή για την ποιότητα των υδατικών οικοσυστημάτων ή χερσαίων οικοσυστημάτων, που εξαρτώνται άμεσα από υδατικά οικοσυστήματα».

Οι φαρμακευτικές ουσίες χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες στην ιατρική και την κτηνιατρική. Η συνεχώς διευρυμένη χρήση φαρμακευτικών ουσιών διαφορετικών χημικών ομάδων έχει δημιουργήσει μια νέα τάξη οργανικών περιβαλλοντικών ρύπων, οι οποίοι εισέρχονται στο υδατικό περιβάλλον μέσω των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων κυρίως λόγω της μη πλήρους απομάκρυνσής τους.

Στα πλαίσια του ερευνητικού επιχειρησιακού προγράμματος (T4H), συνεργασίας INTERREG V-A ΕΛΛΑΔΑ – ΚΥΠΡΟΣ 2014-2020 με τίτλο «Επιτόπια Διαχείριση Νοσοκομειακών Υγρών Αποβλήτων με Στόχο τη Βελτίωση της Απόδοσης των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων και της Αξιοποίησης των Εκροών» με ακρωνύμιο T4H, έχει εγκατασταθεί πιλοτική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας με στόχο την αξιολόγηση της δυνατότητας αντιμετώπισης του προβλήματος μέσω της προτεινόμενης τεχνολογίας.

Το πρόβλημα που επιδιώκει να επιλύσει το πρόγραμμα T4H προκύπτει από την ανάγκη αποτελεσματικής απομάκρυνσης χημικών και βιολογικών μικρορύπων αναδυόμενου ενδιαφέροντος (Contaminants of Emerging Concern – CECs) που σχετίζονται με τη φαρμακευτική αγωγή, από τα υγρά απόβλητα του νοσοκομείου. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν όλες οι πλευρές αυτού του προβλήματος (επαρκής απομάκρυνση, συνολική περιβαλλοντική και οικονομική απόδοση, προσαρμογή στις αλλαγές και νέες ουσίες), το έργο προτείνει την επιτόπια (εντός των εκτάσεων του νοσοκομείου) δοκιμή ενός συνδυασμού τεχνολογιών, που αφορούν βιολογική, μηχανική (φυσική) και χημική επεξεργασία.

Ένας επιπλέον στόχος του προγράμματος είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης που μπορούν να έχουν οι τεχνολογίες αυτές στην ποιότητα των τελικών εκροών των Κεντρικών Σταθμών Επεξεργασίας Λυμάτων όσον αφορά στην παρουσία φαρμακευτικών ουσιών, βακτηρίων ανθεκτικών στα αντιβιοτικά (Antibiotic Resistant Bacteria, ARB) και γονιδίων ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά (Antibiotic Resistance Genes, ARGs), εφόσον αναπτυχθούν σε πλήρη κλίμακα στα αντίστοιχα νοσοκομεία. Αυτό θα βασίζεται στην παρακολούθηση των CECs στην εισροή και εκροή των αστικών λυμάτων, στη συμβολή των αποβλήτων των νοσοκομείων στα φορτία αυτά καθώς και στην απομάκρυνση που επιτυγχάνεται από την πιλοτική μονάδα (ισοζύγιο μάζας).

## 1.1 Σκοπός

Το αντικείμενο της παρούσας μελέτης αφορά στην ανάλυση του κόστους/οφέλους που περιλαμβάνει την προμήθεια, εγκατάσταση, λειτουργία, εκπαίδευση και συντήρηση μονάδας διαχείρισης νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αλλά και τα αποτελέσματα της εγκατεστημένης πιλοτικής μονάδας στο Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας.

Το κύριο κριτήριο αξιολόγησης του έργου είναι η αποτελεσματική απομάκρυνση φαρμακευτικών ουσιών και άλλων ρύπων ενδιαφέροντος από τα νοσοκομειακά λύματα, μειώνοντας έτσι αντίστοιχα σε ικανοποιητικό βαθμό και με συστηματικό τρόπο τον περιβαλλοντικό κίνδυνο καθώς επίσης και τον κίνδυνο για τη Δημόσια Υγεία από τη διοχέτευση των εκροών στις κεντρικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Η απομάκρυνση φαρμακευτικών ουσιών και άλλων ρύπων αξιολογείται έναντι του κόστους εγκατάστασης, του κόστους λειτουργίας, αλλά και του κόστους συντήρησης της εν λόγω τεχνολογίας.

## 1.2 Διαδικασία εκπόνησης της Τεχνοοικονομικής αξιολόγησης

Για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν οι τριμηνιαίες εκθέσεις συντήρησης του προμηθευτή της εν λόγω τεχνολογίας, οι μετρήσεις του υδρομετρητή του Νοσοκομείου Λάρνακας και τα μέχρι σήμερα ευρήματα της πιλοτικής μονάδας.

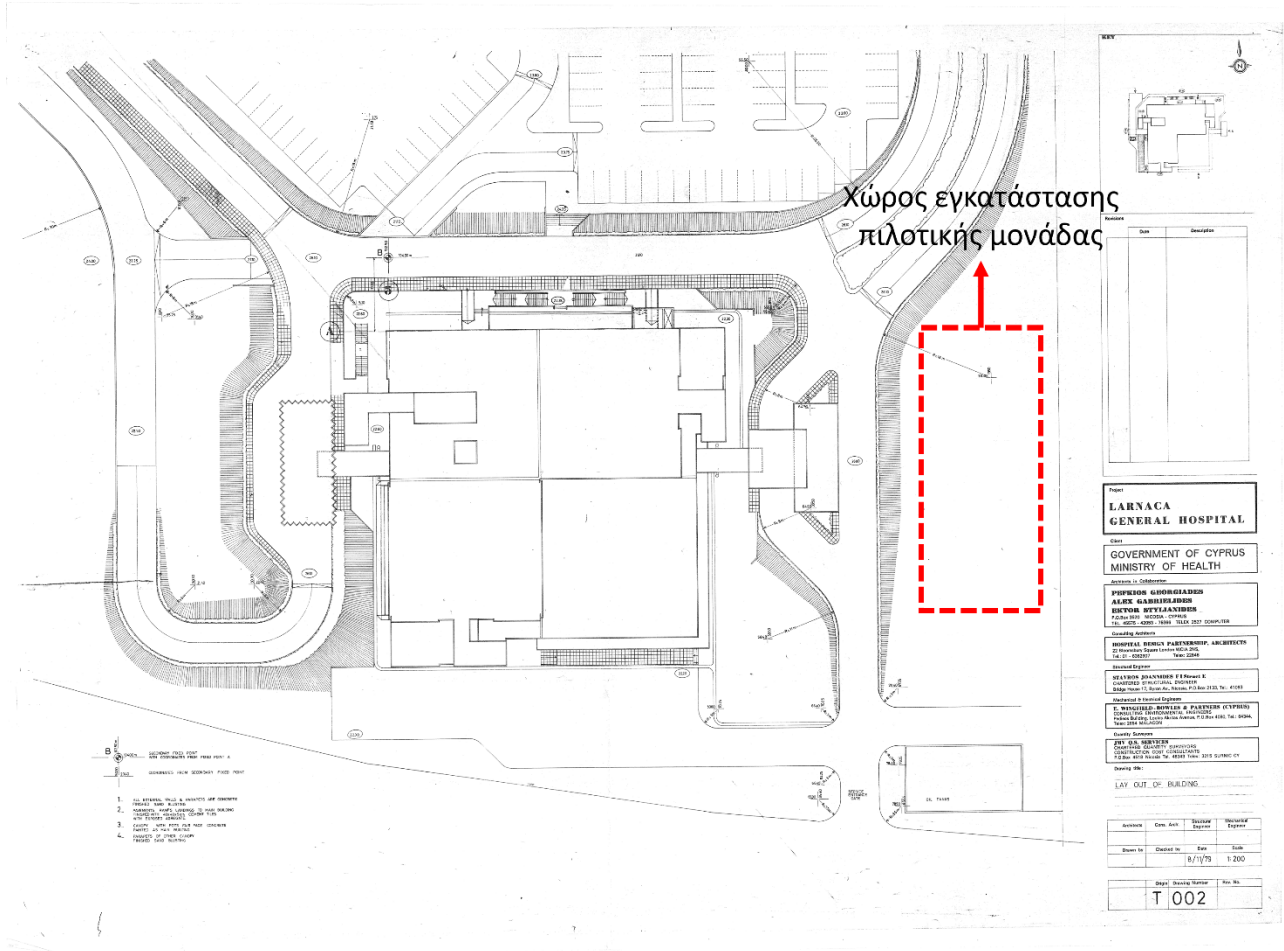
Η πιλοτική μονάδα αποτελείται από ξεχωριστές τεχνολογίες και στάδια επεξεργασίας τα οποία αναλύονται στην Ενότητα 3 της παρούσας μελέτης. Συνοπτικά, στο 1<sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας, λαμβάνει χώρα η αναερόβια αποδόμηση των εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων. Τα λύματα τροφοδοτούνται υπό πίεση στη μονάδα αναερόβιου βιοαντιδραστήρα μεμβρανών η οποία αποτελείται από δυο κυλινδρικούς ανοξειδωτους αντιδραστήρες. Στο 2<sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας, επιτελούνται οι διεργασίες αποδόμησης του οργανικού φορτίου, απονιτροποίησης, νιτροποίησης και διαχωρισμού του ανάμικτου υγρού με υψηλή απόδοση μέσω της μεθόδου «Moving Bed Bio-

Reactor». Στο 3<sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας έχει κατασκευαστεί μικρής κλίμακας επιφανειακή λίμνη σταθεροποίησης και βιοεξυγίανσης (φυτοεξυγίανσης), μέσω της προσρόφησης σημαντικών ρύπων από το ριζικό σύστημα φυτών του γένους *Lemna minor*. Στο 4<sup>ο</sup> και τελικό στάδιο υπάρχει μονάδα απολύμανσης όπου συνδυαστικά εφαρμόζεται η απολύμανση μέσω της έκθεσης σε υπεριώδη ακτινοβολία και της δοσομέτρησης διαλύματος υπεροξειδίου του υδρογόνου.

Σε όλα τα στάδια επεξεργασίας πραγματοποιήθηκαν εβδομαδιαίες δειγματοληψίες από το Διεθνές Ερευνητικό Κέντρο Νερού «Νηρέας» του Πανεπιστημίου Κύπρου. Αναλυτική περιγραφή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις αναλύσεις που διενεργήθηκαν στα δείγματα αυτά παρατίθεται στο Παραδοτέο 4.4.1 Για την τεchnοοικονομική μελέτη αναλύθηκαν τα δεδομένα των δειγματοληψιών προκειμένου να καταστεί εφικτός ο προσδιορισμός της απόδοσης του κάθε σταδίου/τεχνολογίας, της συνολικής επεξεργασίας των λυμάτων αλλά και της αξιολόγησης του κόστους εγκατάστασης /συντήρησης της κάθε τεχνολογίας έναντι στα οφέλη και την αποδοτικότητά της. Το οικονομικό κομμάτι της παρούσας μελέτης αφορά καθαρά το κόστος εγκατάστασης/λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας αλλά και το κόστος ανάπτυξης της μονάδας με ικανότητα επεξεργασίας ολόκληρου του όγκου των νοσοκομειακών αποβλήτων, όπως επίσης και το αντίστοιχο κόστος λειτουργίας της. Αξιολογήθηκαν επίσης οι προδιαγραφές του εξοπλισμού (διαστάσεις και ο όγκος της κάθε τεχνολογίας) λαμβάνοντας υπόψη την επέκταση της μονάδας.

## 2 Πιλοτική μονάδα

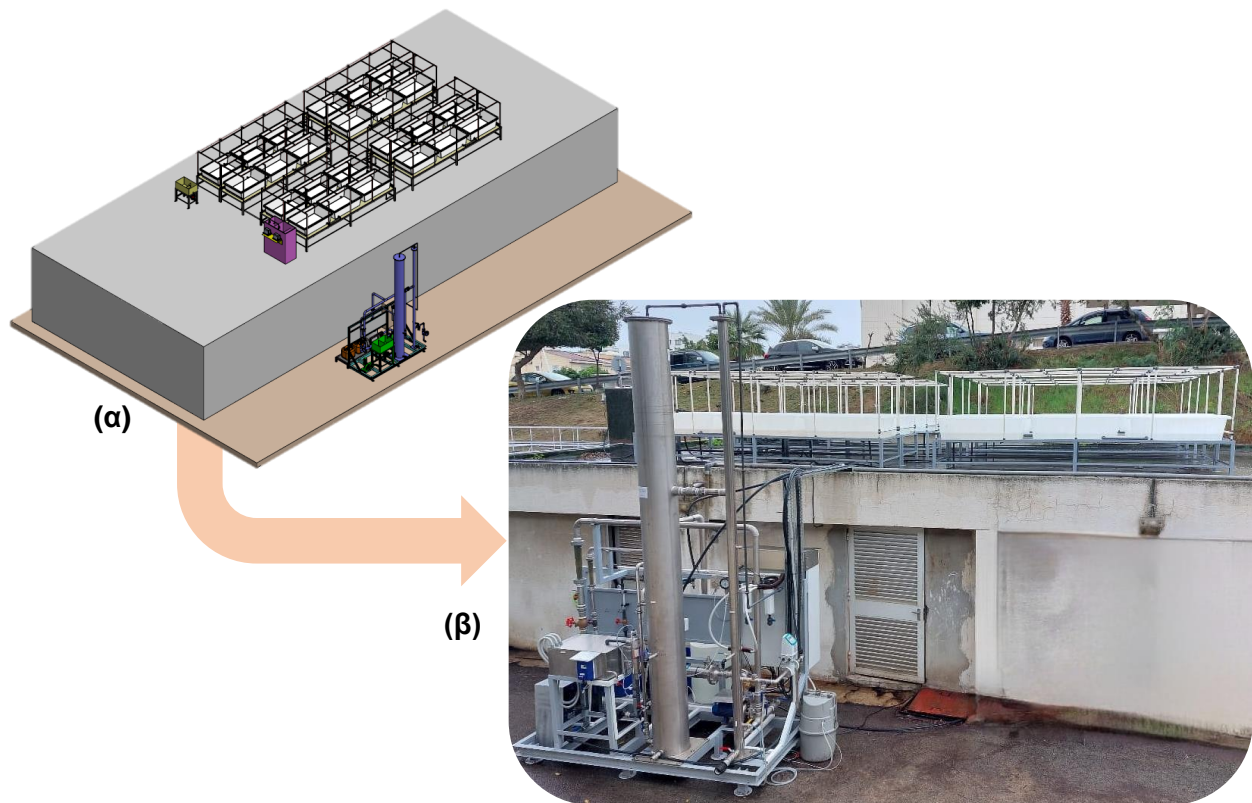
Η πιλοτική μονάδα εγκαταστάθηκε εντός του περιφραγμένου χώρου της μονάδας βιολογικού καθαρισμού του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας (Εικόνα 2-1) η οποία πλέον δεν λειτουργεί μετά τη σύνδεση του νοσοκομείου με το κεντρικό σύστημα αποχέτευσης του Συμβουλίου Αποχετεύσεων Λάρνακας (ΣΑΛ).



Εικόνα 2-1: Πολεοδομικό/Χωροταξικό σχέδιο Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας με επισήμανση σε κόκκινο κουτί του χώρου εγκατάστασης της πιλοτικής μονάδας

Τον σχεδιασμό, την εγκατάσταση και την ομαλή λειτουργία της πιλοτικής μονάδας ανέλαβε η ανάδοχος εταιρεία S.K. Euromarket LTD. Η πιλοτική μονάδα είχε δυνατότητα ημερήσιας επεξεργασίας 1 m<sup>3</sup>/ημέρα υγρού αποβλήτου και περιλάμβανε σειρά από προχωρημένες φυσικοχημικές, βιοχημικές και χημικές τεχνολογίες. Συγκεκριμένα, αποτελείτο από συνολικά 4 στάδια τεχνολογιών, την αναερόβια επεξεργασία μέσω του αντιδραστήρα MBR (Anaerobic Membrane BioReactor – AnMBR), την αερόβια μονάδα ρευστοποιημένης κλίνης (Moving Bed BioReactor – MBBR), το στάδιο φυτοεξυγίανσης με φυτά *Lemna minor* και το στάδιο απολύμανσης με προχωρημένη οξειδωση το οποίο επιτυγχάνεται με υπεριώδη ακτινοβολία σε συνδυασμό με υπεροξειδίο του υδρογόνου (UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Οι τεχνολογίες AnMBR, MBBR και *Lemna Minor*

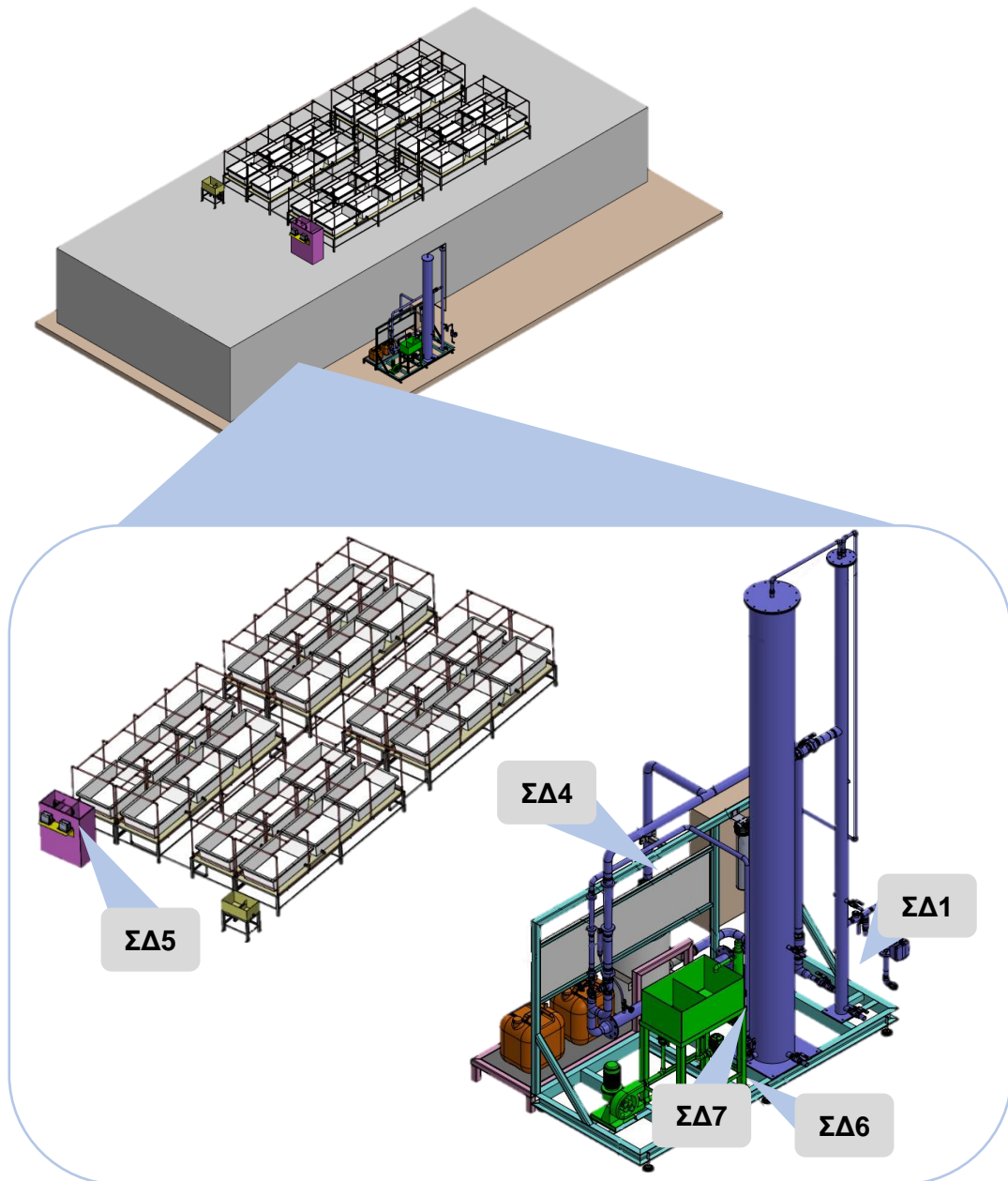
στοχεύουν στην απομάκρυνση οργανικού φορτίου (π.χ. COD, φαρμακευτικές ουσίες) και ανόργανου φορτίου (π.χ. άζωτο, νιτρικά) ενώ το στάδιο απολύμανσης απομακρύνει βακτήρια και γονίδια ανθεκτικά στις αντιβιοτικές ενώσεις και ενδεχόμενα φαρμακευτικές ουσίες. Λόγω περιορισμένου χώρου η μονάδα εγκαταστάθηκε σε δύο επίπεδα: στο έδαφος και στην οροφή της βιολογικής μονάδα καθαρισμού (Εικόνα 2-2).



Εικόνα 2-2: (α) Σχέδια που αναπτύχθηκαν για την εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας (β) Η πιλοτική μονάδα εγκαταστημένη στο χώρο του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας

Ο σχεδιασμός της πιλοτικής μονάδας προέβλεψε την ύπαρξη 7 σημείων δειγματοληψίας όπως παρουσιάζονται στο διάγραμμα ροής στο Παράρτημα Α. Η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας έγινε ώστε να αντιπροσωπεύεται η κάθε επιμέρους τεχνολογία καταλήγοντας στα εξής 5 σημεία (Εικόνα 2-3):

- i. Είσοδος πιλοτικής μονάδας (Σημείο Δειγματοληψίας 1 – ΣΔ1)
- ii. Μετά την αναερόβια επεξεργασία (Σημείο Δειγματοληψίας 4 – ΣΔ4)
- iii. Μετά τον αερόβιο αντιδραστήρα (Σημείο Δειγματοληψίας 5 – ΣΔ5)
- iv. Μετά τα φυτά *Lemna minor* (Σημείο Δειγματοληψίας 6 – ΣΔ6)
- v. Μετά την απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία και υπεροξείδιο του υδρογόνου – Έξοδος πιλοτικής μονάδας (Σημείο δειγματοληψίας 7 – ΣΔ7)



Εικόνα 2-3: Προσχέδια πιλοτικής μονάδας με αναφορά στα σημεία δειγματοληψίας

## 2.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Ακολουθεί περιγραφή της λειτουργίας και του κύριου εξοπλισμού των επιμέρους τεχνολογιών που απαρτίζουν την πιλοτική μονάδα. Στο Παράρτημα Α παρουσιάζεται υλικό που αφορά τα αναλυτικά σχέδια της πιλοτικής μονάδας και το διάγραμμα ροής όπως αυτά ετοιμάστηκαν από την ανάδοχο εταιρία κατά το στάδιο του σχεδιασμού.

### 2.1.1 Κεντρικό σύστημα ελέγχου

Η λειτουργία των επιμέρους τεχνολογιών της πιλοτικής μονάδας αλλά και της μονάδας ως σύνολο ελέγχεται μέσω Κεντρικού Συστήματος Ελέγχου (ΚΣΕ). Η σύνδεση του εξοπλισμού και των διαφόρων αισθητήρων με τον ΚΣΕ εξασφαλίζει την αυτόματη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος με στόχο την εύρυθμη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας.

Αυτό επιτυγχάνεται μέσω χειριστή PLC που εγκαθίσταται στο ΚΣΕ ο οποίος ενεργοποιεί τον αναγκαίο εξοπλισμό μέσω ανάλογων εντολών μετά από επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνει από τους αισθητήρες και τα όργανα μέτρησης. Για ευκολία της ανθρώπινης επαφής εγκαθίσταται οθόνη LCD 12" πάνω στο ΚΣΕ που συνδέεται με το χειριστή PLC επιτρέποντας την οπτική αναπαράσταση ολόκληρου του συστήματος καθώς επίσης και τον έλεγχο των διαφορετικών λειτουργικών παραμέτρων (π.χ. χρονικά διαστήματα λειτουργίας τεχνολογιών).

Επιπλέον, ο κάθε εξοπλισμός διαθέτει καθορισμένους διακόπτες και ενδεικτικές λυχνίες κατάστασης λειτουργίας στο μπροστινό μέρος του ΚΣΕ, όπως φαίνονται στην Εικόνα 2-4, που επιτρέπουν τη χειροκίνητη λειτουργία του εξοπλισμού κυρίως για σκοπούς δοκιμών ή/και συντήρησης.



Εικόνα 2-4: Οθόνη LCD μαζί με τους διακόπτες και τις λυχνίες κάθε εξοπλισμού συνδεδεμένα πάνω στο ΚΣΕ

Σημαντική επίσης λειτουργία του ΚΣΕ είναι η δυνατότητα ειδοποίησης των χειριστών μέσω SMS σε περίπτωση κάποιας δυσλειτουργίας σε οποιοδήποτε εξοπλισμό ή μεταβολή παραμέτρων εκτός των καθορισμένων ορίων ενώ ταυτόχρονα σημάνει ηχητική προειδοποίηση (συναγερμός) και καταγράφεται τοπικά στην οθόνη LCD. Η απομακρυσμένη πρόσβαση στο ΚΣΕ μέσω VPN, επιτρέπει στους χειριστές ή οποιοδήποτε άλλο εξουσιοδοτημένο άτομο να έχει εξ αποστάσεως πρόσβαση στο σύστημα ώστε να παρακολουθεί την λειτουργία και να τροποποιεί τις λειτουργικές παραμέτρους. Τέλος, τα δεδομένα λειτουργίας μπορούν να εξαχθούν σε μορφή excel για τυχόν περαιτέρω ανάλυση από ειδικούς ως προς την απόδοση και ανταπόκριση του συστήματος.

### **2.1.2 Αναερόβιος αντιδραστήρας MBR (Anaerobic Membrane BioReactor – AnMBR)**

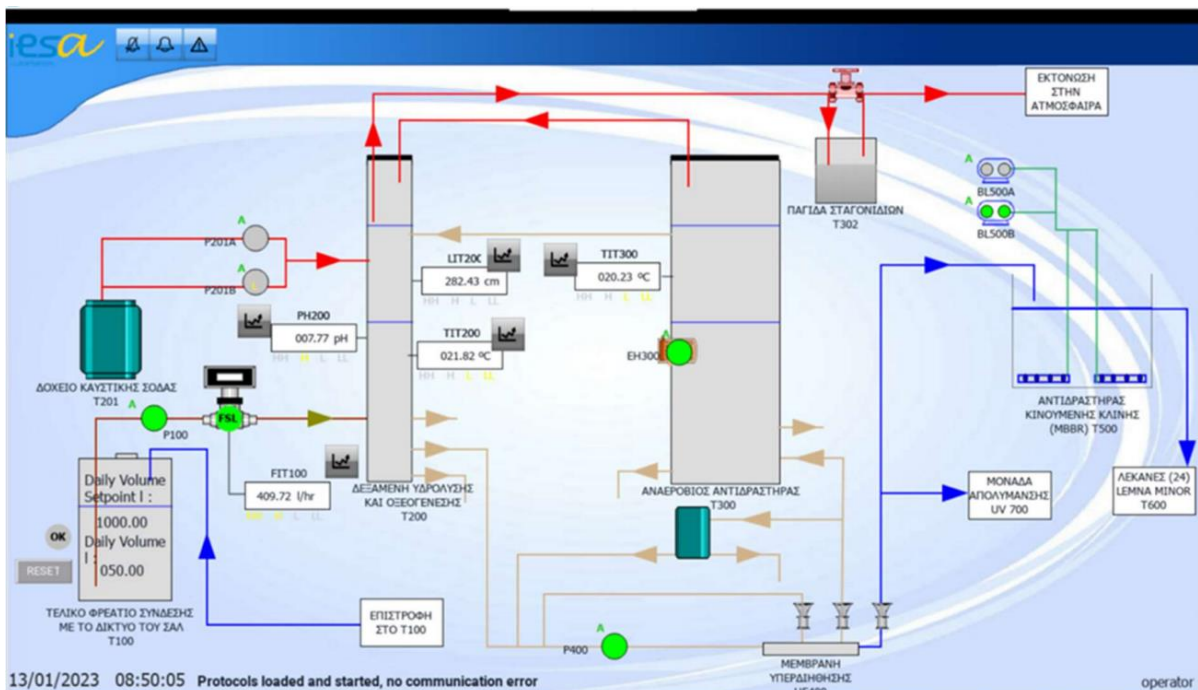
Η αναερόβια επεξεργασία αποσκοπεί στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου επιφέροντας μείωση του βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου και χημικά απαιτούμενου οξυγόνου. Η τεχνολογία αυτή απαρτίζεται από δύο κυλινδρικούς αντιδραστήρες (T200 και T300) κατασκευασμένους από ανοξείδωτο χάλυβα τύπου AISI 316 και σύστημα μεμβρανών υπερδιήθησης κεραμικού τύπου (UF400) (τρεις μονάδες παράλληλης διάταξης, LD-137 (LiqTech Ceramics – Δανία)). Εντός του 1<sup>ου</sup> αντιδραστήρα επιτυγχάνεται η διαδικασία υδρόλυσης και οξεογένεσης με συνεχή διόρθωση του pH και ανακυκλοφορίας. Στον 2<sup>ο</sup> αντιδραστήρα λαμβάνει χώρα η κύρια αναερόβια επεξεργασία με το στάδιο της μεθανογένεσης η οποία διενεργείται σε μεσοφιλικές θερμοκρασίες 35-37°C. Το υγρό απόβλητο διηθείται μέσω του συστήματος μεμβρανών υπερδιήθησης για διαχωρισμό του επεξεργασμένου προϊόντος από τη βιομάζα που προέρχεται από τους αντιδραστήρες και προχωρά προς την αερόβια επεξεργασία.

Πιο αναλυτικά, νοσοκομειακά υγρά απόβλητα από το τελευταίο φρεάτιο του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας αντλούνται μέσω αντλίας τροφοδοσίας (P100) στον αντιδραστήρα οξεογένεσης T200. Η λειτουργία της περισταλτικής αντλίας γίνεται αυτόματα μέσω εμβαπτιζόμενου αισθητήρα στάθμης (LIT200) που εγκαθίσταται στον αντιδραστήρα T200 ή μέσω χρονοδιακόπτη ON/OFF που ρυθμίζεται μέσω του ΚΣΕ. Η ρύθμιση αυτή επιτρέπει τον ακριβή και ρυθμιζόμενο ρυθμό ροής υγρών αποβλήτων προς τη πιλοτική μονάδα και των επιμέρους τεχνολογιών. Ο ρυθμός ροής και ο συνολικός όγκος επεξεργασίας καταγράφονται μέσω ηλεκτρομαγνητικού μετρητή και αισθητήρα ροής (FLM100 και FS100) που εγκαθίσταται στη γραμμή μεταφοράς των υγρών αποβλήτων από το φρεάτιο στην αναερόβια επεξεργασία. Εντός του αντιδραστήρα οξεογένεσης γίνεται ρύθμιση του pH κοντά στο 7 με προσθήκη καυστικής σόδας μέσω αυτοματοποιημένου συστήματος που περιλαμβάνει αισθητήρα μέτρησης του pH (pH200, αισθητήρας: 8350 (Z08350=A=0000), ρυθμιστής: SC200 (LXV404.99.00101)) και δοσομετρικό σύστημα δύο αντλιών (P201 A ή B, μια σε λειτουργία και μια εφεδρική, AKL603NAH0000 (Seko Spa, Κύπρος)). Μέσω αντλίας ανακυκλοφορίας (P400) επιτρέπεται η μεταφορά υγρών αποβλήτων από τον αντιδραστήρα οξεογένεσης στο σύστημα

μεμβρανών υπερδιήθησης (τρεις μονάδες παράλληλης διάταξης) με μέρος του τελικού διηθημένου προϊόντος να επιστρέφει στον πυθμένα του αναερόβιου αντιδραστήρα (διεργασία μεθανογένεσης) οδηγώντας στη συνεχή ανακυκλοφορία και ανάμιξη μεταξύ αντιδραστήρα οξεογένεσης και αναερόβιου αντιδραστήρα που επικοινωνούν μέσω σωλήνα σύνδεσης σε υψηλότερο επίπεδο.

Το υπολειπόμενο διηθημένο υγρό απόβλητο οδηγείται προς το επόμενο στάδιο επεξεργασίας, την αερόβια επεξεργασία. Μέσω δύο μετρητών ροής ((i) FI401, F-40050LN-6 (Blue White-USA) (ii) FI402, F-452130LHN (Blue White-USA)) στο σύστημα ανακυκλοφορίας και μεταφοράς του διηθημένου υγρού αποβλήτου, αντίστοιχα, επιτρέπεται η παρακολούθηση της μεμβράνης υπερδιήθησης και η προσαρμογή της σε βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας. Εντός του αντιδραστήρα μεθανογένεσης T300 απαιτείται να διατηρούνται μεσοφιλικές συνθήκες με θερμοκρασίες κοντά στους 35 - 37 °C για διασφάλιση της βιωσιμότητας της βιομάζας εντός του αναερόβιου αντιδραστήρα και ως εκ τούτου την αποτελεσματική επεξεργασία των υγρών απόβλητων.

Η διατήρηση της θερμοκρασίας γίνεται μέσω συστήματος θερμικής αντίστασης (EH300, element) εντός του αντιδραστήρα T300. Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο element ελέγχεται από αισθητήρα θερμοκρασίας (TIT300, TR33 Miniature resistance thermometer (Wika Corporate, Γερμανία)). Τέλος, το παραγόμενο βιοαέριο που προκύπτει από τους αντιδραστήρες απομακρύνεται μέσω ειδικού δικτύου σε απομακρυσμένο ασφαλές σημείο εκκένωσης στην ατμόσφαιρα. Το δίκτυο περιλαμβάνει βαλβίδα σταθεροποίησης πίεσης (PRV300) και παγίδα σταγονιδίων (T302). Η αναερόβια διεργασία ελέγχεται από το ΚΣΕ (Εικόνα 2-5).



Εικόνα 2-5: Απεικόνιση συστήματος αναερόβιας αερόβιας επεξεργασίας στην οθόνη του κεντρικού πίνακα ελέγχου

### 2.1.3 Αερόβια μονάδα MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor)

Η αερόβια επεξεργασία MBBR στοχεύει στην περαιτέρω μείωση του οργανικού φορτίου καθώς και τη μείωση θρεπτικών συστατικών (π.χ. Ολικό Φώσφορο, Ολικό Άζωτο) των οποίων οι συγκεντρώσεις είτε παραμένουν σταθερές είτε αυξάνονται κατά την έξοδο του αποβλήτου από την αναερόβια επεξεργασία. Η αερόβια διεργασία περιλαμβάνει ορθογώνιο αντιδραστήρα (T500) κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα τύπου AISI 304 με δυο διακριτά διαμερίσματα. Το πρώτο διαμέρισμα αποσκοπεί στην οξειδωση του υπολειμματικού οργανικού άνθρακα από την αναερόβια επεξεργασία και το δεύτερο διαμέρισμα εξυπηρετεί στην οξειδωση των θρεπτικών συστατικών.

Εντός των διαμερισμάτων τοποθετείται ποσότητα πλαστικών βιοφορέων (biomedia) οι οποίοι αιωρούνται και πάνω τους αναπτύσσεται αερόβια βιομάζα για την αποικοδόμηση του υπολειμματικού ρυπαντικού φορτίου. Οι βιοφορείς είναι κατασκευασμένοι από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (High Density Polyethylene – HDPE) με ειδική επιφάνεια  $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$  και ειδικό βάρος  $0.95 (\pm 0.02) \text{ kg/L}$ .

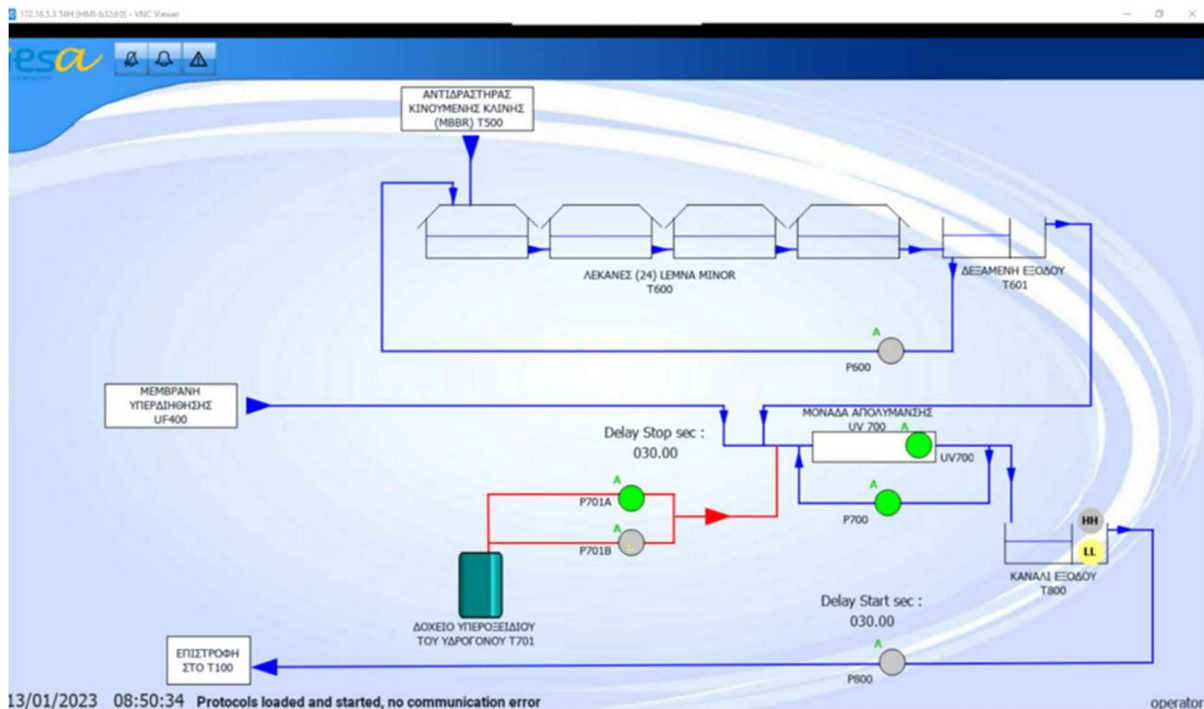
Στο παρόν στάδιο ο αερισμός του αντιδραστήρα αποτελεί βασικό παράγοντα σωστής λειτουργίας και κατάλληλης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και έτσι πραγματοποιείται μέσω δύο φυσητήρων αέρος (BL500 A ή B, JDK- 120 (Bibus, Αγγλία)), των οποίων η λειτουργία εναλλάσσεται ανά χρονικά διαστήματα. Το διάστημα λειτουργίας των φυσητήρων ελέγχεται από το ΚΣΕ (Εικόνα 2-5). Το επεξεργασμένο από την αερόβια επεξεργασία υγρό απόβλητο υπερχειλίζει μέσω βαρύτητας στην μονάδα μετεπεξεργασίας με φυτά *Lemna minor*.

### 2.1.4 Μονάδα μετεπεξεργασίας με φυτά *Lemna minor*

Η επεξεργασία φυτοεξυγίανσης με φυτά *Lemna minor* στοχεύει στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των θρεπτικών συστατικών. Η τεχνολογία αυτή αποτελείται από 24 λεκάνες (T600), κατασκευασμένες από πολυαιθυλένιο ανθεκτικό στην ηλιακή ακτινοβολία, οι οποίες συνδέονταν μεταξύ τους με πλαστικές σωληνώσεις και εξαρτήματα που διασφαλίζουν την ομαλή ροή του υγρού μέσα από τις λεκάνες και την αποφυγή σημείων στασιμότητας. Η κάθε λεκάνη έχει όγκο 300 mL και ο συνολικός ωφέλιμος υγρός όγκος των λεκανών ήταν  $3 \text{ m}^3$  με τη στάθμη του υγρού αποβλήτου εντός των λεκανών να μην υπερβαίνει τα 15 cm.

Η συνολική επιφάνεια των λεκανών καλύφθηκε με ειδικά ανθεκτικά δίχτυα ώστε να επιτρέπεται η επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία για φωτοσύνθεση των φυτών αλλά να αποφεύγεται η πρόσβαση πτηνών και εντόμων οδηγώντας σε τυχόν επιμόλυνση των φυτών και του επεξεργασμένου υγρού αποβλήτου. Το υγρό απόβλητο φτάνοντας στη τελευταία λεκάνη μεταφέρεται σε δεξαμενή εξόδου (T601), κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα τύπου AISI 304, η οποία έχει δύο διαμερίσματα που επικοινωνούν με υπερχείλιση.

Στο 1<sup>ο</sup> διαμέρισμα υπάρχει λεπτό κόσκινο για απομάκρυνση στερεών πριν τη μεταφορά του υγρού αποβλήτου στο στάδιο της απολύμανσης ενώ η ανάμιξη και η οξυγόνωση του υγρού αποβλήτου εντός της δεξαμενής εξόδου επιτυγχάνεται με χρήση αντλίας ανακυκλοφορίας (P600). Η λειτουργία της αντλίας P600 ελέγχεται από το ΚΣΕ (Εικόνα 2-6). Η μεταφορά του επεξεργασμένου από τα φυτά *Lemna minor* υγρού αποβλήτου στο στάδιο απολύμανσης γίνεται μέσω βαρύτητας.



Εικόνα 2-6: Απεικόνιση συστήματος μετεπεξεργασίας με φυτά *Lemna minor* και σταδίου απολύμανσης με τεχνολογία προηγμένης οξειδωσης στην οθόνη του κεντρικού πίνακα ελέγχου

### 2.1.5 Μονάδα απολύμανσης με τεχνολογία προηγμένης οξειδωσης (UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Η μονάδα απολύμανσης είναι το τελευταίο στάδιο της μονάδας πριν την απόρριψη των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στο δίκτυο αποχέτευσης του ΣΑΛ. Το στάδιο της απολύμανσης στοχεύει στην εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών ενώ παράλληλα λόγω της οξειδωτικής του ικανότητας με το υπεροξείδιο του υδρογόνου υπάρχει το ενδεχόμενο οξειδωσης οργανικού φορτίου. Το στάδιο αυτό αποτελείται από συνδυασμό συστήματος υπεριώδους ακτινοβολίας (UV700) και παρουσίας υπεροξειδίου του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Η απολύμανση γίνεται μέσα σε αντιδραστήρα από ανοξείδωτο χάλυβα τύπου AISI 304 όπου είναι εγκατεστημένος λαμπτήρας UV με δυνατότητα ελάχιστου χρόνου επαφής τριών (3) λεπτών.

Ο λαμπτήρας UV είναι κλειστού τύπου με ακτινοβολία μήκους κύματος 200-400 nm με ένταση στα 254 nm όπου επιτυγχάνεται η μέγιστη αποτελεσματικότητα απολύμανσης. Η ένταση της ακτινοβολίας πρέπει να είναι >400J/m<sup>2</sup> (Aquada 10 (Xylem – Αγγλία)). Μέσω δύο δοσομετρικών

αντλιών (P701 A ή B, AKL603NAH0000 (Seko Spa, Κύπρος)), μία σε λειτουργία και μία εφεδρική) επιτρέπεται ο έλεγχος της δΟΣΟΛΟΓΙΑΣ του αραιού διαλύματος υπεροξειδίου υδρογόνου (3-3.5%) όπου στόχος είναι η συγκέντρωση να ανέρχεται στα 30-40mg/L.

Για την ενίσχυση της διαδικασίας απολύμανσης και οξειδωσης εγκαθίσταται μια αντλία ανακυκλοφορίας P700 που επιτρέπει την ανάμιξη του επεξεργασμένου και μη υγρού αποβλήτου που εισέρχεται στη μονάδα απολύμανσης.

Η λειτουργία της αντλίας P700 είναι αυτόματη με χρονοδιακόπτη ON/OFF ενώ μπορεί να ρυθμιστεί μέσω του ΚΣΕ (Εικόνα 2-6). Το τελικό επεξεργασμένο υγρό απόβλητο της πιλοτικής μονάδας καταλήγει σε κανάλι εξόδου (T800) και απορρίπτεται πίσω στο αποχετευτικό δίκτυο του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας με τη χρήση αντλίας για επιστροφή εκροής P800. Η λειτουργία της αντλίας P800 είναι αυτόματη του ΚΣΕ και ελέγχεται από ηλεκτρόδια στάθμης (LS800).

### 2.1.6 Αυτόματος δειγματολήπτης

Στα πλαίσια του έργου απαιτήθηκε να πραγματοποιηθούν δειγματοληψίες στις επιμέρους τεχνολογίες της πιλοτικής μονάδας ώστε να παρακολουθείται η λειτουργία της. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε αυτόματος φορητός δειγματολήπτης παθητικής ψύξης ο οποίος επέτρεπε τη συλλογή σύνθετων δειγμάτων (Εικόνα 2-7).



Εικόνα 2-7: Αυτόματος φορητός δειγματολήπτης παθητικής ψύξης

## 2.2 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που αναφέρθηκε πιο πάνω αναγράφεται συγκεντρωτικά στο Πίνακα 2-1 σύμφωνα και με το εγχειρίδιο λειτουργίας και συντήρησης της πιλοτικής μονάδας που ετοιμάστηκε από την ανάδοχο εταιρεία.

Πίνακας 2-1: Κύριος εξοπλισμός πιλοτικής μονάδας

| Αρ.  | Περιγραφή  | Ποσότητα                              | Κωδικός        |
|--|--|---------------------------------------|----------------|
| <b>Αναερόβια επεξεργασία (AnMBR)</b>   |  |                                       |                |
| 1  | Αντλία τροφοδοσίας                                 | 1                                     | P100           |
| 2  | Εμβαπτιζόμενος αισθητήρας στάθμης                  | 1                                     | LIT200         |
| 3  | Δεξαμενή Υδρόλυσης και Οξεογένεσης                 | 1                                     | T200           |
| 4  | Ηλεκτρομαγνητικός μετρητής και αισθητήρας ροής     | 1                                     | FLM100 & FS100 |
| 5  | Δοσομετρικές αντλίες καυστικής σόδας               | 2<br>(1 σε λειτουργία,<br>1 εφεδρική) | P201 A/B       |
| 6  | Αισθητήρας μέτρησης pH                             | 1                                     | PH200          |
| 7  | Αντλία ανακυκλοφορίας                              | 1                                     | P400           |
| 8  | Αντιδραστήρας μεθανογένεσης                        | 1                                     | T300           |
| 9  | Σύστημα μεμβρανών υπερδιήθησης κεραμικού τύπου     | 1                                     | UF400          |
| 10   | Μετρητής ροής                                      | 1                                     | FI401          |
| 11   | Μετρητής ροής                                      | 1                                     | FI402          |
| 12   | Σύστημα θερμικής αντίστασης                        | 1                                     | EH300          |
| 13   | Αισθητήρας θερμοκρασίας                            | 1                                     | TIT300         |
| 14   | Βαλβίδα σταθεροποίησης πίεσης βιοαερίου            | 1                                     | PRV300         |
| 15   | Παγίδα σταγονιδίων                                 | 1                                     | T302           |
| <b>Αερόβια επεξεργασία (MBBR)</b>  |  |                                       |                |
| 16   | Αντιδραστήρας αερόβιας διεργασίας                  | 1                                     | T500           |
| 17   | Φυσητήρες αέρος                                    | 2<br>(1 σε λειτουργία,<br>1 εφεδρική) | BL500 A/B      |
| <b>Μονάδα μετεπεξεργασίας με φυτά <i>Lemna minor</i></b>                                       |  |                                       |                |
| 18   | Λεκάνες <i>Lemna minor</i>                         | 24                                    | T600           |
| 19   | Δεξαμενή εξόδου                                    | 1                                     | T601           |
| 20   | Αντλία ανακυκλοφορίας                              | 1                                     | P600           |
| <b>Μονάδα απολύμανσης με τεχνολογία προηγμένης οξειδωσης (UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</b> |  |                                       |                |
| 21   | Σύστημα UV   | 1                                     | UV700          |
| 22   | Αντλία ανακυκλοφορίας                              | 1                                     | P700           |
| 23   | Δοσομετρικές αντλίες H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | 2<br>(1 σε λειτουργία,<br>1 εφεδρική) | P701 A/B       |
| 24   | Κανάλι εξόδου                                      | 1                                     | T800           |
| 25   | Αντλία επιστροφής εκροής                           | 1                                     | P800           |
| 26   | Ηλεκτρόδια στάθμης                                 | 1                                     | LS800          |
| <b>Άλλος εξοπλισμός</b>  |  |                                       |                |
| 27   | Δειγματολήπτης                                     | 1                                     | -              |
| 28   | Ηλεκτρικό πάνελ                                    | 1                                     | -              |

## 2.3 Αποτελεσματικότητα

Το Διεθνές Ερευνητικό Κέντρο Νερού Νηρέας πραγματοποίησε δειγματοληψίες κατά τη διάρκεια της 9-μηνιαίας λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας από επιλεγμένα σημεία εντός της πιλοτικής μονάδας (Εικόνα 2-3– Κεφάλαιο 2). Στα πλαίσια του έργου διενεργήθηκαν αναλύσεις που αφορούσαν κυρίως τις φυσικοχημικές παραμέτρους (π.χ. Ολικός Φώσφορος) ώστε να παρακολουθείται η λειτουργία των επιμέρους σταδίων της πιλοτικής μονάδας.

Επιπρόσθετα διενεργήθηκαν μικροβιολογικές αναλύσεις καθώς επίσης και αναλύσεις φαρμακευτικών ουσιών δίνοντας έτσι μια πλήρη εικόνα της αποτελεσματικότητας της πιλοτικής μονάδας ως σύνολο αλλά και των επιμέρους σταδίων της.

Περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παραδοτέο 4.4.1. Στο παρόν παραδοτέο γίνεται αναφορά στα βασικά αποτελέσματα των φυσικοχημικών παραμέτρων (Παράρτημα Β), όπως επίσης και των φαρμακευτικών ουσιών που ποσοτικοποιήθηκαν καταδεικνύοντας την επιτυχή επιτόπια διαχείριση των νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων.

### 2.3.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Η μέτρηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του αποβλήτου στα διάφορα στάδια επεξεργασίας της πιλοτικής μονάδας επιτρέπει την αξιολόγηση της λειτουργίας και της αποδοτικότητας της κάθε τεχνολογίας ξεχωριστά αλλά και της μονάδας ως σύνολο.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται πιο κάτω προέκυψαν από τις συνολικά 23 δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του έργου μεταξύ Ιανουαρίου και Αυγούστου 2023 στα σημεία ΣΔ1, ΣΔ4, ΣΔ5 και ΣΔ7. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αποτελέσματα για τα πιο κάτω χαρακτηριστικά.

1. Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand – COD)
2. Ολικός Φώσφορος (Total Phosphorous – TP)
3. Ολικό Άζωτο (Total Nitrogen – TN)
4. Αμμώνιο (Ammonium –  $\text{NH}_4^+$ )
5. Διαλυμένος Οργανικός Άνθρακας (Dissolved Organic Carbon – DOC)

Οι φυσικοχημικές παράμετροι μετρήθηκαν αρχικά ως προς τις ολικές τους συγκεντρώσεις. Όμως, λόγω των στερεών που παρατηρούνταν στα δείγματα σε συνδυασμό με τις αυξημένες συγκεντρώσεις των παραμέτρων που καταγράφονταν αποφασίστηκε η εξέταση της διαλυτής τους συγκέντρωσης αντί της ολικής ώστε να διαφανεί αν η ύπαρξη στερεών αποκρύπτει την πραγματική συνεισφορά των τεχνολογιών.

Για το λόγο αυτό η συζήτηση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί βασίστηκε στις διαλυτές συγκεντρώσεις ενώ οι ολικές συγκεντρώσεις παρουσιάζονται για ενδεικτικούς σκοπούς.

Πίνακας 2-2: Μέσες ολικές και διαλυτές συγκεντρώσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων στα επιμέρους σημεία της πιλοτικής μονάδας καθώς και το ποσοστό των ολικών απομακρύνσεων που επιτεύχθηκαν σε κάθε περίπτωση

| Παράμετροι   | ΣΔ  | Μέση ολική συγκέντρωση (mg/L) | Συνολικό ποσοστό απομάκρυνσης (%) | Μέση διαλυτή συγκέντρωση (mg/L) | Συνολικό ποσοστό απομάκρυνσης (%) |
|--|-----|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| COD<br>(mg O <sub>2</sub> /L)  | ΣΔ1 | 1144,75                       | 73,2                              | 360,10                          | 57,2                              |
|  | ΣΔ4 | 437,00                        |                                   | 337,80                          |                                   |
|  | ΣΔ5 | 312,60                        |                                   | 176,90                          |                                   |
|  | ΣΔ7 | 306,60                        |                                   | 154,30                          |                                   |
| TP<br>(mg PO <sub>4</sub> -P/L)  | ΣΔ1 | 11,65                         | 33,3                              | 8,20                            | 1,8                               |
|  | ΣΔ4 | 8,91                          |                                   | 8,99                            |                                   |
|  | ΣΔ5 | 9,61                          |                                   | 7,94                            |                                   |
|  | ΣΔ7 | 7,77                          |                                   | 8,06                            |                                   |
| TN<br>(mg N/L)   | ΣΔ1 | 112,44                        | 30,9                              | 76,60                           | 4,2                               |
|  | ΣΔ4 | 100,13                        |                                   | 81,50                           |                                   |
|  | ΣΔ5 | 92,00                         |                                   | 72,30                           |                                   |
|  | ΣΔ7 | 77,73                         |                                   | 73,40                           |                                   |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>(mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/L) | ΣΔ1 | 70,02                         | 46,1                              | 66,88                           | 51,2                              |
|  | ΣΔ4 | 85,10                         |                                   | 73,32                           |                                   |
|  | ΣΔ5 | 43,22                         |                                   | 33,34                           |                                   |
|  | ΣΔ7 | 37,75                         |                                   | 32,65                           |                                   |
| DOC *<br>(ppm C)   | ΣΔ1 | -                             | -                                 | 195,26                          | 80,3                              |
|  | ΣΔ4 | -                             |                                   | 155,62                          |                                   |
|  | ΣΔ5 | -                             |                                   | 30,75                           |                                   |
|  | ΣΔ7 | -                             |                                   | 38,48                           |                                   |

\* Στη περίπτωση του DOC δεν υπάρχουν τιμές ολικών συγκεντρώσεων αφού η μέτρηση της εν λόγω παραμέτρου γίνεται μόνο σε διαλυτές συγκεντρώσεις.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-2 για τις φυσικοχημικές αναλύσεις η πιλοτική μονάδα σημειώνει σημαντικά ποσοστά απομάκρυνσης στο χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, το αμμώνιο και τον διαλυτό οργανικό άνθρακα με ολικά ποσοστά απομάκρυνσης 57%, 51% και 80% αντίστοιχα.

Αντιθέτως, ελάχιστη έως αμελητέα μπορεί να χαρακτηριστεί η απομάκρυνση του ολικού φωσφόρου και ολικού αζώτου με 2% και 4%, αντίστοιχα. Σημαντική παρατήρηση ήταν η συνεισφορά της αερόβιας επεξεργασίας στην απομάκρυνση των προαναφερθέντων παραμέτρων αφού παρουσίασε τα μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης με 48% για το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, 12% για τον ολικό φώσφορο και ολικό άζωτο, 54% για το αμμώνιο και 80% για τον ολικό διαλυτό οργανικό άνθρακα.

### 2.3.2 Ανάλυση φαρμακευτικών ουσιών

Για την ανάλυση των φαρμακευτικών ουσιών πραγματοποιήθηκαν 3 διαδοχικές δειγματοληψίες στις 9, 10 και 11 Αυγούστου 2023. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν αφορούσαν τις επιμέρους τεχνολογίες της πιλοτικής μονάδας, την είσοδο και έξοδο του Σταθμού Επεξεργασίας Λυμάτων της Λάρνακας και αντλιοστάσιο που προηγείται του σταθμού επεξεργασίας και συμπεριλαμβάνει τα υγρά απόβλητα του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας.

Η συγκεκριμένη ανάλυση των φαρμακευτικών ενώσεων που έγινε επιτρέπει την ποσοτικοποίηση ~90 φαρμακευτικών ουσιών. Στον Πίνακα 2-3 αναγράφονται οι μέσες συγκεντρώσεις των ανιχνεύσιμων ουσιών στα δείγματα της πιλοτικής μονάδας και η μέση ολική απομάκρυνση που προκύπτει από τις τρεις δειγματοληψίες.

*Πίνακας 2-3: Μέση συγκέντρωση ανιχνεύσιμων ουσιών στις επιμέρους τεχνολογίες της πιλοτικής μονάδας και η μέση ολική απομάκρυνση που προκύπτει από τις τρεις διαδοχικές δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν*

| Ανιχνεύσιμες ουσίες   | Είδος ουσίας    | Μέση συγκέντρωση (ng/L) |       |       |       | Μέση ολική απομάκρυνση (%) |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|
|                       |                 | ΣΔ1                     | ΣΔ4   | ΣΔ5   | ΣΔ7   |                            |
| Atenolol              | Αντι-υπερτασικό | 303                     | 670   | 78    | 188   | 38                         |
| Atorvastatin          | Χοληστερόλη     | 352                     | 377   | 1,73  | 27,5  | 92                         |
| Caffeine              | Καφεΐνη         | 25213                   | 31594 | 119   | 120   | 100                        |
| Carbamazepine         | Αντιεπιληπτικό  | 9317                    | 4579  | 2404  | 4659  | 50                         |
| Cefaclor              | Αντιβιοτικό     | 1927                    | 1799  | <LOD  | <LOD  | 100                        |
| Ciprofloxacin         | Αντιβιοτικό     | 26072                   | 15531 | 8590  | 16197 | 38                         |
| Cloxacillin           | Αντιβιοτικό     | 947                     | 1283  | <LOD  | 691,5 | 27                         |
| Cortisone             | Κορτιζόνη       | 712                     | 410   | <LOD  | <LOD  | 100                        |
| Diclofenac            | Αντιφλεγμονώδη  | 372                     | 630   | 1653  | 2632  | -608                       |
| Difloxacin            | Αντιβιοτικό     | 14,6                    | <LOD  | 0,670 | 3,79  | 74                         |
| Ibuprofen             | Αναλγητικό      | 2140                    | 3489  | 390   | 252,5 | 88                         |
| Ketoprofen            | Αντιφλεγμονώδη  | <LOD                    | <LOD  | <LOD  | <LOD  | Not detected               |
| Lincomycin            | Αντιβιοτικό     | 100,7                   | 151   | 4,45  | 85    | 16                         |
| Mefenamic acid        | Αναλγητικό      | <LOD                    | 6,27  | 52,6  | 46,4  | -3243                      |
| Metoprolol            | Αντι-υπερτασικό | 1059                    | 1251  | 837   | 1604  | -51                        |
| Metronidazole         | Αντιβιοτικό     | 2771                    | 1283  | 1263  | 2539  | 8                          |
| Niflumic acid         | Αντιφλεγμονώδη  | <LOD                    | 3,0   | 2,72  | 4,79  | -54128                     |
| Norfloxacin           | Αντιβιοτικό     | 88                      | 35,3  | 12,0  | 66,3  | 24                         |
| Ofloxacin             | Αντιβιοτικό     | 806                     | 663   | 444,0 | 968   | -20                        |
| Paracetamol           | Αναλγητικό      | 50097                   | 42298 | <LOD  | <LOD  | 100                        |
| Propranolol           | Αντι-υπερτασικό | 258                     | 633   | 245,1 | 365   | -41                        |
| Sulfachloropyridazine | Αντιβιοτικό     | <LOD                    | 49,1  | <LOD  | <LOD  | 100                        |
| Sulfadiazine          | Αντιβιοτικό     | 132                     | 185   | <LOD  | <LOD  | 100                        |

|                  |                   |       |      |       |       |                     |
|------------------|-------------------|-------|------|-------|-------|---------------------|
| Sulfadimethoxine | Αντιβιοτικό       | 14,3  | 5,08 | <LOD  | 6,05  | <b>58</b>           |
| Sulfadimidine    | Αντιβιοτικό       | <LOD  | <LOD | <LOD  | <LOD  | <b>Not detected</b> |
| Sulfadoxine      | Αντιβιοτικό       | 7,8   | 1,88 | 1,88  | 10,22 | <b>-31</b>          |
| Sulfamerazine    | Αντιβιοτικό       | <LOD  | <LOD | <LOD  | <LOD  | <b>Not detected</b> |
| Sulfamethoxazole | Αντιβιοτικό       | 7068  | 4915 | 115,5 | 185   | <b>97</b>           |
| Sulfapyridine    | Αντιβιοτικό       | 131,8 | 191  | 93,49 | 109,1 | <b>17</b>           |
| Sulfaquinoxaline | Αντιβιοτικό       | 7,86  | <LOD | 7,7   | 5,4   | <b>32</b>           |
| Sulfathiazole    | Αντιβιοτικό       | 17,6  | 17,9 | <LOD  | <LOD  | <b>100</b>          |
| Theophylline     | Βρογχοδιασταλτικό | 8166  | 8214 | 79,3  | 121   | <b>99</b>           |
| Tiamulin         | Αντιβιοτικό       | 8,9   | 14,0 | <LOD  | <LOD  | <b>100</b>          |
| Tramadol         | Οπιοειδές         | 4409  | 4817 | 4621  | 7932  | <b>-80</b>          |
| Tylosin          | Αντιβιοτικό       | <LOD  | 168  | <LOD  | <LOD  | <b>100</b>          |
| Valsartan        | Αντι-υπερτασικό   | 2876  | 4661 | 1200  | 2002  | <b>30</b>           |

Σημείωση: Το LOD (Limit of Detection) αναφέρεται σε συγκέντρωση μικρότερη από το όριο ποσοτικοποίησης, άρα όπου εμφανίζεται σημαίνει πως δεν ανιχνεύτηκε η συγκεκριμένη ουσία.

Στην περίπτωση της πιλοτικής μονάδας ποσοτικοποιήθηκαν 33 από τις 90 ουσίες με τις πλείστες από αυτές να είναι αντιβιοτικές ενώσεις ενώ οι υπόλοιπες αποτελούνταν από αναλγητικές, αντι-υπερτασικές και αντιφλεγμονώδεις φαρμακευτικές ουσίες. Από τις 33 ανιχνεύσιμες φαρμακευτικές ουσίες οι 25 παρουσίασαν μείωση στη συγκέντρωση εκ των οποίων οι 14 ενώσεις είχαν ποσοστό απομάκρυνσης 70-100%, ενώ οι υπόλοιπες 11 είχαν ποσοστό απομάκρυνσης μεταξύ 8 έως 58%.

Όπως και στην περίπτωση των φυσικοχημικών αναλύσεων η τεχνολογία με τη μέγιστη συνεισφορά στην απομάκρυνση των φαρμακευτικών ουσιών ήταν η αερόβια επεξεργασία με τις πλείστες ενώσεις να μειώνονται σημαντικά στο στάδιο αυτό.

## 2.4 Προμήθεια και εγκατάσταση

Για την προμήθεια και εγκατάσταση του εξοπλισμού των σταδίων της πιλοτικής μονάδας δαπανήθηκαν τα ποσά τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-4 με βάση την προσφορά που κατακυρώθηκε στην ανάδοχο εταιρία στα πλαίσια του έργου. Το συνολικό ποσό το οποίο δαπανήθηκε για την κατασκευή και εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας στο χώρο του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας ανέρχεται στις 151250 € εξαιρουμένου του φόρου προστιθέμενης αξίας.

Πίνακας 2-4: Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού και διεργασιών για τη πιλοτική μονάδα δυνατότητας ημερήσιας επεξεργασίας 1 m<sup>3</sup>/ημέρα

| A/A | Περιγραφή σταδίου επεξεργασίας       | Κόστος (χωρίς ΦΠΑ) |
|-----|--------------------------------------|--------------------|
| 1   | Αναερόβιος αντιδραστήρας τύπου AnMBR | 47850 €            |
| 2   | Αερόβιας μονάδας τύπου MBBR          | 28000 €            |

|  |   |                 |
|--|---|-----------------|
| 3  | Επεξεργαστής με φυτά <i>Lemna mirror</i>              | 22500 €         |
| 4  | Μονάδα απολύμανσης με τεχνολογία προηγμένης οξειδωσης | 27850 €         |
| 5  | Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας                          | 16800 €         |
| 6  | Αυτόματος δειγματολήπτης                              | 8250 €          |
| <b>Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b> |   | <b>151250 €</b> |

## 2.5 Λειτουργικά έξοδα

Τα λειτουργικά κόστη της πιλοτικής μονάδας εκτιμήθηκαν με βάση τις τριμηνιαίες αναφορές που ετοιμάστηκαν από την ανάδοχο εταιρεία σε συνδυασμό με τις καταγραφές του κεντρικού πίνακα ελέγχου κατά την 9-μηνη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας. Τα λειτουργικά κόστη χωρίζονται στις εξής κατηγορίες και υπολογίστηκαν για την 9-μηνη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας ενώ εκτιμήθηκαν και για λειτουργία 1 έτους.

### Κατανάλωση ενέργειας:

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας έγινε με βάση τα δεδομένα που παραχωρήθηκαν από το ΣΑΛ σύμφωνα με το μετρητή ενέργειας που εγκατέστησαν στην πιλοτική μονάδα. Τα δεδομένα αφορούσαν την περίοδο Μαΐου και Σεπτεμβρίου 2023 με συνολική χρονική διάρκεια 137 ημερών και συνολική κατανάλωση ενέργειας στις 3547,8 kWh (Et). Στη συνέχεια εκτιμήθηκε η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (Ed) της πιλοτικής μονάδας διαιρώντας τη συνολική κατανάλωση ενέργειας με τη χρονική διάρκεια των δεδομένων. Έτσι, η εκτίμηση για κατανάλωση ενέργειας για ένα ολόκληρο χρόνο (Ey) ανέρχεται στις 9453,5 kWh. (Εξίσωση 2-1).

$$E_d = \frac{Et}{137} = \frac{3547,8}{137} = 25,9 \text{ kWh} \rightarrow E_y = 25,9 * 365 = 9453,5 \text{ kWh}$$

Εξίσωση 2-1: Υπολογισμός ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας (Ed) και τη κατανάλωση ενέργειας για ένα χρόνο (Ey)

Έχοντας υπόψη ότι η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στην Κύπρο για επιχειρήσεις ανέρχεται στα 0,324 € το συνολικό κόστος για την κατανάλωση ενέργειας για τους 9 μήνες λειτουργίας ανέρχεται στα 2299,3 € (C<sub>9m</sub>) και για το ετήσιο λειτουργικό κόστος ανεβαίνει στα 3062,9 € (Cy) (Εξίσωση 2-2).

$$C_{9m} = 274 * 25,9 * 0,324 = 2299,3 \text{ €}$$

$$C_y = 365 * 25,9 * 0,324 = 3062,9 \text{ €}$$

Εξίσωση 2-2: Υπολογισμός συνολικού κόστους κατανάλωσης ενέργειας για 9 μήνες (C<sub>9m</sub>) και 1 χρόνο (Cy) λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας

**Κόστος χημικών:**

Στοιχεία για τα χημικά που χρειάστηκαν κατά τη διάρκεια λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας λήφθηκαν από τις τριμηνιαίες αναφορές της ανάδοχης εταιρείας που δόθηκαν στο ΣΑΛ και είναι τα εξής:

1. Hydrogen peroxide standard grade interox st-35
2. Citric acid anhydrous
3. Liquid caustic soda
4. Sodium hypochlorite 12%

Στον Πίνακα 2-5 παρουσιάζονται οι καταναλώσεις των εν λόγω χημικών κατά την 9-μηνη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας μαζί με τα κόστη τους όπως αυτά παραχωρήθηκαν από την ανάδοχο εταιρεία. Έτσι υπολογίστηκε το συνολικό κόστος των χημικών στα 468,1 € εξαιρουμένου του φόρου προστιθέμενης αξίας.

*Πίνακας 2-5: Αναλώσιμα χημικών ενώσεων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την 9-μηνη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας*

| <b>Αναλώσιμο/Χημική Ουσία</b>                  | <b>Κόστος (Χωρίς Φ.Π.Α)</b> | <b>Ποσότητα που καταναλώθηκε</b> | <b>Συνολικό Κόστος (Χωρίς Φ.Π.Α)</b> |
|--|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Hydrogen peroxide standard grade interox st-35 | 1,59 /kg €                  | 210 kg                           | 333,9 /kg €                          |
| Citric acid anhydrous                          | 2,00 /kg €                  | 41 kg                            | 82,0 /kg €                           |
| Liquid caustic soda                            | 1,50 /L €                   | 12 L                             | 18,0 /L €                            |
| Sodium hypochlorite 12%                        | 0,95 /L €                   | 36 L                             | 34,2 /L €                            |
|  |                             | <b>Σύνολο</b>                    | <b>468,1 €</b>                       |

Αντίστοιχα, ποσότητες και κόστη για λειτουργία 1 έτους διαμορφώθηκαν αναλόγως και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-6. Το συνολικό κόστος χημικών κατά την ετήσια λειτουργία της πιλοτικής μονάδας ανέρχεται στα 644,8 € εξαιρουμένου του φόρου προστιθέμενης αξίας.

*Πίνακας 2-6 Αναλώσιμα χημικών ενώσεων για τη λειτουργία της πιλοτική μονάδας για 1 χρόνο*

| <b>Αναλώσιμο/Χημική Ουσία</b>                  | <b>Κόστος (Χωρίς Φ.Π.Α)</b> | <b>Ποσότητα που καταναλώθηκε</b> | <b>Συνολικό Κόστος (Χωρίς Φ.Π.Α)</b> |
|--|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Hydrogen peroxide standard grade interox st-35 | 1,59 /kg €                  | 280 kg                           | 445,2 /kg €                          |
| Citric acid anhydrous                          | 2,00 /kg €                  | 62 kg                            | 124,0 /kg €                          |
| Liquid caustic soda                            | 1,50 /L €                   | 20 L                             | 30,0 /L €                            |
| Sodium hypochlorite 12%                        | 0,95 /L €                   | 48 L                             | 45,6 /L €                            |
|  |                             | <b>Σύνολο</b>                    | <b>644,8 €</b>                       |

### **Κόστος συντήρησης και αναλωσίμων:**

Σύμφωνα με τις τριμηνιαίες εκθέσεις της ανάδοχης εταιρείας τα πιο κάτω στοιχεία του εξοπλισμού τα οποία αντικαταστάθηκαν ήταν:

1. Σύστημα θερμικής αντίστασης
2. Προσωρινή εγκατάσταση νέας αντλίας στη θέση της P100
3. Αντικατάσταση o-ring στην αντλία ανακυκλοφορίας P400
4. Αντικατάσταση peristaltic hose στην P100
5. Αντικατάσταση peristaltic hose στην P800
6. Αλλαγή repair kit στο φυσητήρα αέρος BL500 A
7. Αντικατάσταση foot valve, check valve, διάφραγμα και injector στη δοσομετρική αντλία P701A

Τα έξοδα συντήρησης που προκύπτουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας τέτοιων μονάδων δύναται να υπολογίζονται ως ποσοστό στο αρχικό κόστος εγκατάστασης για τον λόγο ότι αν και τα κόστη αυτά μπορούν να εκτιμηθούν δεν παύουν να παραμένουν απρόβλεπτα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ποσοστό που αναλογεί στα έξοδα συντήρησης ( $C_m$ ) ορίστηκε στο 2% του συνολικού κόστους προμήθειας και εγκατάστασης (Πίνακας 2-4) προκύπτοντας ένα κόστος ύψους 3025 € το χρόνο (Εξίσωση 2-3).

$$C_m = 151250 * 0,02 = 3025 \text{ €}$$

*Εξίσωση 2-3: Υπολογισμός ετήσιου κόστους συντήρησης με βάση ποσοστό στο συνολικό κόστος εγκατάστασης της πιλοτικής μονάδας.*

### **Κόστος Προσωπικού:**

Σύμφωνα με τη σύμβαση που υπογράφηκε με την ανάδοχο εταιρία, μέσα στις αρμοδιότητές της ήταν η παρακολούθηση και συντήρηση όλου του εγκατεστημένου εξοπλισμού για περίοδο εννέα (9) μηνών μετά την έναρξη λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας. Σε αυτά τα πλαίσια η ανάδοχος εταιρία διενεργούσε κατ' ελάχιστον δύο προγραμματισμένες επισκέψεις την εβδομάδα και ανταποκρινόταν και σε περιπτώσεις έκτακτων κλήσεων για αποκατάσταση βλαβών και επιπλοκών ώστε να διασφαλίσει την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος.

### 3 Μονάδα πλήρους εφαρμογής

Τα νοσοκομειακά υγρά απόβλητα συγκεντρώνουν αυξανόμενο ενδιαφέρον και προβληματισμό γιατί αποτελούν πηγή απελευθέρωσης στο περιβάλλον τοξικών ρύπων γνωστών και ως ρύπων αναδυόμενου ενδιαφέροντος (*Contaminants of Emerging Concern* ή *CECs*). Λόγω των πολλαπλών υπηρεσιών που παρέχονται στα νοσοκομειακά ιδρύματα, φαρμακευτικές ουσίες με διαφορετικές δομές, και λειτουργικές δράσεις απεκκρίνονται συνεχώς από τον οργανισμό των ασθενών και απελευθερώνονται μέσω των νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ευρύτερο περιβάλλον. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από την διεθνή βιβλιογραφία μιας και πολλές μελέτες καταδεικνύουν την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων φαρμακευτικών ουσιών στα νοσοκομειακά απόβλητα.

Συγκεκριμένα, οι συγκεντρώσεις ορισμένων από αυτές κυμαίνονται μεταξύ 4 έως και 150 φορές υψηλότερες από ό,τι στα αστικά λύματα (Heberer, 2002; Kümmerer, 2001; Verlicchi et al., 2010; Meza et al., 2020; Lofrano et al., 2021). Πολλές επιστημονικές δημοσιεύσεις αναφέρουν επίσης ότι τα νοσοκομειακά απόβλητα μπορούν να συνεισφέρουν πάνω από το ήμισυ του φορτίου των CECs που καταλήγει στους σταθμούς διαχείρισης αστικών λυμάτων (Heberer, 2002; Verlicchi et al., 2010a; Verlicchi et al., 2010b). Η ικανότητα των συμβατικών μεθόδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων ενεργού ιλύος (CAS) που ήδη εφαρμόζονται στους σταθμούς διαχείρισης, να απομακρύνουν αυτού του είδους ρύπους αφού οι τεχνολογίες αυτές έχουν σχεδιαστεί για την αφαίρεση συμβατικών ρύπων όπως είναι το οργανικό φορτίο, τα αιωρούμενα στερεά κ.λπ., και συνεπώς είναι ελάχιστα αποτελεσματικές στην απομάκρυνση των CECs, είναι αποδεδειγμένα μειωμένη (Michael et al., 2013; Krzeminski et al., 2019; Manaia, 2022). Επιπρόσθετος λόγος της αδυναμίας των κεντρικών συστημάτων επεξεργασίας για απομάκρυνση των φαρμακευτικών ουσιών είναι η μεγάλη αραίωσή την οποία υφίστανται οι ρύποι αυτοί των νοσοκομειακών αποβλήτων με την ανάμιξή τους με τα υπόλοιπα ρεύματα αστικών λυμάτων.

Η μη πλήρης απομάκρυνση αυτών των ρύπων από τα αστικά λύματα οδηγεί στην ανάπτυξη άλλων προβλημάτων ανάμεσα στα οποία σημαντική θέση έχει η μικροβιακή αντοχή. Η μικροβιακή αντοχή είναι η ικανότητα την οποία αναπτύσσουν τα βακτήρια και άλλοι μικροοργανισμοί να επιβιώνουν στην παρουσία αντιβιοτικών ουσιών ενώ προηγουμένως ήταν ευπαθή σε αυτά. Κατά τη χρήση των αντιβιοτικών τα ευαίσθητα βακτήρια αδρανοποιούνται όμως ορισμένα από αυτά δυνατόν να έχουν γενετικές μεταλλάξεις ή μηχανισμούς που τους επιτρέπουν να επιβιώσουν από την επίδραση της αντιβιοτικής ουσίας. Αυτά τα ανθεκτικά βακτήρια στη συνέχεια πολλαπλασιάζονται και μεταβιβάζουν τα χαρακτηριστικά αντοχής τους στους απογόνους τους, δημιουργώντας έναν πληθυσμό βακτηρίων που δεν επηρεάζεται πλέον από το συγκεκριμένο αντιβιοτικό. Έχοντας υπόψιν τα πιο πάνω τα αστικά λύματα θεωρούνται ως μία από τις κυρίαρχες ανθρωπογενείς πηγές διασποράς των ανθεκτικών βακτηρίων και γονιδίων (ARB&ARGs) στο περιβάλλον και οι συνέπειες μπορεί

ενδεχομένως να επιδεινωθούν περισσότερο από την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων (Rizzo et al., 2013).

Οι συμβατικές τεχνολογίες βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων στους σταθμούς δημιουργούν ένα περιβάλλον δυνητικά ευνοϊκό για την ανάπτυξη και διασπορά αντοχής στα αντιβιοτικά, καθώς οι κοινότητες των ανθρώπινων και περιβαλλοντικών βακτηρίων βρίσκονται σε στενή επαφή, διευκολύνοντας έτσι την πιθανή δημιουργία και τον πολλαπλασιασμό της μικροβιακής αντοχής στα αντιβιοτικά (Manaia et al., 2016; Karkman et al., 2018; Manaia et al., 2018; Michael-Kordato et al., 2018; Manaia, 2022). Η υψηλή πυκνότητα κυττάρων σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα θρεπτικών πηγών και τη συσχέτιση των ARGs με κινητά γενετικά στοιχεία (MGEs) είναι συνθήκες επιτρεπτές για την οριζόντια γονιδιακή μεταφορά (HGT) των ARGs από βακτήριο σε βακτήριο μέσω μιας ποικιλίας μηχανισμών (δηλαδή, μετασχηματισμός, μεταγωγή και σύζευξη) (Yoon et al., 2018). Τον Μάιο του 2020, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε επίσημα τον Κανονισμό (EU 2020/741) για τις ελάχιστες απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση του ανακυκλωμένου νερού, όπου η μικροβιακή αντοχή περιλαμβάνεται στις πρόσθετες απαιτήσεις για την ποιότητα και την παρακολούθηση του ανακυκλωμένου νερού για τη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Επίσης, υπό το φως του COVID-19, αναμένεται ότι η μικροβιακή αντοχή στα αντιβιοτικά πιθανότατα θα αυξηθεί μέσω της αυξημένης χρήσης αντιβιοτικών ως μέσου για την αντιμετώπιση των δευτερογενών βακτηριακών λοιμώξεων της πανδημίας, ενώ η μετάδοση της μικροβιακής αντοχής πέραν της ιατρικής πρακτικής θα πρέπει να εξεταστεί και να αξιολογηθεί (JPI AMR, 2020). Ως εκ τούτου η απελευθέρωση αυξημένων επιπέδων αντιβιοτικών ουσιών στα αστικά λύματα από τις νοσοκομειακές εγκαταστάσεις και η συσσώρευσή τους στο σταθμούς διαχείρισης αστικών λυμάτων είναι σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη μικροβιακής αντοχής στα αντιβιοτικά και κατά συνέπεια το πέρασμά της στους διάφορους περιβαλλοντικούς αποδέκτες μέσω της επαναχρησιμοποίησης του ανακυκλωμένου νερού.

Με βάση τα πιο πάνω είναι εμφανές, ότι πρωτίστως για λόγους ανθρώπινης υγείας αλλά και για την προστασία του περιβάλλοντος από τους διάφορους χημικούς και βιολογικούς ρύπους η επιτόπια διαχείριση των νοσοκομειακών λυμάτων είναι αναγκαία ανεξαρτήτως κόστους. Η μείωση των συγκεντρώσεων των διαφόρων ρύπων αναδύομένου ενδιαφέροντος και συγκεκριμένα των φαρμακευτικών ουσιών στην «πηγή», όπως μπορούν εύκολα να χαρακτηριστούν οι νοσοκομειακές μονάδες είναι επιτακτική ανάγκη.

Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη από τους Lofrano et al., (2021) αναφέρεται ότι η επεξεργασία των νοσοκομειακών λυμάτων στην πηγή θα μειώσει τις συγκεντρώσεις των CECs και συγκεκριμένα των φαρμακευτικών ουσιών μειώνοντας έτσι τις επιπτώσεις που προκαλούν τα νοσοκομειακά λύματα στους σταθμούς διαχείρισης αστικών λυμάτων. Επίσης μια άλλη πρόσφατη μελέτη αναφέρει ότι η επεξεργασία των νοσοκομειακών λυμάτων μέσω των μεγάλων σταθμών επεξεργασίας αστικών

λυμάτων δεν πρέπει να θεωρείται πανάκεια, καθώς πολλές παράμετροι των νοσοκομειακών λυμάτων δεν μπορούν να αφαιρεθούν με τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε αυτούς (συμβατικές τεχνολογίες). Η ίδια μελέτη αναφέρει ότι θα πρέπει να γίνεται μια ειδική διαχείριση ως προς την αποτελεσματική απομάκρυνση των CECs, των ιών, των ARG, των ARB για την εξασφάλιση της δημόσιας υγείας, παρόλες τις προκλήσεις που παρουσιάζονται, το υψηλό κόστος συντήρησης και το λειτουργικό κόστος κ.λπ., τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν σωστά. Επίσης έχοντας υπόψιν ότι η Κύπρος, σύμφωνα με πρόσφατα δεδομένα του Ευρωπαϊκού Κέντρου Ελέγχου και Πρόληψης Νόσων, κατέχει μια από τις υψηλότερη θέσεις στην κατανάλωση αντιβιοτικών στην κοινότητα, ενώ συγκαταλέγεται και ανάμεσα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τα υψηλότερα ποσοστά μικροβιακής αντοχής και φορτίου λοιμώξεων από πολυανθεκτικά παθογόνα (Κυπριακή Εταιρεία Κλινικής Μικροβιολογίας και Λοιμώξεων (ΚΕΚΜΙΛ)) θα πρέπει οι «πηγές» φαρμακευτικών και αντιβιοτικών ενώσεων να περιορίζονται στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

### 3.1 Παραγωγή υγρών αποβλήτων

Η μέση ημερήσια παραγωγή υγρών αποβλήτων του νοσοκομείου υπολογίστηκε σύμφωνα με τα δεδομένα τα οποία παραχωρήθηκαν από το ΣΑΛ. Συγκεκριμένα, δόθηκαν στοιχεία κατανάλωσης/χρέωσης του νερού του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας ανά τριμηνία μεταξύ Σεπτεμβρίου 2021 – Μαρτίου 2023 (Πίνακα 3-1). Με βάση αυτές τις καταναλώσεις ο ΣΑΛ χρεώνει του καταναλωτές το κόστος διαχείρισης υγρών αποβλήτων.

Πίνακας 3-1: Δεδομένα κατανάλωσης νερού του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας σύμφωνα με το ΣΑΛ για κάθε τριμηνία μεταξύ Σεπτεμβρίου 2021 – Μαρτίου 2023

| Τριμηνία       | Ημερομηνία Έναρξης | Ημερομηνία Λήξης | Κατανάλωση m <sup>3</sup> |
|----------------|--------------------|------------------|---------------------------|
| 4 <sup>η</sup> | 17/09/2021         | 09/12/2021       | 5751                      |
| 1 <sup>η</sup> | 10/12/2021         | 08/03/2022       | 6998                      |
| 2 <sup>η</sup> | 09/03/2022         | 09/06/2022       | 6379                      |
| 3 <sup>η</sup> | 02/06/2022         | 02/09/2022       | 7886                      |
| 4 <sup>η</sup> | 01/09/2022         | 01/12/2022       | 7395                      |
| 1 <sup>η</sup> | 03/12/2022         | 03/03/2023       | 7170                      |

Ο μέσος όρος ( $X_{m3}$ ) που προκύπτει από τα δεδομένα της τρίμηνης κατανάλωσης διαιρέθηκε διά τρία (3 μήνες) ώστε να υπολογιστεί η μέση μηνιαία κατανάλωση ( $X_{m1}$ ) του νοσοκομείου. Ακολούθως η μέση μηνιαία κατανάλωση διαιρέθηκε διά 30 ημέρες ώστε να προκύψει η μέση ημερήσια κατανάλωση ( $X_D$ ) του νοσοκομείου. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς στην Εξίσωση 3-1 η μέση ημερήσια κατανάλωση στο Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας είναι 83,3 m<sup>3</sup>/ημέρα. Παρόλα αυτά η τιμή αυτή στρογγυλοποιήθηκε στα 90 m<sup>3</sup>/ημέρα ώστε να ληφθούν υπόψη τυχόν διακυμάνσεις στην παραγωγή των υγρών αποβλήτων.

$$X_{m3} = \frac{5751 + 6998 + 6379 + 7886 + 7395 + 7170}{6} = 6930 \text{ m}^3/\text{τριμηνία}$$

$$X_{m1} = \frac{6930}{3} = 2310 \sim 2500 \text{ m}^3/\text{μήνα} \quad X_D = \frac{2500}{30} = 83,3 \sim 90 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$$

*Εξίσωση 3-1: Υπολογισμοί για την ημερήσια παραγωγή υγρών αποβλήτων του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας*

Με βάση την μέση ημερήσια παραγωγή νοσοκομειακών αποβλήτων που ανέρχεται στα 90 m<sup>3</sup>, ακολούθησαν οι υπολογισμοί για την ανάπτυξη μονάδας πλήρους εφαρμογής που θα έχει την ικανότητα επεξεργασίας ολόκληρου του παραγόμενου ημερήσιου όγκου υγρών αποβλήτων για το Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας.

### 3.2 Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης

Το συνολικό κόστος κατασκευής της μονάδας πλήρους εφαρμογής προέκυψε από υπολογισμούς της ανάδοξης εταιρίας η οποία έχει μακροχρόνια πείρα στο σχεδιασμό, στην εγκατάσταση και λειτουργία μονάδων (πιλοτικής και πλήρης κλίμακας) επεξεργασίας αποβλήτων. Συγκεκριμένα, πέραν από τον υπολογισμό του κόστους ανά διεργασία υπολογίστηκαν και τα κόστη επιπλέον εξοπλισμού (π.χ. αντλιοστάσια, αυτοματοποιημένα συστήματα) που είναι απαραίτητα για την εύρυθμη λειτουργία μιας μονάδα δυναμικότητας 90 m<sup>3</sup>. Ο εκτιμώμενος προϋπολογισμός για την προμήθεια και εγκατάσταση του ολικού εξοπλισμού ανέρχεται στις 751700 € εξαιρουμένου του φόρου προστιθέμενης αξίας. Αναλυτική περιγραφή του κόστους για τα επιμέρους στάδια της μονάδας επεξεργασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-2.

*Πίνακας 3-2: Κόστη προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού και διεργασιών στη μονάδα με ικανότητα ημερήσιας επεξεργασίας 90 m<sup>3</sup>/ημέρα υγρών νοσοκομειακών αποβλήτων για το Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας*

| A/A | Περιγραφή σταδίου επεξεργασίας  | Κόστος (χωρίς ΦΠΑ) |
|-----|---|--------------------|
| 1   | Κεντρικό αντλιοστάσιο συγκέντρωσης / ανύψωσης   | 7950 €             |
| 2   | Σύστημα προεπεξεργασίας (screen & grit removal)   | 16000 €            |
| 3   | Δεξαμενή εξισορρόπησης που περιλαμβάνει αντλητικό σύστημα, σύστημα ανάδευσης, ροομετρητή και άλλο βοηθητικό εξοπλισμό | 23750 €            |

|  |   |                 |
|--|---|-----------------|
| 4  | Μονάδας αναερόβιου αντιδραστήρα τύπου AnMBR (περιλαμβάνει αντιδραστήρες, σύστημα ανακυκλοφορίας, σύστημα μέτρησης και ελέγχου pH, σύστημα θερμικής αντίστασης, μετρητή βιοαερίου, παγίδα σταγονιδίων, μεμβράνη υπερδιήθησης | 247500 €        |
| 5  | Προκατασκευασμένη μονάδα αερόβιας μονάδας τύπου MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor). Στην αξία περιλαμβάνεται ο αντιδραστήρας, φυσητήρες αέρος, σύστημα αερισμού, biomedια κλπ  | 47500 €         |
| 7  | Δεξαμενή φυτοεξυγίανσης μέσω των φυτών <i>Lemna minor</i> με προστατευτικό σκέπαστρο  | 100000€         |
| 8  | Μονάδας απολύμανσης με τεχνολογία προηγμένης οξειδωσης  | 15000 €         |
| 9  | Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας αυτοματισμού και ελέγχου λειτουργίας   | 24000 €         |
| 10   | Εργασίες Υδραυλικών Εγκαταστάσεων   | 55000 €         |
| 11   | Εργασίες Ηλεκτρολογικών Εγκαταστάσεων   | 45000 €         |
| 12   | Εργασίες Πολιτικού Μηχανικού (Εργασίες και υπολογισμοί υποδομών )   | 120000 €        |
| 13   | Τροποποιητικά μελέτες/σχέδια  | 50000 €         |
| <b>Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b> |   | <b>751700 €</b> |

### 3.3 Λειτουργικά Έξοδα

Τα λειτουργικά κόστη της μονάδας πλήρους εφαρμογής πιλοτικής εκτιμήθηκαν με βάση αναφορές και εκτιμήσεις από την ανάδοχο εταιρία που έχει εκτεταμένη πείρα σε λειτουργία μονάδων πλήρους εφαρμογής ανάλογης δυναμικότητας. Επιπρόσθετα στους υπολογισμούς λήφθηκαν υπόψιν και οι πληροφορίες που παρατίθενται στην Ενότητα 2.5 της παρούσας έκθεσης. Τα λειτουργικά κόστη χωρίζονται στις εξής κατηγορίες και αφορούν την λειτουργία της μονάδας πλήρους εφαρμογής για την διάρκεια ενός έτους.

#### **Κατανάλωση ενέργειας:**

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας της μονάδας πλήρους εφαρμογής έγινε με βάση υπολογισμούς που έγιναν από την ανάδοχο εταιρία που είχε την ευθύνη για την κατασκευή και επίβλεψη του πιλοτικού συστήματος. Συγκεκριμένα, η μονάδα πλήρους εφαρμογής που θα έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας 90 m<sup>3</sup> εκτιμάται ότι θα έχει ημερήσια κατανάλωση ενέργειας στις 260 kWh (Ed). Έχοντας υπόψιν αυτό η εκτίμηση για την ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στις 94900 kWh (Ey) όπως φαίνεται στην Εξίσωση 3-2.

$$E_y = 260 \text{ kWh} * 365 \text{ μέρες} = 94900 \text{ kWh}$$

*Εξίσωση 3-2: Υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας ( $E_y$ ) της μονάδας πλήρους ανάπτυξης*

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στην Κύπρο για επιχειρήσεις ανέρχεται στα 0,324 € το συνολικό κόστος για την κατανάλωση ενέργειας για ένα έτος ανέρχεται στις 30748 € (Cy) (Εξίσωση 3-3).

$$C_y = 365 * 260 * 0,324 = 30748 \text{ €}$$

*Εξίσωση 3-3: Υπολογισμός συνολικού κόστους κατανάλωσης ενέργειας για ένα έτος (Cy) λειτουργίας της μονάδας πλήρους ανάπτυξης.*

### **Κόστος χημικών:**

Τα χημικά που χρειάστηκαν κατά τη διάρκεια λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας προέκυψαν από τις τριμηνιαίες αναφορές τις ανάδοχης εταιρείας που δόθηκαν στο ΣΑΛ και είναι τα εξής:

5. Hydrogen peroxide standard grade interox st-35
6. Citric acid anhydrous
7. Liquid caustic soda
8. Sodium hypochlorite 12%

Οι υπολογισμοί για το κόστος χημικών της μονάδας πλήρους εφαρμογής έγιναν αναλογικά με βάση τα κόστη που προέκυψαν για την πιλοτική μονάδα όπως αυτά υπολογίστηκαν στην Ενότητα 2.5. Συγκεκριμένα, το κόστος χημικών για την 9-μηνη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας ήταν 468,1 € με το ημερήσιο κόστος χημικών να ανέρχεται στα 1,8 €. Το αντίστοιχο ημερήσιο κόστος για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής εκτιμάται ότι θα ανέρχεται στα 159,0 € αλλά η τελική τιμή, μετά από μια έκπτωση της τάξεως του 40% λόγω των αλλαγών των οικονομικών κλίμακων, μειώνεται στα 95,4 €. Οπότε, το συνολικό ετήσιο κόστος των χημικών για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής ανέρχεται στα 34819,0 €.

### **Κόστος συντήρησης και αναλωσίμων:**

Τα έξοδα συντήρησης που προκύπτουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας μιας μονάδας πλήρους ανάπτυξης υπολογίζονται ως το ποσοστό στο αρχικό κόστος εγκατάστασης του πάγιου εξοπλισμού της μονάδας. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται ώστε να εκτιμηθούν τα πιθανά κόστη για βλάβες και επιδιορθώσεις του εξοπλισμού. Στον Πίνακα 3-5 παρουσιάζεται το κόστος εξοπλισμού που συμπεριλαμβάνεται στη συντήρηση.

Πίνακας 3-3: Κόστος εξοπλισμού που συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του κόστους συντήρησης για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής

| A/A   | Περιγραφή σταδίου επεξεργασίας   | Κόστος (χωρίς ΦΠΑ) |
|---|--|--------------------|
| 1   | Κεντρικό αντλιοστάσιο συγκέντρωσης / ανύψωσης  | 7950 €             |
| 2   | Σύστημα προεπεξεργασίας (screen & grit removal)  | 16000 €            |
| 3   | Δεξαμενή εξισορρόπησης που περιλαμβάνει αντλητικό σύστημα, σύστημα ανάδευσης, ροομετρητή και άλλο βοηθητικό εξοπλισμό  | 23750 €            |
| 4   | Μονάδας αναερόβιου αντιδραστήρα τύπου AnMBR (περιλαμβάνει αντιδραστήρες, σύστημα ανακυκλοφορίας, σύστημα μέτρησης κα ελέγχου pH, σύστημα θερμικής αντίστασης, μετρητή βιοαερίου, παγίδα σταγονιδίων, μεμβράνη υπερδιήθησης | 247500 €           |
| 5   | Προκατασκευασμένη μονάδα αερόβιας μονάδας τύπου MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor). Στην αξία περιλαμβάνεται ο αντιδραστήρας, φυσητήρες αέρος, σύστημα αερισμού, biomedια κλπ   | 47500 €            |
| 7   | Δεξαμενή φυτοεξυγίανσης μέσω των φυτών <i>Lemna minor</i> με προστατευτικό σκέπαστρο   | 100000€            |
| 8   | Μονάδας απολύμανσης με τεχνολογία προηγμένης οξειδωσης   | 15000 €            |
| 9   | Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας αυτοματισμού και ελέγχου λειτουργίας  | 24000 €            |
| 10  | Γενικός εξοπλισμός   | 10000 €            |
| <b>Συνολικό κόστος εξοπλισμού που υπόκειται συντήρηση</b> |  | <b>661700 €</b>    |

Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ποσοστό που αναλογεί στα έξοδα συντήρησης ( $C_m$ ) ορίστηκε στο 1% ως μέσο όρο, δίνοντας έτσι ένα κόστος συντήρησης της τάξεως των 6617 € το χρόνο (Εξίσωση 3-4).

$$C_m = 661700 * 0,01 = 6617 \text{ €}$$

Εξίσωση 3-4: Υπολογισμός ετήσιου κόστους συντήρησης με βάση το ποσοστό στο συνολικό κόστος εγκατάστασης μιας μονάδας πλήρους εφαρμογής

Στα πρώτα 5 έτη λειτουργίας της μονάδας λαμβάνεται υπόψη ένα χαμηλότερο ποσοστό κόστους συντήρησης της τάξεως του 0,5% (Κόστος συντήρησης: 3309 €). Ακολουθώντας για τα επόμενα 5 έτη λειτουργίας και μέχρι το 10<sup>ο</sup> έτος λειτουργίας της μονάδας πλήρους ανάπτυξης το ποσοστό αυτό ανέρχεται στο 1% (Κόστος συντήρησης: 6617 €). Για τα υπόλοιπα 20 έτη λειτουργίας του έργου το ποσοστό του κόστους συντήρησης αναμένεται να ανέλθει στο 1,5%, με το ετήσιο κόστος συντήρησης να φτάνει στις 9926 €.

### **Εκτίμηση παραγωγής βιοαερίου:**

Η παραγωγή βιοαερίου στην πιλοτική μονάδα επεξεργασίας νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας ήταν μικρή και ασταθής και για αυτό το λόγο δεν λαμβάνεται υπόψιν. Με βάση όμως τη βιβλιογραφία η πιλοτική μονάδα δυναμικότητας 90 m<sup>3</sup> και με μέση συγκέντρωση χημικά απαιτούμενου οξυγόνου στην ροή των εισερχόμενων λυμάτων ίση με 1684 mgO<sub>2</sub>/L και με δυναμικότητα απομάκρυνσης απομάκρυνση μέχρι και 80% αναμένεται ότι το παραγόμενο βιοαέριο θα ήταν 54,6Nm<sup>3</sup> την ημέρα.

### **Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών:**

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να έχει πολλά οφέλη, τα οποία συνήθως δεν εκτείνονται μόνο σε οικονομικά και μείωση εξόδων αλλά και περιβαλλοντικά και κοινωνικά θέματα. Τα οφέλη μπορεί να περιλαμβάνουν:

- **Μείωση Κόστους Ενέργειας:** Η παραγωγή διαρκούς ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος ενέργειας της μονάδας. Αυτό μπορεί να απελευθερώσει περισσότερους πόρους για ανάπτυξη και βελτιστοποίηση της μονάδας.
- **Περιβαλλοντικά Οφέλη:** Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων συνεισφέρει στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και άλλων ρυπογόνων ουσιών. Αυτή η περιβαλλοντική φιλικότητα συνάδει με τη φιλοσοφία της βιώσιμης ανάπτυξης και ενισχύει την εικόνα της μονάδας.
- **Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση:** Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να χρησιμεύσει ως παράδειγμα για άλλους οργανισμούς, προάγοντας την ευαισθητοποίηση σχετικά με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- **Υποστήριξη Τοπικής Κοινότητας:** Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να έχει θετική επίδραση στην τοπική κοινότητα, παρέχοντας εργασία στη φάση της εγκατάστασης και υποστηρίζοντας τον τοπικό εφοδιασμό ενέργειας.

Συνολικά, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος ενδέχεται να συμβάλει σε διάφορους τομείς, βελτιώνοντας την οικονομική αποδοτικότητα, μειώνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, και προωθώντας την κοινωνική ευθύνη.

### **Κόστος Προσωπικού:**

Σύμφωνα με τη σύμβαση που υπογράφηκε με την ανάδοχο εταιρία, στις αρμοδιότητές της περιλαμβανόταν η παρακολούθηση και συντήρηση όλου του εγκατεστημένου εξοπλισμού για περίοδο εννέα (9) μηνών μετά την έναρξη λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας. Σε αυτό το πλαίσιο η ανάδοχος εταιρία διενεργούσε κατ' ελάχιστον δύο προγραμματισμένες επισκέψεις την εβδομάδα και ανταποκρινόταν και σε περιπτώσεις έκτακτων κλήσεων για αποκατάσταση βλαβών και επιπλοκών ώστε να διασφαλίσει την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Έχοντας υπόψιν τα πιο πάνω

αντίστοιχη τακτική αναμένεται να ακολουθηθεί και στα πλαίσια της μονάδας πλήρους εφαρμογής. Αναμένεται ότι θα πραγματοποιούνται εβδομαδιαία 3 επισκέψεις διάρκειας 4 ωρών, οπότε σε ετήσια βάση οι ώρες επίσκεψης/επιτόπιας παρακολούθησης της μονάδας πλήρους εφαρμογής θα ανέρχονται στις 576 ώρες. Στην Κύπρο η εργατοώρα κοστίζει 35 €. Άρα με βάση τα πιο πάνω το συνολικό ετήσιο κόστος προσωπικού για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής ανέρχεται στα 20160 €.

## 4 Ανάλυση κόστους και οφέλους (Cost-Benefit Analysis)

Όπως σε οποιαδήποτε απόφαση για επένδυση, η επένδυση σε μια μονάδα διαχείρισης νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων, πρέπει να ληφθεί με βάση τη διαδικασία Ανάλυσης Κόστους και Οφέλους (Cost-Benefit Analysis – CBA), η οποία καταδεικνύει κατά πόσο μια επένδυση είναι αποδεκτή ή απορριπτή.

Η ανάλυση CBA είναι ένα σύνολο μεθόδων και διαδικασιών για την αξιολόγηση ενός έργου ή μίας επένδυσης. Περιλαμβάνει την ποσοτικοποίηση του κόστους και την εκτίμηση του κέρδους/οφέλους του έργου/επένδυσης.

Για την ετοιμασία των μελλοντικών προβλέψεων (εσόδων και εξόδων) καθώς και των ταμειακών ροών του έργου πλήρους εφαρμογής για τη μονάδα ικανότητας επεξεργασίας ολόκληρου του όγκου των νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων, επιλέχθηκε η περίοδος των τριάντα (30) ετών, βάσει και των κατευθυντήριων γραμμών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με τη μεθοδολογία για τη διενέργεια παρόμοιου τύπου περιβαλλοντικών έργων.

Στη παρούσα μελέτη αφού λήφθηκαν υπόψη τα έξοδα της μονάδας πλήρους εφαρμογής, καθορίστηκαν τα οφέλη και οι εξοικονομήσεις, δίνοντάς τους τιμή και αξία. Ακολούθως αφού καθορίστηκαν/εκτιμήθηκαν οι ταμειακές ροές του έργου για 30 έτη, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες μέθοδοι:

- i. Καθαρή Παρούσα Αξία - ΚΠΑ (Net Present Value - NPV)
- ii. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR)
- iii. Περίοδος Εξόφλησης (Payback Period – PP)

### Μέθοδος Κόστους-Οφέλους (Cost-Benefit Analysis - CBA)

Η Ανάλυση Κόστους-Οφέλους είναι μια μέθοδος αξιολόγησης έργων ή επενδύσεων, όπου συγκρίνονται τα οφέλη (benefits) με τα κόστη (costs). Στόχος είναι να καθοριστεί εάν τα οφέλη υπερβαίνουν τα κόστη και κατά πόσο. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε δημόσια έργα και πολιτικές, όπου τα οφέλη και τα κόστη μπορεί να είναι πολυδιάστατα και να επηρεάζουν διάφορους τομείς της κοινωνίας (π.χ. η δημόσια υγεία, το περιβάλλον, η ποιότητα νερού, κ.α.).

### Καθαρή Παρούσα Αξία - ΚΠΑ (Net Present Value - NPV)

Η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των ταμειακών εισροών και των ταμειακών εκροών ενός έργου ή επένδυσης. Χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει την αποδοτικότητα μιας επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη την χρονική αξία του χρήματος.

Σύμφωνα με αυτή τη τεχνική θα πρέπει να επιλέγονται επενδυτικά σχέδια ή έργα δημοσίου συμφέροντος τα οποία έχουν Καθαρή Παρούσα Αξία (στο εξής ΚΠΑ ή/και NPV) μεγαλύτερη του μηδενός > 0.

Η ΚΠΑ δίνεται από τη σχέση στην Εξίσωση 4-1.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

*Εξίσωση 4-1: Σχέση υπολογισμού Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ)*

όπου  $NCF_t$  είναι οι μελλοντικές καθαρές ταμειακές ροές της επένδυσης (Net Cash Flows) και  $I_0$  το κόστος της επένδυσης.

### **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR)**

Εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι ένας δείκτης ο οποίος μετρά την απόδοση μιας μακροχρόνιας επένδυσης (στην περίπτωση μας τα 30 έτη), εξισώνοντας την παρούσα αξία των μελλοντικών ταμειακών ροών, με την τρέχουσα αγοραία αξία της επένδυσης. Με απλά λόγια το IRR εκφράζει το πραγματικό επιτόκιο της απόδοσης μιας επένδυσης.

### **Περίοδος Απόσβεσης (Payback Period)**

Η Περίοδος Απόσβεσης αναφέρεται στον χρόνο που απαιτείται για να ανακτηθεί το αρχικό κόστος μιας επένδυσης από τις ταμειακές εισροές που παράγει. Είναι ένας απλός τρόπος για να κατανοηθεί πόσο γρήγορα μια επένδυση μπορεί να αποδώσει τα επενδυμένα κεφάλαια. Με απλά λόγια η μέθοδος της περιόδου επανείσπραξης, ορίζει σε πόσα έτη θα αποπληρωθεί η αρχική επένδυση της μονάδας πλήρους εφαρμογής.

### **Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)**

Η Ανάλυση Ευαισθησίας είναι μια διαδικασία που εξετάζει πώς οι διάφορες αλλαγές στις υποθέσεις (όπως το προεξοφλητικό επιτόκιο) επηρεάζουν το αποτέλεσμα μιας ανάλυσης. Στην εν λόγω περίπτωση για παράδειγμα, αναλύθηκε η ευαισθησία για την ΚΠΑ του έργου χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά σενάρια προεξοφλητικού επιτοκίου: 1%, 3%, και 5%. Αυτό διευκολύνει στην κατανόηση του πόσο ευαίσθητο είναι το έργο σε αλλαγές στο κόστος δανεισμού ή στην αξία του χρήματος με την πάροδο του χρόνου.

## **4.1 Κόστη**

### **Κόστος αρχικής επένδυσης:**

Το μεγαλύτερο κόστος της επένδυσης αποτελεί η κατασκευή, ο εξοπλισμός και η εγκατάσταση της μονάδας η οποία ανέρχεται σε 751700 €. Σημαντικό επίσης αρχικό έξοδο αποτελεί και η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας πλήρους εφαρμογής. Βάσει των υπολογισμών η ανάγκη αφορά σε 60 kWh ΦΠ με το κόστος του να ανέρχεται

σε 70000 €. Κατά τον υπολογισμό της παραγωγής ρεύματος για τις ανάγκες της μονάδας, λήφθηκε υπόψη η σχετική μείωση της παραγωγής των πάνελ με την πάροδο του χρόνου.

### **Λειτουργικά έξοδα:**

Αναφορικά με τα λειτουργικά έξοδα, τα πιο σημαντικά από αυτά αποτελούν:

- I. Κόστος ηλεκτρισμού
- II. Χημικά για επεξεργασία
- III. Έξοδα προσωπικού
- IV. Έξοδα συντήρησης του εξοπλισμού

Υπάρχουν ακόμη τα κόστη εκπαίδευσης για το προσωπικό που θα εκπαιδευτεί για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία της μονάδας, τα οποία περιλαμβάνονται στα έξοδα προσωπικού στον Πίνακα 4-1 που αφορά τις προβλέψεις και τις ταμειακές ροές.

## **4.2 Οφέλη**

Τα οφέλη που θα προκύψουν από την επένδυση είναι μετρήσιμα και για την επίτευξη του στόχου της ποσοτικοποίησης των εσόδων, έγιναν σε διάφορες υποθέσεις. Τα κύρια οφέλη ή/και έσοδα ή/και εξοικονομήσεις αφορούν στα ακόλουθα:

- I. **Καθαρισμός Νερού προς άρδευση** αφαιρώντας τις φαρμακευτικές ουσίες στη πηγή του προβλήματος (προστασία περιβάλλοντος ή/και δημόσιας υγείας). Η μονάδα διαχείρισης περιορίζει τη ρύπανση του περιβάλλοντος από νοσοκομειακά απόβλητα, μειώνοντας τον κίνδυνο επιπτώσεων στα ύδατα, το έδαφος και τον αέρα. Επίσης η επεξεργασία νοσοκομειακών αποβλήτων από τη μονάδα διαχείρισης μειώνει τους κινδύνους στην υγεία των δημοτών από τυχόν μολύνσεις. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε ότι η αξία της διαχείρισης ανά κυβικό ανέρχεται κατά το ελάχιστο στο ίδιο ποσό που χρεώνεται σήμερα το Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας για την υφιστάμενη διαχείριση που είναι 0,50 € ανά κυβικό.
- II. **Εκμετάλλευση Πόρων για παραγωγή ενέργειας.** Τα επεξεργασμένα απόβλητα μπορούν να αξιοποιηθούν από το Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας για την παραγωγή ενέργειας ή/και θερμότητας. Προς το σκοπό αυτό έχει ληφθεί υπόψη η παραγωγή βιοαερίου για την παραγωγή ρεύματος. Πιο κάτω υπάρχει αναλυτικός υπολογισμός του σκεπτικού, με την αξία του ρεύματος να αφορά σε 0,324 € ανά κιλοβατώρα κατανάλωσης, ως έχει η τιμή στην τοπική αγορά της Κύπρου σήμερα. Το παραγόμενο βιοαέριο θα τροφοδοτείται στο Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας προς εκμετάλλευση και κατανάλωση για λειτουργία των κλιβάνων.

Αυτή είναι μια υπόθεση που λήφθηκε υπόψη κατά την κατασκευή του μοντέλου αξιολόγησης της μονάδας.

### **Εκτίμηση παραγωγής βιοαερίου και καθορισμός αξίας:**

Παρά την αστάθεια που παρουσίασε η παραγωγή βιοαερίου στην πιλοτική μονάδα επεξεργασίας νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας, η σχετική βιβλιογραφία για πιλοτική μονάδα δυναμικότητας 90 m<sup>3</sup>, με μέση συγκέντρωση Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου στην ροή των εισερχόμενων λυμάτων ίση με 1684 mgO<sub>2</sub>/L και με δυναμικότητα απομάκρυνσης μέχρι και 80%, αναμένεται να παράγει βιοαέριο ίσο με 54,6 N m<sup>3</sup> την ημέρα. Για μετατροπή της ημερήσιας παραγωγής βιοαερίου από κυβικά μέτρα (Nm<sup>3</sup>) σε ενεργειακή απόδοση σε κιλοβάτ, ώστε να υπολογιστεί η αξία της σε ηλεκτρική ενέργεια στο μοντέλο μελλοντικών προβλέψεων, ακολουθήθηκε η ακόλουθη προσέγγιση και υποθέσεις:

- **Καθορισμός του Περιεχόμενου Μεθανίου του Βιοαερίου:** Το βιοαέριο αποτελείται συνήθως από περίπου 50-75% μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), με το υπόλοιπο να είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και άλλα αέρια. Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου εξαρτάται σημαντικά από το περιεχόμενο μεθανίου. Για αυτόν τον υπολογισμό, υποθέσαμε ένα περιεχόμενο μεθανίου 60%.
- **Υπολογισμός Ενεργειακού Περιεχομένου του Μεθανίου:** Το μεθάνιο έχει ενεργειακό περιεχόμενο περίπου 35,8 MJ/m<sup>3</sup> (megajoules ανά κυβικό μέτρο).
- **Μετατροπή των Κυβικών Μέτρων Βιοαερίου σε Ενεργειακό Περιεχόμενο:**

Υπολογιζόμενη ποσότητα μεθανίου στο βιοαέριο:

$$54,6(Nm^3/ημέρα) * 0,6 = 32,8 (Nm^3/ημέρα) \text{ μεθανίου}$$

Υπολογισμός ενεργειακού περιεχομένου:

$$32,8 (Nm^3/ημέρα) * 35,8 (MJ/Nm^3) = 1172,8 (MJ/ημέρα)$$

- **Μετατροπή Megajoules σε Κιλοβατώρες (kWh):** 1MJ ισοδυναμεί περίπου με 0.27778 kWh.

Υπολογισμός ημερήσιου ενεργειακού περιεχομένου σε kWh:

$$1172,8 (MJ/ημέρα) * 0,278 (kWh/MJ) = 325,6 (kWh/ημέρα)$$

- **Μετατροπή Κιλοβατώραν σε Κιλοβάτ (kW):** Αυτό το βήμα εξαρτάται από τον τρόπο που εκφράζεται η ενέργεια σε kW. Κοιτώντας τον ρυθμό παραγωγής ενέργειας, διαιρούνται οι kWh με τον αριθμό των ωρών σε μία ημέρα: 325,56 kWh/ημέρα / 24 ώρες/ημέρα = 13,56 kW (μέση ισχύς παραγωγής κατά τη διάρκεια της ημέρας). Έτσι, η ημερήσια παραγωγή 54,6 Nm<sup>3</sup>

βιοαερίου της μονάδας, υποθέτοντας περιεχόμενο μεθανίου 60%, ισοδυναμεί με μέση ισχύ παραγωγής περίπου 13,56 kW.

- **Αξία Φυτικής Βιομάζας.** Λαμβάνοντας υπόψη ότι παρά το γεγονός ότι παραγόμενη ποσότητα βιομάζας *Lemna minor* είναι σχετικά μικρή, η εκμετάλλευσή της θα μειώσει κατά 5% τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας.
- **Αξία στη βάση της Αρχής «Ο ρυπαίνων πληρώνει».** Η ρύπανση συνεπάγεται σημαντικό κόστος για την κοινωνία και αποτελεί σημαντική πηγή ανησυχίας για τους πολίτες της ΕΕ. Η εφαρμογή της αρχής «Ο ρυπαίνων πληρώνει» σημαίνει ότι οι ρυπαίνοντες έχουν κίνητρο να αποφεύγουν την πρόκληση περιβαλλοντικών ζημιών και είναι υπόλογοι για τη ρύπανση που προκαλούν. Με βάση αυτό, αναμένεται ότι οι φαρμακευτικές εταιρείες στο προσεχές μέλλον θα πληρώνουν σημαντικά ποσά. Για το λόγο αυτό έχει ληφθεί υπόψη ότι ένα επιπρόσθετο όφελος αξίας 1,5 € ανά κυβικό.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πιο πάνω στο Πίνακα 4-1 παρουσιάζονται οι προβλέψεις, οι υπολογισμοί και οι μέθοδοι ανάλυσης της επένδυσης για περίοδο 30 χρόνων. Το γενικό συμπέρασμα το οποίο προκύπτει είναι ότι το έργο είναι βιώσιμο και η υλοποίηση του κρίνεται ως θετική με προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξεως του 1% έως και 3%.

### 4.3 Προβλέψεις Αποτελεσμάτων

Πίνακας 4-1: Πίνακας με τα κόστη και οφέλη για πλάνο 30 Ετών

| Περιγραφή   | Υ1             | Υ2             | Υ3             | Υ4             | Υ5             | Υ6             | Υ7             | Υ8             | Υ9             | Υ10            | Υ11            | Υ12            | Υ13            | Υ14            | Υ15            |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Κόστη</b>  |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Χημικά για Επεξεργασία  | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         |
| Συντήρηση Εξοπλισμού / Μονάδας                                      | 3,309          | 3,309          | 3,309          | 3,309          | 3,309          | 6,617          | 6,617          | 6,617          | 6,617          | 6,617          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          |
| Ηλεκτρική Ενέργεια  | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         |
| Έξοδα Προσωπικού  | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         |
| <b>Σύνολο Λειτουργικών Εξόδων:</b>                                  | <b>89,035</b>  | <b>89,035</b>  | <b>89,035</b>  | <b>89,035</b>  | <b>89,035</b>  | <b>92,344</b>  | <b>92,344</b>  | <b>92,344</b>  | <b>92,344</b>  | <b>92,344</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  |
| Αποσβέσεις  | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         |
| <b>Οφέλη</b>  |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| <b>Εξοικονόμηση πόρων</b>   |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Νερό Άρδευσης (Αξία Επεξεργασμένου Νερού)                           | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         |
| Φωτοβολταϊκά - Παραγωγή Ενέργειας                                   | 34,992         | 34,992         | 34,992         | 34,992         | 34,817         | 34,643         | 34,470         | 34,297         | 34,126         | 33,955         | 33,785         | 33,617         | 33,448         | 33,281         | 33,115         |
| Βιοαέριο (Αξία Βιοαερίου ως ηλεκτρική ενέργεια)                     | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         |
| Βιομάζα (Αξία Φυτικής Βιομάζας)                                     | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          |
| Φαρμακευτικά Προϊόντα (Αξία στη βάση της αρχής ο ρυπαίνων πληρώνει) | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         |
| <b>Σύνολο:</b>  | <b>140,730</b> | <b>140,730</b> | <b>140,730</b> | <b>140,730</b> | <b>140,555</b> | <b>140,381</b> | <b>140,208</b> | <b>140,035</b> | <b>139,864</b> | <b>139,693</b> | <b>139,524</b> | <b>139,355</b> | <b>139,187</b> | <b>139,019</b> | <b>138,853</b> |
| <b>Ισοζύγιο (Οφέλη - Κόστη - Αποσβέσεις)</b>                        | <b>24,305</b>  | <b>24,305</b>  | <b>24,305</b>  | <b>24,305</b>  | <b>24,130</b>  | <b>20,647</b>  | <b>20,474</b>  | <b>20,302</b>  | <b>20,130</b>  | <b>19,960</b>  | <b>16,481</b>  | <b>16,312</b>  | <b>16,144</b>  | <b>15,977</b>  | <b>15,811</b>  |
| <b>Ετήσιες Ταμειακές Ροές:</b>                                      | <b>51,695</b>  | <b>51,695</b>  | <b>51,695</b>  | <b>51,695</b>  | <b>51,520</b>  | <b>48,037</b>  | <b>47,864</b>  | <b>47,692</b>  | <b>47,520</b>  | <b>47,350</b>  | <b>43,871</b>  | <b>43,702</b>  | <b>43,534</b>  | <b>43,367</b>  | <b>43,201</b>  |

Πίνακας 4-1: Πίνακας με τα κόστη και οφέλη για πλάνο 30 Ετών (Συνέχεια)

| Περιγραφή  | Υ16            | Υ17            | Υ18            | Υ19            | Υ20            | Υ21            | Υ22            | Υ23            | Υ24            | Υ25            | Υ26            | Υ27            | Υ28            | Υ29            | Υ30            |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Κόστη</b>   |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Χημικά για Επεξεργασία   | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         | 34,819         |
| Συντήρηση Εξοπλισμού / Μονάδας                                     | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          | 9,926          |
| Ηλεκτρική Ενέργεια   | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         | 30,748         |
| Έξοδα Προσωπικού   | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         | 20,160         |
| <b>Σύνολο Λειτουργικών Εξόδων:</b>                                 | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  | <b>95,652</b>  |
| Αποσβέσεις   | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         | 27,390         |
| <b>Οφέλη</b>   |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| <b>Εξοικονόμηση πόρων</b>  |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Νερό Άρδευσης (Αξία Επεξεργασμένου Νερού)                          | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         | 16,425         |
| Φωτοβολταϊκά - Παραγωγή Ενέργειας                                  | 32,949         | 32,785         | 32,621         | 32,457         | 32,295         | 32,134         | 31,973         | 31,813         | 31,654         | 31,496         | 31,338         | 31,182         | 31,026         | 30,871         | 30,716         |
| Βιοαέριο (Αξία Βιοαερίου ως ηλεκτρική ενέργεια)                    | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         | 38,501         |
| Βιομάζα (Αξία Φυτικής Βιομάζας)                                    | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          | 1,537          |
| Φαρμακευτικά Προϊόντα (Αξία στη βάση της αρχής ορυπαίνων πληρώνει) | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         | 49,275         |
| <b>Σύνολο:</b>   | <b>138,687</b> | <b>138,523</b> | <b>138,359</b> | <b>138,196</b> | <b>138,033</b> | <b>137,872</b> | <b>137,711</b> | <b>137,551</b> | <b>137,392</b> | <b>137,234</b> | <b>137,076</b> | <b>136,920</b> | <b>136,764</b> | <b>136,609</b> | <b>136,454</b> |
| <b>Ισοζύγιο (Οφέλη - Κόστη - Αποσβέσεις)</b>                       | <b>15,645</b>  | <b>15,480</b>  | <b>15,316</b>  | <b>15,153</b>  | <b>14,991</b>  | <b>14,830</b>  | <b>14,669</b>  | <b>14,509</b>  | <b>14,350</b>  | <b>14,192</b>  | <b>14,034</b>  | <b>13,877</b>  | <b>13,722</b>  | <b>13,566</b>  | <b>13,412</b>  |
| <b>Ετήσιες Ταμειακές Ροές:</b>                                     | <b>43,035</b>  | <b>42,870</b>  | <b>42,706</b>  | <b>42,543</b>  | <b>42,381</b>  | <b>42,220</b>  | <b>42,059</b>  | <b>41,899</b>  | <b>41,740</b>  | <b>41,582</b>  | <b>41,424</b>  | <b>41,267</b>  | <b>41,112</b>  | <b>40,956</b>  | <b>40,802</b>  |

## 5 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

### 5.1 Σενάριο Α

Σε αυτή τη περίπτωση λαμβάνεται υπόψη ένα κόστος κεφαλαίου (ή προεξοφλητικό επιτόκιο) της τάξεως του 1%. Θεωρήθηκε ότι για ένα τέτοιο έργο κοινής ωφελείας με θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και με πιθανή μείωση επιπτώσεων στο ίδιο το περιβάλλον αλλά και σε θέματα υγείας των πολιτών, ένα χαμηλό κόστος κεφαλαίου της τάξεως του 1% δύναται να επιτευχθεί μέσω κρατικής χρηματοδότησης.

Όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 3, η πρόληψη μέσω της διαχείρισης του προβλήματος στην πηγή με απώτερο σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας, αποτελούν σημαντικά στοιχεία που θα πρέπει να συνάδουν με τη στρατηγική της Κυπριακή Δημοκρατία αλλά της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

#### **Σημειώσεις / Συμπεράσματα:**

Με βάση τα αποτελέσματα και τους υπολογισμούς που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-1 προκύπτουν οι πιο κάτω παρατηρήσεις:

1. Η τιμή της ΚΠΑ (NPV) είναι θετική (=341410 €) γεγονός που υποδεικνύει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα.
2. Το IRR είναι μεγαλύτερο > του κόστους κεφαλαίου, και αυτό είναι ακόμα μια ένδειξη ότι η κατασκευή της μονάδας πλήρους εφαρμογής είναι βιώσιμη ( $IRR > r$ )  $\rightarrow 2,7\% > 1\%$ .
3. Η περίοδος αποπληρωμής της αρχικής επένδυσης ανέρχεται στα 20 έτη από την ημέρα κατασκευής, κάτι που αξιολογείται ως θετικό για ένα έργο δημοσίου συμφέροντος που εμπεριέχει πρόσθετες οικονομικές και περιβαλλοντικές θετικές εξωτερικότητες.

*Πίνακας 5-1: Καθαρή Παρούσα Αξία με προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξεως του 1% για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής*

| <b>Καθαρή Παρούσα Αξία - (Σενάριο Α)</b> |           |
|--|-----------|
| Αρχική Επένδυση = 751700 € + 70000 €     | 821700 €  |
| $r = 1\%$ (Συντελεστής Έκπτωσης)         | 1%        |
| $t = 30$ Έτη                             | 30        |
| NPV (Καθαρή Παρούσα Αξία)                | 341410 €  |
| IRR - (Εσωτερικός βαθμός απόδοσης)       | 2,7%      |
| PP – (Περίοδος αποπληρωμής)              | 20 χρόνια |

## 5.2 Σενάριο Β

Στο Σενάριο Β, για σκοπούς Ανάλυσης Ευαισθησίας (sensitivity analysis), λήφθηκε υπόψη ένα υψηλότερο κόστος κεφαλαίου (ή προεξοφλητικό επιτόκιο) της τάξεως του 3%. Παρά το γεγονός αυτό, η ΚΠΑ είναι θετική, οπότε και σε αυτή την περίπτωση το έργο κρίνεται ως υλοποιήσιμο.

### Σημειώσεις / Συμπεράσματα:

Με βάση τα αποτελέσματα και τους υπολογισμούς που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-2 προκύπτουν οι πιο κάτω παρατηρήσεις:

1. Η τιμή της ΚΠΑ (NPV) είναι θετική (=73,516) η επένδυση/υλοποίηση του έργου κρίνεται ως υλοποιήσιμο.
2. Το IRR είναι και πάλι θετικό, 0,7%, άλλα μικρότερο < του κόστους κεφαλαίου που ανέρχεται στο 3% (IRR < r).
3. Η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης ανέρχεται στα 26 έτη, κάτι που και πάλι θεωρείται αποδεκτό για ένα τέτοιο έργο που προσθέτει αξία στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία.

Πίνακας 5-2: Καθαρή Παρούσα Αξία με προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξεως του 3% για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής

| <b>Καθαρή Παρούσα Αξία - (Σενάριο Β)</b> |                  |
|--|------------------|
| Αρχική Επένδυση = 751700 € + 70000 €     | 821700 €         |
| r = 3%                                   | <b>3%</b>        |
| t = 30 Έτη                               | 30               |
| NPV (Καθαρή Παρούσα Αξία)                | <b>73516 €</b>   |
| IRR - (Εσωτερικός βαθμός απόδοσης)       | <b>0,7%</b>      |
| PP – (Περίοδος αποπληρωμής)              | <b>26 χρόνια</b> |

## 5.3 Σενάριο Γ

Στο Σενάριο Γ, και πάλι με στόχο την Ανάλυση Ευαισθησίας (sensitivity analysis), λήφθηκε υπόψη ένα ακόμα υψηλότερο κόστος κεφαλαίου (ή προεξοφλητικό επιτόκιο) της τάξεως του 5%. Σε αυτή την περίπτωση, η τιμή της ΚΠΑ παρουσιάζεται ως αρνητική, οπότε το έργο είναι μη υλοποιήσιμο με καθαρά οικονομικούς όρους.

### Σημειώσεις / Συμπεράσματα:

Με βάση τα αποτελέσματα και τους υπολογισμούς που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-3 προκύπτουν οι πιο κάτω παρατηρήσεις:

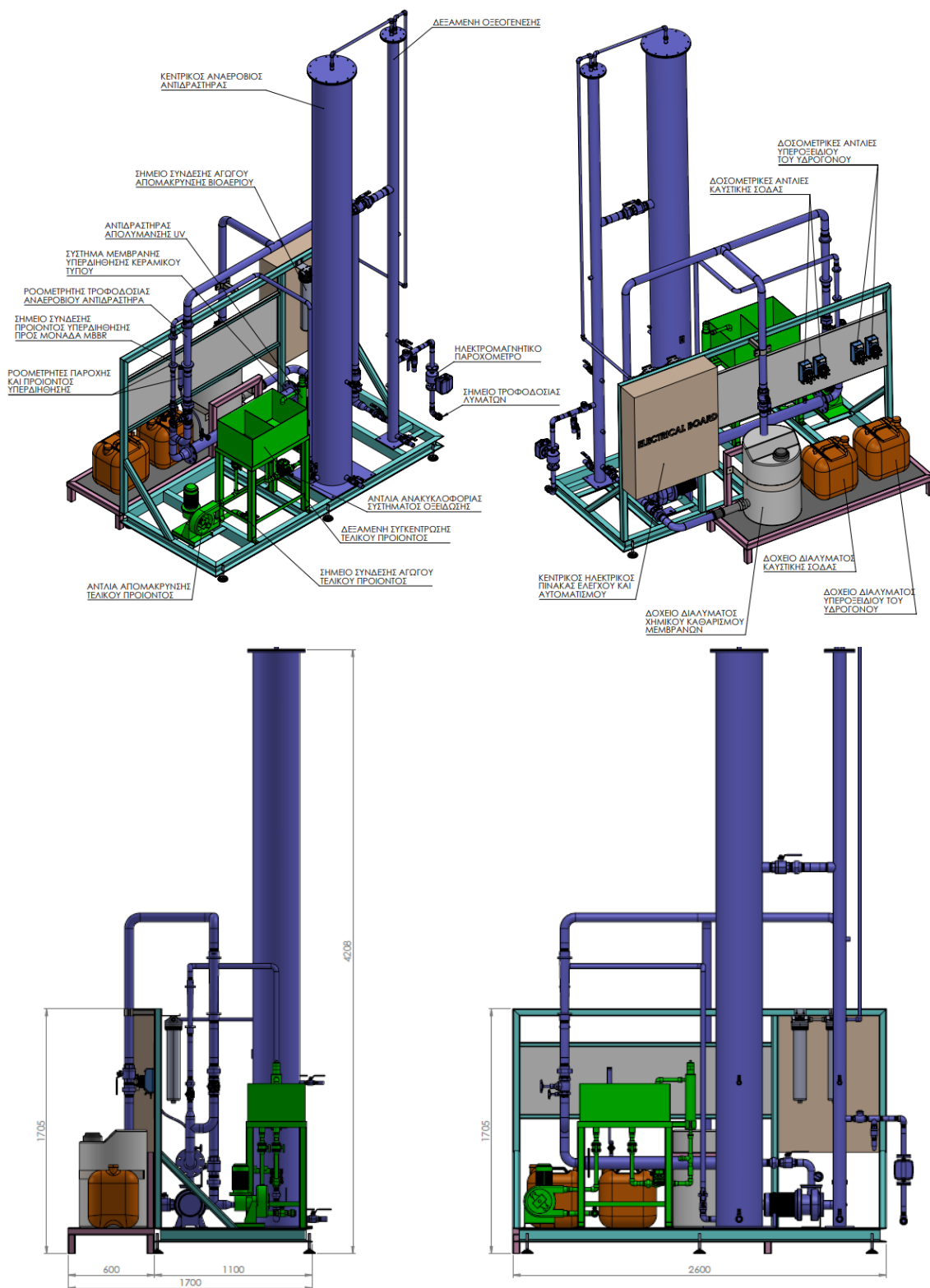
1. Η τιμή της ΚΠΑ (NPV) είναι αρνητική (= -110477 €) και για αυτό το λόγο η ανάπτυξη της μονάδας πλήρους εφαρμογής δεν συνιστάται.
2. Το IRR είναι αρνητικό στο -1,2% και αυτό είναι ακόμα ένας αρνητικό δείκτης που οδηγεί στη μη πραγματοποίηση του έργου.
3. Η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης ξεπερνά κατά πολύ τα 30 έτη, το οποίο καταστεί την επένδυση μη συμφέρουσα και η περίοδος αυτή είναι ακόμα ένας αποτρεπτικός παράγοντας για την υλοποίηση της.

Πίνακας 5-3: Καθαρή Παρούσα Αξία με προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξεως του 5% για τη μονάδα πλήρους εφαρμογής

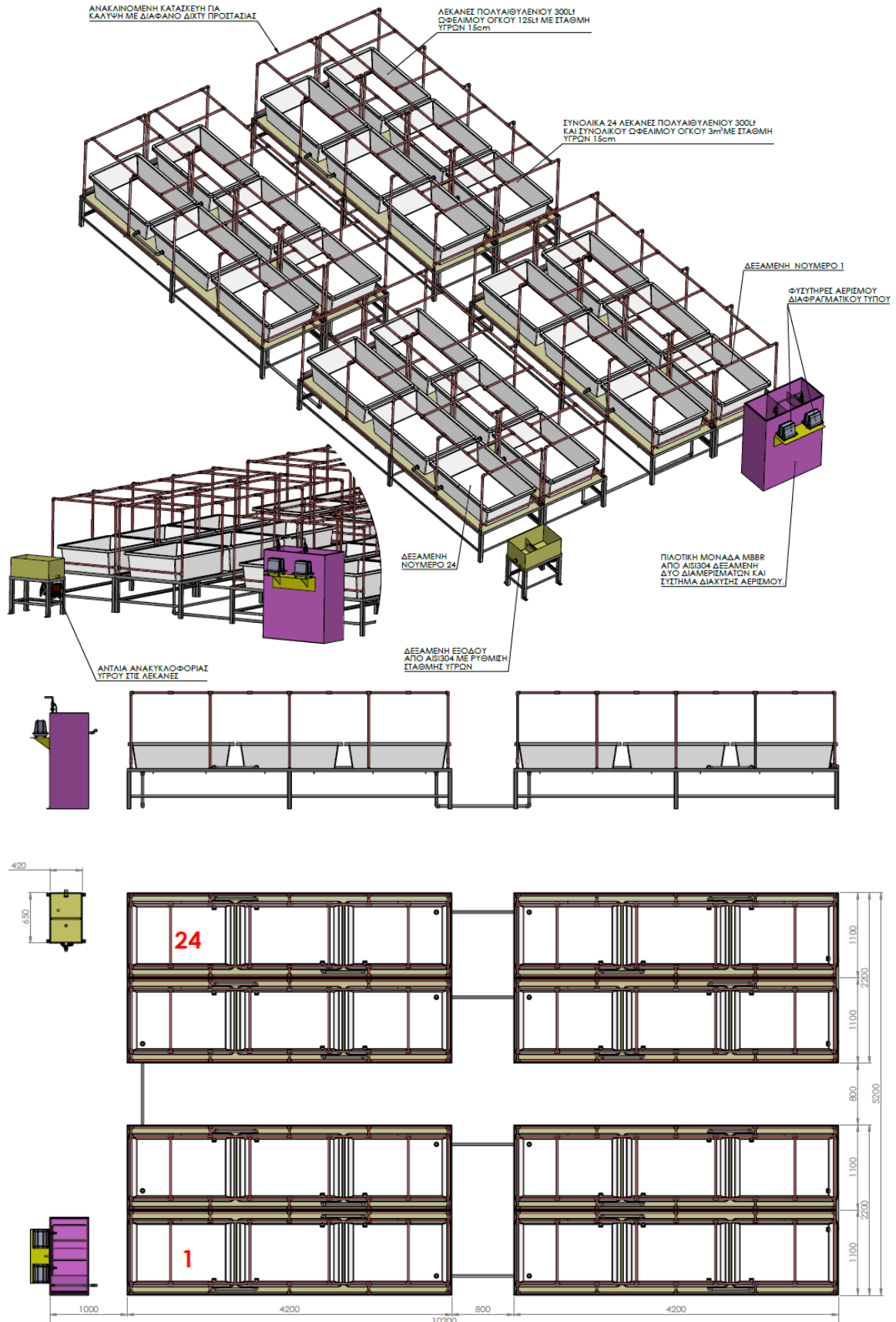
| <b>Καθαρή Παρούσα Αξία - (Σενάριο Γ)</b> |                  |
|--|------------------|
| Αρχική Επένδυση = 751700 € + 70000 €     | 821700 €         |
| r = 5%                                   | <b>5%</b>        |
| t = 30 Έτη                               | 30               |
| NPV (Καθαρή Παρούσα Αξία)                | <b>-110477 €</b> |
| IRR - (Εσωτερικός βαθμός απόδοσης)       | <b>-1,2%</b>     |
| PP – (Περίοδος αποπληρωμής)              | <b>Δ/Ε</b>       |

## 6 Παραρτήματα

### 6.1 Παράρτημα Α



Εικόνα 6-1: Σχέδια τμήματος της πιλοτικής μονάδας που εγκαταστάθηκε στο έδαφος που περιλαμβάνει τον αναερόβιο αντιδραστήρα MBR και το στάδιο απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία σε συνδυασμό με υπεροξειδίο υδρογόνου



Εικόνα 6-2: Σχέδια τμήματος της πιλοτικής μονάδας που εγκαταστάθηκε στην οροφή που περιλαμβάνει την αερόβια μονάδα ρευστοποιημένης κλίνης και το στάδιο φυτοεξυγίανσης με φυτά *Lemna minor*



## 6.2 Παράρτημα Β

### Όγκος παραγόμενου αποβλήτου – Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Με βάση τους υδρομετρητές του Γενικού Νοσοκομείου Λάρνακας η μηνιαία παραγωγή αποβλήτων ανέρχεται στα 2500 m<sup>3</sup>. Η πιλοτική μονάδα είναι σχεδιασμένη να επεξεργάζεται 1 m<sup>3</sup> ημερησίως, το οποίο αντιστοιχεί στο 1.2% των συνολικών αποβλήτων του νοσοκομείου. Επομένως, η αξιολόγηση είναι δειγματική και περιλαμβάνει περιορισμούς.

Η μελέτη επικεντρώθηκε στα πιο κάτω φυσικοχημικά χαρακτηριστικά εξετάζοντας δείγματα λυμάτων κατά την εισδοχή τους στην πιλοτική μονάδα αλλά και την εκροή τους προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του Συμβουλίου Αποχετεύσεως Λάρνακας.

### Αγωγιμότητα (Conductivity – Cond.)

Οι συνήθεις τιμές αγωγιμότητας στα αστικά λύματα/απόβλητα κυμαίνονται μεταξύ 1600-1800 μS/cm. Η μέτρηση της αγωγιμότητας δίνει μια ένδειξη του είδους του διαλύματος/αποβλήτου.

### Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand – COD)

Το COD αντιπροσωπεύει την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση (αποικοδόμηση) όλων των οργανικών ενώσεων (βιοαποικοδομήσιμων και μη) που υπάρχουν σε ένα διάλυμα και εκφράζεται σε mg οξυγόνου ανά λίτρο διαλύματος.

Το COD είναι μια ένδειξη του συνολικού οργανικού φορτίου που υπάρχει στο απόβλητο. Η παράμετρος αυτή αναμένεται να μειώνεται καθώς το απόβλητο υφίσταται επεξεργασία δείχνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας. Οι υψηλές συγκεντρώσεις COD στο απόβλητο και άρα υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου παραπέμπουν στην ύπαρξη οργανικών ρύπων (ανάμεσα σε αυτούς και φαρμακευτικές ουσίες) οι οποίοι αν δεν απομακρυνθούν μεταφέρονται στο περιβάλλον με αρνητικές επιπτώσεις στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, σε ζώα και ανθρώπους (π.χ. προκαλούν ανθεκτικότητα στους παθογόνους μικροοργανισμούς στις αντιβιοτικές ενώσεις).

### Ολικός Φώσφορος (Total Phosphorus – TP)

Είναι το άθροισμα όλων των μορφών φωσφόρου που υπάρχουν σε ένα διάλυμα (απόβλητο) δηλαδή του φωσφόρου που βρίσκεται στις οργανικές ενώσεις, των πολυφωσφορικών και των φωσφορικών ιόντων. Εκφράζεται σε mg φωσφόρου ανά λίτρο διαλύματος.

### Ολικό Άζωτο (Total Nitrogen – TN)

Ο φώσφορος και το άζωτο είναι αναγκαία θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη οργανισμών. Η μη επαρκής απομάκρυνσή τους από τα απόβλητα σε συνδυασμό με την επαναχρησιμοποίηση ή την απόρριψη των επεξεργασμένων αποβλήτων σε επιφανειακά ύδατα συμβάλουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κυρίως σε λίμνες ή κλειστούς κόλπους όπου οι μεγάλες συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων (φώσφορος και άζωτο) προκαλούν την

υπερπαραγωγή φυτοπλακτόν/άλγης και προσδίδουν στα νερά πράσινο χρώμα. Ο συνεχής πολλαπλασιασμός των εν λόγω μικροοργανισμών δημιουργεί μια στρώση στην επιφάνεια των υδάτων η οποία παρεμποδίζει την είσοδο αέρα και ηλιακού φωτός στο νερό με συνέπεια την έλλειψη οξυγόνου και εν τέλη το θάνατο των ζωντανών οργανισμών (π.χ. ψάρια, φυτά).

#### Αμμώνιο (Ammonium – $[\text{NH}_4]^+$ )

Είναι η πιο κοινή μορφή αζώτου σε οικιστικά απόβλητα. Κατά την αερόβια βιολογική επεξεργασία μετατρέπονται σε νιτρικά. Το αμμώνιο απεκκρίνεται με τα ούρα και έτσι αποτελεί χαρακτηριστική ένδειξη ρύπανσης των υδάτων από αστικά λύματα. Η παρουσία αμμωνίου στο νερό επιφέρει προβλήματα στη χρήση του χλωρίου ως απολυμαντικού μέσου, λόγω παραγωγής παραπροϊόντων που μειώνουν την δράση του.

## 7 Βιβλιογραφία

- Lofrano, G., Faiella, M., Carotenuto, M., Murgolo, S., Mascolo, G., Pucci, L. and Rizzo, L., 2021. Thirty contaminants of emerging concern identified in secondary treated hospital wastewater and their removal by solar Fenton (like) and sulphate radicals-based advanced oxidation processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), p.106614.
- Meza, L.C., Piotrowski, P., Farnan, J., Tasker, T.L., Xiong, B., Weggler, B., Murrell, K., Dorman, F.L., Heuvel, J.P.V. and Burgos, W.D., 2020. Detection and removal of biologically active organic micropollutants from hospital wastewater. *Science of the Total Environment*, 700, p.134469.
- Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M. and Barceló, D., 2010. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. *Journal of hydrology*, 389(3-4), pp.416-428.
- Kümmerer, K., 2001. Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources—a review. *Chemosphere*, 45(6-7), pp.957-969.
- Heberer, T. and Feldmann, D., 2005. Contribution of effluents from hospitals and private households to the total loads of diclofenac and carbamazepine in municipal sewage effluents—modeling versus measurements. *Journal of Hazardous materials*, 122(3), pp.211-218.
- Verlicchi, P., Galletti, A. and Masotti, L., 2010. Management of hospital wastewaters: the case of the effluent of a large hospital situated in a small town. *Water Science and Technology*, 61(10), pp.2507-2519.
- Rizzo, L., Manaia, C., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., Ploy, M.C., Michael, I. and Fatta-Kassinos, D., 2013. Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: a review. *Science of the total environment*, 447, pp.345-360.
- Manaia, C.M., 2023. Framework for establishing regulatory guidelines to control antibiotic resistance in treated effluents. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(6), pp.754-779.
- Krzeminski, P., Tomei, M.C., Karaolia, P., Langenhoff, A., Almeida, C.M.R., Felis, E., Gritten, F., Andersen, H.R., Fernandes, T., Manaia, C.M. and Rizzo, L., 2019. Performance of secondary wastewater treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern implicated in crop uptake and antibiotic resistance spread: A review. *Science of the Total Environment*, 648, pp.1052-1081.
- Michael-Kordatou, I., Karaolia, P. and Fatta-Kassinos, D., 2018. The role of operating parameters and oxidative damage mechanisms of advanced chemical oxidation processes in the combat against

antibiotic-resistant bacteria and resistance genes present in urban wastewater. *Water research*, 129, pp.208-230.

Karkman, A., Do, T.T., Walsh, F. and Virta, M.P., 2018. Antibiotic-resistance genes in waste water. *Trends in microbiology*, 26(3), pp.220-228.