

# ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ

---

## 6.3.2. Περιβαλλοντική αξιολόγηση

31.10.2023





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**



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ  
ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**Ηράκλειο, 31.10.2023**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2.	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	5
2.1	Στόχοι.....	8
2.2	Τομείς.....	8
2.3	Κριτήρια.....	9
2.4	Κριτήρια αξιολόγησης.....	9
2.4.1	Χωροταξικά κριτήρια.....	10
2.4.2	Τεχνολογικά κριτήρια.....	10
2.4.3	Περιβαλλοντικά κριτήρια.....	10
2.4.4	Κοινωνικά κριτήρια.....	11
2.4.5	Κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης.....	11
2.5	Δείκτες: Υγεία, περιβάλλον, Τεχνολογία, Οικονομία, Κοινωνία, Πολιτισμός.....	11
3.	LCA (Life Cycle Assessment).....	17
3.1	Μεθοδολογία.....	19
3.1.1	Λειτουργική μονάδα.....	19
3.1.2	Απογραφή δεδομένων.....	19
3.1.3	Αξιολόγηση επιπτώσεων.....	21
3.1.3.1	Ορισμός κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.....	21
3.1.3.2	Ταξινόμηση.....	24
3.1.3.3	Χαρακτηρισμός.....	25
3.1.3.3	Κανονικοποίηση.....	26
3.2	Αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου.....	27
3.2.1	Σενάριο χρήσης H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> και παραγωγής βιοαερίου και φυτικής βιομάζας.....	27
3.2.2	Αποτελέσματα αξιολόγησης επιπτώσεων.....	28
4.	Ενεργειακό αποτύπωμα.....	29
4.2	Πρότυπος συντελεστής εκπομπών CO <sub>2</sub> .....	29
4.1	Αναερόβιος αντιδραστήρας MBR.....	33
5.	Ισοζύγιο Νερού.....	36
5.1	Παραγόμενα νοσοκομειακά υγρά απόβλητα ΠΑΓΝΗ με στοιχεία κατανάλωσης νερού από ΔΕΥΑΗ.....	36
5.2	Μέτρηση ροής αποβλήτων από επιλεγμένα σημεία στο ΠΑΓΝΗ.....	38

5.2.1	Μεθοδολογία .....	38
5.2.2	Αποτελέσματα μετρήσεων ροής αποβλήτων ΠΑΓΝΗ .....	39
5.2.3	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μετρήσεων ροής αποβλήτων ΠΑΓΝΗ .....	44
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	46
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	48

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν παραδοτέο **6.3.2. Περιβαλλοντική αξιολόγηση** πραγματοποιήθηκε από το Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο (ΕΛΜΕΠΑ) στο πλαίσιο του Πακέτου Εργασίας (ΠΕ) **06: Τεχνική, Περιβαλλοντική και Οικονομική Αξιολόγηση** του έργου με ακρωνύμιο **Treatment for Hospitals «T4H»** και με τίτλο πράξης: **«Επιτόπια Διαχείριση Νοσοκομειακών Υγρών Αποβλήτων με Στόχο τη Βελτίωση της Απόδοσης των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων και της Αξιοποίησης των Εκροών»**, το οποίο συγχρηματοδοτείται από το Πρόγραμμα Συνεργασίας **Interreg V -A «Ελλάδα-Κύπρος 2014-2020»**.

Το συγκεκριμένο παραδοτέο περιλαμβάνει την περιβαλλοντική αξιολόγηση της πιλοτικής μονάδας στο Ηράκλειο. Βασίζεται στα αποτελέσματα: **α)** Ανάλυση Κύκλου Ζωής, **β)** Ενεργειακού Αποτυπώματος, και **γ)** Ισοζυγίου Νερού.

Συγκεκριμένα αναπτύχθηκε το πλαίσιο αξιολόγησης των τεχνολογιών αποκεντρωμένης διαχείρισης, το οποίο περιλαμβάνει, τους στόχους, τους τομείς, τα κριτήρια και τους δείκτες αξιολόγησης. Εξετάστηκαν όλοι οι δείκτες που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία και επιλέχθηκαν οι επικρατέστεροι που χρησιμοποιήθηκαν στην αξιολόγηση και καλύπτουν τους τομείς της Υγείας, του Περιβάλλοντος, της Τεχνολογίας, της Οικονομίας, της Κοινωνίας και του Πολιτισμού. Περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία υπολογισμού των περιβαλλοντικών δεικτών, σύμφωνα με τις μεθόδους εκτίμησης επιπτώσεων LCA (Life Cycle Assessment).

## 2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Η συνηθισμένη πρακτική που εφαρμοζόταν για την διαχείριση των λυμάτων σε αστικές περιοχές ήταν η κατασκευή εκτεταμένων δικτύων αποχέτευσης για τη συλλογή και μεταφορά του συνόλου των αποβλήτων και η επεξεργασία τους σε **κεντρικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων**.

Οι εγκαταστάσεις αυτές σχεδιάζονταν και λειτουργούσαν σχεδόν αποκλειστικά με τη μέθοδο της **ενεργού ιλύος παρατεταμένου αερισμού**. Η ανάγκη για την ανάπτυξη όμως διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης και μιας διαφορετικής πρακτικής στην επεξεργασία των λυμάτων εντοπίστηκε μόλις τις τελευταίες τρεις δεκαετίες (EPA, 1997) όταν αποκαλύφτηκε ότι στην Αμερική περισσότερες από 7000 μικρές κοινότητες βρισκόταν σε τέτοιες περιοχές (απομακρυσμένες, περιοχές με αρνητικές κλίσεις) που δεν μπορούσαν να καλυφτούν από κεντρικά συστήματα επεξεργασίας. Οι περισσότερες από αυτές τις μονάδες είχαν προβλήματα ποιότητας νερών και δημόσιας υγείας.

Επιπλέον, στη διάρκεια της λειτουργίας κεντρικών μονάδων επεξεργασίας, ιδιαίτερα αυτών που εξυπηρετούσαν περιοχές με μικρό, αριθμό κατοίκων (κάτω από 60000), είχε παρατηρηθεί ένας **σημαντικός αριθμός προβλημάτων** όπως:

- Το ετήσιο κόστος και η πολυπλοκότητα των εγκαταστάσεων οδηγούσαν πολλές φορές τους υπεύθυνους τοπικούς φορείς σε αδυναμία συντήρησης και αποδοτικής λειτουργίας των μονάδων. Ως αποτέλεσμα, πολλά έργα δεν λειτουργούσαν καθόλου μετά την πάροδο του χρόνου δοκιμαστικής λειτουργίας από την ανάδοχο κατασκευαστική εταιρεία του έργου.
- Οι αυξημένες απαιτήσεις σε χώρο για την εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας, οδηγούσαν σε δυσκολίες χωροθέτησης, καθυστερήσεις και επιλογή ακατάλληλων γηπέδων (βραχώδη εδάφη, κοίτες ποταμών, κλπ.). Ως αποτέλεσμα πολλές φορές συνέβαινε αύξηση του κόστους κατασκευής σε υπέρογκα ποσά, ενώ σε άλλες περιπτώσεις η ολοκλήρωση του έργου ήταν ανέφικτη.
- Τα εκτεταμένα αποχετευτικά δίκτυα για τη συλλογή και μεταφορά του συνόλου των λυμάτων, είχαν σημαντικό κόστος (τριπλάσιο έως και οκταπλάσιο του κόστους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας), παρουσίαζαν δυσκολία κατασκευής και απαιτούνταν σημαντικός χρόνος για την ολοκλήρωσή τους (Παπαδόπουλος Α.,1998).

Τότε έγινε παραδεκτό ότι τα συμβατικά συστήματα που εφαρμοζόταν για να εξυπηρετήσουν μεγάλες περιοχές δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μικρές κοινότητες με απλή μείωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους.

Η σημαντική πρόοδος που έγινε τα τελευταία χρόνια στον τομέα της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, επέτρεψε την εφαρμογή μιας **αποκεντρωμένης διαχείρισης λυμάτων**.

Σύμφωνα με την πρακτική αυτή, μία ευρύτερη περιοχή οι οποία αποτελούνταν από πολλούς μικρότερους αραιοκατοικημένους οικισμούς, μπορούσε να εξυπηρετηθεί από πολλές μικρού μεγέθους μονάδες επεξεργασίας, οι οποίες θα κατασκευάζονταν και θα εξυπηρετούσαν τοπικά επιμέρους οικισμούς ή ομάδες οικισμών (Λεπτίδου Ν.,1997). Σήμερα, τα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνουν μονάδες οι οποίες είναι δυνατόν να εξυπηρετήσουν απομακρυσμένες και λιγότερο αναπτυγμένες περιοχές και οι οποίες δεν είναι εφικτό να συνδεθούν με ένα κεντρικό σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων με τα εξής **πλεονεκτήματα**:

- ➔ **Προστασία του Περιβάλλοντος και της Δημόσιας Υγείας.** Η επεξεργασία των αποβλήτων σε κατάλληλα σχεδιασμένα μικρά συστήματα επεξεργασίας μπορεί να είναι αρκετά αποδοτική όπως σε ένα μεγάλο σύστημα. Επιπλέον, ενώ στα μεγάλα συστήματα η διάθεση των εκροών γίνεται συνήθως σε μεγάλους αποδέκτες μακριά από το σημείο όπου παράγονται τα απόβλητα, οι εκροές από μικρά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση των υδροφορέων. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει η δυνατότητα για την αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων.

- ➔ **Χαμηλό κόστος επένδυσης και κόστος λειτουργίας.** Τα μικρά συστήματα που εξυπηρετούν αραιοκατοικημένες περιοχές αποτελούν οικονομικές λύσεις σε σχέση με τη σύνδεση αυτών των περιοχών με ένα κεντρικό σύστημα επεξεργασίας (EPA, 1997).
- ➔ **Προσαρμογή σε τοπικές συνθήκες.** Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν εφαρμοστεί μικρά συστήματα προσαρμοσμένα στις ιδιαίτερες ανάγκες μιας περιοχής. Τέτοιες ιδιαίτερες συνθήκες μπορεί να είναι η παρουσία υπόγειου υδροφόρα κοντά στην επιφάνεια, η παρουσία ημιπερατού εδάφους, οι ασβετολιθικοί σχηματισμοί κλπ.
- ➔ **Πρόσθετα πλεονεκτήματα.** Τα μικρά συστήματα μπορούν να πλεονεκτούν σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές έναντι των μεγάλων συστημάτων, αφού η λειτουργία τους προσανατολίζεται για τη διατήρηση των τοπικών περιβαλλοντικών συνθηκών.

Οι **βασικές αρχές** στις οποίες στηρίζεται η λειτουργία αποκεντρωμένων μονάδων για την επεξεργασία των λυμάτων μιας ευρύτερης περιοχής συνοψίζονται ως εξής:

- Οι μονάδες αυτές καλύπτουν μόνο την επεξεργασία των λυμάτων, χωρίς την ταυτόχρονη επεξεργασία λύος. Έτσι στις μονάδες αυτές δεν απασχολείται προσωπικό για την διοίκηση, εργαστηριακό έλεγχο και συντήρηση του εξοπλισμού τους.
- Σε κάθε μονάδα επιτυγχάνεται υψηλή ποιότητα εκροής, κατάλληλη τόσο για διάθεση και στον πιο περιβαλλοντικά ευαίσθητο αποδέκτη, όσο και για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων σε διάφορες χρήσεις.
- Προβλέπεται η δημιουργία ενός κεντρικού φορέα (Δημοτική ή Διαδημοτική επιχείρηση), ο οποίος πρόκειται να έχει την έδρα του σε μία από τις παραπάνω μονάδες. Ο φορέας αυτός θα είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία του συνόλου των μονάδων στηριζόμενος στις παρακάτω αρχές:
  1. Η περίσσια λύος από όλες τις μονάδες θα μεταφέρεται σε κεντρικό σύστημα επεξεργασίας, το οποίο θα βρίσκεται στην έδρα του φορέα. Είναι δυνατόν η μονάδα επεξεργασίας της λύος να συνδυάζεται με μονάδα συν-κομποστοποίησης όπου 'θα συγκεντρώνονται άλλα υλικά προς απόρριψη, όπως π.χ. στερεά απορρίμματα.
  2. Τα δείγματα των υγρών αποβλήτων από την είσοδο και την έξοδο κάθε επιμέρους μονάδας επεξεργασίας θα συλλέγονται με ευθύνη του φορέα και θα αναλύονται στο εργαστήριο-χημείο στην έδρα του φορέα.
  3. Η παρακολούθηση της λειτουργίας θα είναι δυνατόν να γίνει μέσω συστήματος τηλε-ελέγχου από το κέντρο ελέγχου στην έδρα του φορέα.
  4. Η τακτική και έκτακτη συντήρηση του-εξοπλισμού θα υλοποιείται από συνεργείο του οποίου η βάση του και ο εξοπλισμός του θα είναι εγκατεστημένα στην έδρα του φορέα. λειτουργία τους προσανατολίζεται για τη διατήρηση των τοπικών περιβαλλοντικών συνθηκών.

## 2.1 Στόχοι

Απώτερος στόχος της ΕΕ είναι η βιώσιμη ανάπτυξη σε όλους τους τομείς, ο τομέας της προστασίας του περιβάλλοντος τίθεται ως ένας από τους καθοριστικότερους για την επίτευξή της και κατέχει σημαντική θέση στην όλη πολιτική της.

Το περιβάλλον διαθέτει πλέον μια κοινοτική πολιτική η οποία έχει τους εξής στόχους:

- ✓ Τη διατήρηση, προστασία και βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος
- ✓ Την προστασία της υγείας του ανθρώπου
- ✓ Τη συνετή και ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων
- ✓ Την προώθηση, σε διεθνές επίπεδο, μέτρων για την αντιμετώπιση των περιφερειακών ή παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Η διαχείριση αποκεντρωμένων συστημάτων υγρών αποβλήτων σε μεμονωμένες κατοικίες ή μικρές ομάδες αυτών (κάτω των 5.000 ι.κ), μπορεί να ορισθεί ως η συλλογή, επεξεργασία και/ή επαναχρησιμοποίηση των εκροών τοπικά.

Διευκρινίζεται ότι με τον όρο μικρό αποκεντρωμένο σύστημα διαχείρισης υγρών αποβλήτων εννοείται ότι αποτελούν μονάδες που εξυπηρετούν 20- 2.000 κατοίκους και παροχές λυμάτων 10-400 m<sup>3</sup>/d.

Στόχος των αποκεντρωμένων συστημάτων διαχείρισης υγρών αποβλήτων είναι η εκροή από τις μικρές μονάδες να επαναχρησιμοποιείται για άρδευση χώρων πρασίνου ή καλλιεργειών στον πλησιέστερο διαθέσιμο χώρο ή να διατίθενται τοπικά (στο έδαφος ή σε υδάτινο αποδέκτη). Η κατασκευή των μικρών αποκεντρωμένων συστημάτων αποδείχθηκε πιο εφικτή (οικονομικά και τεχνικά), ενώ η λειτουργία και συντήρησή τους αποδείχθηκε οικονομικότερη συγκριτικά με τα αντλιοστάσια και τα μεγάλα αποχετευτικά δίκτυα (Α. Αγγελάκης et all. 1995).

Η φιλοσοφία διαχείρισης και επεξεργασίας λυμάτων πρέπει να κατευθυνθεί με βάση τα υφιστάμενα προβλήματα και ανάγκες αλλά και την εξέλιξη της τεχνολογίας. Επιπλέον, αν αναλογιστούμε τις δυσοίωνες για το μελλοντικό κλίμα και την επάρκεια νερού προβλέψεις, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στο μέλλον δεν θα αποτελούν απλά έργα αντιρρύπανσης, αλλά “μονάδες παραγωγής νερού χρήσης” (Μ. Χατζάκης, 2003).

## 2.2 Τομείς

Οι δείκτες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα και καλύπτουν τους κάτωθι τομείς:

- ➔ Υγεία
- ➔ Περιβάλλον

- ➔ Τεχνολογία
- ➔ Οικονομία
- ➔ Κοινωνία
- ➔ Πολιτισμό.

Αναφορικά με τις τεχνολογίες αποκεντρωμένων συστημάτων διαχείρισης υγρών αποβλήτων, επίσης καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα και περιλαμβάνουν:

- ➔ οικισμούς,
- ➔ ξενοδοχεία,
- ➔ κατασκηνώσεις,
- ➔ συγκροτήματα εξοχικών κατοικιών κ.ά.

## 2.3 Κριτήρια

Για να μπορεί να εφαρμοσθεί ένα σύστημα αποκεντρωμένης επεξεργασίας λυμάτων, είναι απαραίτητη η επιλογή κατάλληλης τεχνολογίας επεξεργασίας η οποία θα πρέπει να πληροί τις εξής **προϋποθέσεις/ κριτήρια** (Κούγκολος Α.,2006):

- ➔ Να είναι απλή στη λειτουργία και να μην απαιτεί συνεχή παρακολούθηση από προσωπικό.
- ➔ Να είναι αποδοτική, ώστε να είναι εύκολη η εύρεση αποδέκτη στην περιοχή εγκατάστασης της μονάδας ή η επαναχρησιμοποίηση για άρδευση των επεξεργασμένων λυμάτων.
- ➔ Να έχει μικρό λειτουργικό κόστος.
- ➔ Να είναι φιλική στο περιβάλλον, ώστε να μειώνονται οι αντιδράσεις των περιοίκων.
- ➔ Να καταλαμβάνει την μικρότερη δυνατή επιφάνεια, ώστε να είναι εύκολη η χωροθέτηση της εγκατάστασης.

Τα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνουν τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας όπως οι τεχνητοί υγρότοποι, τα φίλτρα με πληρωτικά υλικά διακοπτόμενης και ανακυκλοφορούσας ροής και τα έτοιμα προκατασκευασμένα συστήματα επεξεργασίας.

## 2.4 Κριτήρια αξιολόγησης

Η επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης δεν γίνεται βάση κάποιας καθορισμένης μεθοδολογίας, αλλά θα πρέπει να καλύπτουν το μεγαλύτερο φάσμα ικανοποίησης των στόχων που θα τεθούν.

Η επιλογή των κριτηρίων αυτών στηρίχθηκε στην τήρηση **πέντε (5) βασικών αρχών**: της πληρότητας, της λειτουργικότητας, της ανεξαρτησίας, της απουσίας πλεονασμών και του ελαχίστου μεγέθους.

Η κάθε μέθοδος δύναται να αξιολογηθεί σύμφωνα με τη συμπεριφορά της σε δύο (2) μεγάλες ανεξάρτητες κατηγορίες γενικών κριτηρίων (1<sup>ο</sup> επίπεδο κριτηρίων):

- ➔ την **Κατηγορία Α**, η οποία αφορά χωροταξικά, τεχνολογικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια και
- ➔ την **Κατηγορία Β**, η οποία αφορά κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης.(Κούγκολος, 2000).

#### 2.4.1 Χωροταξικά κριτήρια

Με τα κριτήρια αυτά αξιολογείται το σύστημα διάθεσης υγρών αποβλήτων με βάση την παράμετρο του χώρου. Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης του βιολογικού καθαρισμού καθορίζεται από διάφορα κριτήρια όπως:

- ➔ Αισθητικά κριτήρια (χαρακτήρας της περιοχής, π.χ. τουριστική, προστατευόμενη περιοχή, βιοτεχνική και βιομηχανική δραστηριότητα κ.λ.π.)
- ➔ η ύπαρξη φυσικού αποδέκτη,
- ➔ η διαθεσιμότητα κατάλληλου χώρου (οι χρήσεις γης, το ιδιοκτησιακό καθεστώς κ.λ.π.),
- ➔ το τοπογραφικό ανάγλυφο,
- ➔ η προσβασιμότητα της περιοχής,
- ➔ η ελάχιστη απόσταση από τα όρια του εξυπηρετούμενου οικισμού.

#### 2.4.2 Τεχνολογικά κριτήρια

Ο παράγοντας της τεχνολογίας και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος διάθεσης υγρών αποβλήτων προσδιορίζουν την ευελιξία και τη λειτουργικότητα του. Η ευελιξία στην αλλαγή της ποσότητας και της σύστασης των λυμάτων, η πολυπλοκότητα της διαδικασίας, η διαθέσιμη τεχνογνωσία, η ασφάλεια και η απόδοση του συστήματος, αποτελούν τα υποκριτήρια που αξιολογούνται στο πεδίο αυτό.

#### 2.4.3 Περιβαλλοντικά κριτήρια

Σε κάθε παρέμβαση η περιβαλλοντική διάσταση είναι πλέον αναγνωρισμένη και λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στη λήψη αποφάσεων. Ειδικότερα, εξετάζονται οι επιπτώσεις κάθε εναλλακτικού σεναρίου στην προστασία του αέρα και των υδάτων, στο θέμα διαχείρισης ιλύος, στην εξοικονόμηση ενέργειας, η επίδραση των κλιματολογικών παραγόντων στη διαδικασία της επεξεργασίας, η απαίτηση σε χημικά, το πρόβλημα οχλήσεων κ.λπ.

#### 2.4.4 Κοινωνικά κριτήρια

Ορισμένες μόνο τεχνολογίες διάθεσης υγρών αποβλήτων είναι πλέον γνωστές και ως μέθοδοι επεξεργασίας ενεργού ιλύος, άλλες λιγότερο και άλλες καθόλου, δεδομένου ότι λειτουργούν πιλοτικά. Είναι ευνόητο ότι, η κοινωνική αποδοχή κάποιων συστημάτων που δεν έχουν ευρεία χρήση και δεν είναι γνωστές οι επιπτώσεις τους θα συναντούσε πολλές δυσκολίες. Έτσι, η κοινωνική αποδοχή θεωρήθηκε σημαντικός παράγοντας για τις εγκαταστάσεις διάθεσης υγρών αποβλήτων, όπως και τα διάφορα κοινωνικά οφέλη (π.χ. απασχόληση από γειτονικές περιοχές) από τη λειτουργία τους.

#### 2.4.5 Κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης

Η εξασφάλιση της οικονομικής βιωσιμότητας και η εκτίμηση της σχέσης Κόστους Οφέλους αποτελεί ένα βασικό εάν όχι το βασικό μέρος της αξιολόγησης κάθε επένδυσης. Ειδικότερα, στην περίπτωση κάποιων επενδύσεων από δημόσιους φορείς βαρύνουσα θέση έχει η κοινωνική αξιολόγηση.

### 2.5 Δείκτες: Υγεία, περιβάλλον, Τεχνολογία, Οικονομία, Κοινωνία, Πολιτισμός

Η **οικονομία**, η **κοινωνία** και το **περιβάλλον** αποτελούν τους τρεις πυλώνες της ολοκληρωμένης ανάπτυξης. Η λήψη αποφάσεων στο επίπεδο του κεντρικού σχεδιασμού για την ανάπτυξη και στο επίπεδο της τοπικής αυτοδιοίκησης, πολύ σπάνια ή και καθόλου λαμβάνει υπόψη θέματα που αφορούν την Ολοκληρωμένη ανάπτυξη. Οι περισσότερες των αποφάσεων είναι βασισμένες σε παράγοντες που καμιά σχέση δεν έχουν με τις βασικές αρχές που διέπουν την ολοκληρωμένη ανάπτυξη.

Με βασικό εργαλείο την **Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ)** μπορούν να αναπτυχθούν **δείκτες** βάση των οποίων μπορεί να γίνει αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης (ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων), της οικονομικής αποδοτικότητας (κόστος κύκλου ζωής), με την προϋπόθεση ότι αυτοί οι δείκτες είναι πολύ συγκεκριμένοι, χρήσιμοι και αρκετοί για να συμπεριλάβουν τα πιο ζωτικά θέματα. Ένα πλαίσιο εργασίας σχετικό με τα θέματα ανάπτυξης είναι πολύ σπουδαίο για την ανάπτυξη τέτοιων δεικτών. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη δεικτών ολοκληρωμένης ανάπτυξης και να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί το κατά πόσο συγκεκριμένες δράσεις συμβάλουν στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη.

Η χρήση των δεικτών ολοκληρωμένης ανάπτυξης (ΔΟΑ) είναι εργαλεία που αποσκοπούν στο να καταστήσουν την έννοια της ολοκληρωμένης ανάπτυξης μετρήσιμη με την ποσοτικοποίηση τάσεων στην κοινωνία και να προσπαθήσουμε να αντιμετωπίσουμε το βασικό ερώτημα: Είμαστε σε τροχιά προς την ολοκληρωμένη ανάπτυξη ή όχι; Ο κύριος σκοπός των ΔΟΑ είναι να αποτελέσουν ενίσχυση στη λήψη αποφάσεων με την παροχή πληροφοριών σχετικά με την αειφορία σε μια ολοκληρωμένη

και ποσοτική μορφή. Επιπλέον, οι ΔΟΑ μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία και για παρακολούθηση των διεθνών, εθνικών και περιφερειακών στόχων. Η ΑΚΖ μπορεί να αποτελέσει το κύριο εργαλείο στην ανάπτυξη περιβαλλοντικών ΔΟΑ που θα αφορούν όλη την διαδικασία παραγωγής και αποφάσεων. Για την ανάπτυξη δεικτών μπορεί να ακολουθηθούν οι αρχές Bellagio όπου γίνεται μια προσπάθεια να δώσει κατευθύνσεις για το σύνολο της διαδικασίας αξιολόγησης, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής και του σχεδιασμού των ΔΟΑ, την ερμηνεία τους και την ανακοίνωση των αποτελεσμάτων (Hardi και Zdan, 1997).

Μετά από εξέταση των δεικτών που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, παρατίθενται οι κυριότεροι εξ' αυτών ανά κατηγορία:

### 1. Αξιολόγηση της ανθρώπινης ευημερίας

- ➔ κατάσταση υγείας
- ➔ εκπαιδευτικό επίπεδο
- ➔ αμειβόμενη εργασία
- ➔ εισόδημα και κέρδη
- ➔ φτώχεια και χρέος
- ➔ εγκληματικότητα και ασφάλεια πολιτών

### 2. Αξιολόγηση της διαφορετικότητας και της επιτυχίας των επιχειρήσεων και των οργανισμών

- ➔ κερδοσκοπικές επιχειρήσεις
- ➔ συνδικάτα
- ➔ συνεταιρισμοί
- ➔
- ➔ πανεπιστήμια, άλλοι οργανισμούς μετα-δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και κατάρτισης

### 3. Αξιολόγηση της ευημερίας του οικοσυστήματος

- ➔ Γη
- ➔ Νερό: επιφανειακά, υπόγεια και παράκτια θαλάσσια ύδατα, δείκτης φυσικότητας λεκάνης απορροής: αναλογία λεκάνης απορροής με τον δείκτη φυσικότητας του εδάφους
- ➔ Αέρας: ποιότητα του αέρα και η κατάσταση της ανώτερης ατμόσφαιρας
- ➔ Βιοποικιλότητα: δείκτες που αφορούν το οικοσύστημα, τα είδη και τη γενετική ποικιλότητα όχι μόνο των άγριων οργανισμών αλλά και των οικιακών καλλιεργειών και των ζώων
- ➔ Πόροι: χρήση ενέργειας και δημιουργία αποβλήτων

#### 4. Χρήση πόρων της κοινότητας

- συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και απώλειες μεταφοράς ως ποσοστό των πωλήσεων
- απόδοση μετατροπής καυσίμου
- αναλήψεις νερού
- καύσιμα και άλλα αγαθά που καταναλώνονται
- εξοικονόμηση ενέργειας

#### 5. Περιβαλλοντική ακεραιότητα

- εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου
- διαχείριση των αποβλήτων
- εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον
- επίπεδα παραγόμενων ραδιενεργών αποβλήτων
- εκλύσεις όξινων αερίων
- παραβιάσεις συμμόρφωσης
- επικίνδυνα απόβλητα
- δηλώσεις διαρροών
- περιβαλλοντικές δαπάνες

#### 6. Ανανεώσιμη ενέργεια

- ενέργεια που παράγεται από προηγμένες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. αιολική, ηλιακή)

#### 7. Οικονομική Ακεραιότητα

- καθαρά έσοδα
- κάλυψη τόκων
- αναλογία χρέους
- συνολικό ενεργειακό κόστος μονάδας

#### 8. Κοινωνική Ακεραιότητα

- σοβαρότητα ατυχήματος εργαζομένων
- πρόγραμμα εταιρικής υπευθυνότητας
- παραγωγικότητα των εργαζομένων
- πληρωμές αντί για φόρους

→ αριθμός και σοβαρότητα περιβαλλοντικών καταγγελιών

Επίσης, οι Δείκτες Περιβαλλοντικής Πίεσης για την Ε.Ε αποτυπώνονται στο **Διάγραμμα 01** που ακολουθεί.

<b>Resource Depletion</b>	Water consumption	Use of energy	Increase in territory permanently occupied by urbanisation; infrastructure...	Inputs of phosphate to agricultural land (changed from Nutrient balance of the soil)	Electricity production from fossil fuels	Timber balance
<b>Waste</b>	Waste landfilled	Waste incinerated	Hazardous waste	Municipal waste	Industrial waste (replacing Waste per product during a n° of products entire lifetime)	Waste recycled/material recovered
<b>Dispersion of Toxic Substances</b>	Consumption of pesticides by agriculture	Emissions of persistent organic pollutants (POPs)	Consumption of toxic chemicals	Index of heavy metal emissions to water	Index of heavy metal emissions to air	No indicator (formerly Emissions of radioactive material)
<b>Water Pollution</b>	Emissions of nutrients by households (changed from Nutrient use)	Emissions of nutrients by industry (changed from Ground water abstraction)	Pesticides used per hectare of utilised agriculture area	Nitrogen used per hectare of utilised agriculture area	Emissions of organic matter by households (replacing Water treated/water collected)	Emissions of organic matter by industry (changed from Emissions of organic matter as BOD)
<b>Marine Environment &amp; Coastal Zones</b>	Eutrophication	Fishing pressure	Development along shore	Wetland loss in coastal zones (previously LB-2 Wetland loss)	Discharges of heavy metals	Oil pollution at coast & at sea
<b>Climate Change</b>	Emissions of carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	Emissions of methane (CH <sub>4</sub> )	Emissions of nitrous oxide (N <sub>2</sub> O)	Emissions of HFCs, PFCs and SF <sub>6</sub> (replacing Emissions of CFCs)	No indicator (formerly Emissions of NO <sub>x</sub> )	No indicator (formerly Emissions of SO <sub>2</sub> )
<b>Air Pollution</b>	Emissions of nitrogen oxides (NO <sub>x</sub> )	Emissions of volatile organic compounds (VOCs)	Emissions of sulphur dioxide (SO <sub>2</sub> )	Emissions of particles	Consumption of gasoline & diesel oil by road vehicles	Primary energy consumption
<b>Ozone Layer Depletion</b>	Emissions of bromofluoro-carbons (halons)	Emissions of chlorofluoro-carbons (CFCs)	Emissions of hydrochloro-fluorocarbons (HCFCs)	Emissions of chlorinated carbons (formerly OD-5)	Emissions of industrially produced CH <sub>3</sub> Br (formerly OD-6)	No indicator (former OD-4 Emissions of NO <sub>x</sub> by aircraft deleted)
<b>Urban Environmental Problems</b>	Urban energy consumption (changed from Energy consumption)	Non-recycled municipal waste	Non-treated urban wastewater (changed from Non-treated wastewater)	No indicator (formerly Share of private car transport)	No indicator (formerly People endangered by noise emissions)	No indicator (formerly Urban land-use)

**Διάγραμμα 01:** Δείκτες Περιβαλλοντικής Πίεσης για την Ε.Ε

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τη **Σύσταση (ΕΕ) 2021/2279** της Επιτροπής της **15ης Δεκεμβρίου 2021** σχετικά με τη **“χρήση των μεθόδων περιβαλλοντικού αποτυπώματος για τη μέτρηση και τη γνωστοποίηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων κατά τον κύκλο ζωής των προϊόντων και των οργανισμών”**, οι κατηγορίες επιπτώσεων με αντίστοιχους δείκτες κατηγορίας επιπτώσεων και μοντέλα χαρακτηρισμού, δίνονται στους **Πίνακες 01** και **02** που ακολουθούν.

**Πίνακας 01:** Κατηγορίες επιπτώσεων με αντίστοιχους δείκτες κατηγορίας επιπτώσεων και μοντέλα χαρακτηρισμού (1/2)

Κατηγορία επιπτώσεων ΕΦ	Δείκτης κατηγορίας επιπτώσεων	Μονάδα	Μοντέλο χαρακτηρισμού	Αξιολογία
Κλιματική αλλαγή, σύνολο <sup>15</sup>	Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP100)	kg CO <sub>2</sub> eq	Μοντέλο Bem — Δυναμικά υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) σε χρονικό ορίζοντα 100 ετών (με βάση την IPCC 2013).	I
Καταστροφή του όζοντος	Δυναμικό καταστροφής του όζοντος (ODP)	kg CFC-11 eq	Μοντέλο EDIP βασισμένο στα ODP του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO) σε άπειρο χρονικό ορίζοντα ((WMO 2014 + ενσωματώσεις).	I
Τοξικότητα για τον άνθρωπο, καρκίνος	Συγκριτική τοξική μονάδα για τον άνθρωπο (CTU <sub>h</sub> )	CTU <sub>h</sub>	με βάση το μοντέλο USEtox2.1 (Fantke et al., 2017), όπως προσαρμόζεται στο Saouter et al., 2018	III
Τοξικότητα για τον άνθρωπο, εκτός του καρκίνου	Συγκριτική τοξική μονάδα για τον άνθρωπο (CTU <sub>h</sub> )	CTU <sub>h</sub>	με βάση το μοντέλο USEtox2.1 (Fantke et al., 2017), όπως προσαρμόζεται στο Saouter et al., 2018	III
Αιωρούμενα σωματίδια	Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου	Επίπτωση της νόσου	Μοντέλο PM (Fantke et al., 2016 στο UNEP 2016)	I
Ιοντίζουσα ακτινοβολία, υγεία του ανθρώπου	Απόδοση έκθεσης του ανθρώπου σχετική με το U <sup>235</sup>	kBq U <sup>235</sup> eq	Μοντέλο επίδρασης στην υγεία του ανθρώπου, όπως αναπτύχθηκε από τους Dreicer et al., 1995 (Frischknecht et al., 2000)	II
Φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος, υγεία του ανθρώπου	Αύξηση συγκέντρωσης τροποσφαιρικού όζοντος	kg NMVOC eq	Μοντέλο LOTOS-EUROS (Van Zelm et al., 2008) όπως εφαρμόζεται στο ReCiPe 2008	II
Οξίνιση	Συσώρευση πλεοναζουσών εναποθέσεων (ΑΕ)	mol H <sup>+</sup> eq	Συσώρευση πλεοναζουσών εναποθέσεων (Seppälä et al., 2006, Posch et al., 2008)	II
Ευτροφισμός, επίγειος	Συσώρευση πλεοναζουσών εναποθέσεων (ΑΕ)	mol N eq	Συσώρευση πλεοναζουσών εναποθέσεων (Seppälä et al., 2006, Posch et al., 2008)	II

**Πίνακας 02:** Κατηγορίες επιπτώσεων με αντίστοιχους δείκτες κατηγορίας επιπτώσεων και μοντέλα χαρακτηρισμού (2/2)

<b>Ευτροφισμός, γλυκών υδάτων</b>	Κλάσμα θρεπτικών ουσιών που φθάνουν στο τελικό διαμέρισμα των γλυκών υδάτων (P)	kg P <sub>eq</sub>	Μοντέλο EUTREND (Struijs et al., 2009) όπως εφαρμόζεται στο ReCiPe	II
<b>Ευτροφισμός, θαλάσσιος</b>	Κλάσμα θρεπτικών ουσιών που φθάνουν στο θαλάσσιο τελικό διαμέρισμα (N)	kg N <sub>eq</sub>	Μοντέλο EUTREND (Struijs et al., 2009) όπως εφαρμόζεται στο ReCiPe	II
<b>Οικοτοξικότητα, γλυκού νερού</b>	Συγκριτική τοξική μονάδα για οικοσυστήματα (CTU <sub>e</sub> )	CTU <sub>e</sub>	με βάση το μοντέλο USEtox2.1 (Fantke et al., 2017), όπως προσαρμόζεται στο Saouter et al., 2018	III
<b>Χρήση γης<sup>16</sup></b>	Δείκτης ποιότητας εδάφους <sup>17</sup>	Αδιάστατο (pt)	Δείκτης ποιότητας εδάφους με βάση το μοντέλο LANCA (De Laurentiis et al., 2019) και το μοντέλο LANCA CF έκδοση 2.5 (Hom and Maier, 2018)	III
<b>Χρήση υδάτων</b>	Δυναμικό μη διαθεσιμότητας στους χρήστες (κατανάλωση νερού σταθμισμένη ως προς τη μη διαθεσιμότητα χρήσης)	m <sup>3</sup> ισοδύναμου νερού για τη στέρηση νερού	Μοντέλο Available Water REMaining (AWARE) (Boulay et al., 2018, UNEP 2016)	III
<b>Χρήση πόρων, ορυκτά και μέταλλα</b>	Εξάντληση αβιοτικών πόρων (τελικό ποσό αποθεμάτων ADP)	kg Sb <sub>eq</sub>	van Oers et al., 2002 όπως στη μέθοδο CML 2002, έκδ. 4.8	III
<b>Χρήση πόρων, ορυκτά καύσιμα</b>	Εξάντληση αβιοτικών πόρων — ορυκτά καύσιμα (ADP-ορυκτά) <sup>18</sup>	MJ	van Oers et al., 2002 όπως στη μέθοδο CML 2002, έκδ. 4.8	III

### 3. LCA (Life Cycle Assessment)

Η Περιβαλλοντική αξιολόγηση βασίζεται στην **Αξιολόγηση του Κύκλου Ζωής** (*Life Cycle Assessment*). Η (περιβαλλοντική) Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) είναι ένα εργαλείο το οποίο επιτρέπει την ποσοτική εκτίμηση και αξιολόγηση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος, διεργασίας ή υπηρεσίας.

Ο απώτερος στόχος της εφαρμογής της μεθοδολογίας της ΑΚΖ είναι η επιλογή του καλύτερου προϊόντος, διεργασίας ή υπηρεσίας με κριτήριο την ελάχιστη περιβαλλοντική επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Η ΑΚΖ είναι ένα εργαλείο υποστήριξης της λήψης αποφάσεων σε ζητήματα που άπτονται της περιβαλλοντικής πολιτικής διαφόρων ιδιωτικών και δημοσίων φορέων και οργανισμών.

Στην ουσία η αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (Life Cycle Assessment – LCA) αποτελεί μία τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα προϊόν, μια διεργασία ή μία δραστηριότητα από την έναρξη (πρώτες ύλες) μέχρι και το τέλος της ζωής ενός προϊόντος (ανακύκλωση).

Η συγκεκριμένη τεχνική προσδιορίζει και ποσοτικοποιεί την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ενός προϊόντος καθώς και τα απόβλητα (waste) που προκύπτουν από όλες τις διαδικασίες που επιβαρύνουν το περιβάλλον.

**Στόχος της εφαρμογής αυτής της τεχνικής** είναι να υπολογιστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ενώ παράλληλα με μια σειρά από ενέργειες να αντισταθμιστούν οι συγκεκριμένες εκπομπές έτσι ώστε να παράγουν προϊόντα κλιματικά ουδέτερα (carbon neutral).

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την εξέταση της περιβαλλοντικής απόδοσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συγκρίσιμες μελέτες για να καθοριστούν τα σχετικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα προϊόντων που χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό.

Οι **κύριοι αντικειμενικοί στόχοι** κατά την διεξαγωγή μιας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι:

1. Η παροχή μιας όσο το δυνατόν ολοκληρωμένης εικόνας των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μιας δραστηριότητας υπό εξέταση και του περιβάλλοντος.
2. Η συνεισφορά στην κατανόηση της αλληλεξάρτησης που χαρακτηρίζει την φύση των περιβαλλοντικών συνεπειών στο σύνολό τους, που προκύπτουν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

3. Η λήψη αποφάσεων με την βοήθεια πληροφοριών, που καθορίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των δραστηριοτήτων και αναγνωρίζουν τυχόν δυνατότητες για περιβαλλοντικές βελτιώσεις.
4. Η δημιουργία δεικτών ολοκληρωμένης ανάπτυξης (ΔΟΑ)

Η αξιοπιστία της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από: **α)** τον τρόπο μοντελοποίησης και τον βαθμό απλοποίησης των υπό εξέταση συστημάτων, **β)** το σύνολο των παραδοχών και των υποθέσεων που χρησιμοποιούνται σε κάθε βήμα της ανάλυσης και **γ)** την διαθεσιμότητα σύγχρονων και αξιόπιστων δεδομένων.

Παράλληλα μέσω της συγκεκριμένης τεχνικής μια εταιρία, ένας οργανισμός ή οποιοσδήποτε άλλος φορέας, μπορεί να αποκομίσει μια σειρά από **επιπρόσθετα οφέλη**, όπως:

- ➔ Αναλυτική καταγραφή της διαδικασίας παραγωγής ενός προϊόντος
- ➔ Ακριβής γνώση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε όλες τις φάσεις ζωής ενός προϊόντος
- ➔ Αξιολόγηση του κύκλου ζωής του προϊόντος σε επίπεδο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
- ➔ Εντοπισμός κοστοβόρων σημείων κυρίως στη διαδικασία της παραγωγής και της μεταφοράς
- ➔ Δυνατότητα εσωτερικής αξιολόγησης της εταιρίας (σε ετήσια βάση) με παράλληλη οριοθέτηση στόχων (π.χ. μείωση εκπομπών 10% κάθε χρόνο)
- ➔ Δυνατότητα χρήσης όλων των υπολογισμών για τη σύνταξη μελέτης Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης
- ➔ Απόκτηση ενός εργαλείου μάρκετινγκ για αύξηση του μεριδίου αγοράς

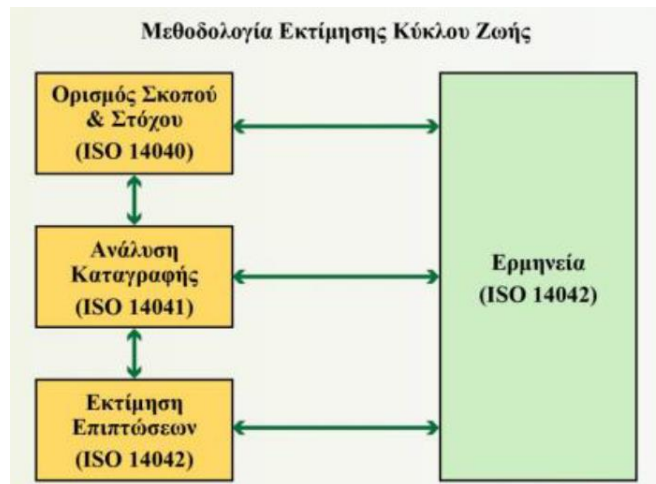
Η εκρηκτική αύξηση της εφαρμογής της μεθοδολογίας της ΑΚΖ σε διάφορων ειδών εφαρμογές, δημιούργησε την ανάγκη για την προτυποποίησή της. Τα πρότυπα αυτά, 4 τον αριθμό σήμερα, έχουν ενταχθεί στην **οικογένεια προτύπων περιβαλλοντικής διαχείρισης ISO 14000**.

Σύμφωνα με το **Διεθνή Οργανισμό για την Προτυποποίηση (ISO)**, η μεθοδολογία για την Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής των προϊόντων (αγαθών και υπηρεσιών) αποτελείται από τέσσερα στάδια όπως φαίνεται παραστατικά στο Σχήμα που ακολουθεί (ISO 14040, 1997).

Αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Καθορισμός σκοπού και αντικειμένου της μελέτης – Goal and Scope Definition (ISO 14040, 1997)
2. Απογραφή δεδομένων – Life Cycle Inventory (ISO 14041, 1998)
3. Αξιολόγηση επιπτώσεων – Life Cycle Impact Assessment (ISO 14042, 2000) και
4. Ερμηνεία – Life Cycle Interpretation (ISO 14043, 2000).

Παρακάτω, στην **Εικόνα 01**, παρατίθεται το μεθοδολογικό πλαίσιο της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής.



**Εικόνα 01:** Μεθοδολογικό πλαίσιο LCA σύμφωνα με ISO 14040

### 3.1 Μεθοδολογία

#### 3.1.1 Λειτουργική μονάδα

Ο καθορισμός της λειτουργικής μονάδας αποτελεί ένα θεμελιώδες βήμα για την αποφυγή ασαφειών κατά τη διατύπωση του σκοπού. Η λειτουργική μονάδα συντελεί στη δημιουργία μιας βάσης σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών κύκλων ζωής προϊόντος, και μεταξύ διαφόρων σεναρίων ή υποθέσεων. Επίσης είναι ένα μέτρο απόδοσης του συστήματος. Θα πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη, μετρήσιμη και σχετική με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου.

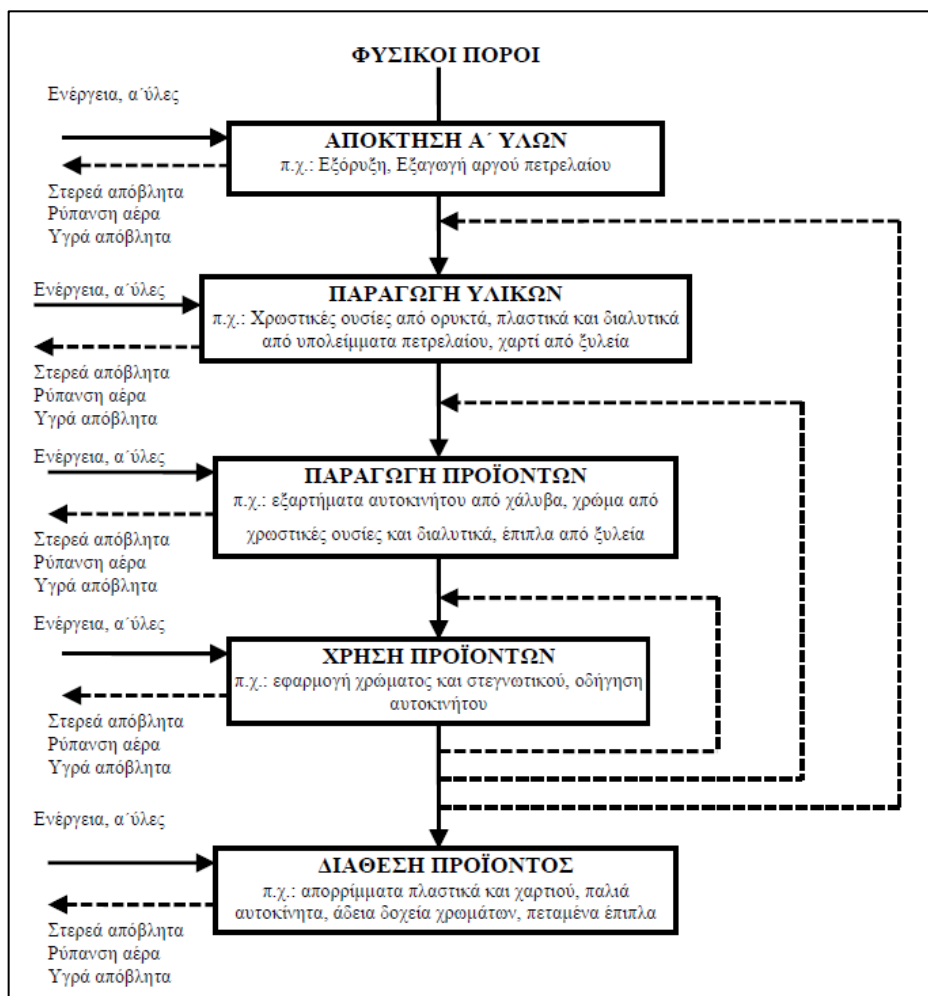
Στην τρέχουσα μελέτη, η λειτουργική μονάδα ορίζεται ως:

→ **"η ετήσια επεξεργασία των αποβλήτων του νοσοκομείου"**.

Αυτό αντιστοιχεί σε **365 m<sup>3</sup>/y**. Όλα τα δεδομένα που θα αναφερθούν στη συνέχεια της μελέτης αναφέρονται ως προς την προαναφερθείσα λειτουργική μονάδα.

#### 3.1.2 Απογραφή δεδομένων

Στο στάδιο της απογραφής δεδομένων συλλέγονται όλα τα στοιχεία τα οποία σχετίζονται με τις εισροές μάζας και ενέργειας στις διεργασίες που μελετώνται, όπως απεικονίζονται στο **Διάγραμμα 02** που ακολουθεί.

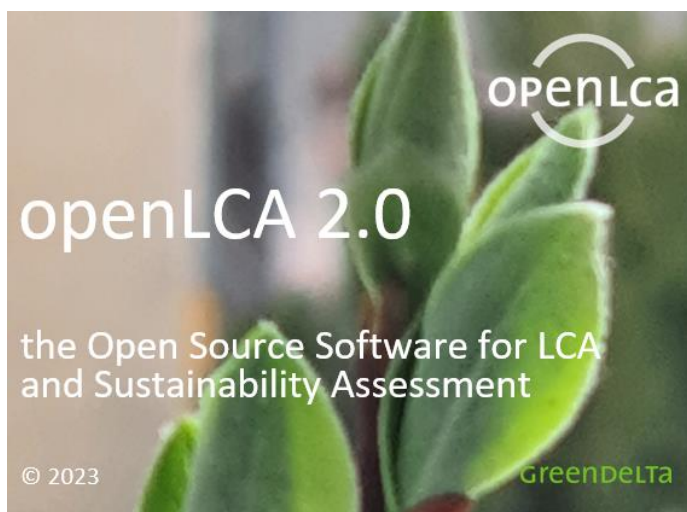


**Διάγραμμα 02:** Πλαίσιο Απογραφής στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Πηγή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη αποτελούν:

- τα τεχνικά δεδομένα του έργου T4H,
- η βάση δεδομένων του προγράμματος **OpenLCA** και
- τεχνικά δεδομένα στα οποία αναφέρονται οι βιβλιογραφικές αναφορές.

### 3.1.3 Αξιολόγηση επιπτώσεων



Η επεξεργασία των δεδομένων της απογραφής δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού προγράμματος **OpenLCA 2.0**. Το πρόγραμμα **OpenLCA** είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό για την υπολογιστική υποστήριξη μελετών ΑΚΖ. Περιλαμβάνει βάσεις δεδομένων οι οποίες περιέχουν δεδομένα για τα περισσότερα κατασκευαστικά υλικά, για τους ενεργειακούς πόρους, καθώς και έτοιμα μοντέλα εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

#### 3.1.3.1 Ορισμός κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Σκοπός της αξιολόγησης των επιπτώσεων είναι να αντιστοιχηθούν τα ρυπαντικά φορτία που υπολογίστηκαν (π.χ. κιλά διοξειδίου του άνθρακα) σε μεγαλύτερες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Στην παρούσα μελέτη, για την αξιολόγηση των επιπτώσεων χρησιμοποιείται η μέθοδος **CML2 baseline 2000**, η οποία συμπεριλαμβάνεται στη βάση δεδομένων του λογισμικού πακέτου **OpenLCA (Πίνακας 03)**. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει δέκα (10) κατηγορίες επιπτώσεων, οι οποίες αποτυπώνονται στον **Πίνακα 04** που ακολουθεί.

**Πίνακας 03:** Χρησιμοποιούμενες μεθόδους

<b>Result information</b>	
<b>Product system:</b>	Hospital wastewater treatment pilot plant
<b>Reference process:</b>	Hospital wastewater treatment pilot plant
<b>Reference process location:</b>	
<b>Product:</b>	Hospital wastewater treatment pilot plant
<b>Amount:</b>	365.0 m3
<b>Impact method:</b>	CML-IA baseline
<b>Normalisation &amp; weighting set:</b>	West Europe, 1995
<b>Allocation method:</b>	none
<b>Cutoff:</b>	none

**Πίνακας 04:** Κατηγορίες επιπτώσεων και μονάδες μέτρησης

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα μέτρησης
Εξάντληση αβιοτικών πόρων	kg Sb eq.
Παγκόσμια υπερθέρμανση (GWP100)	kg CO <sub>2</sub> eq.
Μείωση στοιβάδας όζοντος (ODP)	kg CFC-11 eq.
Τοξικότητα προς τον άνθρωπο	kg 1,4-DB eq.
Οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων	kg 1,4-DB eq.
Οικοτοξικότητα θαλασσίων υδάτων	kg 1,4-DB eq.
Χερσαία οικοτοξικότητα	kg 1,4-DB eq.
Φωτοχημική οξείδωση	kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Οξίνιση	kg SO <sub>2</sub> eq.
Ευτροφισμός	kg PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> eq.

### 1. Εξάντληση αβιοτικών φυσικών πόρων (Depletion of abiotic resources)

Η συγκεκριμένη κατηγορία επίπτωσης περιλαμβάνει την προστασία της υγείας τόσο των ανθρώπων όσο και των οικοσυστημάτων. Η κατηγορία αυτή περιγράφει την εξόρυξη **α)** ορυκτών και **β)** ορυκτών καυσίμων. Ο συντελεστής αυτός μετριέται σε κιλά αντιμονίου ανά κιλό ορυκτού που εξορύσσεται. Η επίπτωση αυτή αποτιμάται σε παγκόσμια κλίμακα.

### 2. Κλιματική μεταβολή (Climate change)

Η κλιματική μεταβολή επηρεάζει την υγεία του οικοσυστήματος και των ανθρώπων. Η κλιματική μεταβολή προκαλείται από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο δείκτης αυτός αποτιμάται σε ισοδύναμα κιλά διοξειδίου του άνθρακα ανά κιλό εκπομπής ρύπου. Ο χρονικός ορίζοντας της επίπτωσης είναι τα 100 χρόνια και η γεωγραφική στόχευση της επίπτωσης είναι παγκόσμια.

### 3. Λέπτυνση στοιβάδας στρατοσφαιρικού όζοντος (Stratospheric Ozone depletion)

Η επίπτωση αυτή εκφράζει τις απώλειες σε ανθρώπους, υλικά αγαθά και φυσικά οικοσυστήματα από την αυξημένη εισροή στη Γη της υπεριώδους ακτινοβολίας τύπου Β. Η επίπτωση αυτή

αναφέρεται σε παγκόσμια γεωγραφική κλίμακα και αποτιμάται σε ισοδύναμα κιλά CFC-11 ανά κιλό εκπομπής ρύπου.

#### **4. Τοξικότητα προς τον άνθρωπο (Human toxicity)**

Η επίπτωση αυτή αποτιμά την επίδραση των τοξικών ουσιών στην υγεία των ανθρώπων. Η επίπτωση αποτιμάται με τη χρήση του δείκτη ο οποίος εκφράζεται ως ισοδύναμα κιλά 1,4-διχλωροβενζολίου ανά κιλό εκπομπής. Ανάλογα με την κατάληξη του κάθε ρύπου, η επίπτωση αυτή μπορεί να κυμαίνεται από τοπική έως παγκόσμια.

#### **5. Οικοτοξικότητα προς τα γλυκά ύδατα (Fresh-water aquatic eco-toxicity)**

Αυτή η επίπτωση αναφέρεται στην τοξική επίπτωση προς τα οικοσυστήματα γλυκών υδάτων από τις εκπομπές τοξικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα, στα ύδατα και στο έδαφος. Η επίπτωση αποτιμάται με τη χρήση του δείκτη ο οποίος εκφράζεται ως ισοδύναμα κιλά 1,4-διχλωροβενζολίου ανά κιλό εκπομπής ρύπου. Ανάλογα με την κατάληξη του κάθε ρύπου, η επίπτωση αυτή μπορεί να κυμαίνεται από τοπική έως παγκόσμια.

#### **6. Θαλάσσια οικοτοξικότητα ( Marine ecotoxicity)**

Αυτή η επίπτωση αναφέρεται στην τοξικότητα από εκπομπές τοξικών ουσιών προς το θαλάσσιο οικοσύστημα. Η επίπτωση αποτιμάται με τη χρήση του δείκτη ο οποίος εκφράζεται ως ισοδύναμα κιλά 1,4-διχλωροβενζολίου ανά κιλό εκπομπής ρύπου.

#### **7. Χερσαία οικοτοξικότητα (Terrestrial ecotoxicity)**

Αυτή η επίπτωση αναφέρεται στην τοξικότητα από στις εκπομπές τοξικών ουσιών προς το χερσαίο οικοσύστημα. Η επίπτωση αποτιμάται με τη χρήση του δείκτη ο οποίος εκφράζεται ως ισοδύναμα κιλά 1,4-διχλωροβενζολίου ανά κιλό εκπομπής ρύπου.

#### **8. Φωτοχημική οξείδωση (Photo-oxidant formation)**

Η φωτοχημική οξείδωση περιγράφει το σχηματισμό ατμοσφαιρικών ρύπων (κυρίως όζοντος) η οποία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στους ανθρώπους αλλά και στο οικοσύστημα. Η επίπτωση αυτή εκφράζεται σε ισοδύναμα κιλά αιθυλενίου ανά κιλό εκπομπής ρύπου. Η χρονική διάρκεια της επίπτωσης είναι 5 ημέρες και η γεωγραφική κλίμακα κυμαίνεται από τοπική έως περιφερειακή.

#### **9. Οξίνιση ( Acidification)**

Οι οξειδωτικές ενώσεις προκαλούν μια ευρεία γκάμα επιπτώσεων στο έδαφος, στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, και στο οικοσύστημα. Ο δείκτης που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση αυτής της

επίπτωσης είναι τα ισοδύναμα κιλά διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) ανά κιλό εκπομπής ρύπου. Η γεωγραφική κάλυψη της επίπτωσης κυμαίνεται από το τοπικό έως το παγκόσμιο επίπεδο.

### 10. Ευτροφισμός (Eutrophication)

Ο ευτροφισμός περιγράφει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες προκαλούνται από την υπερβολική εκπομπή θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου) στην ατμόσφαιρα, στα ύδατα και στο έδαφος. Η επίπτωση αυτή εκφράζεται ως ισοδύναμα κιλά φωσφορικών ανά κιλό εκπομπής ρύπου.

#### 3.1.3.2 Ταξινόμηση

Μετά τον ορισμό των κατηγοριών των επιπτώσεων, ακολουθεί το στάδιο της **ταξινόμησης του κάθε ρυπαντικού φορτίου**. Στο στάδιο αυτό, τα ρυπαντικά φορτία (Πίνακας 05, 06, 07) ταξινομούνται στις κατηγορίες των επιπτώσεων που ορίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Σημειώνεται ότι ορισμένα από τα περιβαλλοντικά φορτία κατατάσσονται σε περισσότερες από μια κατηγορίες επιπτώσεων. Για παράδειγμα, τα οξείδια του αζώτου προκαλούν τόσο οξίνιση όσο και ευτροφισμό των υδάτων. Επίσης, αποτελούν τα αρχικά αντιδρώντα στην αντίδραση σχηματισμού της φωτοχημικής οξείδωσης.

Πίνακας 05: Απογραφή δεδομένων

Hospital wastewater treatment pilot plant			
<b>Inputs</b>			
Don't show < 1 %			
Name	Category	Amount	Unit
> <input checked="" type="checkbox"/> BOD5, Biological Oxygen Demand	Elementary flows/Emission to water/fossil-	84.86000	kg
> <input checked="" type="checkbox"/> COD, Chemical Oxygen Demand	Elementary flows/Emission to water/fossil-	121.84000	kg
> <input checked="" type="checkbox"/> Hospital wastewater	Elementary flows/Waste	365.00000	m3
> <input checked="" type="checkbox"/> Hydrogen peroxide	Elementary flows/Emission to air/high population density	1058.50000	kg
> <input checked="" type="checkbox"/> Nitrogen	Elementary flows/Emission to water/fossil-	22.37000	kg
> <input checked="" type="checkbox"/> Phenol	Elementary flows/Emission to water/fossil-	4.45000	kg
> <input checked="" type="checkbox"/> Phosphorus	Elementary flows/Emission to water/fossil-	2.88000	kg
<b>Outputs</b>			
Don't show < 1 %			
Name	Category	Amount	Unit
> <input checked="" type="checkbox"/> Energy, from biomass	Elementary flows/Resource/biotic	-301.12500	MJ
> <input checked="" type="checkbox"/> Energy, from gas, natural	Elementary flows/Resource/in ground	-85.40000	MJ
<b>Total requirements</b>			
Search			
Hospital wastewater treatment pilot plant			
Product	Amount	Unit	
> <input checked="" type="checkbox"/> Hospital wastewater treatment pilot plant	365.00000	m3	

**Πίνακας 06:** Inputs OpenLCA 2.0

Inputs					
Flow UUID	Flow	Category	Sub-category	Unit	Result
dc2458f6-30fc-4c71-97f6-ff4c5470bd3a	BOD5, Biological Oxygen Demand	Emission to water	fossil-	kg	84.86
b2c8d9ab-da12-445f-bf52-eeca64a96fd6	COD, Chemical Oxygen Demand	Emission to water	fossil-	kg	121.84
440759dd-d0a8-4e55-a919-b56e56a18009	Hospital wastewater	Elementary flows	Waste	m3	365
8d179ea0-7b52-441e-954b-b5349d66340f	Hydrogen peroxide	Emission to air	high population density	kg	1058.5
921a8f84-63fd-4d1c-81be-bce6bd840e13	Nitrogen	Emission to water	fossil-	kg	22.37
ef47892e-c82f-4441-aba2-fe8f0a5f1554	Phenol	Emission to water	fossil-	kg	4.45
362acbd4-9fee-4943-9b92-4e73ef4b3387	Phosphorus	Emission to water	fossil-	kg	2.88

**Πίνακας 07:** Outputs OpenLCA 2.0

Outputs					
Flow UUID	Flow	Category	Sub-category	Unit	Result
5224d6af-147e-3506-b9e4-60b8eb3a9f82	Energy, from biomass	Resource	biotic	MJ	-301.125
334b9535-0044-302f-965a-26e6167e7b60	Energy, from gas, natural	Resource	in ground	MJ	-85.4

### 3.1.3.3 Χαρακτηρισμός

Μετά την ταξινόμηση των ρυπαντικών φορτίων ανά κατηγορία επίπτωσης (**Πίνακας 08**), ακολουθεί ο χαρακτηρισμός, ο οποίος είναι ένα υποχρεωτικό ποσοτικό βήμα. Το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων υπολογίζεται ανά κατηγορία επίπτωσης με τη χρήση συντελεστών ισοδυναμίας, οι οποίοι καθορίζονται κατά το στάδιο της μοντελοποίησης των γραμμικών σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος. Για παράδειγμα, όλοι οι ρύποι που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, χλωροφθοράνθρακες) αθροίζονται με βάση τους συντελεστές ισοδυναμίας που έχει θεσπίσει το IPCC.

**Πίνακας 08:** Ανάλυση επιπτώσεων

Hospital wastewater treatment pilot plant				
▼ Impact analysis: CML-IA baseline				
Sub-group by: <input checked="" type="radio"/> Flows <input type="radio"/> Processes   Don't show < 1 %				
Name	Category	Inventory result	Characterization factor	Impact assessment result
>  Abiotic depletion	CML-IA baseline			0.00000 kg Sb eq
>  Abiotic depletion (fossil fuels)	CML-IA baseline			-85.40000 MJ
>  Acidification	CML-IA baseline			0.00000 kg SO2 eq
>  Eutrophication	CML-IA baseline			20.88868 kg PO4--- eq
>  Fresh water aquatic ecotox.	CML-IA baseline			1054.65000 kg 1,4-DB eq
>  Global warming (GWP100a)	CML-IA baseline			0.00000 kg CO2 eq
>  Human toxicity	CML-IA baseline			0.21894 kg 1,4-DB eq
>  Marine aquatic ecotoxicity	CML-IA baseline			0.25054 kg 1,4-DB eq
>  Ozone layer depletion (ODP)	CML-IA baseline			0.00000 kg CFC-11 eq
>  Photochemical oxidation	CML-IA baseline			0.00000 kg C2H4 eq
>  Terrestrial ecotoxicity	CML-IA baseline			1.10805E-5 kg 1,4-DB eq

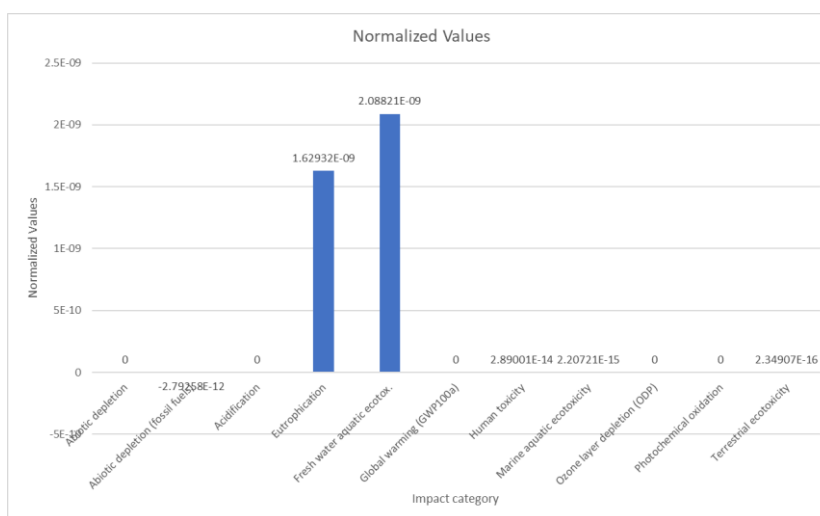
### 3.1.3.3 Κανονικοποίηση

Στο στάδιο της κανονικοποίησης, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το χαρακτηρισμό συσχετίζονται με το συνολικό (πραγματικό ή προβλεπόμενο) μέγεθος κάθε κατηγορίας επιπτώσεων. Η συσχέτιση αυτή γίνεται διαιρώντας την υπολογισμένη ποσότητα με μια συνολική τιμή αναφοράς. Η συνολική τιμή αναφοράς προκύπτει από τις κατά κεφαλή εκπομπές ή την κατανάλωση φυσικών πόρων σε μια συγκεκριμένη χώρα, περιοχή ή ήπειρο κ.λπ.

Στόχος της κανονικοποίησης (**Πίνακας 09, Διάγραμμα 03**) είναι να γίνει αντιληπτό το σχετικό μέγεθος των επιπτώσεων του αντικειμένου της μελέτης. Τα αποτελέσματα της μελέτης δεν πρέπει να αφορούν μόνο τη λειτουργική μονάδα του προϊόντος αλλά τις συνολικά χρησιμοποιούμενες μονάδες στην υπό εξέταση γεωγραφική περιοχή. Με λίγα λόγια, η κανονικοποίηση αναδεικνύει το ποιες είναι οι σημαντικότερες από τις 10 κατηγορίες επιπτώσεων. Στην παρούσα μελέτη, η κανονικοποίηση των δεδομένων γίνεται με βάση τις τιμές της **Δυτικής Ευρώπης για το έτος 1995**.

**Πίνακας 09:** Κανονικοποίηση

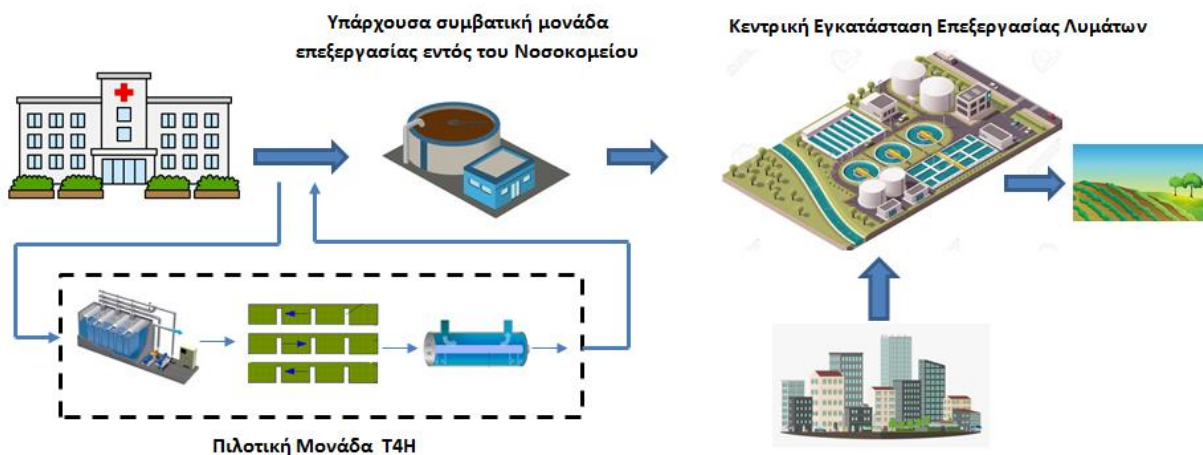
Hospital wastewater treatment pilot plant	
▼ Normalization	
Impact category	Amount
Fresh water aquatic ecotox.	2.08821E-9
Eutrophication	1.62932E-9
Human toxicity	2.89001E-14
Marine aquatic ecotoxicity	2.20721E-15
Terrestrial ecotoxicity	2.34907E-16
Global warming (GWP100a)	0.00000
Acidification	0.00000
Ozone layer depletion (ODP)	0.00000
Photochemical oxidation	0.00000
Abiotic depletion	0.00000
Abiotic depletion (fossil fuels)	-2.79258E-12



**Διάγραμμα 03:** Κανονικοποιημένες τιμές ανά κατηγορία επιπτώσεων

### 3.2 Αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου

Το σχηματικό διάγραμμα του τρόπου μοντελοποίησης για την εφαρμογή του έργου T4H παρουσιάζεται στην Εικόνα 02 που ακολουθεί.



**Εικόνα 02:** Σχηματική απεικόνιση της διεργασίας και του απαιτούμενου εξοπλισμού του έργου T4H

#### 3.2.1 Σενάριο χρήσης $H_2O_2$ και παραγωγής βιοαερίου και φυτικής βιομάζας

Η απογραφή δεδομένων για τα συστατικά στοιχεία του σεναρίου παρουσιάζεται στον **Πίνακα 05** απογραφής δεδομένων.

#### Παραδοχές

Οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις προκαλούνται από:

1. τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων (BOD<sub>5</sub>, COD, TN, TP, phenols)
2. mL  $H_2O_2$ /L νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων, ποσότητα που αντιστοιχεί ετησίως (365 m<sup>3</sup>/y νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων) σε 730 L  $H_2O_2$  κατ' έτος, ήτοι (με πυκνότητα 1,45 g/mL): 1058,5 kg/y.

Οι θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις προκαλούνται από:

1. Την παραγωγή 3650 L βιοαερίου κατ' έτος, ήτοι (με πυκνότητα 1,15 kg/m<sup>3</sup>, θερμογόνος δύναμη: 6.5 kWh/m<sup>3</sup>, 1 kWh = 3.6 MJ): 85.41 MJ
2. Την παραγωγή 18.25 kg φυτικής βιομάζας κατ' έτος, ήτοι (θερμογόνος δύναμη: 16,5 MJ/kg): 301.25 MJ.



## 4. Ενεργειακό αποτύπωμα



Τα αέρια του θερμοκηπίου εκπέμπονται από την παραγωγή και την κατανάλωση αγαθών και υπηρεσιών. Το **αποτύπωμα άνθρακα** είναι μια έννοια που χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό των επιπτώσεων μιας δραστηριότητας, ενός ατόμου ή μιας χώρας στην κλιματική αλλαγή.

Τα επτά δισεκατομμύρια ανθρώπων πάνω στη γη καταναλώνουν διαφορετικές ποσότητες από τους πόρους του πλανήτη. Σύμφωνα με τις προβλέψεις των Ηνωμένων Εθνών, ο παγκόσμιος πληθυσμός μπορεί να φτάσει τα 9,7 δισεκατομμύρια έως το 2050 και να ξεπεράσει τα 11 δισεκατομμύρια έως το 2100. Η αύξηση του πληθυσμού ευθύνεται για την αύξηση των εκπομπών και τη μείωση των πόρων του πλανήτη.

Η αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έχει άμεσο αντίκτυπο στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Επιταχύνει την κλιματική αλλαγή με καταστροφικές συνέπειες για τον πλανήτη μας.

Το ενεργειακό αποτύπωμα είναι η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που εκλύεται στην ατμόσφαιρα από τις καθημερινές μας συνήθειες, οι οποίες συχνότερα σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας.

Το Ανθρακικό Αποτύπωμα υπολογίζει το σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου<sup>1</sup> οι οποίες προκαλούνται άμεσα ή έμμεσα από ένα άτομο, οργανισμό, εκδήλωση ή προϊόν.

Ένα ανθρακικό αποτύπωμα μετρείται σε τόνους ισοδυνάμου του CO<sub>2</sub>.

### 4.2 Πρότυπος συντελεστής εκπομπών CO<sub>2</sub>

Σύμφωνα με *“Guidebook ‘How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP)’, PART 2 – Baseline Emission Inventory (BEI) and Risk and Vulnerability Assessment (RVA)” European Commission, JRC Science for policy report, 2018*, πρότυποι συντελεστές μετατροπής της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, σε εθνικό επίπεδο, για την Ελλάδα, όπως αποτυπώνεται στους **Πίνακες 11** και **12** που ακολουθούν, είναι:

- ➔ Standard approach, tCO<sub>2eq</sub>/MWh, 2013: **0,760**
- ➔ National and European Emission factors for electricity consumption: LCA approach, tCO<sub>2eq</sub>/MWh, 2013: **0,810**

<sup>1</sup> Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), Μονοξείδιο του Αζώτου (N<sub>2</sub>O), Υδροφθοράνθρακες (HFCs), Υπερφθοράνθρακες (PFCs) και Εξαφθοριούχοθειό (SF<sub>6</sub>)

Πίνακας 11: Standard approach, tCO<sub>2</sub>-eq/ MWh- 2002-2013

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Austria	0.222	0.255	0.254	0.248	0.229	0.214	0.204	0.188	0.212	0.219	0.184	0.170
Belgium	0.305	0.298	0.291	0.303	0.276	0.275	0.261	0.253	0.248	0.221	0.221	0.199
Bulgaria	0.858	0.918	0.917	0.887	0.858	0.967	0.901	0.874	0.920	1.065	0.914	0.795
Croatia	0.376	0.409	0.306	0.288	0.279	0.336	0.283	0.241	0.209	0.231	0.214	0.205
Cyprus	0.857	0.939	0.877	0.883	0.858	0.856	0.843	0.830	0.771	0.775	0.788	0.709
Czech Republic	1.020	0.996	0.980	0.928	0.907	0.997	0.909	0.894	0.883	0.920	0.859	0.787
Denmark	0.533	0.689	0.504	0.407	0.631	0.509	0.448	0.469	0.433	0.353	0.255	0.333
Estonia	1.663	1.890	1.839	1.816	1.483	1.927	1.678	1.456	1.912	1.887	1.601	1.986
Finland	0.230	0.324	0.273	0.147	0.260	0.231	0.171	0.181	0.223	0.179	0.120	0.156
France	0.095	0.098	0.093	0.110	0.101	0.104	0.093	0.098	0.095	0.084	0.087	0.083
Germany	0.645	0.616	0.599	0.597	0.601	0.625	0.588	0.570	0.550	0.559	0.576	0.589
Greece	0.965	0.949	0.941	0.927	0.852	0.870	0.844	0.821	0.779	0.822	0.814	0.760

Πίνακας 12: LCA approach, tCO<sub>2</sub>-eq/ MWh- 2002-2013

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Austria	0.252	0.289	0.287	0.289	0.271	0.257	0.250	0.235	0.280	0.267	0.235	0.211
Belgium	0.315	0.327	0.321	0.338	0.310	0.313	0.300	0.299	0.298	0.263	0.265	0.239
Bulgaria	0.892	0.952	0.950	0.920	0.890	1.005	0.935	0.905	0.967	1.101	0.946	0.824
Croatia	0.419	0.455	0.340	0.318	0.310	0.376	0.314	0.270	0.238	0.257	0.240	0.228
Cyprus	0.981	1.075	1.004	1.011	0.982	0.981	0.966	0.952	0.886	0.891	0.906	0.817
Czech Republic	1.059	1.031	1.016	0.964	0.943	1.037	0.949	0.938	0.940	0.972	0.917	0.850
Denmark	0.588	0.753	0.562	0.457	0.693	0.562	0.497	0.523	0.549	0.405	0.301	0.380
Estonia	1.672	1.900	1.847	1.825	1.491	1.935	1.685	1.471	1.978	1.922	1.643	2.017
Finland	0.276	0.377	0.325	0.191	0.312	0.274	0.216	0.221	0.310	0.230	0.165	0.206
France	0.096	0.100	0.096	0.121	0.111	0.116	0.105	0.110	0.114	0.098	0.098	0.093
Germany	0.675	0.652	0.636	0.636	0.644	0.676	0.641	0.626	0.611	0.618	0.643	0.658
Greece	1.021	1.004	0.995	0.981	0.905	0.927	0.901	0.872	0.828	0.876	0.867	0.810

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της πιλοτικής μονάδας επεξεργασίας νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων που λειτουργεί στο ΠΑΓΝΗ ανέρχεται στις **36.604,03 kWh**, οι εκπομπές CO<sub>2</sub>-eq συνολικά ανέρχονται στους:

- ➔ **27,82 tCO<sub>2</sub>-eq** σύμφωνα με την τυπική προσέγγιση,
- ➔ **29.65 tCO<sub>2</sub>-eq** σύμφωνα με την LCA προσέγγιση.

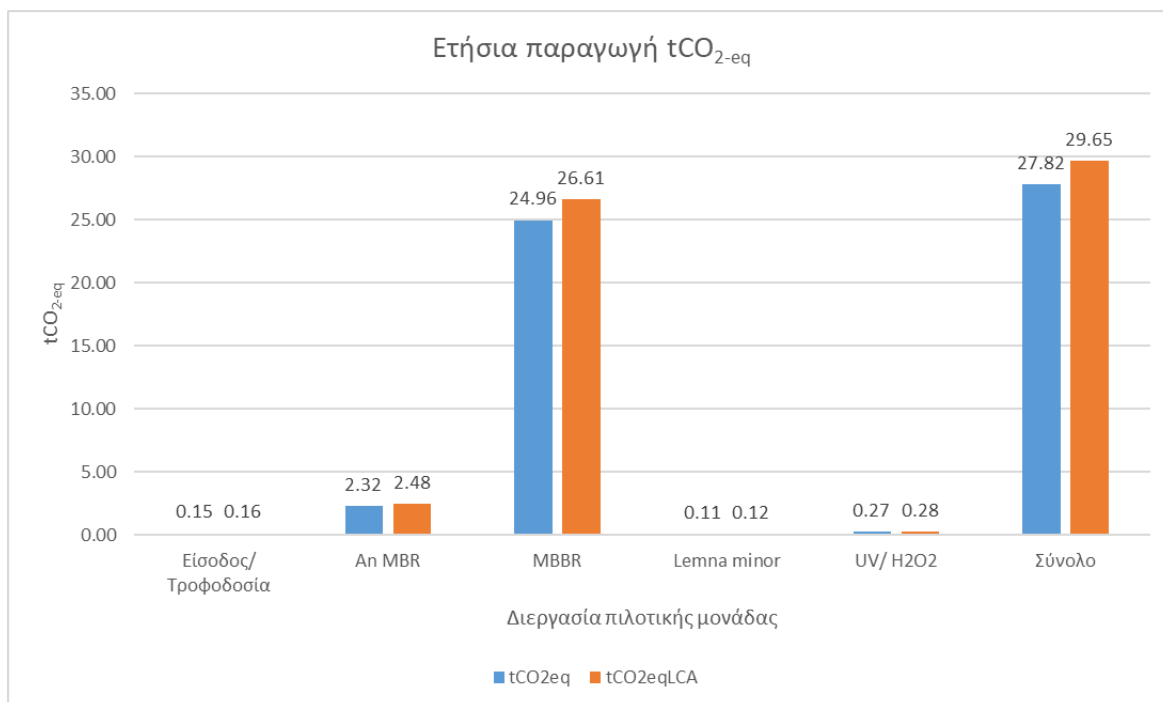
Στον **Πίνακα 13** και στο **Διάγραμμα 04** αποτυπώνονται οι **σχετικοί υπολογισμοί** ανά διεργασία της πιλοτικής μονάδας επεξεργασίας νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων που λειτουργεί στο ΠΑΓΝΗ και τα ποσά παραγωγής tCO<sub>2</sub>-eq. Στο **Διάγραμμα 05** που ακολουθεί αποτυπώνεται το **ποσοστό (%) της παραγωγής tCO<sub>2</sub>-eq ανά διεργασία**.

Όπως συμπεραίνεται το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της αντίστοιχης παραγωγής CO<sub>2</sub> προέρχεται κατά 89,74% από τη διεργασία του MBBR αντιδραστήρα

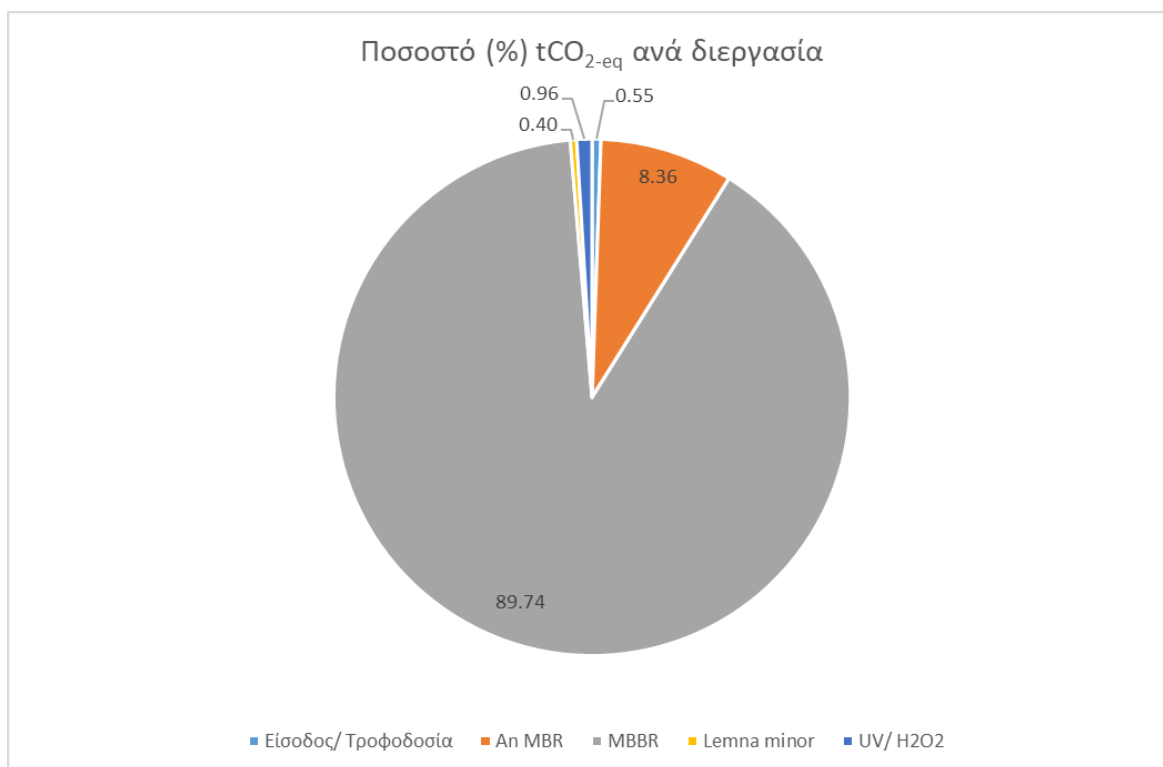
και στη συνέχεια ακολουθεί η διεργασία της αναερόβιας επεξεργασίας (AnMBR) με ποσοστό (8,36%). Οι υπόλοιπες διεργασίες συμμετέχουν κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό (<1%).

**Πίνακας 13:** Υπολογισμοί t CO<sub>2-eq</sub> ανά διεργασία

A/A	Code	Περιγραφή	Τεμάχια	Εγκατεστημένη Ισχύς (kW)	Ημερήσιες Ώρες Λειτουργίας (hrs)	Ημερήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	tCO <sub>2eq</sub>	tCO <sub>2eqLCA</sub>	%
<b>Είσοδος/ Τροφοδοσία</b>									
1	01-PCS01	Αντλία Αρχικής Ανύψωσης	1	0,55	1	0.55	0.00042	0.00045	0.55
<b>Σύνολο:</b>							<b>0.000418</b>	<b>0.0004455</b>	<b>0.55</b>
<b>An MBR</b>									
2	01-PPC-02	Αντλία τροφοδοσίας	1	0,25	18	4.5	0.00342	0.003645	4.49
3	02-MAG-1	Αναδευτήρας αναερόβιου	1	0,18	20	3.6	0.002736	0.002916	3.59
4	02-PCD-01	Κυκλοφορητής ζεστού νερού	1	0,02	14	0.28	0.000213	0.0002268	0.28
5	02-PDD-01	Δοσομετρική Αντλία NaOH	1	0,028	0	0	0	0	0.00
<b>Σύνολο:</b>							<b>0.006369</b>	<b>0.0067878</b>	<b>8.36</b>
<b>MBBR</b>									
6	03-PCD-01	Αντλία τροφοδοσίας μεμβρανών	1	0,55	23,6	12.98	0.009865	0.0105138	12.94
7	03-PCD-02	Αντλία ανακυκλοφορίας μεμβρανών	1	4	16	64	0.04864	0.05184	63.82
8	03-PCD-03	Αντλία καθαρισμού CIP	1	0,55	0,1	0.055	4.18E-05	0.00004455	0.05
9	04-BSC-01	Φυσητήρας MBBR	1	0,81	16	12.96	0.00985	0.0104976	12.92
<b>Σύνολο:</b>							<b>0.068396</b>	<b>0.07289595</b>	<b>89.74</b>
<b>Lemna minor</b>									
10	04-PCD-02	Κυκλοφορητής Lemna minor	1	0,02	20	0.4	0.000304	0.000324	0.40
<b>Σύνολο:</b>							<b>0.000304</b>	<b>0.000324</b>	<b>0.40</b>
<b>UV/ H2O2</b>									
11	05-PCD-01	Κυκλοφορητής AOP	1	0,02	20	0.4	0.000304	0.000324	0.40
12	05-PDD-01	Δοσομετρική Αντλία H2O2	1	0,028	20	0.56	0.000426	0.0004536	0.56
<b>Σύνολο:</b>							<b>0.00073</b>	<b>0.0007776</b>	<b>0.96</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΗΣΙΩΣ</b>						<b>100.29</b>	<b>0.076217</b>	<b>0.08123085</b>	<b>100.00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΗΣΙΩΣ</b>						<b>36,604.03</b>	<b>27.82</b>	<b>29.65</b>	



**Διάγραμμα 04:** Ποσά παραγωγής tCO<sub>2</sub>-eq ανά διεργασία



**Διάγραμμα 05:** Ποσοστό (%) της παραγωγής tCO<sub>2</sub>-eq ανά διεργασία

#### 4.1 Αναερόβιος αντιδραστήρας MBR

Αρχικά πραγματοποιήθηκε ανάλυση του ενεργειακού ισοζυγίου στον βιοαντιδραστήρα. Ειδικότερα το ενεργειακό ισοζύγιο υπολογίστηκε με βάση την παρακάτω εξίσωση (Xiao et al., 2018; Chen et al., 2019):

$$\Delta E = E_o - (E_m + E_p + E_h) \quad (1)$$

Όπου:

- ΔE είναι το ισοζύγιο ενέργειας,
- E<sub>o</sub> είναι η ενέργεια που παράγεται,
- E<sub>m</sub> η ενέργεια που απαιτείται για την ανάμιξη του αντιδραστήρα,
- E<sub>p</sub> η ενέργεια που απαιτείται για την άντληση και
- E<sub>h</sub> η ενέργεια που απαιτείται για την θέρμανση του αντιδραστήρα.

Όλες οι μονάδες είναι εκφρασμένες σε kWh ανά m<sup>3</sup> υγρών αποβλήτων.

Η ενέργεια που παράγεται (E<sub>o</sub>) στον μεθανογόνο MBR μπορεί να υπολογιστεί από την απόδοση σε βιοαέριο με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$E_o = \frac{P_{biogas} \times V \times \xi \times \eta_m}{Q} \quad (2)$$

Όπου:

- P<sub>biogas</sub> είναι η απόδοση παραγωγής σε βιοαέριο (m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> reactor/d),
- V είναι ο όγκος του αντιδραστήρα (m<sup>3</sup>),
- ξ είναι η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του βιοαερίου (5.97 kWh/m<sup>3</sup>),
- Q είναι η παροχή των λυμάτων (m<sup>3</sup>/d) και
- η<sub>m</sub> είναι η απόδοση ενεργειακής μετατροπής του βιοαερίου. Θεωρήθηκε ότι το 35% της ενέργειας του βιοαερίου μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια και το 50% σε θερμική ενέργεια (Lantz, 2016),

Η ενέργεια που καταναλώνεται από τον αναδευτήρα για την ανάμιξη του αντιδραστήρα υπολογίστηκε από την εξίσωση:

$$E_m = \frac{N_p \times \rho}{1000 \times q \times \zeta} \times \left(\frac{n}{60}\right)^3 \times D^5 \quad (3)$$

Όπου:

- $N_p$  είναι ο αδιάστατος αριθμός δύναμης που σχετίζεται με τον αριθμό Reynolds και το σχήμα του αντιδραστήρα. Ο αριθμός δύναμης για αναδευτήρα σε ένα τυπικό κυλινδρικό αντιδραστήρα είναι 0.75 (Meister et al., 2018),
- $\rho$  είναι η πυκνότητα της εισροής (1000 kg/m<sup>3</sup>),
- $q$  είναι η παροχή (m<sup>3</sup>/h),
- $\zeta$  είναι ο συντελεστής απόδοσης (0.75) της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ενέργεια ανάμιξης (Ruggeri et al. 2010),
- $n$  είναι η ταχύτητα περιστροφής του αναδευτήρα (60 r/min) και  $D$  είναι η διάμετρος του αναδευτήρα.

Η ενέργεια άντλησης εκτιμήθηκε από την εξίσωση :

$$E_p = \frac{Q \times \gamma \times h}{1000 \times n \times q} \quad (4)$$

Όπου:

- $Q$  είναι η παροχή (m<sup>3</sup>/s),
- $\gamma$  είναι 9800 N/m<sup>3</sup>,
- $h$  είναι η υδραυλική πίεση κεφαλής (m),
- $n$  είναι η απόδοση της αντλίας (60%) και
- $q$  είναι η παροχή (m<sup>3</sup>/h).

Η ενέργεια για την αύξηση της θερμοκρασίας των αποβλήτων στη θερμοκρασία του αντιδραστήρα υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$E_h = \frac{\rho \times Q \times \kappa \times (T_{AnMBR} - T_i)}{Q} \quad (5)$$

Όπου:

- $\rho$  είναι η πυκνότητα της εισροής (1000 kg/m<sup>3</sup>),
- $Q$  είναι η παροχή (m<sup>3</sup>/d),

- κ είναι η ειδική θερμότητα της εισροής (0.00116 kWh/kg °C),
- T<sub>AnMBR</sub> είναι η θερμοκρασία του αντιδραστήρα και
- T<sub>i</sub> είναι η θερμοκρασία της εισροής. Θεωρήθηκε ότι το 80% της θερμότητας μπορεί να ανακτηθεί (με ανακυκλοφορία) χωρίς να απαιτείται η θερμότητα του βιοαερίου (Xiao et al., 2018; Chen et al., 2019).

Στο **Πίνακα 14** που ακολουθεί παρουσιάζεται το ισοζύγιο ενέργειας για διαφορετικά σενάρια θερμοκρασίας θεωρώντας απόδοση βιοαερίου 60 L/m<sup>3</sup> αντιδραστήρα ανά ημέρα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα είναι εφικτό να παραχθεί ενέργεια από τον MBR, ωστόσο δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες λειτουργίας του, οπότε απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο. Ακόμη και στο σενάριο που δεν καταναλώνεται ενέργεια για την θέρμανση των υγρών αποβλήτων (Σενάριο 01) απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια: 1,75 kWh/m<sup>3</sup>. Στην περίπτωση της θέρμανσης σε μεσόφιλες θερμοκρασίες (35 °C) η συνολική ενέργεια που απαιτείται είναι 22.63 kWh/m<sup>3</sup> (Σενάριο 03), ενώ για αύξηση της θερμοκρασίας κατά +1 °C απαιτείται ενέργεια ίση με: 2.91 kWh/m<sup>3</sup> (Σενάριο 02).

**Πίνακας 14:** Ισοζύγιο ενέργειας για τον αναερόβιο αντιδραστήρα MBR

Μέγεθος	Τιμή	Μονάδες	Μέγεθος	Τιμή	Μονάδες	Μέγεθος	Τιμή	Μονάδες
Σενάριο 01			Σενάριο 02			Σενάριο 03		
Eh	0	kWh/m <sup>3</sup>	Eh	1.16	kWh/m <sup>3</sup>	Eh	20.88	kWh/m <sup>3</sup>
ρ	1000	kg/m <sup>3</sup>	ρ	1000	kg/m <sup>3</sup>	ρ	1000	kg/m <sup>3</sup>
Q	1	m <sup>3</sup> /d	Q	1	m <sup>3</sup> /d	Q	1	m <sup>3</sup> /d
k	0.001	kWh/(kg*°C)	k	0.001	kWh/(kg*°C)	k	0.001	kWh/(kg*°C)
T <sub>AnMBR</sub>	17	°C	T <sub>AnMBR</sub>	18	°C	T <sub>AnMBR</sub>	35	°C
T <sub>i</sub>	17	°C	T <sub>i</sub>	17	°C	T <sub>i</sub>	17	°C
Ep	0.01		Ep	0.01		Ep	0.01	
Q	1.15741E-05	m <sup>3</sup> /s	Q	1.15741E-05	m <sup>3</sup> /s	Q	1.15741E-05	m <sup>3</sup> /s
γ	9800	N/m <sup>3</sup>	γ	9800	N/m <sup>3</sup>	γ	9800	N/m <sup>3</sup>
h	2	m	h	2	m	h	2	m
n	0.6		n	0.6		n	0.6	
q	0.042	m <sup>3</sup> /h	q	0.042	m <sup>3</sup> /h	q	0.042	m <sup>3</sup> /h
Em	1.86624		Em	1.86624		Em	1.86624	
Np	0.75		Np	0.75		Np	0.75	
ρ	1000	kg/m <sup>3</sup>	ρ	1000	kg/m <sup>3</sup>	ρ	1000	kg/m <sup>3</sup>
n	60	r/min	n	60	r/min	n	60	r/min
D	0.6	m	D	0.6	m	D	0.6	m
q	0.042	m <sup>3</sup> /h	q	0.042	m <sup>3</sup> /h	q	0.042	m <sup>3</sup> /h
ζ	0.75		ζ	0.75		ζ	0.75	
E0	0.125		E0	0.125		E0	0.125	
Pbiog	0.06	m <sup>3</sup> biogas/m <sup>3</sup> reactor/d	Pbiog	0.06	m <sup>3</sup> biogas/m <sup>3</sup> reactor/d	Pbiog	0.06	m <sup>3</sup> biogas/m <sup>3</sup> reactor/d
V	1	m <sup>3</sup>	V	1	m <sup>3</sup>	V	1	m <sup>3</sup>
ξ	5.97	kWh/m <sup>3</sup>	ξ	5.97	kWh/m <sup>3</sup>	ξ	5.97	kWh/m <sup>3</sup>
nm	0.35		nm	0.35		nm	0.35	
Q	1	m <sup>3</sup> /d	Q	1	m <sup>3</sup> /d	Q	1	m <sup>3</sup> /d
ΔE	-1.75	kWh/m <sup>3</sup>	ΔE	-2.91	kWh/m <sup>3</sup>	ΔE	-22.63	kWh/m <sup>3</sup>

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τιμή πώλησης της kWh είναι 0.25 €, το όφελος στην περίπτωση λειτουργίας του MBR σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 0.027 €/ m<sup>3</sup> αποβλήτων.

## 5. Ισοζύγιο Νερού

### 5.1 Παραγόμενα νοσοκομειακά υγρά απόβλητα ΠΑΓΝΗ με στοιχεία κατανάλωσης νερού από ΔΕΥΑΗ

Το σύνολο των προαναφερόμενων δραστηριοτήτων και παρεχόμενων υπηρεσιών του ΠΑΓΝΗ δημιουργεί αναπόφευκτα υγρά απόβλητα ανθρωπογενή και νοσοκομειακά υγρά απόβλητα.

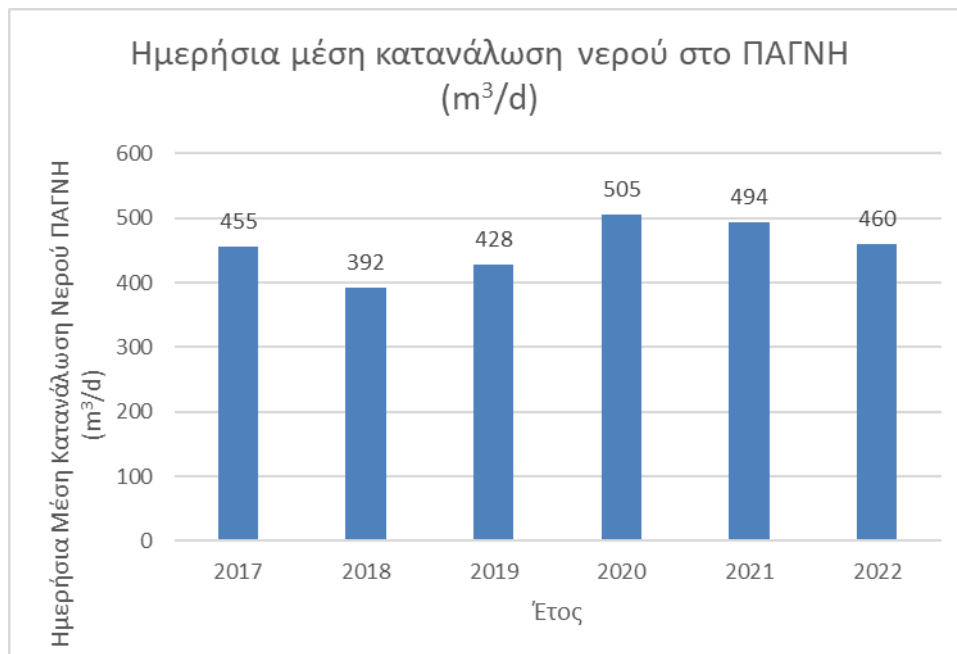
Σύμφωνα με στοιχεία από τη **Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Ηρακλείου (ΔΕΥΑΗ)**, η οποία υδροδοτεί το ΠΑΓΝΗ, η ετήσια κατανάλωση νερού τα τελευταία έτη, αποτυπώνεται στον **Πίνακα 15** που ακολουθεί.

**Πίνακας 15:** Κατανάλωση νερού ΠΑΓΝΗ από υδροδότηση ΔΕΥΑΗ

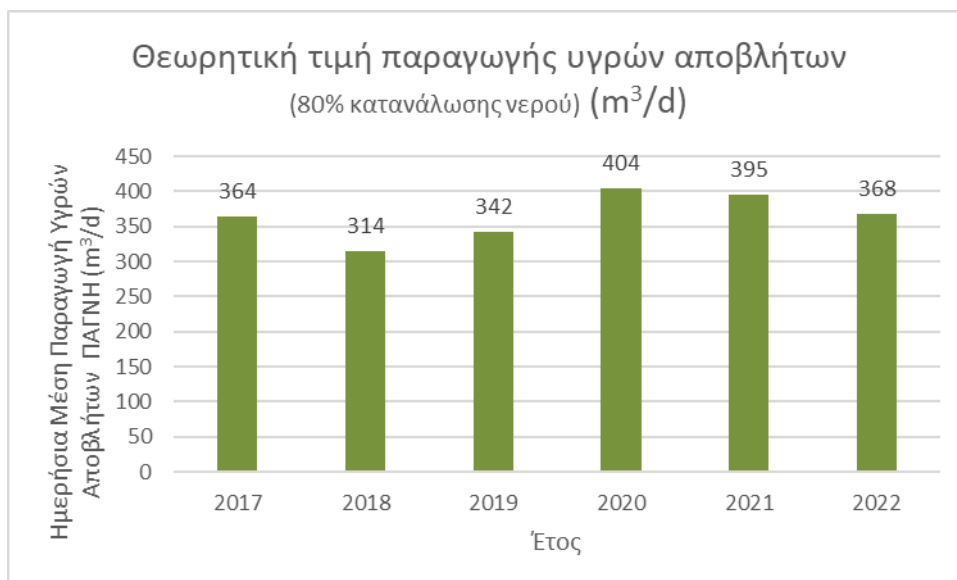
Έτος	Τρίμηνο	Κατανάλωση (m <sup>3</sup> )	Ετήσια Κατανάλωση (m <sup>3</sup> )	Μέση Κατανάλωση (m <sup>3</sup> /d)	Θεωρητική τιμή παραγωγής υγρών αποβλήτων (80% κατανάλωσης νερού) σε m <sup>3</sup> /d
2017	1	41,812	166,167	455	364
	2	45,219			
	3	45,679			
	4	33,457			
2018	1	32,637	143,052	392	314
	2	34,838			
	3	35,794			
	4	39,783			
2019	1	46,071	156,207	428	342
	2	39,166			
	3	23,938			
	4	47,032			
2020	1	40,079	184,298	505	404
	2	60,089			
	3	41,635			
	4	42,495			
2021	1	52,739	180,232	494	395
	2	45,407			
	3	40,872			
	4	41,214			
2022	1	42,497	168,048	460	368
	2	41,527			
	3	42,497			
	4	41,527			
<b>Μέση Τιμή:</b>					<b>365</b>

Με την παραδοχή ότι το 80% του νερού που καταναλίσκεται για τις αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες καταλήγει στην αποχέτευση, άρα γίνονται υγρά απόβλητα, ο όγκος των υγρών αποβλήτων που παράγονται κατά μέσο όρο ημερησίως στο ΠΑΓΝΗ εκτιμάται στα: **365 m<sup>3</sup>/d**.

Η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού στο ΠΑΓΝΗ, σύμφωνα με στοιχεία υδροδότησης από τη ΔΕΥΑΗ για τα έτη 2017- 2022, δίνεται στο **Διάγραμμα 06**, ενώ η αντίστοιχη θεωρητική προσέγγιση για την παραγωγή των νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ, αποτυπώνεται στο **Διάγραμμα 07**.

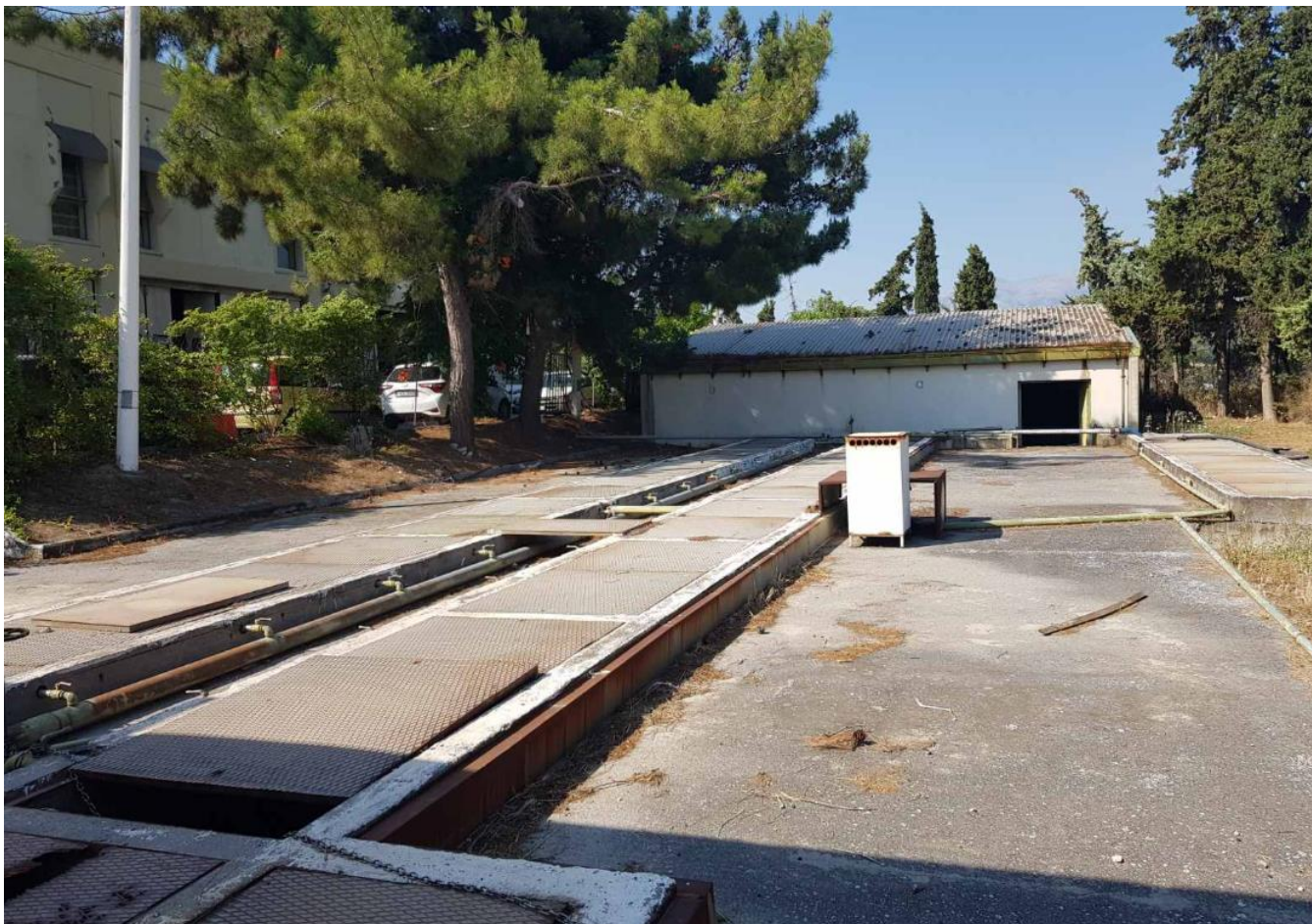


**Διάγραμμα 06:** Μέση ημερήσια κατανάλωση νερού στο ΠΑΓΝΗ, σύμφωνα με στοιχεία υδροδότησης από τη ΔΕΥΑΗ για τα έτη 2017- 2022



**Διάγραμμα 07:** Θεωρητική εκτίμηση μέσης ημερήσιας παραγωγής νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ για τα έτη 2017- 2022

Μέχρι σήμερα, τα υγρά νοσοκομειακά απόβλητα του ΠΑ.Γ.Ν.Η (<https://www.pagni.gr/>) οδηγούνται σε μια επιτόπια συμβατική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (**Εικόνα 03**), εντός του Νοσοκομείου, για την απομάκρυνση των τυπικών ρύπων (οργανικό φορτίο, στερεά) και στη συνέχεια μέσω του αποχετευτικού δικτύου καταλήγουν στην κεντρική Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της πόλης.



**Εικόνα 03:** Υπάρχουσα συμβατική εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ΠΑΓΝΗ

## 5.2 Μέτρηση ροής αποβλήτων από επιλεγμένα σημεία στο ΠΑΓΝΗ

### 5.2.1 Μεθοδολογία

Κατά τη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων:

- ➔ **25-26.01.2023** (25.01.23: Εφημερία, 26.01.23: Μη Εφημερία)
- ➔ **28-29.03.2023** (28.03.23: Εφημερία, 29.03.23: Μη Εφημερία)


Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία για την ογκομέτρηση της παροχής των παραγόμενων νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων του ΠΑΓΝΗ, σε ημέρα εφημερίας και σε ημέρα μη εφημερία, τρεις φορές ημερησίως (πρωί 09.00 πμ, μεσημέρι 16.00 μμ, νύκτα 19.00μμ).

Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν πέντε (5) μετρήσεις του χρόνου πλήρωσης ενός δοχείου χωρητικότητας 20 L στην έξοδο της υπάρχουσας εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του ΠΑΓΝΗ, το οποίο είχε επιλεγεί ως κατάλληλο σημείο δειγματοληψίας.


### 5.2.2 Αποτελέσματα μετρήσεων ροής αποβλήτων ΠΑΓΝΗ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ροής των παραγόμενων νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ, σε ημέρα εφημερίας του νοσοκομείου και σε ημέρα μη εφημερίας του νοσοκομείου, αποτυπώνονται στους **Πίνακες 16, 17, 18** και **19** που ακολουθούν.

**Πίνακας 16:** Μέτρηση ροής αποβλήτων ΠΑΓΝΗ (25.01.2023, εφημερία νοσοκομείου)

					
<b>ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΑΓΝΗ</b>					
ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΑΞΗΣ: Τ4Η, «Επιτόπια Διαχείριση Νοσοκομειακών Υγρών Αποβλήτων με Στόχο τη Βελτίωση της Απόδοσης των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων και της Αξιοποίησης των Εκροών»					
ΔΙΚΑΙΟΥΧΟΣ (ΕΤΑΙΡΟΣ) 3: ΕΛΚΕ ΕΛΜΕΠΑ					
Ημερομηνία:	Τετάρτη, 25/01/2023	Εφημερία Νοσοκομείου (ΝΑΙ/ΟΧΙ)		ΝΑΙ	
A/A Μέτρησης	Χρόνος πλήρωσης δοχείου σταθερό όγκου (20 L) σε sec	Παροχή (L/sec)	Παροχή (L/h)	Παροχή (m3/d)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>9:00:00 πμ</b>				
1	3.00	6.67	24000.00	576.00	
2	3.00	6.67	24000.00	576.00	
3	2.75	7.27	26181.82	628.36	
4	2.85	7.02	25263.16	606.32	
5	3.00	6.67	24000.00	576.00	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	2.92	6.86	24689.00	593	
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>4:00:00 μμ</b>				
1	2.00	10.00	36000.00	864.00	
2	2.00	10.00	36000.00	864.00	
3	2.50	8.00	28800.00	691.20	
4	2.28	8.77	31578.95	757.89	
5	2.12	9.43	33962.26	815.09	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	2.18	9.24	33268.24	798	
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>7:00:00 μμ</b>				
1	1.65	12.12	43636.36	1047.27	
2	1.89	10.58	38095.24	914.29	
3	1.85	10.81	38918.92	934.05	
4	1.71	11.70	42105.26	1010.53	
5	1.83	10.93	39344.26	944.26	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	1.79	11.23	40420.01	970	
<b>ΓΕΝΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	2.30	9.11	32792.42	787	


**Πίνακας 17:** Μέτρηση ροής αποβλήτων ΠΑΓΝΗ (26.01.2023, μη εφημερία νοσοκομείου)

					
<u>ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΑΓΝΗ</u>					
ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΑΞΗΣ: Τ4Η, «Επιτόπια Διαχείριση Νοσοκομειακών Υγρών Αποβλήτων με Στόχο τη Βελτίωση της Απόδοσης των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων και της Αξιοποίησης των Εκρῶν»					
ΔΙΚΑΙΟΥΧΟΣ (ΕΤΑΙΡΟΣ) 3: ΕΛΚΕ ΕΛΜΕΠΑ					
Ημερομηνία:	Πέμπτη, 26/01/2023	Εφημερία Νοσοκομείου (ΝΑΙ/ΟΧΙ)			ΟΧΙ
A/A Μέτρησης	Χρόνος πλήρωσης δοχείου σταθερό όγκου (20 L) σε sec	Παροχή (L/sec)	Παροχή (L/h)	Παροχή (m3/d)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>9:00:00 πμ</b>				
1	3.15	6.35	22857.14	548.57	
2	3.34	5.99	21556.89	517.37	
3	3.13	6.39	23003.19	552.08	
4	2.82	7.09	25531.91	612.77	
5	3.33	6.01	21621.62	518.92	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	3.15	6.37	22914.15	550	
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>4:00:00 μμ</b>				
1	1.94	10.31	37113.40	890.72	
2	2.22	9.01	32432.43	778.38	
3	1.96	10.20	36734.69	881.63	
4	2.03	9.85	35467.98	851.23	
5	1.70	11.76	42352.94	1016.47	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	1.97	10.23	36820.29	884	
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>7:00:00 μμ</b>				
1	2.21	9.05	32579.19	781.90	
2	2.34	8.55	30769.23	738.46	
3	2.15	9.30	33488.37	803.72	
4	2.08	9.62	34615.38	830.77	
5	2.08	9.62	34615.38	830.77	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	2.17	9.23	33213.51	797	
<b>ΓΕΝΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	2.43	8.61	30982.65	744	

Πίνακας 18: Μέτρηση ροής αποβλήτων ΠΑΓΝΗ (28.03.2023, εφημερία νοσοκομείου)

Ημερομηνία:	Τρίτη, 28/03/2023	Εφημερία Νοσοκομείου (ΝΑΙ/ΟΧΙ)		ΝΑΙ	
Α/Α Μέτρησης	Χρόνος πλήρωσης δοχείου σταθερό όγκου (20 L) σε sec	Παροχή (L/sec)	Παροχή (L/h)	Παροχή (m <sup>3</sup> /d)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>9:00:00 μμ</b>				
1	4.42	4.52	16289.59	390.95	
2	3.83	5.22	18798.96	451.17	
3	2.74	7.30	26277.37	630.66	
4	2.68	7.46	26865.67	644.78	
5	2.76	7.25	26086.96	626.09	
6	2.91	6.87	24742.27	593.81	
7	2.04	9.80	35294.12	847.06	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>3.05</b>	<b>6.92</b>	<b>24907.85</b>	<b>598</b>	
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>4:00:00 μμ</b>				
1	2.37	8.44	30379.75	729.11	
2	2.00	10.00	36000.00	864.00	
3	1.64	12.20	43902.44	1053.66	
4	1.88	10.64	38297.87	919.15	
5	1.82	10.99	39560.44	949.45	
6	1.43	13.99	50349.65	1208.39	
7	2.01	9.95	35820.90	859.70	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>1.88</b>	<b>10.89</b>	<b>39187.29</b>	<b>940</b>	
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>7:00:00 μμ</b>				
1	1.84	10.87	39130.43	939.13	
2	1.72	11.63	41860.47	1004.65	
3	1.93	10.36	37305.70	895.34	
4	2.11	9.48	34123.22	818.96	
5	1.86	10.75	38709.68	929.03	
6	1.56	12.82	46153.85	1107.69	
7	1.83	10.93	39344.26	944.26	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>1.84</b>	<b>10.98</b>	<b>39518.23</b>	<b>948</b>	
<b>ΓΕΝΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2.26</b>	<b>9.59</b>	<b>34537.79</b>	<b>829</b>	

Πίνακας 19: Μέτρηση ροής αποβλήτων ΠΑΓΝΗ (29.03.2023, μη εφημερία νοσοκομείου)

					
<b>ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΑΓΝΗ</b>					
ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΑΞΗΣ: Τ4Η, «Επιτόπια Διαχείριση Νοσοκομειακών Υγρών Αποβλήτων με Στόχο τη Βελτίωση της Απόδοσης των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων και της Αξιοποίησης των Εκρөөών»					
ΔΙΚΑΙΟΥΧΟΣ (ΕΤΑΙΡΟΣ) 3: ΕΛΚΕ ΕΛΜΕΠΑ					
Ημερομηνία:	Τετάρτη, 29/03/2023	Εφημερία Νοσοκομείου (ΝΑΙ/ΟΧΙ)			ΟΧΙ
A/A Μέτρησης	Χρόνος πλήρωσης δοχείου σταθερό όγκου (20 L) σε sec	Παροχή (L/sec)	Παροχή (L/h)	Παροχή (m3/d)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>9:00:00 μμ</b>				
1	2.28	8.77	31578.95	757.89	
2	2.00	10.00	36000.00	864.00	
3	2.02	9.90	35643.56	855.45	
4	2.37	8.44	30379.75	729.11	
5	2.38	8.40	30252.10	726.05	
6	2.36	8.47	30508.47	732.20	
7	2.02	9.90	35643.56	855.45	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	2.20	9.13	32858.06	789	
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>4:00:00 μμ</b>				
1	1.58	12.66	45569.62	1093.67	
2	1.71	11.70	42105.26	1010.53	
3	1.45	13.79	49655.17	1191.72	
4	2.03	9.85	35467.98	851.23	
5	1.78	11.24	40449.44	970.79	
6	2.01	9.95	35820.90	859.70	
7	1.98	10.10	36363.64	872.73	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	1.79	11.33	40776.00	979	
<b>ΩΡΑ:</b>	<b>7:00:00 μμ</b>				
1	2.51	7.97	28685.26	688.45	
2	2.39	8.37	30125.52	723.01	
3	2.68	7.46	26865.67	644.78	
4	3.09	6.47	23300.97	559.22	
5	3.20	6.25	22500.00	540.00	
6	2.89	6.92	24913.49	597.92	
7	2.95	6.78	24406.78	585.76	
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	2.82	7.17	25828.24	620	
<b>ΓΕΝΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	2.27	9.21	33154.10	796	

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων (μέση τιμή μετρήσεων) αποτυπώνονται στον **Πίνακα 20** που ακολουθεί.

**Πίνακας 20:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων ροής αποβλήτων ΠΑΓΝΗ

Ροή Αποβλήτων (m <sup>3</sup> /d)	Εφημερία 25.01.23	Μη Εφημερία 26.01.23	Εφημερία 28.03.23	Μη Εφημερία 28.03.23
Ογκομέτρηση στις 9:00:00 πμ	593	550	598	789
Ογκομέτρηση στις 4:00:00 μμ	798	884	940	979
Ογκομέτρηση στις 7:00:00 μμ	970	797	948	620
Μέσος Όρος	<b>787</b>	<b>744</b>	<b>829</b>	<b>796</b>
Συνολικός Μέσος Όρος	<b>789</b>			

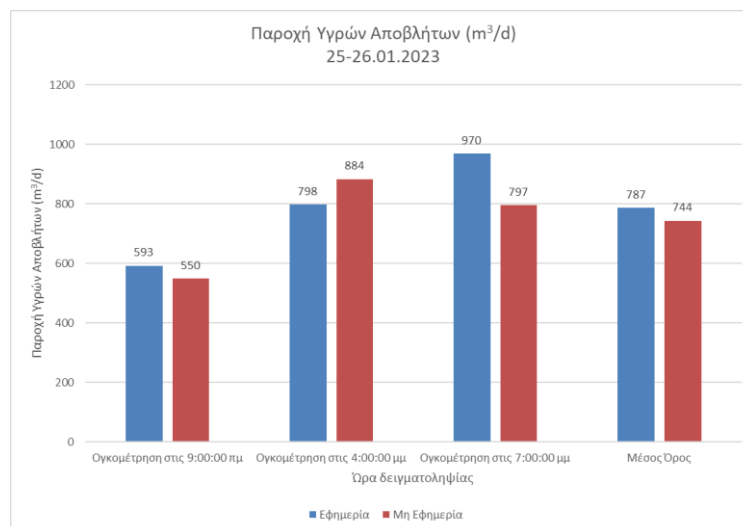
Σύμφωνα με τις προαναφερόμενες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, **η μέση ημερήσια παραγωγή** νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ στις ημέρες **εφημερίας** του νοσοκομείου (**Διάγραμμα 08**) ήταν:

- ✓ Στις 25.01.23: **787 m<sup>3</sup>/d**
- ✓ Στις 28.03.23: **829 m<sup>3</sup>/d.**

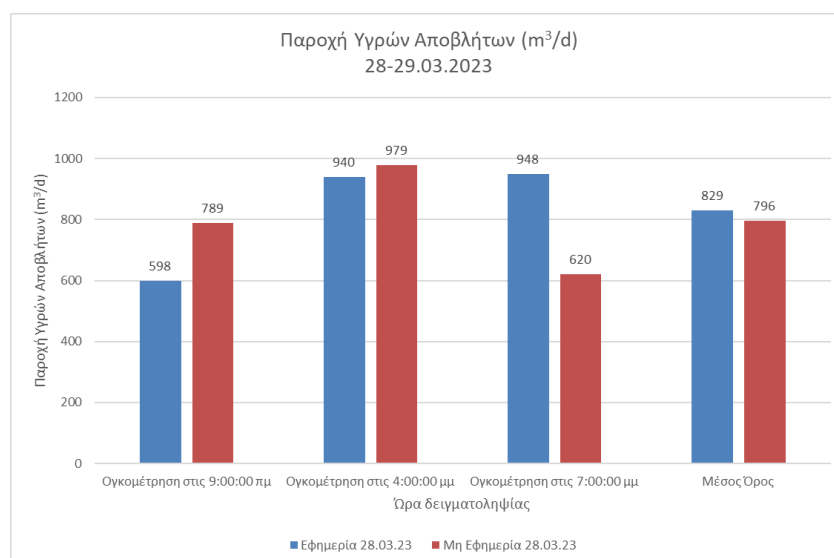
Η μέση ημερήσια παραγωγή νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ στις ημέρες μη εφημερίας του νοσοκομείου (**Διάγραμμα 09**) ήταν:

- ✓ Στις 26.01.23: **744 m<sup>3</sup>/d**
- ✓ Στις 29.03.23: **796 m<sup>3</sup>/d.**

Η μέση ημερήσια παραγωγή νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ, σε ημέρες εφημερίας και μη εφημερίας του νοσοκομείου, μετρήθηκε ίση με: **789 m<sup>3</sup>/d.**



**Διάγραμμα 08:** Μέση ημερήσια παραγωγή νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓNH στις ημέρες εφημερίας



**Διάγραμμα 09:** Μέση ημερήσια παραγωγή νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓNH στις ημέρες μη εφημερίας

### 5.2.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μετρήσεων ροής αποβλήτων ΠΑΓNH

Σύμφωνα με τις προαναφερόμενες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, **η μέση ημερήσια παραγωγή** νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓNH στις ημέρες **εφημερίας** του νοσοκομείου και στις ημέρες μη εφημερίας του νοσοκομείου δεν διαφοροποιούνται αρκετά.

Επίσης, η μέτρηση της μέσης ημερήσιας παραγωγή νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓNH, σε ημέρες εφημερίας και μη εφημερίας του νοσοκομείου (**789 m³/d**) διαφοροποιείται αρκετά σε σχέση με τη θεωρητική εκτίμηση της παραγωγής αποβλήτων από τα στοιχεία υδροδότησης της ΔΕΥΑΗ.

Συγκεκριμένα, όπως έχει προαναφερθεί, σύμφωνα με την παραδοχή ότι το 80% του νερού που καταναλίσκεται για τις αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες καταλήγει στην αποχέτευση, άρα γίνονται υγρά απόβλητα, ο όγκος των υγρών αποβλήτων που παράγονται κατά μέσο όρο ημερησίως στο ΠΑΓΝΗ εκτιμάται στα: **365 m<sup>3</sup>/d**.

Παρατηρείται μια απόκλιση στις δύο μεθόδους μέτρησης της ροής των αποβλήτων του ΠΑΓΝΗ, η οποία ανέρχεται στο **54%**, το οποίο αξιολογείται ως υψηλή απόκλιση. Ενδεχομένως, η παραγωγή των νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ κατά τη διάρκεια της νύκτας, που δεν πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχες μετρήσεις, να μειώνεται αρκετά. Αυτό δικαιολογείται και από το γεγονός ότι τα πλυντήρια του νοσοκομείου λειτουργούν πρωινές έως απογευματινές ώρες με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η παραγωγή των υγρών αποβλήτων και να εμφανίζεται η εν λόγω αύξηση.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα τα οποία μπορούν να εξαχθούν, σύμφωνα με τα προαναφερόμενα ευρήματα, καταγραφές και μετρήσεις, είναι τα παρακάτω:

- ✓ Τα **αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων** περιλαμβάνουν μονάδες οι οποίες είναι δυνατόν να εξυπηρετήσουν απομακρυσμένες και λιγότερο αναπτυγμένες περιοχές και οι οποίες δεν είναι εφικτό να συνδεθούν με ένα κεντρικό σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων και εμφανίζουν μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα (προστασία περιβάλλοντος και Δημόσιας, χαμηλό κόστος επένδυσης και κόστος λειτουργίας, προσαρμογή σε τοπικές συνθήκες).
- ✓ **Στόχος των αποκεντρωμένων συστημάτων διαχείρισης** υγρών αποβλήτων είναι η εκροή από τις μικρές μονάδες να επαναχρησιμοποιείται για άρδευση χώρων πρασίνου ή καλλιέργειών στον πλησιέστερο διαθέσιμο χώρο ή να διατίθενται τοπικά (στο έδαφος ή σε υδάτινο αποδέκτη). Η κατασκευή των μικρών αποκεντρωμένων συστημάτων αποδείχθηκε πιο εφικτή (οικονομικά και τεχνικά), ενώ η λειτουργία και συντήρησή τους αποδείχθηκε οικονομικότερη συγκριτικά με τα αντλιοστάσια και τα μεγάλα αποχετευτικά δίκτυα.
- ✓ **Οι δείκτες αξιολόγησης** που αναφέρονται στη βιβλιογραφία καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα (υγεία, περιβάλλον, τεχνολογία, οικονομία, κοινωνία, πολιτισμό).
- ✓ Για να μπορεί να εφαρμοσθεί ένα σύστημα αποκεντρωμένης επεξεργασίας λυμάτων, είναι απαραίτητη η επιλογή κατάλληλης τεχνολογίας επεξεργασίας η οποία θα πρέπει να πληροί ορισμένα κριτήρια (χωροταξικά, τεχνολογικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά, οικονομικά).
- ✓ Η (περιβαλλοντική) Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) είναι ένα εργαλείο το οποίο επιτρέπει την ποσοτική εκτίμηση και αξιολόγηση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος, διεργασίας ή υπηρεσίας.
- ✓ **Στόχος της εφαρμογής της τεχνικής LCA** είναι να υπολογιστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ενώ παράλληλα με μια σειρά από ενέργειες να αντισταθμιστούν οι συγκεκριμένες εκπομπές έτσι ώστε να παράγουν προϊόντα κλιματικά ουδέτερα (*carbon neutral*).
- ✓ Η πιλοτική μονάδα επεξεργασίας νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων που λειτουργεί στο ΠΑΓΝΗ, σύμφωνα με την LCA τεχνική, συνεισφέρει στους τομείς επιπτώσεων: **ευτροφισμός, οικοτοξικότητα προς τα γλυκά ύδατα, τοξικότητα προς τον άνθρωπο, θαλάσσια οικοτοξικότητα και χερσαία οικοτοξικότητα.**
- ✓ Αναφορικά με το **ενεργειακό αποτύπωμα** της πιλοτικής μονάδας ΠΑΓΝΗ, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυτής ανέρχεται στις: 36.604,03 kWh, οι εκπομπές CO<sub>2-eq</sub> συνολικά ανέρχονται στους **27,82 tCO<sub>2-eq</sub>** σύμφωνα με την **τυπική προσέγγιση** και στους **29.65 tCO<sub>2-eq</sub>** σύμφωνα με την **LCA προσέγγιση**.
- ✓ Το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της αντίστοιχης παραγωγής CO<sub>2</sub> προέρχεται κατά **89,74% από τη διεργασία του MBBR** αντιδραστήρα και στη συνέχεια ακολουθεί η διεργασία της **αναερόβιας επεξεργασίας (AnMBR) με ποσοστό (8,36%)**. Οι υπόλοιπες διεργασίες συμμετέχουν κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό (<1%).

- ✓ Αναφορικά με τον αναερόβιο βιοαντιδραστήρα, είναι εφικτό να παραχθεί ενέργεια από τον MBR, ωστόσο δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες λειτουργίας του, οπότε απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο. Ακόμη και στο σενάριο που δεν καταναλώνεται ενέργεια για την θέρμανση των υγρών αποβλήτων απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια: 1,75 kWh/m<sup>3</sup>. Στην περίπτωση της θέρμανσης σε μεσόφιλες θερμοκρασίες (35 °C) η συνολική ενέργεια που απαιτείται είναι 22.63 kWh/m<sup>3</sup>, ενώ για αύξηση της θερμοκρασίας κατά +1 °C απαιτείται ενέργεια ίση με: 2.91 kWh/m<sup>3</sup>.
- ✓ Αναφορικά με το **ισοζύγιο νερού** στο ΠΑΓΝΗ, σύμφωνα με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η μέση ημερήσια παραγωγή νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ στις ημέρες εφημερίας του νοσοκομείου και στις ημέρες μη εφημερίας του νοσοκομείου δεν διαφοροποιούνται αρκετά.
- ✓ Επίσης, η μέτρηση της μέσης ημερήσιας παραγωγή νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ, σε ημέρες εφημερίας και μη εφημερίας του νοσοκομείου (**789 m<sup>3</sup>/d**) διαφοροποιείται αρκετά σε σχέση με τη θεωρητική εκτίμηση της παραγωγής αποβλήτων από τα στοιχεία υδροδότησης της ΔΕΥΑΗ.
- ✓ Σύμφωνα με την παραδοχή ότι το 80% του νερού που καταναλίσκεται για τις αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες καταλήγει στην αποχέτευση, άρα γίνονται υγρά απόβλητα, ο όγκος των υγρών αποβλήτων που παράγονται κατά μέσο όρο ημερησίως στο ΠΑΓΝΗ εκτιμάται στα: **365 m<sup>3</sup>/d**.
- ✓ Παρατηρείται μια **απόκλιση στις δύο μεθόδους μέτρησης της ροής των αποβλήτων** του ΠΑΓΝΗ, η οποία ανέρχεται στο **54%**, το οποίο αξιολογείται ως υψηλή απόκλιση. Ενδεχομένως, η παραγωγή των νοσοκομειακών υγρών αποβλήτων στο ΠΑΓΝΗ κατά τη διάρκεια της νύκτας, που δεν πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχες μετρήσεις, να μειώνεται αρκετά. Αυτό δικαιολογείται και από το γεγονός ότι τα πλυντήρια του νοσοκομείου λειτουργούν πρωινές έως απογευματινές ώρες με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η παραγωγή των υγρών αποβλήτων και να εμφανίζεται η εν λόγω αύξηση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A. Αγγελάκης, Γ. Διαλυνάς, Μ. Μαυροφοράκης, Γ. Τσομπάνογλου (1995), «Αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης αστικών υγρών αποβλήτων», Πρακτικά συνεδρίου «Τεχνολογία περιβάλλοντος για το Μεσογειακό χώρο», σελ. 419- 427, Βιβλιοθήκη ΤΕΕ, Αθήνα.
- Κούγκουλος Α., 2006 'Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική' Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Λεπτίδου Ν., 1997, 'Εφαρμογές Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων', Πρακτικά Συνεδρίου της Ε.Π.Ε.Τ II με θέμα 'Συστήματα Διάθεσης και Επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων', Θεσσαλονίκη.
- Μ. Χατζάκης, 2003, Αξιολόγηση συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μικρής και μεσαίας κλίμακας, Μεταπτυχιακή εργασία, Βιβλιοθήκη Δ.Π.Μ.Σ. Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, σελ. 20-55, Ε.Μ.Π.
- Παπαδόπουλος Α., Παπαδόπουλος Φ., 'Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων με Δεξαμενές Σταθεροποίησης' ΤΕΕ, 1998.
- Χρ. Κορωναίος, "Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Η ολοκληρωμένη Περιβαλλοντική Προσέγγιση στην Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη", Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) του Ε.Μ.Π. "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ".
- Angelakis, A.N. and Koutsoyiannis, D. 2003. Urban Water Resources Management in Ancient Greek Times. The Encycl. Of Water Sci., Markel Dekker Inc., (B.A. Stewart and T. Howell, Eds.), Madison Ave. New York, N.Y., USA, p. 999-1008.
- Chen, R., Wen, W., Jiang, H., Lei, Z., Li, M. Li, Y-Y. (2019) Energy recovery potential of thermophilic high-solids co-digestion of coffee processing wastewater and waste activated sludge by anaerobic membrane bioreactor *Bioresour. Technol.*, 274, 127-133.
- Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Part III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 692 pp.
- Hardi, P. and Zdan T., Assessing Sustainable Development. Principles in Practice. Winnipeg, Manitoba, Canada, International Institute for Sustainable Development, 1997.
- Huijbregts, M.A.J.; Breedveld L.; Huppes, G.; De Koning, A.; Van Oers, L.; Suh, S. 2003. Normalisation figures for environmental life-cycle assessment: The Netherlands (1997/1998), Western Europe (1995) and the World (1990 and 1995). *Journal of Cleaner Production* 11 (7): 737-748.
- ISO 14040 (2006), Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, International Organisation for Standardisation (ISO), Geneve.
- ISO 14044 (2006), Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines, International Organisation for Standardisation (ISO), Geneve.

- Lantz, M. (2012) The economic performance of combined heat and power from biogas produced from manure in Sweden - a comparison of different CHP technologies. *Applied Energy*, 98, 502-511,
- Meister, M., Rezavand, M., Ebner, C., Pümpel, T., Rauch, W. (2018) Mixing non-Newtonian flows in anaerobic digesters by impellers and pumped recirculation. *Adv. Eng. Soft.*, 115, 194-203.
- Xiao, B., Qin, Y., Wu, J., Chen, H., Yu, P., Liu, J., Li, Y.Y. (2018) Comparison of single-stage and two-stage thermophilic anaerobic digestion of food waste: performance, energy balance and reaction process. *Energy Convers. Manag.* 156, 215–223.

#### **Διαδικτυακοί Ιστότοποι**

- <https://www.pagni.gr/>
- <https://www.t4h-project.eu/>
- <https://eu-mayors.ec.europa.eu/en/home>
- <https://www.openlca.org/>