

Πτυχιακή Εργασία

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΗΝ Μ.Ε.Α.Υ.Α. ΤΗΣ ΠΑΦΟΥ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΠΕΛΟΠΙΔΑΣ ΠΟΓΙΑΤΖΕΑΣ
ΑΡ.ΜΗΤΡΩΟΥ :1182402155

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ Ιωσήφ Εμμ Καπελλάκης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της παρούσας πτυχιακής εργασίας, και Καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Κον Δρ Ιωσήφ Καπελλάκη για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για τις πολύτιμες συμβουλές και τις υποδείξεις κατά την διάρκεια της εκπόνησης. Τέλος, ευχαριστώ και αφιερώνω την διπλωματική μου εργασία στην οικογένεια μου για την συμπαράσταση και την κατανόηση που μου έδειξαν κατά την συγγραφή αλλά και καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η προστασία του Περιβάλλοντος και η διασφάλιση της αειφορίας έχουν αποτελέσει βασικούς στόχους για όλα τα Ανεπτυγμένα Κράτη. Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτει συγκεκριμένους στόχους και καθορίζει αναλυτικό χρονικό πλαίσιο για την επίτευξή τους. Η έντονη αστικοποίηση και η ανάγκη διασφάλισης της δημόσιας υγείας αλλά και η ταυτόχρονη προστασία του Περιβάλλοντος έχει οδηγήσει στην κατασκευή σύγχρονων Συστημάτων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Η ολοκληρωμένη επεξεργασία των Υγρών Αποβλήτων ώστε να μπορούν να διατίθενται οι εκροές δίχως επιβάρυνση των αποδεκτών έχει εφαρμοστεί σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες και η Ευρωπαϊκή Ένωση πλέον θέτει στόχους ώστε παράλληλα με την επεξεργασία να ανακτώνται και νέα, χρήσιμα προϊόντα σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας.

Η κυκλική οικονομία (CE) έχει ως βασική αρχή τα προϊόντα, τα υλικά και οι πρώτες ύλες να παραμένουν στην γραμμή παραγωγής και κατ' επέκταση την οικονομία, για όσο το δυνατόν περισσότερο. Στόχος της είναι η βελτιστοποίηση των λειτουργιών του κύκλου του συστήματος ελαχιστοποιώντας τους πόρους που διαφεύγουν από αυτό [26]. Επιπρόσθετα, τα παραγόμενα απόβλητα από την παραγωγική διαδικασία αντιμετωπίζονται ως δευτερεύοντα-‘νέα’ υλικά και ανακυκλώνονται ώστε μετά την επεξεργασία να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν [8].

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μία μελέτη περίπτωσης (case study) για την περιοχή της Πάφου. Η Κύπρος είναι μία από τις περιοχές της Ευρώπης που αντιμετωπίζουν έντονα φαινόμενα λειψυδρίας λόγω των εκτεταμένων περιόδων ξηρασίας, φαινόμενο που αναμένεται να ενταθεί λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η έλλειψη διαθέσιμων υδάτινων πόρων είναι μία βασική πτυχή της ζωής στην Κύπρο, όπου η περιορισμένη προσφορά, η έντονη αστικοποίηση και η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, έχουν δημιουργήσει την ανάγκη εύρεσης λύσεων, ώστε οι κάτοικοι να μην εξαρτώνται από τις βροχοπτώσεις. Οι εταιρίες ύδρευσης έχουν δεσμευτεί να ενσωματώσουν τις αρχές της κυκλικής οικονομίας του νερού σε όλα τα συστήματα και τις λειτουργίες τους, ώστε να επωφελούνται οι πελάτες και κατ' επέκταση οι κοινότητες. Μια προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας στο νερό μπορεί να δημιουργηθεί μέσω της συνολικής στρατηγικής ενός οργανισμού, και με την τήρηση

ευρύτερων στόχων. Οι στόχοι αφορούν την βιώσιμη ανάπτυξη (Sustainable Development Goals-SDG), τις προσεγγίσεις διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων ολόκληρης της ζωής, την ασφάλεια εφοδιασμού βασικών υλικών, τη λογιστική για το φυσικό κεφάλαιο, την οικοδόμηση, και την αποδοτικότητα του κόστους ολόκληρης της ζωής.

Αυτοί οι διαφορετικοί παράγοντες μπορούν στη συνέχεια να κοινοποιηθούν στους καταναλωτές μέσω καινοτόμων προσεγγίσεων των πελατών και των εμπλεκόμενων μερών, προκειμένου να καθοριστούν και τα κονδύλια που θα διατεθούν κατά περίπτωση. Η προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας νερού, έχει σχεδιαστεί για να διατηρεί τα υλικά στην υψηλότερη δυνατή αξία για όσο το δυνατόν περισσότερο, επανατοποθετώντας και ανακυκλώνοντάς τα μόλις φτάσουν στο τέλος της λειτουργικής τους ζωής. Με την υιοθέτηση αυτής της προσέγγισης, οι οργανώσεις του τομέα συμβάλλουν στη δημιουργία πιο βιώσιμης ροής υλικών στα συστήματα και στη βιομηχανία. τη μείωση των κινδύνων εφοδιασμού και την αστάθεια των τιμών για το νερό και άλλους ιδιοκτήτες και φορείς εκμετάλλευσης υποδομών αλλά και την εξοικονόμηση κόστους.

Η παρούσα εργασία αναλύει την ορθή διαχείριση των υγρών αποβλήτων ώστε να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν μετά από ολοκληρωμένη επεξεργασία για την κάλυψη αναγκών σύμφωνα πάντα με την κείμενη Νομοθεσία.

Η πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει, εκτός του θεωρητικού πλαισίου, την αναλυτική παρουσίαση της Μονάδας Επεξεργασίας των Υγρών Αποβλήτων της Πάφου. Παρουσιάζεται η υφιστάμενη μονάδας Επεξεργασίας των Υγρών Αποβλήτων και προτείνονται οι επεκτάσεις που θα πρέπει να κατασκευαστούν ώστε η εκροή του συστήματος να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας του νερού για την αντιμετώπιση του φαινομένου της λειψυδρίας. Αναλύονται τα οφέλη που προδίδονται μέσω της επαναχρησιμοποίησης του νερού για ύδρευση και άρδευση. Τέλος, γίνεται αναφορά στην νομοθεσία και τα κριτήρια που πρέπει να πληροί η εκροή καθώς και στους ενδεχόμενους κινδύνους που παρουσιάζονται στην περίπτωση μη ορθής επεξεργασίας.

Summary

Protecting the environment and ensuring sustainability have been key objectives for all developed countries. The European Union sets specific objectives and sets a detailed timeframe in order to achieve them. The urbanization and the need to ensure public health in addition to the simultaneous protection of the Environment has led to the construction of Wastewater Treatment Plants. The integrated treatment of wastewater so that the effluents can be disposed of treated to the recipients has been implemented in all developed countries and the European Union now sets targets for the recycling of new, useful products according to the principles of circular economy (CE).

The basic principle of CE is to keep products, materials and raw materials on the production line, and consequently the economy, for as long as possible. Its aim is to optimize the functions of the system cycle by minimizing the resources that escape from it. In addition, waste and wastewater generated by the production process is treated as secondary-‘new’ materials and recycled so they can be reused after treatment.

This dissertation is a case study for the Paphos area. Cyprus is one of the regions in Europe that experiences severe water shortages due to the extended droughts, a phenomenon that is expected to intensify due to climate change. The lack of available water resources is a key aspect of life in Cyprus, where limited supply, intense urbanization and rapid population growth have created the need to find solutions so that residents do not depend on rainfall. Water companies are committed to integrating the principles of circular water economy into all their systems and operations, to the benefit of customers and consequently communities. An approach to the circular water economy can be created through an organization's overall strategy, and by meeting broader goals. The objectives are Sustainable Development Goals (SDGs), lifelong asset management approaches, security of core materials, physical capital accounting, construction, and lifetime cost-effectiveness.

The consumers are being informed for these different factors through innovative approaches by customers and stakeholders, in order to determine the funds that will

be allocated on a case-by-case basis. The circular water economy approach is designed to keep materials at the highest possible value for as long as possible, repositioning and recycling them as soon as they reach the end of their operational life. By adopting this approach, the water organizations are contributing to a more sustainable flow of materials into systems and the industry, they are reducing supply risks and price volatility for water and other infrastructure owners and operators as well as cost savings.

This dissertation analyzes the proper management of wastewater so that they can be used after treatment for other purposes, always in accordance with current legislation.

The dissertation includes, in addition to the theoretical framework, a detailed presentation of Paphos Wastewater Treatment Plant. The existing Wastewater Treatment Plant is presented and further extensions are proposed for construction so that the effluent of the system can be used in accordance with the principles of circular water economy to address the phenomenon of water scarcity. The benefits of the reuse of water effluent for irrigation are analyzed. Finally, reference is made to the legislation and the criteria that the effluent must meet as well as to the potential risks that arise in the event of ineffective treatment of the wastewater.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</u>	2
<u>Περίληψη</u>	3
<u>Summary</u>	5
<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	7
<u>Συντομογραφίες</u>	9
<u>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</u>	11
<u>1.1. Εισαγωγή</u>	11
<u>1.2. Υγρά απόβλητα</u>	13
<u>Κεφάλαιο 2: Κυκλική Οικονομία των Υγρών Αποβλήτων</u>	17
<u>2.1 Εισαγωγή</u>	17
<u>2.2. Ανάκτηση πόρων σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων</u>	20
<u>2.2.1. Ανάκτηση θρεπτικών συστατικών</u>	20
<u>2.2.2. Επαναχρησιμοποίηση Νερού</u>	21
<u>2.2.3. Ανάκτηση Ενέργειας</u>	23
<u>2.2.4. Άλλες πρώτες ύλες που ανακτώνται</u>	25
<u>2.2.5. SMART πόλεις σύμφωνες με την κυκλική οικονομία</u>	26
<u>Κεφάλαιο 3: Μελέτη Περίπτωσης της Κύπρου</u>	28
<u>3.1. Εισαγωγή</u>	28
<u>3.2. Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης</u>	28
<u>3.3. Στατιστικά Στοιχεία</u>	29
<u>3.4. Ιστορική Αναδρομή</u>	32
<u>3.5. Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων</u>	33
<u>3.6. Κλιματολογικές συνθήκες</u>	34
<u>3.7. Το θεσμικό Πλαίσιο</u>	35
<u>Κεφάλαιο 4: Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου</u>	36
<u>4.1. Συμβούλιο Αποχετεύσεων Πάφου (Σ.Α.ΠΑ)</u>	36
<u>4.1.1. Χρονολόγηση Έργων του Αποχετευτικού και της ΜΕ.Α.Υ.Α. Πάφου</u>	37
<u>4.1.2. Οφέλη του Αποχετευτικού Συστήματος- Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου</u>	37
<u>4.1.3. Συντήρηση του Συστήματος- Υποχρεώσεις Σ.Α.ΠΑ</u>	38
<u>4.1.4. Κανονισμοί για τους Πολίτες</u>	38
<u>4.2. Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου</u>	39

<u>4.2. Οδηγία της Κύπρου για την διαχείριση των Λυμάτων</u>	44
<u>4.3. Παρουσίαση της Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου- Αποδόσεις Συστήματος</u>	47
<u>4.3.1. Εισαγωγή</u>	47
<u>4.3.2. Επίσκεψη Εγκατάστασης</u>	47
<u>4.3.3. Αποδόσεις Συστήματος</u>	64
<u>Κεφάλαιο 5: Θετικές επιπτώσεις και κίνδυνοι από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων</u>	73
<u>5.1. Γενικά</u>	73
<u>5.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων</u>	73
<u>5.2.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο έδαφος από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων</u>	74
<u>5.2.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον υδροφόρο ορίζοντα από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων</u>	74
<u>5.2.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από άλλες χρήσεις</u>	75
<u>5.5. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην γεωργία από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων</u>	75
<u>5.6. Κίνδυνοι για την Δημόσια Υγεία από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων</u> .	76
<u>5.7.Οφέλη από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων</u>	77
<u>Κεφάλαιο 6: Συζήτηση και Συμπεράσματα</u>	78
<u>Βιβλιογραφία</u>	80

Συντομογραφίες

Ενεργού Ιλύος	E.I.
Αιωρούμενα στερεά (Total Suspended Solids)	TSS
Biological oxygen demand (5 days)	BOD5
Chemical oxygen demand	COD
Δεξαμενή Αερισμού	Δ.Α.
Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης	Δ.Δ.Κ.
Δεξαμενή Τριτοβάθμιας Καθίζησης	Δ.Τ.Κ.
Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων	Μ.Ε.Α.Υ.Α
Κυκλική οικονομία (Circular Economy)	C.E
Ευρωπαϊκή ένωση	E.E
Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας	Π.Ο.Υ.- W.H.O.
Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής	E.P.A.
Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού	Δ.Ε.Η.
Μεθάνιο	CH ₄
Ολικό άζωτο	TN
Τεχνολογίες συστημάτων συμπαραγωγής παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας	Combined Heat and Power-CHP

Μέθοδοι θερμικής υδρόλυσης	Thermal Hydrolysis Process-THP
βιολογικές κυψέλες καυσίμου	Biological Fuel Cells-BFCs
Συμβούλιο Αποχετεύσεων Πάφου	Σ.Α.ΠΑ
πτητικά αιωρούμενα στερεά μικτού υγρού (Mixed liquor volatile suspended solids)	MLVSS
polyhydroxyalkanoates	PHA
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	H.A. (E.C.)
Ισοδύναμοι κάτοικοι	I.K.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Εισαγωγή

Η ταχύτατη ανάπτυξη της τεχνολογίας, σε συνδυασμό με την εντατικοποίηση του φαινομένου της αστικοποίησης, οδήγησαν στην ημερήσια παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων υγρών αποβλήτων από οικίες και επιχειρήσεις. Στο σύνολό τους τα υγρά απόβλητα πρέπει να συλλέγονται μέσω του αποχετευτικού συστήματος και να οδηγούνται σε μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ώστε να διασφαλίζεται η δημόσια υγεία και η αειφορία. Στα υγρά απόβλητα από επιχειρήσεις και βιομηχανίες γίνεται προεπεξεργασία στο πεδίο, ώστε να έχουν φυσικοχημικά χαρακτηριστικά αντίστοιχα των αστικών υγρών αποβλήτων, και στην συνέχεια οδηγούνται στους δημόσιους βιολογικούς καθαρισμούς για ολοκληρωμένη επεξεργασία, είτε γίνεται ολοκληρωμένη επεξεργασία από τους ιδιώτες, και η εκροή διατίθεται στο περιβάλλον.

Η τυπική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στοχεύει στην αφαίρεση του άνθρακα, οργανικού και ανόργανου, και στην μείωση της παθογένειας τους, ώστε η εκροή να μην εγκυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία. Η Ευρωπαϊκή Ένωση προσπαθώντας να μειώσει το φαινόμενο του ευτροφισμού στους αποδέκτες, καθιέρωσε την επεξεργασία υγρών αποβλήτων με βιολογικές αλλά και χημικές μεθόδους με στόχο την αφαίρεση του φωσφόρου και του αζώτου. Επιπρόσθετα στα μεγάλα αστικά κέντρα καθώς και στις προστατευόμενες και ευαίσθητες περιβαλλοντικά περιοχές έχει θεσμοθετηθεί η τριτοβάθμια επεξεργασία ώστε η εκροή να μην επιβαρύνει τον αποδέκτη, αλλά και την υγεία και την ποιότητα ζωής των πολιτών.

Με την εξέλιξη της έρευνας και της τεχνολογίας η επιστημονική κοινότητα πλέον έχει καταφέρει να παρέχει συστήματα ολοκληρωμένης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Επόμενος στόχος είναι η ανάκτηση χρήσιμων ουσιών από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Η τεχνολογική πρόοδος επιτρέπει μέσω κατάλληλης επεξεργασίας των λυμάτων, να ανακτάται εκροή η οποία είναι ποιοτικά κατάλληλη ώστε να ανατροφοδοτεί το δίκτυο ύδρευσης και να παρέχει πόσιμο νερό στους κατοίκους [2]. Ωστόσο, θα πρέπει να διασφαλίζεται η αποδοτικότητα της επεξεργασίας ώστε το παραγόμενο νερό να μην περιέχει μικροοργανισμούς και άλλα στοιχεία που μπορούν να βλάψουν την δημόσια υγεία. Επιπρόσθετα, αν και η

ολοκληρωμένη επεξεργασία για την παραγωγή πόσιμου νερού φαντάζει δελεαστική ιδέα, η εφαρμογή της προορίζεται για απομονωμένες περιοχές, νησιά που δεν έχουν μεγάλα αποθέματα γλυκού νερού και περιοχές με έντονα προβλήματα λειψυδρίας. Το πολύ υψηλό κόστος καθώς και η επίβλεψη του συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων από εξειδικευμένους μηχανικούς, και η διενέργεια τακτικών ελέγχων έχουν οδηγήσει στην περιορισμένη χρήση τέτοιων τεχνολογιών.

Το βασικότερο πρόβλημα των Μεσογειακών Χωρών είναι τα φαινόμενα λειψυδρίας που επικρατούν. Η Κύπρος είναι ένα από τα μεγαλύτερα νησιά της Μεσογείου και τα αποθέματα του γλυκού νερού της είναι περιορισμένα. Επιπρόσθετα, έχει περιορισμένες βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα οι υπόγειοι υδροφορείς της να μην τροφοδοτούνται από επαρκείς ποσότητες βρόχινου νερού. Το πρόβλημα εντείνεται και από τις χρήσεις γης, καθώς μεγάλο τμήμα της καλλιεργείται από γεωργούς. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, οι κάτοικοι του νησιού δεν έχουν επαρκείς ποσότητες νερού τόσο για ύδρευση όσο και για την κάλυψη των αρδευτικών και λοιπών βιομηχανικών αναγκών.

Σε μία προσπάθεια παροχής νερού για την κάλυψη των αναγκών του νησιού έχουν κατασκευαστεί μονάδες αφαλάτωσης, μια τεχνολογία που δεν χρησιμοποιείται ευρέως λόγω του υψηλού κόστους τόσο κατά την εγκατάσταση όσο και κατά την λειτουργία των μονάδων [1]. Το νησί διαθέτει και τριτοβάθμιες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, η εκροή των οποίων χρησιμοποιείται για βιομηχανική χρήση και άρδευση. Έως και σήμερα δεν υπάρχει μονάδα στην Κύπρο που να επεξεργάζεται υγρά απόβλητα σε τέτοιο βαθμό, ώστε η εκροή να χρησιμοποιείται για την ύδρευση.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση του υφιστάμενου συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της πόλης της Πάφου, αλλά και να προταθούν τροποποιήσεις ώστε η εκροή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς ύδρευσης και άρδευσης, με σκοπό την αντιμετώπιση των έντονων φαινομένων λειψυδρίας.

Γίνεται εκτενής αναφορά στις μεθόδους επεξεργασίας του βιολογικού καθαρισμού της Πάφου. Επίσης προτείνονται βελτιώσεις και επεκτάσεις του συστήματος

επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με γνώμονα την παραγωγή εκροής η οποία δεν θα εγκυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Επιπρόσθετα, αναλύεται η έννοια της κυκλικής οικονομίας του νερού καθώς και τα οφέλη που προκύπτουν από αυτή. Τέλος παρουσιάζονται τα σημεία κλειδιά- κίνδυνοι που ελλοχεύει η ανεπαρκής επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που προορίζονται για επαναχρησιμοποίηση καθώς και το Νομοθετικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την επεξεργασία νερού για ύδρευση και άρδευση.

1.2. Υγρά απόβλητα

Ως υγρά απόβλητα ορίζεται το σύνολο των υγρών απορροών και των ρύπων που μεταφέρονται στην υγρή φάση και απομακρύνονται από βιομηχανίες, εμπορικά καταστήματα, οικίες καθώς και υπόγεια, επιφανειακά και όμβρια ύδατα [2]. Πρέπει να αναφερθεί ότι τα σύγχρονα συστήματα αποχέτευσης των πόλεων αναλόγως τις συνθήκες διαθέτουν είτε χωριστό δίκτυο για τα υγρά απόβλητα από οικίες και βιομηχανίες, ενώ τα υπόγεια, επιφανειακά και τα όμβρια ύδατα μεταφέρονται μέσω άλλου δικτύου, είτε παντοροϊκό, δηλαδή υπάρχει ταυτόχρονη συλλογή και μεταφορά ομβρίων υδάτων και λυμάτων προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Η διάθεση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων σε αποδέκτες εγκυμονεί προβλήματα για την δημόσια υγεία, υποβαθμίζει το περιβάλλον και προκαλεί αισθητικές οχλήσεις στους κατοίκους. Τα κράτη μέλη της Ε.Ε. οφείλουν να υιοθετούν στο Εθνικό τους Δίκαιο την Κοινοτική Νομοθεσία για την διάθεση των υγρών αποβλήτων, η οποία απαγορεύει την διάθεση ανεπεξέργαστων εκροών, και έχει θεσπίσει αυστηρά πρόστιμα για τους παραβάτες.

Τα υγρά απόβλητα τα οποία προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες θα πρέπει να προεπεξεργάζονται πριν διατεθούν στον αστικό βιολογικό καθαρισμό, καθώς διαφέρουν από τα αστικά απόβλητα λόγω του υψηλού ρυπαντικού φορτίου και άλλων ουσιών που επιβαρύνουν την λειτουργία του συστήματος. Για την αποδοτική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων θα πρέπει το σύστημα επεξεργασίας να σχεδιάζεται με βάση τα πληθυσμιακά δεδομένα της περιοχής, αλλά και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων, τα οποία εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο του αποχετευτικού δικτύου, τον τρόπο ζωής των κατοίκων κ.α. [2].

Το πιο διαδεδομένο σύστημα επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων είναι το σύστημα της Ενεργού Ιλύος (Ε.Ι.) καθώς αποτελεί μία οικονομική, εύχρηστη και ευέλικτη μέθοδο βιολογικής επεξεργασίας η οποία παρέχει υψηλές αποδόσεις στην απομάκρυνση ρύπων και οργανικού φορτίου. Κατά την ανάπτυξη των συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, αποτελούσε στόχο η αφαίρεση οργανικών ουσιών και παθογόνων μικροοργανισμών που μπορούν να βλάψουν την δημόσια υγεία. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων τα συστήματα βελτιώθηκαν ώστε να μπορούν να απομακρύνουν το άζωτο και το φωσφόρο από τα υγρά απόβλητα και να μην δημιουργούνται φαινόμενα ευτροφισμού στους αποδέκτες. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα τυπικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων που προέρχονται από την αποχέτευση των οικιών [3].

Πίνακας 1. Ενδεικτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων [3]

Παράμετρος	Συγκέντρωση (mg/L)
Ολικά στερεά	680-10000
Πτητικά στερεά	380-500
Αιωρούμενα στερεά (TSS)	200-290
BOD5	290-410
COD	680-730
TN	35-100
Αμμωνία	6-8
Νιτρώδη και Νιτρικά	<5
Ολικός Φωσφόρος	6-24
Ολικά κολοβακτηρίδια	10 ¹⁰ -10 ¹² col/ml
Κολοβακτηρίδια κοπράνων	10 ¹⁰ -10 ¹² col/ml

Τα υγρά απόβλητα οδηγούνται μέσω του αποχετευτικού δικτύου στην μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της εκάστοτε πόλης, και συλλέγονται στο αντλιοστάσιο εισόδου όπου εξισορροπείται η παροχή. Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας ενός τυπικού συστήματος είναι αυτό της προεπεξεργασίας και περιλαμβάνει Εσχάρωση, Εξάμμωση, Λιποσυλλογή και δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης, ώστε να αφαιρεθούν τα ογκώδη ανόργανα συστατικά, τα λίπη και τα κολλοειδή που υποβαθμίζουν την ποιότητα της βιολογικής επεξεργασίας. Στην συνέχεια ακολουθεί Δευτεροβάθμια Βιολογική Επεξεργασία η οποία περιλαμβάνει Δεξαμενή Αερισμού (Δ.Α.) ακολουθούμενη από Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης (Δ.Δ.Κ.). Κατά την βιολογική επεξεργασία αφαιρείται το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού φορτίου από τους ετερότροφους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στην Δ.Α., υπό την παρουσία οξυγόνου. Οι ετερότροφοι μικροοργανισμοί καταναλώνουν την οργανική ύλη ώστε να αυξηθούν και να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες χρησιμοποιώντας οξυγόνο που παρέχεται από τους διαχυτές στην Δ.Α. και παράγουν CO₂ που εκλύεται στην ατμόσφαιρα και νέο κυτταρικό υλικό. Στην Δ.Α. κυριαρχούν τα ετερότροφα βακτήρια, όμως συναντώνται και αυτότροφα βακτήρια, πρωτόζωα και μύκητες όταν το σύστημα είναι σταθερό.

Η εκροή από την Δ.Α. οδηγείται με την χρήση αντλιών στην Δεξαμενή Καθίζησης όπου το μικτό υγρό συνήθως καθιζάνει βαρυτικά. Η ιλύς κατέρχεται στην Δεξαμενή Καθίζησης και το υπερκείμενο υγρό απαλλαγμένο από στερεά είτε εκρέει προς τον αποδέκτη είτε οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία (Τριτοβάθμια Επεξεργασία). Η τριτοβάθμια Επεξεργασία εφαρμόζεται σε περιοχές με μεγάλο αριθμό κατοίκων και σε περιοχές με ευαίσθητους αποδέκτες της εκροής. Επιπρόσθετα η χρήση της εκροής αποτελεί το βασικότερο κριτήριο για τον σχεδιασμό του συστήματος επεξεργασίας. Σημαντικό είναι πως ένα τμήμα της ιλύος που συλλέγεται στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης, ανακυκλοφορείται στην Δ.Α. ώστε να διατηρούνται σταθερές συνθήκες, και το υπόλοιπο μέρος οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία.

Η εκροή από τον βιολογικό καθαρισμό εμπεριέχει το ποσοστό του οργανικού υλικού που δεν έχει απομακρυνθεί από την επεξεργασία, καθώς και ανόργανες ουσίες και μικροοργανισμούς [4]. Επιπρόσθετα, εμπεριέχει και ουσίες που δεν

παρακολουθούνται από τους τυπικούς ελέγχους της εκροής όπως ξενοβιοτικές, βιοσυσσωρεύσιμες ουσίες, τοξικές ουσίες, βαρέα μέταλλα, φαρμακευτικές ενώσεις[2,5]. Στην παρούσα διατριβή εξετάζεται η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για ύδρευση και άρδευση δύο περιπτώσεις κατά τις οποίες θα πρέπει να γίνεται εξονυχιστικός έλεγχος της εκροής για κάθε ουσία ή ένωση η οποία εγκυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.- W.H.O.) και ο Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (E.P.A.) έχουν εκδώσει συστάσεις για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών καθώς και καταλόγους με το είδος και την επιτρεπόμενη συγκέντρωση των ρύπων που μπορεί να βλάψουν την δημόσια υγεία και το περιβάλλον [6,7]. Ανάλογα με την χρήση της εκροής το εκάστοτε κράτος- Μέλος θεσπίζει τα δικά του Νομοθετικά Όρια για το Επιτρεπόμενο όριο Συγκέντρωσης στον κάθε ρύπο. Τα αυστηρότερα κριτήρια θεσπίζονται προφανώς για το πόσιμο νερό καθώς ελλοχεύει κινδύνους για την δημόσια υγεία στην περίπτωση που η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων δεν έχει απομακρύνει μικροοργανισμούς κ.α. ουσίες. Για την εκροή που χρησιμοποιείται για άρδευση αυστηρότερα είναι τα όρια για τις καλλιέργειες που καταναλώνονται απευθείας από τον άνθρωπο και ακολουθούν οι καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων αποτελούν πρώτη ύλη για κάποιο επεξεργασμένο τρόφιμο, καλλιέργειες για την εκτροφή ζώων και τέλος για ενεργειακές καλλιέργειες. Εκτός από τις επιπτώσεις που μπορεί να υπάρξουν από την κατανάλωση των καρπών/φυτών ενδέχεται να υπάρξει και επιβάρυνση του εδάφους στην περίπτωση που η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων δεν είναι επαρκής. Το έδαφος μπορεί να καταστεί άγονο, ή να μειωθεί η παραγωγικότητα του εάν επηρεαστεί το pH, υπάρξει άζωτο ή και φώσφορος στην εκροή ή άλλες ουσίες και ρύποι [6,7]. Τέλος, εναπομείναντες μικροοργανισμοί μπορούν να διαταράξουν τον μικροβιακό πληθυσμό του εδάφους.

Κεφάλαιο 2: Κυκλική Οικονομία των Υγρών Αποβλήτων

2.1 Εισαγωγή

Η Κύπρος ακολουθώντας τους στόχους και τις δεσμεύσεις που τίθενται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει εστιάσει στην προστασία του περιβάλλοντος και την υιοθέτηση δράσεων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Όπως προαναφέρθηκε, η νήσος αντιμετωπίζει σημαντικό πρόβλημα λειψυδρίας και ξηρασίας, το οποίο εντείνεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω των αυξημένων αναγκών σε άρδευση και ύδρευση και τα περιορισμένα αποθέματα γλυκού νερού. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου θα πρέπει να εφαρμοστούν οι αρχές της κυκλικής οικονομίας του νερού. Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει την επίλυση των άνωθεν φαινομένων σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Αναλυτικότερα, μελετάται η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων της περιοχής της Πάφου.

Η κυκλική οικονομία (Circular Economy-CE) έχει ως βασική αρχή τα προϊόντα, τα υλικά και οι πρώτες ύλες να παραμένουν στην γραμμή παραγωγής, και κατ' επέκταση την οικονομία, για όσο το δυνατόν περισσότερο. Στόχος της είναι η βελτιστοποίηση των λειτουργιών του κύκλου του συστήματος ελαχιστοποιώντας τους πόρους που διαφεύγουν από αυτό [26]. Επιπρόσθετα, τα παραγόμενα απόβλητα από την παραγωγική διαδικασία αντιμετωπίζονται ως δευτερεύοντα-‘νέα’ υλικά και ανακυκλώνονται ώστε μετά την επεξεργασία να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν [8]. Οι αειφορικές πρακτικές, όπως η κυκλική οικονομία, δεν ακολουθούν το κλασσικό γραμμικό σύστημα στην οικονομία κατά τη οποία τα απόβλητα αποτελούν το τελικό παράγωγο του προϊόντος που παράγεται. Ο κύκλος ζωής του προϊόντος στην κυκλική οικονομία δεν μπορεί να καθοριστεί καθώς λαμβάνουν χώρα συνεχείς ανακυκλώσεις, μεταποιήσεις, επεξεργασίες των υλικών και των αποβλήτων ώστε να δημιουργούνται τα ελάχιστα δυνατά απόβλητα (όταν πλέον δεν θα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει τις αρχές της κυκλικής οικονομίας ώστε να καταλήγουν τα ελάχιστα δυνατά απόβλητα στο περιβάλλον στοχεύοντας τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανση και μόλυνση [33]. Η αειφορική αυτή πολιτική απαιτεί επενδύσεις στην έρευνα και την τεχνολογία, όμως σε βάθος χρόνου τα κεφάλαια που

επενδύονται είναι μηδαμινά σε σχέση με τα οικονομικά οφέλη που προσφέρει η απελευθέρωση της οικονομίας από πρώτες ύλες με πεπερασμένο χαρακτήρα. Το νερό, ιδίως το πόσιμο ή το νερό άρδευσης, είναι ένας πόρος εξαντλήσιμος, και τα τελευταία χρόνια η διαθεσιμότητα του μειώνεται, ιδιαιτέρως σε νησιωτικές περιοχές όπως η Κύπρος. Η δέσμευση της οικονομίας από πρώτες ύλες περιορισμένης διάθεσης οδηγεί σε σημαντική μεταβολή των τιμών, αστάθεια της αγοράς και της οικονομίας και δημιουργία αβεβαιότητας και υποβάθμισης της ποιότητας της ζωής των κατοίκων και των επισκεπτών της περιοχής. Μέσω της κυκλικής οικονομίας η κάθε χώρα, ή η κάθε συμμαχία χωρών όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση δύναται να αυτονομείται και να είναι ανταγωνιστική σε επίπεδο οικονομίας και αυτάρκειας.

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων σε μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων στοχεύουν στην ανάκτηση βιοαερίου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ή και την μεταπώληση ηλεκτρικής ενέργειας, και την χρήση του νερού εκροής για την άρδευση ή και τον εμπλουτισμό υδατικών συστημάτων. Από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων προκύπτουν και στερεά απόβλητα (ιλύς) η οποία μπορεί να μετατραπεί σε εδαφοβελτιωτικό ή και να διατεθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή νέων προϊόντων[9,10]. Οι μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων πλέον δεν στοχεύουν μόνο στην ολοκληρωμένη διαχείριση των λυμάτων αλλά και στην παραγωγή νέων προϊόντων με αποτέλεσμα να προστατεύουν το περιβάλλον αλλά και να ενισχύουν την οικονομία της περιοχής. Σε πλήρως εκσυγχρονισμένες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δύναται να ανακτηθούν και χρήσιμες πρώτες ύλες οι οποίες μπορούν να μεταπωληθούν. Ωστόσο οι μονάδες αυτές έχουν εφαρμογή κυρίως στην επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων. Ένα παράδειγμα αποτελεί η ανάκτηση φαινολικών από αγροτοβιομηχανικά απόβλητα οινοποιείου και η μεταπώληση τους σε φαρμακοβιομηχανίες [2].

Στα αστικά απόβλητα η ανάκτηση φωσφόρου αποτελεί μία βιώσιμη πρακτική καθώς το 20% του χρησιμοποιούμενου ορυκτού φωσφόρου προκύπτει από ανθρώπινες απεκκρίσεις [11]. Η τοπική οικονομία της περιοχής μπορεί να ενισχυθεί από την μεταπώληση του ανακτώμενου φωσφόρου ως πρώτη ύλη σε βιομηχανίες. Άλλα θρεπτικά όπως το κάλιο και το άζωτο μπορούν να ανακτηθούν από τα υγρά απόβλητα και να μεταπωληθούν. Εκτός από τις άμεσες οικονομικές θετικές επιπτώσεις, η χρήση

της επεξεργασμένης εκροής σε γεωργικές, βιομηχανικές και αστικές χρήσεις, μειώνει τη ζήτηση για νερό και διατηρεί τα τιμολόγια νερού σε σταθερότερα επίπεδα.

Η κατασκευή της πλειονότητας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων γίνεται ακολουθώντας τις Ευρωπαϊκές απαιτήσεις ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος και η δημόσια υγεία, και όχι με γνώμονα την κυκλική οικονομία. Η ανάγκη για την κατασκευή συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων προήλθε έπειτα από μαζική υποβάθμιση του περιβάλλοντος και έκθεση του πληθυσμού σε παθογόνους και ρυπογόνους παράγοντες. Τα πρώτα συστήματα επεξεργασίας στόχευαν στην μείωση αυτών των παραγόντων και μόλις την τελευταία δεκαετία διερευνάται η επεξεργασία με ταυτόχρονη ανάκτηση 'προϊόντων'. Ανασταλτικός παράγοντας παραμένει η απαίτηση υψηλών κεφαλαίων και η απασχόληση εξειδικευμένου προσωπικού. Τέλος, η Ε.Ε. εκδίδει οδηγίες ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα ζωής και η υγεία των πολιτών, ενώ η ανάκτηση παραμένει στα πλαίσια των βέλτιστων διαθέσιμων πρακτικών.

Στην περιοχή της Κύπρου, ανάκτηση ενέργειας μέσω της παραγωγής βιοαερίου, λαμβάνει χώρα μόνο σε βιολογικούς καθαρισμούς μεγάλων πόλεων. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της εκροής αποτελούν το κριτήριο για τον σχεδιασμό του συστήματος επεξεργασίας, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψιν. Στα συστήματα που λειτουργούν εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την επεξεργασία λυμάτων είναι 33,4 kWh/PE [12]. Στα συστήματα Ε.Ι. που αποτελούν το πιο συχνά κατασκευαζόμενο σύστημα για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων η κατανάλωση κυμαίνεται από 0,15 έως 0,17 kWh/m³ [13]. Αντίστοιχες τιμές για την Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, τις Κάτω Χώρες και τις Η.Π.Α. είναι 0,67, 0,64, 0,47, 0,45 kWh/m³ [14]. Στην Ιταλία τα συστήματα επεξεργασίας καταναλώνουν από 0,4 έως 0,7 kWh/m³ [14]. Η διακυμάνσεις στην κατανάλωση εξαρτώνται από πλήθος παραγόντων, όπως οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής, το είδος και η μηχανική απόδοση του συστήματος επεξεργασίας, η φύση του απόβλητου, η παρακολούθηση του συστήματος κ.α. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ενέργεια και τις εκπομπές άνθρακα με αποτέλεσμα η κυκλική οικονομία του νερού να αποτελεί ένα από τα κύρια θέματα της Ευρωπαϊκής ατζέντας για το περιβάλλον.

2.2. Ανάκτηση πόρων σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

2.2.1. Ανάκτηση θρεπτικών συστατικών

Οι σταθμοί επεξεργασίας υγρών αποβλήτων έχουν την δυνατότητα να ανακτούν θρεπτικά συστατικά, όπως ορυκτά, που χρησιμοποιούνται στην συνέχεια από τις βιομηχανίες παραγωγής λιπασμάτων. Τα θρεπτικά συστατικά μπορούν να ανακτηθούν από υγρά απόβλητα ανεξαρτήτως του βαθμού επεξεργασίας, και από την ιλύ [15]. Από την παραγόμενη ιλύ που προκύπτει κατά την επεξεργασία των υγρών προκύπτει εδαφοβελτιωτικό μετά την κατεργασία της με αναερόβια χώνευση, ή αερόβια χώνευση, και ξήρανση ή χημική επεξεργασία ή κομποστοποίηση [16]. Η μέθοδος επεξεργασίας επιλέγεται από τον μελετητή του συστήματος μετά από αξιολόγηση τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων με γνώμονα πάντα στην ισχύουσα νομοθεσία. Η πιο διαδεδομένη χρήση της ολοκληρωμένα επεξεργασμένης ιλύος από αστικά υγρά απόβλητα είναι εδαφοβελτιωτικό για την γεωργία [16]. Όπως θα αναλυθεί στο Κεφάλαιο 5, το κυρίαρχο πρόβλημα με την χρήση εδαφοβελτιωτικού σε καλλιέργειες συνδέεται σε ενδεχόμενη έκθεση της δημόσιας υγείας σε κίνδυνο, τις οχλήσεις λόγω οσμών και την αποδοχή του κοινού. Η έκθεση του ανθρώπου αλλά και των έμβιων όντων σε κίνδυνο λόγω της χρήση εδαφοβελτιωτικού προερχόμενου από ιλύ σχετίζεται με ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών κατά τις περιπτώσεις μη ολοκληρωμένης επεξεργασίας αλλά και την ύπαρξη τοξικών ουσιών.

Η ανακύκλωση του φωσφόρου από τα αστικά υγρά απόβλητα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με απευθείας εφαρμογή στο έδαφος μέσω της άρδευσης της εκροής, είτε την μεταπώληση σε βιομηχανίες παραγωγής λιπασμάτων και την χρήση αυτών στον έδαφος. Επιπρόσθετα, η χρήση του εδαφοβελτιωτικού σε έδαφος είναι μία ακόμα μέθοδος αποδέσμευσης του ορυκτού φωσφόρου στο έδαφος. Η παραγόμενη ιλύς μπορεί να διατεθεί και σε μονάδες αποτέφρωσης όπου ο ορυκτός φώσφορος μπορεί να ανακτηθεί από την τέφρα [17]. Στις μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων ο φώσφορος μπορεί να ανακτηθεί είτε με βιολογικές είτε με χημικές μεθόδους, με την βιολογική μέθοδο να κυριαρχεί λόγω της εξοικονόμησης των χημικών και της αποφυγής εμφράξεων στον μηχανολογικό εξοπλισμό [17]. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανακτώνται 2000 mg P/έτος [18].

Η διαλογή στην πηγή αποτελεί μία ευρέως χρησιμοποιούμενη πρακτική στην περιβαλλοντική μηχανική και γι' αυτό μελετώνται συστήματα διαλογής των ούρων στις οικίες. Τα ούρα περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό των θρεπτικών, κατέχοντας το 70-80% του αζώτου και το 50% του φωσφόρου [19]. Διαχωρίζοντας τα ούρα κατά την πηγή δημιουργείται μικρότερος όγκος αποβλήτων με αποτέλεσμα να εξοικονομούνται πόροι κατά την ανάκτηση των θρεπτικών όσο και κατά την επεξεργασία των λοιπών λυμάτων (νερά λύσεων, απορρυπαντικά κ.λπ.). Επιπρόσθετα, τα ανακτώμενα θρεπτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε βιομηχανίες παραγωγής ζωοτροφών [20].

2.2.2. Επαναχρησιμοποίηση Νερού

Η επαναχρησιμοποίηση εκροής αστικών υγρών αποβλήτων (Α.Υ.Α.) μετά από επεξεργασία, σε γεωργία, άρδευση εδάφους και αγροτικών εκτάσεων, βιομηχανικές χρήσεις, νερό για καζανάκια, και εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων αποτελούν τις κυρίαρχες στρατηγικές της κυκλικής οικονομίας του νερού. Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένης εκροής από αστικά λύματα συμβάλλει και στην εξοικονόμηση των διαθέσιμων γλυκών υδάτων για οικιακή χρήση, ύδρευση, άρδευση [21]. Τα διαθέσιμα γλυκά ύδατα (πηγών, ποταμών, υπόγεια νερά) αποταμιεύονται για χρήσεις όπου η εκροή δεν μπορεί να διατεθεί. Κατά τις περιόδους ξηρασίας, η χρήση της εκροής για τους σκοπούς που προαναφέρθηκαν, αποτελεί λύση ζωτικής σημασίας για τις περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας. Τα υγρά απόβλητα από μονάδες επεξεργασίας με ολοκληρωμένη διαχείριση μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε καλλιέργειες αγροτικών προϊόντων και να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για παραγωγή τροφίμων. Εκτός από την άρδευση καλλιεργειών για κατανάλωση ή χρήση ως πρώτη ύλη στην παραγωγική διαδικασία, η εκροή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε καλλιέργειες για την παραγωγή ζωοτροφών ή για ενεργειακές καλλιέργειες [21].

Η επεξεργασμένη εκροή εκτός από άρδευση και εμπλουτισμό υπέργειων και υπόγειων υδάτων, δύναται να χρησιμοποιηθεί και για πότισμα αστικών ή και περιαστικών χώρων. Σημαντικό παράδειγμα αποτελεί η άρδευση ιδιωτικών εγκαταστάσεων, όπως ξενοδοχεία και γήπεδα γκολφ, με τα υγρά απόβλητα που έχουν υποστεί προχωρημένη επεξεργασία με χρήση μεμβρανών. Η διοχέτευση της

εκροής μπορεί να γίνεται είτε συνεχόμενα είτε περιοδικά ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Εκτός από την άρδευση σε χώρους πρασίνου ή άλση και πάρκα, η εκροή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οικιακή άρδευση, πυροπροστασία, νερό τουαλέτας και πλύσεις οχημάτων και βιομηχανικών χώρων. Στην Φλόριντα των Ηνωμένων Πολιτειών περίπου το ήμισυ των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων χρησιμοποιείται για την άρδευση του αστικού τοπίου [22].

Η πολιτική ηγεσία, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, το φυσικό περιβάλλον, τα φυσικά αποθέματα γλυκού νερού είναι μερικά από τα κυριότερα κριτήρια για την κατασκευή συστημάτων που καθιστούν την επεξεργασμένη εκροή κατάλληλη για επαναχρησιμοποίηση. Τα συστήματα προχωρημένης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων απαιτούν παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό και υψηλά επενδυτικά κεφάλαια. Σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο προσωπικό εγκαθίστανται και συστήματα αυτοματισμού και τηλεπαρακολούθησης της εγκατάστασης ώστε να επεμβαίνει ο χρήστης μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και να ρυθμίζει το σύστημα [2].

Το κυριότερο πρόβλημα για την εφαρμογή συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας είναι οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι για την δημόσια υγεία. Στις περιπτώσεις όπου το σύστημα της επεξεργασίας αστοχήσει ή που η απόδοση του μειωθεί η εκροή δεν είναι πλέον ασφαλής καθώς εγκυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία. Σε εκροές που επαναχρησιμοποιούνται είναι απαραίτητο να διενεργούνται συστηματικοί εργαστηριακοί έλεγχοι ώστε να διασφαλίζεται ότι η εκροή είναι απαλλαγμένη από συστατικά και μικροοργανισμούς που δύναται να επιβαρύνουν άμεσα ή έμμεσα τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Άλλος ανασταλτικός παράγοντας είναι η αποδοχή του κοινού, καθώς υπάρχει ακόμα προκατάληψη, σκεπτικισμός και έλλειψη εμπιστοσύνης ως προς την χρήση επεξεργασμένων λυμάτων. Η οικονομία της περιοχής αποτελεί κύριο ζήτημα για την κατασκευή και την λειτουργία συστημάτων προχωρημένης επεξεργασίας. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν οι περιοχές της Μέσης Ανατολής και της Αφρικής οι οποίες αν και αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα λειψυδρίας και ξηρασίας δεν μπορούν να επενδύσουν τα κονδύλια για την υλοποίηση τέτοιων έργων.

Τέλος η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να γίνει άμεσα, είτε έμμεσα ώστε να ενισχυθεί και η αποδοχή του κοινού. Κατά την έμμεση επαναχρησιμοποίηση εμπλουτίζονται οι υπόγειοι υδροφορείς ή οι υπέργειοι υδατικοί πόροι (πηγές, λίμνες, ποτάμια) με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο όγκος των πηγών γλυκού νερού που χρησιμοποιείται στην συνέχεια από τις εταιρίες ύδρευσης [17]. Κατά την άμεση επαναχρησιμοποίηση η εκροή αντλείται απευθείας μέσω συστήματος σωληνώσεων και διατίθεται προς κατανάλωση μέσω του συστήματος διανομής [17]. Στην περίπτωση της άμεσης διανομής τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της εκροής πρέπει να εξετάζονται ενδελεχώς μέσω εργαστηριακών ελέγχων ώστε το νερό να κριθεί κατάλληλο προς την εκάστοτε χρήση, η οποία θα πρέπει να εναρμονίζεται με την κείμενη Νομοθεσία [23].

2.2.3. Ανάκτηση Ενέργειας

Η Ε.Ε. εστιάζει στην ανάκτηση ενέργειας μέσω αειφορικών μεθόδων με την ανάκτηση ενέργειας από την επεξεργασία αποβλήτων να συγκαταλέγεται σε αυτές. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ενέργειας προκύπτει μέσω του βιοαερίου το οποίο παράγεται στην διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στον αναερόβιο χωνευτή εκλύουν μεθάνιο (CH_4). Το βιοαέριο οδηγείται στην μονάδα συμπαραγωγής όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτεί τον εξοπλισμό του βιολογικού καθαρισμού. Στις περιπτώσεις που υπάρχει πλεόνασμα βιοαερίου ενδεχομένως να εκτονωθεί και να οδηγηθεί προς καύση ώστε να μην δημιουργούνται περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την έκλυση μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Επιπρόσθετα, στις περιπτώσεις όπου έχει συμφωνηθεί η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να μεταπωληθεί στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.). Εκτός από το βιοαέριο μικρότερα ποσά ενέργειας μπορούν να ανακτηθούν μέσω των αντλιών θερμότητας και από ροές υψηλής θερμοκρασίας από τον εναλλάκτη θερμότητας [24]. Αν και το βιοαέριο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για σκοπούς θέρμανσης σε βιολογικούς καθαρισμούς. Οι τεχνολογίες συστημάτων συμπαραγωγής παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (Combined Heat and Power-CHP) είναι οι πιο συχνά κατασκευαζόμενες, καθώς δύναται να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα ταυτόχρονα.

Η τυπική σύσταση του βιοαερίου από την μονάδα αναερόβιας χώνευσης είναι 65% μεθανόλη (με ενεργειακό δυναμικό 6,5 kWh/m³). Η κατασκευή μονάδας αναερόβιας χώνευσης μπορεί να μειώσει πάνω από 40% την κατανάλωση της καθαρής ενέργειας σε σχέση με τις εγκαταστάσεις που δεν διαθέτουν αναερόβιο χωνευτή. Η παραγωγή βιοαερίου κυμαίνεται από 0,75 έως 1,12 m³/kg πτητικών στερεών που 'καταστρέφονται' με τιμή που εξαρτάται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του αποβλήτου, ενώ το βιοαέριο έχει μέση ελάχιστη τιμή θέρμανσης 22,4 kJ/m³[24].

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στον τομέα της περιβαλλοντικής μηχανικής έχει εστιάσει στην ανάπτυξη των αναερόβιων χωνευτών ώστε να ενισχυθεί η ενεργειακή αυτάρκεια των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η κατασκευή νέων μονάδων προεπεξεργασίας και η χρήση ιλύος κατάλληλη για την παραγωγή βιοαερίου είναι μερικές από τις μεθόδους που εφαρμόζονται. Πλήθος χημικών, θερμικών, βιολογικών, ή και μηχανικών μεθόδων χρησιμοποιούνται ώστε η απόδοση της χώνευσης να διατηρηθεί σε μέγιστο βαθμό απόδοσης [25]. Μέθοδοι θερμικής υδρόλυσης (Thermal Hydrolysis Process-THP) όπως η Cambi, Biothelys, Exelys χρησιμοποιούνται ώστε να αυξηθεί η παραγωγή του βιοαερίου. Στην Washington των Ηνωμένων Πολιτειών η χρήση της τεχνολογίας CAMBI αύξησε την παραγωγή του βιοαερίου κατά 50% σε υδραυλικό χρόνο παραμονής μικρότερο κατά 15 ημέρες [24].

Η αναερόβια χώνευση είναι μία διεργασία η οποία έχει μεγάλους χρόνους παραμονής σε σχέση με τις αερόβιες διεργασίες και η θέρμανση συντελεί στην ταχύτερη ανάπτυξη των μικροοργανισμών και την παραγωγή βιοαερίου σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Αν και διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα, με κυριότερο την παραγωγή ενέργειας από το βιοαέριο, είναι μία αργή και ευαίσθητη διεργασία. Για την εκκίνηση του αναερόβιου χωνευτή ο εγκλιματισμός των μικροοργανισμών διαρκεί έως και 90 ημέρες. Θα πρέπει η ιλύς η οποία τροφοδοτείται να εξετάζεται ενδελεχώς ώστε να μην εμπεριέχει τοξικούς παράγοντες για τους μικροοργανισμούς, και να εξετάζονται παράγοντες όπως το pH, η θερμοκρασία, η αγωγιμότητα, και το οξυγόνο το οποίο είναι τοξικό για τους μικροοργανισμούς. Επιπρόσθετα, η παραγωγή του βιοαερίου και η σύσταση του εξαρτάται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του υγρού απόβλητου. Η οργανική ύλη θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο πλούσια και για τον εμπλουτισμό της συχνά εφαρμόζονται τεχνικές συνδιαχείρισης.

Η συνδιαχείριση υγρών αποβλήτων αποτελεί μία τεχνική η οποία έχει πλήθος οικονομικών και περιβαλλοντικών θετικών επιπτώσεων [26]. Τα βιομηχανικά απόβλητα έχουν πλούσιο οργανικό φορτίο με αποτέλεσμα να παράγουν μεγάλες ποσότητες βιοαερίου πλούσιου σε μεθάνιο. Τα βιομηχανικά απόβλητα όμως διαθέτουν τοξικούς παράγοντες οι οποίοι συχνά αναστέλλουν την δράση των μικροοργανισμών ή είναι τοξικοί για αυτούς. Η ανάμειξη αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων έχει το πλεονέκτημα οι τοξικές ουσίες να 'αραιώνονται' και ταυτόχρονα να παράγονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας λόγω του υψηλού οργανικού φορτίου που εμπεριέχεται σε αυτά [26]. Τέλος, η συμπύκνωση με την χρήση διαφορετικών υποστρωμάτων λόγω συνδιαχείρισης αποβλήτων συντελεί και στην σταθερότητα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης καθώς η ποικιλομορφία των μικροοργανισμών καθιστά το σύστημα πιο ανθεκτικό.

Στις περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση τροφοδοτείται ενεργειακά αποκλειστικά από το βιοαέριο της αναερόβιας χώνευσης και υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί για την ταχύτερη ξήρανση της ιλύος μέσω θέρμανσης, την θέρμανση ή την ψύξη των γύρω κατοικιών (μέσω αντλιών θερμότητας) ή όπως προαναφέρθηκε να πωληθεί στην εκάστοτε επιχείρηση ηλεκτρισμού[27]. Οι αντλίες θερμότητας αποδίδουν 10 με 20 KW και χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο [27].

2.2.4. Άλλες πρώτες ύλες που ανακτώνται

Η ιλύς που παράγεται κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων μπορεί να διατεθεί σε βιομηχανίες κατασκευής δομικών υλικών. Ο κύκλος ζωής της ιλύος δεν ολοκληρώνεται εντός του βιολογικού καθαρισμού καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή τούβλων, πλακιδίων, μπετόν, σκυρόδεμα κ.α. Η ιλύς μπορεί να οδηγηθεί και σε ειδικές μονάδες αποτέφρωσης οι οποίες εστιάζουν στην μείωση του όγκου, την αδρανοποίηση και την ανάκτηση υλικών [28]. Οι ανακτώμενες ουσίες από την ιλύ χρησιμοποιούνται στην συνέχεια στις αντίστοιχες βιομηχανίες ως πρώτη ύλη για την γραμμή παραγωγής. Μέταλλα όπως ο χρυσός, ο χαλκός και το ασήμι τα οποία θεωρούνται πολύτιμα αποτελούν συμφέρουσες οικονομικά ύλες προς ανάκτηση [28]. Σε ερευνητικό επίπεδο λόγω της μικρής απόδοσης τους, είναι και οι βιολογικές κυψέλες καυσίμου (Biological Fuel Cells-BFCs) οι οποίες

απομακρύνουν ρύπους και οργανική ύλη από τα υγρά απόβλητα και ταυτόχρονα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια [29]. Οι βιολογικές κυψέλες καυσίμου έχουν τις ίδιες αρχές λειτουργίας με τις συμβατικές κυψέλες καυσίμου, μόνο που διαθέτουν ειδικούς μικροοργανισμούς που αποδεσμεύουν e^- μέσω των απολήξεων τους [29]. Τέλος, σε ερευνητικό επίπεδο βρίσκεται και η παραγωγή βιοπλαστικών από polyhydroxyalkanoates (PHA) που αναπτύσσονται σε αντιδραστήρες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων [28].

2.2.5. SMART πόλεις σύμφωνες με την κυκλική οικονομία

Οι έξυπνες πόλεις αποτελούν ένα πραγματικό και ισορροπημένο συνδυασμό κοινωνικής, οικονομικής, οικολογικής και βιώσιμης ανάπτυξης. Τα κράτη μέλη της Ε.Ε. τείνουν να ακολουθούν τις αρχές της κυκλικής οικονομίας όπου βελτιστοποιείται η γραμμή παραγωγής και στόχος είναι να διαφεύγουν οι ελάχιστου δυνατοί πόροι από το σύστημα [29,30]. Η ατζέντα για την αποδοτικότητα των πόρων έχει θεσπιστεί στο πλαίσιο της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την βιώσιμη ανάπτυξη. Η βιώσιμη ανάπτυξη στοχεύει στην βελτίωση της ευημερίας και του επιπέδου ζωής των πολιτών μέσω ολοκληρωμένου πολεοδομικού σχεδιασμού και διαχείριση ώστε οι φορείς να αξιοποιούν πλήρως τα οφέλη των οικολογικών συστημάτων, να προστατεύουν και να διατηρούν τα περιουσιακά στοιχεία (υλικά και μη) για τις μελλοντικές γενιές.

Η ποιότητα της ζωής των κατοίκων και η ευημερία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων. Η ολοκληρωμένη διαχείριση δεν περιορίζεται στην ασφαλή διάθεση σε αποδέκτες ώστε να προστατεύεται το οικοσύστημα και να μην δημιουργούνται οχλήσεις αλλά επιτρέπει περαιτέρω αξιοποίηση ενός μέχρι πρότινος 'άχρηστου' υλικού. Μέσω της κυκλικής οικονομίας του νερού οι έξυπνες πόλεις αρδεύουν τα σημεία πρασίνου στις αστικές και περιαστικές περιοχές, ενώ ταυτόχρονα αρδεύονται και οι γεωργικές εκτάσεις εξαλείφοντας το πρόβλημα της λειψυδρίας. Οι υπόγειοι υδροφορείς και οι υπέργειες πηγές γλυκού νερού εμπλουτίζονται. Ανακτώνται πολύτιμα υλικά και πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία και την γεωργία. Η ιλύς μπορεί να μετατραπεί σε εδαφοβελτιωτικό ή και να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη [30,31,32]. Τέλος εκτός από τις αρχές της 'μείωσης', 'ανάκτησης', 'μεταποίησης' και

‘επαναχρησιμοποίησης’, παράγεται και ηλεκτρική ενέργεια μέσω της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης. Η ενέργεια αυτή μπορεί να μεταπωληθεί στην ΔΕΗ ή να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης, και τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης των κατοίκων [32].

Κεφάλαιο 3: Μελέτη Περίπτωσης της Κύπρου

3.1. Εισαγωγή

Όπως περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους αναλυτικά, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει καθιερώσει μία πολιτική η οποία επικεντρώνεται στην προστασία του περιβάλλοντος με στόχο να προσφέρει υψηλό βιοτικό επίπεδο στους κατοίκους της, και να 'προσφέρει' ένα ισορροπημένο οικοσύστημα στις επόμενες γενεές. Η ενέργεια πρέπει να παρέχεται κατά το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό από Α.Π.Ε. και τα απόβλητα πρέπει να διαχειρίζονται σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Τα οφέλη από τις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης διακρίνονται σε άμεσα και έμμεσα. Στα άμεσα οφέλη συγκαταλέγεται η διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και η υγεία και το υψηλό βιοτικό επίπεδο των κατοίκων, ενώ στα έμμεσα η οικονομική σταθερότητα, η ανάπτυξη, η ενεργειακή ανεξαρτησία από τις τρίτες χώρες και η διατήρηση καλών σχέσεων με τις γειτονικές περιοχές. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των λυμάτων διασφαλίζεται μέσω της οριοθέτησης ανώτατων επιτρεπόμενων τιμών στις εκροές. Επιπρόσθετα, παρέχονται χρηματοδοτούμενα προγράμματα και χρηματοδοτούνται υποδομές ώστε να διασφαλιστεί ότι όλα τα κράτη μέλη θα διαχειριστούν τα απόβλητά τους. Οι εγκαταστάσεις και τα προγράμματα εφαρμόζονται με γνώμονα τις ανώτατες επιτρεπόμενες τιμές στις παραμέτρους που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Η ισχύς των μέτρων- στόχων που τίθενται είναι καθολική και δίνεται ένα χρονικό περιθώριο για την εφαρμογή των πολιτικών. Στις περιπτώσεις που τα κράτη ή οι ιδιώτες που δραστηριοποιούνται εντός των κρατών- μελών δεν συμμορφωθούν στις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ακολουθούν νομικές και οικονομικές κυρώσεις[40].

3.2. Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η 'Πράσινη Βίβλος', καθώς και οι επόμενες εκδόσεις της, αποτελούν ένα σύνολο κανονισμών και πολιτικών για την ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων. Στόχος των κανονισμών και των πολιτικών που έχει υιοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση και κατ' επέκταση τα κράτη μέλη της, είναι η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών και των ενεργειακών προβλημάτων της Ευρώπης αλλά και του συνόλου του πλανήτη [33].

Στον τομέα της επεξεργασίας λυμάτων, η πρόνοια που λαμβάνεται σε κάθε χώρα, εξαρτάται από το βαθμό ανάπτυξης, την οικονομική, και ενεργειακή της κατάσταση.

Στις αναπτυσσόμενες χώρες παρέχονται προγράμματα και χρηματοδοτήσεις ώστε να κατασκευαστούν εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ενώ στις αναπτυγμένες χώρες, που ήδη διαθέτουν συστήματα επεξεργασίας, παρέχονται κεφάλαια για την επέκταση και των εκσυγχρονισμό τους. [34]. Οι μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κατασκευάζονται με βάση τον πληθυσμό της εκάστοτε περιοχής, ενώ λαμβάνονται υπόψη τα δημογραφικά στοιχεία της περιοχής ώστε η εγκατάσταση να σχεδιαστεί ώστε να καλύψει και την αύξηση του πληθυσμού κατά την επόμενη 25ετία. Τα δημογραφικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται δεν επαρκούν σε περιπτώσεις που η περιοχή παρουσιάσει ραγδαία αύξηση του πληθυσμού λόγω αλλαγής των χρήσεων γης, ανάπτυξης του τουρισμού, δημιουργίας νέας βιομηχανικής ζώνης κ.α.

Επιπρόσθετα, ο πληθυσμός της εκάστοτε περιοχής καθορίζει το βαθμό επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, με αποτέλεσμα οι περιοχές με μικρό πληθυσμό να εφαρμόζουν βασική δευτεροβάθμια επεξεργασία και οι εκροές τους να μην δύναται να επαναχρησιμοποιηθούν και απλά να απορρίπτονται στον εκάστοτε αποδέκτη. Σημαντικό κριτήριο αποτελεί η γεωγραφική περιοχή καθώς σε περιβαλλοντικά προστατευόμενες περιοχές το σύστημα επεξεργασίας κατασκευάζεται με κυρίαρχο κριτήριο την διασφάλιση του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με την Eurostat, τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμμορφώνονται στα επιτρεπόμενα όρια (μέσω της ορθής επεξεργασίας) σε ποσοστό που αγγίζει το 77% [35].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση παρέχει οικονομική και τεχνική υποστήριξη στα Κράτη- Μέλη και θέτει ένα χρονικό περιθώριο ώστε να συμμορφωθούν στις πολιτικές που θέτει για την επεξεργασία των λυμάτων. Μετά την πάροδο του χρονικού ορίου που έχει τεθεί ακολουθούν κυρώσεις με την μορφή χρηματικών προστίμων από τα θεσμικά όργανα της Ε.Ε. Από το 2004 έως και το έτος 2018 το συνολικό ποσό των προστίμων ανέρχεται σε 300 εκατομμύρια ευρώ, με προσαυξήσεις 4.000 ευρώ ανά ημέρα στις περιπτώσεις μη συμμόρφωσης στο χρονικό πλαίσιο που τίθεται [35].

3.3. Στατιστικά Στοιχεία

Η Κύπρος δεν αποτελεί παράδειγμα για την διαχείριση των λυμάτων της, καθώς από το 2004 έως το 2015 μόνο το 29.8% του πληθυσμού ήταν συνδεδεμένο με το

αποχετευτικό σύστημα του νησιού [35]. Επιπρόσθετα, η Κύπρος από το έτος 2015 σταμάτησε να παρέχει στατιστικά δεδομένα για την επεξεργασία των λυμάτων, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες στον τομέα [35].

Οι δύο κύριοι τομείς ανάπτυξης της περιοχής είναι ο αγροτικός και ο τουριστικός. Όσον αφορά την κατανάλωση υδάτων, ο αγροτικός τομέας απαιτεί το 64%, ο τουρισμός το 5% και ο πληθυσμός το υπόλοιπο 29% και την βιομηχανία το υπόλοιπο 2% [40]. Το έτος 2008 αποτέλεσε ένα από τα δυσκολότερα έτη για τους κατοίκους της Κύπρου καθώς το 34% του πληθυσμού δεν είχε πρόσβαση σε πόσιμο νερό [40]. Η υδροδότηση των κατοίκων του νησιού πραγματοποιείται μέσω των φραγμάτων και των ταμιευτήρων που έχουν κατασκευαστεί στην νήσο και τροφοδοτούνται από χειμάρρους της περιοχής [40].

Οι βασικοί αγωγοί υδροδότησης της Κύπρου είναι ο νότιος, της Πάφου, του Χρυσοχού και της Λευκωσίας [40]. Όπως προαναφέρθηκε, οι αγωγοί τροφοδοτούνται από φράγματα και μεγαλύτερος είναι ο νότιος αγωγός. Τα αποθέματα των υδάτων δεν επαρκούν για την κάλυψη όλων των αναγκών συμπεριλαμβανομένης της άρδευσης, και η κυβέρνηση θεσπίζει ρυθμίσεις ώστε να προτρέψει τους αγρότες να χρησιμοποιούν για άρδευση που προέρχονται από εκροές βιολογικών καθαρισμών. Αναλυτικότερα, κοστολογεί σε 0,07 ευρώ/ κυβικό τα επεξεργασμένα σε βιολογικούς καθαρισμούς λύματα που είναι κατάλληλα για άρδευση, σε αντίθεση με τα φρέσκα ύδατα που κοστολογούνται σε 0,14 ευρώ/ κυβικό [42]. Η αποδοχή του κοινού για την χρήση ανακυκλωμένου και επεξεργασμένου νερού προερχόμενο από λύματα παραμένει μικρή, με τους αγρότες να παραμένουν δύσπιστοι για την ποιότητα του. Κατά το έτος 2003, μόλις το 30% του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση προέρχεται από επεξεργασμένα λύματα [42].

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται δεδομένα του τμήματος Ανάπτυξης Υδάτων για την χρήση του ανακυκλωμένου νερού προερχόμενο από επεξεργασμένα λύματα για τα έτη 2004 έως 2011 [40].

Πίνακας 2: Ποσοστό Διάθεσης Ανακυκλωμένου Νερού από Λύματα για τα έτη 2004-2011 [40]

Ποσοστό (%) διάθεσης Ανακυκλωμένου Νερού από Λύματα για τα έτη 2004-2011				
Έτος	Διάθεση στην Θάλασσα	Διάθεση στην ύδρευση	Εμπλουτισμός Υπόγειων Υδάτων	Άρδευση
2004	18,73	0,00	12,75	68,52
2005	15,83	0,00	14,69	69,49
2006	12,73	0,00	18,25	69,02
2007	6,36	0,00	16,75	76,89
2008	0,75	5,00	15,78	87,78
2009	9,97	8,00	15,08	67,67
2010	6,91	4,00	13,66	72,91
2011	9,16	5,00	11,88	71,10
Μέσος όρος	10,06	2,75	14,86	71,80

Από τα δεδομένα του Πίνακα 2 παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των επεξεργασμένων λυμάτων διατίθενται για αρδευτικούς σκοπούς με ποσοστά που αγγίζουν το 71,8%. Ο τρόπος διάθεσης των λυμάτων εξαρτάται από τις προθέσεις της κυβέρνησης, τους διαθέσιμους αποδέκτες σε κάθε μονάδα επεξεργασίας και την απόδοση της επεξεργασίας. Μέσω της άντλησης κονδυλίων από την Ε.Ε. αναβαθμίζονται συνεχώς τα συστήματα επεξεργασίας παρέχοντας ταχύτερη και πιο προχωρημένη απόδοση στην επεξεργασία, ώστε να μειώνονται περαιτέρω οι ρύποι και οι μικροοργανισμοί στις εκροές, και τα ανακυκλωμένα λύματα να μπορούν να διατεθούν σε περισσότερους αποδέκτες.

Η καταλληλότητα της εκροής εξετάζεται μέσω συστηματικών ελέγχων της ποιότητας της, και την διατήρηση των παραμέτρων κάτω από τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση που η εκροή χρησιμοποιείται για άρδευση, διενεργούνται οι απαραίτητοι έλεγχοι και στα προϊόντα της σποράς ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητά τους. Η μέθοδος της άρδευσης και το ποσοστό επεξεργασμένων λυμάτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με φρέσκα ύδατα, εξαρτάται από το μέγεθος, τον τύπο, και την χρήση της καλλιέργειας. Οι καλλιέργειες που προορίζονται για απευθείας κατανάλωση από τον άνθρωπο έχουν αυστηρότερα κριτήρια από τις καλλιέργειες που παράγουν πρώτες ύλες για ζωοτροφές ή για την βιομηχανία τροφίμων. Τέλος, οι ενεργειακές καλλιέργειες έχουν ακόμα πιο ελαστικά κριτήρια καθώς δεν απειλούν άμεσα την δημόσια υγεία. Το Γενικό Χημείο του Κράτους της Κύπρου διενεργεί συστηματικούς ελέγχους τόσο στις εκροές όσο και τα τρόφιμα που αρδεύονται με επεξεργασμένες εκροές από αστικά υγρά απόβλητα. Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι η συγκέντρωση E. Coli, το BOD₅, COD, και τα TS [43].

3.4. Ιστορική Αναδρομή

Η Κύπρος γεωγραφικά αποτελεί σημαντική περιοχή και έχει αποικηθεί από πλήθος λαών της Μεσογείου. Η γεωγραφική της θέση ευνοεί την ανάπτυξη του εμπορίου, όμως η έλλειψη διαθέσιμων υδάτων αποτελούσε διαχρονικά ανασταλτικό παράγοντα για την αποίκισή της. Οι γειτονικές περιοχές, όπως η Ελλάδα και η Τουρκία, διαθέτουν σημαντικά μεγαλύτερα αποθέματα υδάτων και αρχαιολογικά ευρήματα δείχνουν ότι κατοικήθηκαν πριν την Κύπρο, η οποία χρησιμοποιούνταν κυρίως ως βάση για εμπόριο [38]. Η νήσος άρχισε να έχει αύξηση του πληθυσμού κατά τα Ελληνιστικά χρόνια, κατά τα οποία Έλληνες εγκαταστάθηκαν σε αυτή και εφάρμοσαν τις τεχνικές ύδρευσης και άρδευσης που διδάχθηκαν από τους Πέρσες [39]. Έως το 1960, η περιοχή διέθετε μικρό αριθμό πηγαδιών σε σχέση με άλλες μεσογειακές περιοχές που ο κάθε οικισμός διέθετε το δικό του πηγάδι [40].

Η κυβέρνηση από το 1960 ξεκίνησε έργα για την επίλυση των ζητημάτων της υδροδότησης και την άρδευσης της Κύπρου, με την κατασκευή φραγμάτων και ταμιευτήρων, θέτοντας ορίζοντα εικοσαετίας ώστε να καλυφθεί το σύνολο του πληθυσμού του νησιού. Κατά το έτος 1974 τα έργα σταμάτησαν λόγω των πολιτικών

συνθηκών με το Τουρκικό- Κυπριακό ζήτημα και μόλις το 1990 ξεκίνησαν εκ νέου έργα [40].

Οι αρχές της Κύπρου, σε μία προσπάθεια να επιταχύνουν την επίλυση του φαινομένου της ξηρασίας, διέθεταν τις εκροές από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων για σκοπούς άρδευσης [38,40]. Αν και η πρακτική αυτή αποτελεί πολιτική της Ε.Ε., στην περίπτωση της Κύπρου, όπου οι εκροές δεν ελέγχονταν διεξοδικά και τα συστήματα επεξεργασίας δεν λειτουργούσαν σύμφωνα με τις απαραίτητες προδιαγραφές, οδήγησε σε υγειονομικούς κινδύνους και ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Με την ένταξη της Κύπρου στην Ε.Ε. ασκήθηκαν πιέσεις και αντλήθηκαν κονδύλια ώστε να εκσυγχρονιστούν τα συστήματα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων, και να κατασκευαστούν νέα έργα ύδρευσης, άρδευσης και αποχέτευσης [40].

Η Κύπρος έχει θεσπίσει πλέον αυστηρούς κανονισμούς στο Νομοθετικό της Πλαίσιο ώστε να διασφαλίζεται η Δημόσια Υγεία ακόμα και σε περιόδους όπου τα φαινόμενα ξηρασίας και λειψυδρίας είναι έντονα [40]. Το ανακυκλωμένο νερό δεν διατίθεται απευθείας στους κατοίκους έπειτα από οποιαδήποτε μορφή επεξεργασίας. Οι εκροές των βιολογικών καθαρισμών διατίθενται για άρδευση, υδροδότηση βιομηχανικών περιοχών (πλύσεις προαύλιων χώρων, άρδευση προαύλιων χώρων πρασίνου κ.α.), υπέργεια ή υπόγεια διάθεση σε υδροφορέα και οποιαδήποτε άλλη χρήση πέραν της πόσης [40].

3.5. Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

Η Νήσος της Κύπρου, όπως και οι αντίστοιχες γεωγραφικά περιοχές της Ε.Ε., αποτελούν ιδιόζουσες περιπτώσεις σε σχέση με τα δεδομένα των κρατών μελών της Ε.Ε. Η Κύπρος λόγω της γεωγραφίας της αντιμετωπίζει έντονα προβλήματα κατά την ύδρευση και την διαχείριση των υγρών αποβλήτων της. Συνυπολογίζοντας και την κατανομή του πληθυσμού, την ξηρασία και τον τουρισμό, η καλοκαιρινή περίοδος αποτελεί την πιο δύσκολη εποχή του έτος [36].

Επιπρόσθετα, η περιοχή καθυστέρησε να αναβαθμίσει το σύστημα ύδρευσης και αποχέτευσης σε σχέση με τα υπόλοιπα Ευρωπαϊκά Κράτη λόγω πλήθους οικονομικών, πολιτικών και κοινωνικών παραγόντων που μάστιζαν την περιοχή κατά

την δεκαετία του 1970 [37]. Από το έτος 1974, η περιοχή σε ένα μέρος της βρίσκεται υπό Τουρκική κατοχή και μόλις το έτος 2004 εντάχθηκε στα κράτη μέλη της Ε.Ε. Το έτος 2008 συγκαταλέχθηκε στα μέλη της Ευρωζώνης. Δυστυχώς η οικονομική ανάπτυξη της νήσου διήρκεσε έως το 2013 καθώς ξεκίνησε μία χρηματοοικονομική κρίση με την κυβέρνηση να θέτει μέτρα λιτότητας και μεταρρυθμίσεις, τα οποία οδηγούν σε αναστολή της οικονομικής ανάπτυξης. Οι περιβαλλοντικές και οι αναπτυξιακές πολιτικές προχωρούν μεν αλλά με πολύ αργούς ρυθμούς καθώς τα κεφάλαια που αντλούνται και οι επενδύσεις είναι λιγοστές εν μέσω οικονομικής κρίσης.

3.6. Κλιματολογικές συνθήκες

Το κλίμα της περιοχής της Κύπρου περιλαμβάνει μεγάλες περιόδους ξηρασίας με τις βροχές την θερινή περίοδο να είναι λιγοστές και με μικρό ύψος βροχόπτωσης. Το διαθέσιμο φρέσκο νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση καλλιεργειών και ύδρευση είναι λιγοστό. Επιπρόσθετα, η νήσος έχει μεγάλες υψομετρικές διαφορές, με αποτέλεσμα οι ορεινές περιοχές να έχουν συχνότερες βροχοπτώσεις που περιλαμβάνουν και πλημμυρικά φαινόμενα λόγω της γεωγραφίας της περιοχής και της έλλειψης δέντρων. Το συνολικό ποσοστό κατακρημνίσεων στην Κύπρο μειώνεται κάθε χρόνο με αποτέλεσμα τα φαινόμενα της ξηρασίας και της λειψυδρίας να εντείνονται [38]. Η Κύπρος, όπως και τα περισσότερα νησιά, αντιμετωπίζει και το πρόβλημα της υψηλής αλατότητας στο έδαφος και τα υπόγεια ύδατα που οδηγεί στην υποβάθμιση του εδάφους, των καλλιεργειών, της ποιότητας του νερού και των αγροτικών προϊόντων [41]. Λόγω της έντονης ξηρασίας και της περιορισμένης ποσότητας του διαθέσιμου νερού για αρδεύσεις, οι καλλιεργητές αντλούν μεγάλες ποσότητες υπόγειων υδάτων για την κάλυψη των αναγκών με αποτέλεσμα να εξαντλούνται οι διαθέσιμοι υδατικοί, να προκαλείται υφαλμύρωση των υπόγειων υδροφορέων και στην συνέχεια να αντλούνται υφάλμυρα ύδατα [41]. Ακόμα και κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών η περιοχή, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, έχει πολύ σπάνιες χιονοπτώσεις και περιορισμένες βροχοπτώσεις, με αποτέλεσμα οι φυσικοί υπόγειοι και υπέργειοι υδροφορείς να μην εμπλουτίζονται [41].

3.7. Το Θεσμικό Πλαίσιο

Δύο από τα πρώτα νομοθετήματα σχετικά με το περιβάλλον στην Κύπρο συντάχτηκαν στις 14 Μαρτίου του 1997 με την μορφή Κοινής Υπουργικής Απόφασης με υπ' αριθμό 5673/97, και την Κοινή Υπουργική Απόφαση με υπ' αριθμό 400/97 για την επεξεργασία αστικών λυμάτων. Οι αποφάσεις είχαν αντικείμενο την εναρμόνιση του Κυπριακού Δικαίου με την Κοινοτική Οδηγία 91/271. Πριν από αυτά, ίσχυε ο Ν. 1650/86 που εφαρμόστηκε στις 18 Οκτωβρίου του 1986 που στόχευε στην προστασία του φυσικού Περιβάλλοντος και εμπεριείχε διατάξεις που αφορούσαν στην προστασία των υδάτινων πόρων και των υδάτων.

Κατά το έτος 2003 ψηφίστηκε ο Ν. 3199/9 της 9^{ης} Δεκεμβρίου, που αφορούσε την προστασία και την διαχείριση των υδάτων, και εναρμόνισε το Κυπριακό Θεσμικό Πλαίσιο με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία και την Οδηγία- Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60 των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Στόχος αυτής της νομοθέτησης ήταν η αίτηση της Κύπρου να εισέλθει στην Ε.Ε. ως πλήρες Κράτος- Μέλος. Μέχρι το έτος 2004, η Κύπρος διατηρούσε το Εθνικό Θεσμικό Πλαίσιο για την διαχείριση των υγρών αποβλήτων, την διάθεση και την επαναχρησιμοποίηση τους. Το Εθνικό Θεσμικό Πλαίσιο σε πολλά σημεία συντάσσεται με γνώμονα τις Ευρωπαϊκές πολιτικές για το Κλίμα και το Περιβάλλον.

Από την ένταξη της στην Ε.Ε., η Κύπρος, όπως και κάθε κράτος μέλος της Ευρωζώνης, υποχρεούται να τηρεί το ενιαίο ευρωπαϊκό δίκαιο και οι εθνικές διατάξεις αναθεωρήθηκαν ώστε να εναρμονιστούν με την νέα νομοθεσία.

Κεφάλαιο 4: Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου

4.1. Συμβούλιο Αποχετεύσεων Πάφου (Σ.Α.ΠΑ)

Το Συμβούλιο Αποχετεύσεων Πάφου (Σ.Α.ΠΑ) αποτελεί Οργανισμό Δημοσίου Δικαίου και εγκαθιδρύθηκε μέσω Διατάγματος του Υπουργικού Συμβουλίου το έτος 1993 σύμφωνα με τις πρόνοιες του περί Αποχετευτικών Συστημάτων Νόμου του 1971 [33]. Ο έλεγχος του Σ.Α.ΠΑ γίνεται από τον Γενικό Ελεγκτή της Δημοκρατίας και ο φορέας υπάγεται στο Υπουργείο Εσωτερικών. Η υπηρεσία έχει μόνιμο προσωπικό 30 μελών και διοικείται από 25μελές Συμβούλιο. Το Συμβούλιο έχει αρμοδιότητες που αφορούν την κατασκευή, την λειτουργία και την συντήρηση του κεντρικού αποχετευτικού συστήματος της περιοχής της Πάφου. Επιπρόσθετα, επιλέγει στρατηγικές για την συλλογή και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, την κατασκευή του συστήματος αποχέτευσης των όμβριων υδάτων τηρώντας πάντοτε την ισχύουσα Νομοθεσία.

Το Αποχετευτικό Σύστημα της περιοχής χωρίζεται στο Σύστημα Αποχέτευσης των Υγρών Αποβλήτων και στο Σύστημα Αποχέτευσης των Όμβριων Υδάτων. Τα υγρά Απόβλητα Αστικής προέλευσης οδηγούνται μέσω Ιδιωτικών συνδέσεων στους κεντρικούς αγωγούς του αποχετευτικού, που έχουν κατασκευαστεί κάτω από τους δρόμους της πόλης. Στην συνέχεια Δημόσιου Αγωγοί μεταφέρουν τα λύματα σε αντλιοστάσια και έπειτα στον κεντρικό βιολογικό καθαρισμό της Πάφου. Το Σύστημα Επεξεργασίας, το οποίο θα αναλυθεί εκτενώς στην συνέχεια, περιλαμβάνει βιολογικές Μεθόδους και η εκροή διατίθεται για άρδευση, ενώ η παραγόμενη ιλύς χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό σε γεωργικές εκτάσεις. Τα όμβρια ύδατα συλλέγονται από τις κεντρικές οδικές αρτηρίες και διοχετεύονται μέσω των αγωγών ομβρίων, καθοδικά σε κοίτες ποταμών ώστε να γίνεται εμπλουτισμός των υδάτινων πόρων του νησιού.

4.1.1. Χρονολόγηση Έργων του Αποχετευτικού και της ΜΕ.Α.Υ.Α. Πάφου
Η Α΄ Φάση των έργων του Αποχετευτικού Συστήματος ολοκληρώθηκε το έτος 2003 και το Σύστημα ξεκίνησε την λειτουργία του το έτος 2003. Τα έργα αυτής της Φάσης καλύπτουν τους κατοίκους εντός των Δημοτικών Ορίων της Πάφου και περιλαμβάνουν:

- Το Δίκτυο Συλλογής Αστικών Υγρών Αποβλήτων
- Το Δίκτυο Συλλογής Ομβρίων Υδάτων
- Το Σταθμό Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων στην Αχέλεια

Η Β΄ Φάση των έργων ξεκίνησαν το έτος 2007 και ολοκληρώθηκαν το έτος 2013 συνδέοντας το υπόλοιπο της Δημοτικής Ενότητας της Πάφου, το Δήμο Γεροσκήπου και τις Κοινότητες Χλώρακα, Κισσονέργα, Έμπα, Λέμπα, Αχέλεια, Κολώνη και Κονιά. Σε αυτή την Φάση περιλαμβάνεται το δίκτυο Συλλογής Υγρών Αποβλήτων για τις άνωθεν περιοχές, και η αντίστοιχη επέκταση του Βιολογικού Καθαρισμού, η οποία είχε ως αποτέλεσμα η δυναμικότητα του να τριπλασιαστεί [34].

Η Α΄ Φάση των έργων κόστισε γύρω τα 45.000.000 € και η Β΄ Φάση 90.000.000 € τα οποία χρηματοδοτήθηκαν μέσω Δανείου από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και το Ταμείο Κοινωνικής Ανάπτυξης του Συμβουλίου της Ευρώπης με κρατικές εγγυήσεις. Αξίζει να αναφερθεί ότι ένα μέρος του κόστους για την κατασκευή την λειτουργία και την συντήρηση των έργων καλύπτεται από την είσπραξη των τελών αποχέτευσης.

4.1.2. Οφέλη του Αποχετευτικού Συστήματος- Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου
Το Αποχετευτικό Σύστημα και η μονάδα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων (Μ.Ε.Α.Υ.Α.) Πάφου προσφέρει πλήθος θετικών επιπτώσεων στην περιοχή [33].

- Καθαροί δρόμοι
- Καθαρές ακτές & παραλίες
- Καθαρά υπόγεια ύδατα
- Ποιότητα ζωής τους κατοίκους
- Αποφυγή ρύπανσης του περιβάλλοντος
- Διασφάλιση δημόσιας υγείας
- Διατήρηση και ανάπτυξη του τουρισμού

- Αναβάθμιση της οδικής υποδομής
- Παροχή νερού για άρδευση
- Παροχή εδαφοβελτιωτικού μέσω της παραγόμενης ιλύος

4.1.3. Συντήρηση του Συστήματος- Υποχρεώσεις Σ.Α.ΠΑ

Το Σ.Α.ΠΑ είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο, την συντήρηση και την αποκατάσταση βλαβών στο αποχετευτικό σύστημα, στα αντλιοστάσια και στην Μ.Ε.Α.Υ.Α.. Αναλυτικότερα, οφείλει να καθαρίζει και να συντηρεί το δημόσιο τμήμα των αγωγών και τους δρόμους ώστε να μην δημιουργούνται εμφράξεις στο σύστημα αποχέτευσης. Ανταποκρίνεται σε έκτακτες κλήσεις για την αποκατάσταση βλαβών και εμφράξεων στους δημόσιους αγωγούς και την συντήρηση ώστε να μην υπάρχουν οχλήσεις λόγω οσμών. Ελέγχει την ορθή λειτουργία και συντηρεί τις αποχετεύσεις στα ιδιωτικά υποστατικά καθώς και τις λιποπαγίδες και τα αντλιοστάσια, ώστε τα λύματα να οδηγούνται με ασφάλεια στην Μ.Ε.Α.Υ.Α., ενώ τέλος διενεργεί ψεκασμούς στα δημόσια φρεάτια και τους αγωγούς για την καταπολέμηση τρωκτικών και εντόμων που εισέρχονται στο σύστημα επηρεάζοντας την λειτουργία του και ελλοχεύουν κινδύνους για την Δημόσια Υγεία.

4.1.4. Κανονισμοί για τους Πολίτες

Οι πολίτες που είναι συνδεδεμένοι με το Δημόσιο Αποχετευτικό Σύστημα απαγορεύεται να απορρίπτουν σε αυτό [33]:

- Νερό προερχόμενο από βροχή ή πλύσεις εξωτερικών χώρων
- Στερεά, απορρίμματα τροφίμων και τσίχλες
- Προφυλακτικά, και προϊόντα υγιεινής
- Χρωστικές και χημικές ουσίες
- Βενζίνη, πετρέλαιο ή άλλης φύσης εύφλεκτες ύλες
- Βαρέα μέταλλα, τοξικές ή δηλητηριώδεις ουσίες
- Ελαιώδεις ουσίες, Λιπαρές ουσίες (λάδια, γράσα, κερί κ.λπ.)
- Στάσιμα Λύματα προερχόμενα από απορροφητικούς λάκκους ή στεγανές δεξαμενές
- Λύματα ή λάσπη από βιολογικούς καθαρισμούς ιδιωτικής προέλευσης

Επιπρόσθετα, οι πολίτες δεν θα πρέπει να επιχειρούν να συνδεθούν στο σύστημα καθώς μοναδική δικαιοδοσία σύνδεσης έχει ο Σ.Α.ΠΑ. Οι πολίτες θα πρέπει να

προσκομίζουν αίτηση σύνδεσης και να προμηθευτούν ειδική γραπτή άδεια από τον φορέα (Πράσινη Κάρτα) [33]. Επίσης, δεν θα πρέπει να επεμβαίνουν με κανένα τρόπο στο σύστημα Αποχέτευσης και απαγορεύεται να ανοίγουν τους Δημόσιους Αγωγούς των οικοδομών. Τέλος, οι συνδεδεμένοι στο Αποχετευτικό Σύστημα δεν μπορούν να διατηρούν σηπτικούς και απορροφητικούς λάκκους.

4.2. Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου

Η κάθε οικοδομή- διαμέρισμα διαθέτει ιδιωτικό σύστημα αποχέτευσης το οποίο συνδέεται με το κεντρικό φρεάτιο της οικοδομής και από εκεί τα λύματα οδηγούνται στο Δημόσιο Αγωγό Αποχέτευσης (Υπόνομο) που βρίσκεται κάτω από το δρόμο. Η Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου δέχεται και Βιομηχανικά Υγρά Απόβλητα προς επεξεργασία, με την προϋπόθεση ότι έχουν υποστεί κατάλληλη προεπεξεργασία στο πεδίο ώστε να μην υποβαθμίζουν την απόδοση του Συστήματος Επεξεργασίας. Οι Δημόσιοι Αγωγοί της Πάφου λειτουργούν με φυσική ροή και καταλήγουν στον κεντρικό συλλέκτη, ο οποίος είναι ο Παραλιακός Αγωγός, από όπου κατευθύνονται προς τη Μ.Ε.Α.Υ.Α. Η ευρύτερη περιοχή της Πάφου διαθέτει 3 κεντρικά Αντλιοστάσια που διασφαλίζουν την ομαλή προώθηση των Υγρών Αποβλήτων στην Μ.Ε.Α.Υ.Α όπου εφαρμόζεται σε αυτή τριτοβάθμια επεξεργασία.

Η Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου βρίσκεται στην περιοχή Αχέλεια περίπου 10χλμ.απο το κέντρο της πόλης Πάφου, βορειοδυτικά του αεροδρομίου της περιοχής με συντεταγμένες Χ:513374, Υ:42951 και εξυπηρετεί πληθυσμό 170.000 κατοίκων/d, η δυναμικότητα επεξεργασίας λυμάτων έχει υπολογιστεί σε 20.000 m³/d, και η δυναμικότητα επεξεργασίας βοθρολυμάτων σε 200 m³/d. Το αντίστοιχο οργανικό φορτίο επεξεργασίας είναι 9.750 kg BOD₅/d [9]. Ο όρος BOD₅ (Biological Oxygen Demand for 5 days) εκφράζει την ποσότητα του βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς για χρονικό διάστημα 5 ημερών [2]. Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται η θέση της μονάδας ως προς την Πόλη της Πάφου.



Εικόνα 1: Θέση μονάδας ως προς την πόλη της Πάφου

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η πρώτη φάση κατασκευής της μονάδας το έτος 2002, η οποία περιλάμβανε βιολογική επεξεργασίας Ε.Ι. Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται η τωρινή εγκατάσταση η οποία όπως προαναφέρθηκε περιλαμβάνει 3 στάδια κατασκευής.



Εικόνα 2: Πρώτη φάση κατασκευής της Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου



Εικόνα 3: Τωρινή κατάσταση μονάδας.



Υπόμνημα:

1. Κτίριο Διοίκησης – Χημείο
2. Αποθήκη Υλικών
3. Προ επεξεργασία Λυμάτων – Πρωτοβάθμια καθίζηση – βιολογική επεξεργασία (Α' φάση)
4. Δευτεροβάθμια Καθίζηση-βιολογική επεξεργασία (Α' φάση)-
5. Τριτοβάθμια επεξεργασία (Σύστημα φίλτρανσης)
6. Πρωτοβάθμια καθίζηση - βιολογική επεξεργασία (Β' φάση)
7. Δευτεροβάθμια Καθίζηση-βιολογική επεξεργασία (Β' φάση)
8. Απολύμανση με χλωρίωση
9. Δεξαμενές εκτάκτου ανάγκης
10. Αναερόβιος χωνευτής
11. Βιο-γεννητριες -παραγωγής ενέργειας
12. Αεροφολλάκιο –Βιοαέριο
13. Μηχανή Φυγοκέντρησης (αφυδάτωση)
14. Σύστημα ηλιακής ξήρανσης - Θερμοκήπιο

Εικόνα 4:Απεικόνιση της Μ.Ε.Α.Υ.Α Πάφου

Τα υγρά απόβλητα εισέρχονται στην Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου και αρχικά υπόκεινται σε προεπεξεργασία. Το πρώτο Στάδιο της προεπεξεργασίας στοχεύει στην αφαίρεση των ξένων σωμάτων μεγάλου μεγέθους με την χρήση μηχανικών εσχάρων ώστε να μην προκληθούν φθορές στο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Τα ανόργανα ξένα σώματα που αφαιρούνται συλλέγονται και οδηγούνται σε ειδικό σημείο της εγκατάστασης. Στην συνέχεια ακολουθεί δεύτερη εσχάρωση με μηχανικές εσχάρες μικρότερου μεγέθους και εξάμμωση. Στο στάδιο αυτό αφαιρείται χώμα, άμμος, και μικρά σωματίδια τα οποία είτε διοχετεύτηκαν από κατοίκους της περιοχής από τα μπάνια και τις κουζίνες, είτε εισήλθαν στο δημόσιο δίκτυο αποχέτευσης από εσοχές.

Ακολουθεί πρωτοβάθμια καθίζηση σε δεξαμενές όπου αφαιρούνται τα πρώτα οργανικά στερεά με αποτέλεσμα να υπάρχει μείωση του οργανικού βιολογικού φορτίου της τάξης του 30-40%. Η ιλύς που καθιζάνει στην δεξαμενή καθίζησης (Δ.Κ.) αντλείται και οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία στην γραμμή ιλύος. Όπως προαναφέρθηκε, η Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου εφαρμόζει βιολογική επεξεργασία με την χρήση Δεξαμενών Αερισμού εντός των οποίων η ενεργοποιημένη βιομάζα διασπά το

90% του υπολειπόμενου βιολογικού φορτίου. Η εκροή από τις Δεξαμενές Αερισμού οδηγείται σε Δευτεροβάθμια Καθίζηση όπου η ενεργοποιημένη βιομάζα καθιζάνει στον πυθμένα της δεξαμενής και η διαυγασμένη εκροή εκρέει προς περαιτέρω επεξεργασία. Τμήμα της ιλύος ανακυκλοφορεί στις Δεξαμενές Αερισμού ώστε το ποσοστό των πτητικών αιωρούμενων στερεών μικτού υγρού (Mixed liquor volatile suspended solids- MLVSS) να παραμένει σταθερό και το υπόλοιπο μέρος οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία για την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού και την παραγωγή ενέργειας. Με την Β' Φάση των έργων κατασκευάστηκαν δύο νέες γραμμές βιολογικής επεξεργασίας με Σύστημα Ενεργού Ιλύος Παρατεταμένου Αερισμού τύπου Carrousel[34].

Η εκροή από την Δευτεροβάθμια Δεξαμενή Καθίζησης εισέρχεται στην γραμμή Τριτοβάθμια επεξεργασίας η οποία επεκτάθηκε κατά την Β' Φάση των έργων[34]. Η εκροή φιλτράρεται διαμέσου στρωμάτων άμμου συνεχούς έκπλυσης σε σύστημα φίλτρανσης Σουηδικής Τεχνολογίας Dynasand και στην συνέχεια απολυμαίνεται ώστε να απομακρυνθούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Μετά την διεργασία της απολύμανσης η εκροή είναι κατάλληλη για άρδευση στην γεωργία όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια και πληροί τα κριτήρια του Τμήματος Ανάπτυξης Υδάτων για αυτή τη χρήση [34].

Η βιολογική ιλύς που παράγεται κατά την Δευτεροβάθμια επεξεργασία καθώς και η ιλύς από την Δεξαμενή Πρωτοβάθμια Καθίζησης οδηγείται με την χρήση αντλιών στην δεξαμενή Πάχυνσης όπου μειώνεται το ποσοστό υγρασίας. Στην συνέχεια ακολουθεί αναερόβια Μεσοφιλική χώνευση όπου μέσω της δράσης αναερόβιων μικροοργανισμών υπό ελεγχόμενες συνθήκες παράγεται βιοαέριο. Το παραγόμενο αέριο οδηγείται στην μονάδα συμπαραγωγής-Μονάδα Βιο-γεννήτριας για την παραγωγή ρεύματος το οποίο καλύπτει τμήμα ή το σύνολο των ενεργειακών αναγκών της Μ.Ε.Α.Υ.Α. [33,34]. Το τελικό προϊόν εισέρχεται σε φυγοκεντρική (decanter) ώστε να αφυδατωθεί, και υπάρχει και Σύστημα Ηλιακής Ξήρανσης ώστε η αποξηραμένη λάσπη να πληροί τα κριτήρια για εδαφοβελτιωτικό σε αγροτικά τεμάχια[34]. Η Ηλιακή ξήρανση μπορεί να μειώσει την υγρασία της λάσπης από το 85% στο 20% δίχως να καταναλώνει ενέργεια αφού χρησιμοποιείται η ηλιακή ενέργεια και η ιλύς τοποθετείται σε κατάλληλα διαμορφωμένο θερμοκήπιο για την

ενίσχυση της απόδοσης [33,34]. Σε όλη την εγκατάσταση χρησιμοποιούνται φίλτρα απόσπησης ώστε να μην δημιουργούνται οχλήσεις [33,34]. Με την Β' Φάση των έργων η παραγόμενη ιλύς είναι 5-6 φορές λιγότερη σε ποσότητα με αποτέλεσμα να μπορεί να μεταφερθεί με μικρότερο κόστος στο πεδίο διάθεσης και να μην προκαλεί καμία όχληση λόγω παραγόμενων οσμών.

4.2. Οδηγία της Κύπρου για την διαχείριση των Λυμάτων

Η Κύπρος εφαρμόζει τον Νόμο 106(I) 2002 για τον «Έλεγχο της Ρύπανσης των Υδάτων» ο οποίος έχει τροποποιηθεί το 2013 [35]. Επιπρόσθετα, εφαρμόζει και τους κανονισμούς Κ.Π.Δ 407/2002, 772/2003, 254/2003 και 269/2005 καθώς και των Κ.Π.Δ. 407/2002 που αφορά τον Κώδικα Καλής Γεωργικής Πρακτικής (2007)[36,37,38,39,40].

Σύμφωνα με την Κυπριακή αλλά και την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία (91/271/ΕΟΚ) για να επαναχρησιμοποιηθούν τα υγρά απόβλητα θα πρέπει να υποβληθούν σε ολοκληρωμένη Επεξεργασία (Τριτοβάθμια Επεξεργασία). Ο Νόμος 106 (I) 2002 περιγράφει τους ακόλουθες χρήσεις για την επεξεργασμένη εκροή[35]:

- Σε χώρους Πρασίνου και σε Λαχανικά που καταναλώνονται μετά από μαγειρική
- Σε καλλιέργειες και Πράσινες περιοχές με περιορισμένη χρήση
- Σε χώρους Πρασίνου με περιορισμένη πρόσβαση του κοινού
- Σε καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται για κτηνοτροφικούς σκοπούς
- Σε βιομηχανικές καλλιέργειες για την παραγωγή ενέργειας
- Για τον εμπλουτισμό υδροφορέων

Αντίστοιχες κατηγορίες περιλαμβάνει και ο Κώδικας Καλής Πρακτικής όπως παρουσιάζονται στην συνέχεια [40]

- Άρδευση των χώρων Πρασίνου
- Άρδευση των γεωργικών καλλιεργειών, των καλλιεργειών για κτηνοτροφικό σκοπό και των χώρων πρασίνου με περιορισμένη πρόσβαση στο κοινό
- Άρδευση Αμπελώνων
- Άρδευση λαχανικών που καταναλώνονται μετά από μαγείρεμα
- Άρδευση λαχανικών που τρώγονται ωμά

- Άρδευση οπωροφόρων δέντρων
- Στα λαχανικά που καταναλώνονται ωμά δεν περιλαμβάνονται τα φυλλώδη, οι βολβοί ή οι κόνδυλοι.

Επιπρόσθετα, ο κώδικας Καλής Γεωργικής Πρακτικής περιγράφει ένα σύνολο «Κανόνων» που θα πρέπει να ακολουθούνται για την αποφυγή αρνητικών επιπτώσεων από την επαναχρησιμοποίηση Επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων[40]. Θα πρέπει να υπάρχει ειδική σήμανση κόκκινου χρώματος σε όλους τους κρουούς σε περιοχές όπου υπάρχει ανθρώπινη πρόσβαση ώστε να προειδοποιούνται ότι δεν πρόκειται για πόσιμο νερό, και δεν θα πρέπει να διασταυρώνεται με σωλήνες πόσιμου νερού. Ακόμα, το νερό της εκροής θα πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον ένα μέτρο πιο χαμηλά από τους σωλήνες πόσιμου νερού ώστε να μην υπάρχουν επιμολύνσεις σε περίπτωση διάβρωσης των αγωγών[40]. Στις περιοχές όπου υπάρχει πρόσβαση του κοινού (χώροι πρασίνου, πάρκα, γήπεδα γκολφ κ.λπ) η άρδευση θα πρέπει να γίνεται την νύχτα ώστε να μην υπάρχει ανθρώπινη παρουσία. Τέλος, σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ., στις καλλιέργειες που προορίζονται για κατανάλωση θα πρέπει η άρδευση να διακόπτεται 14 ημέρες πριν την συλλογή [2].

Στην περίπτωση των Μ.Ε.Α.Υ.Α. το Σύστημα Επεξεργασίας σχεδιάζεται με βάση την χρήση της εκροής ώστε τα χαρακτηριστικά της να συμφωνούν με την Νομοθεσία και να μην δημιουργείται επιβάρυνση στο σημείο εκροής. Στην συνέχεια πρέπει να εκδοθεί Άδεια και να ακολουθηθεί Σύστημα Επιθεώρησης για τον έλεγχο Ρύπανσης του Νερού. Στην Κύπρο το Υπουργείο Γεωργίας Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος είναι υπεύθυνο για την έκδοση της Άδειας Απόρριψης Επεξεργασμένων Αποβλήτων. Στην Άδεια καθορίζονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και λοιπά ποιοτικά κριτήρια, και το είδος της καλλιέργειας που θα αρδεύει η εκροή. Ο Νόμος 106(I) 2002 περιλαμβάνει αριθμητικές οριακές τιμές για παραμέτρους της εκροής της Μ.Ε.Α.Υ.Α. λαμβάνοντας υπόψη την δυναμικότητα της μονάδας, και τον τύπο της επεξεργασίας [35]. Αναλυτικότερα για Μ.Ε.Α.Υ.Α. που εξυπηρετούν πληθυσμό μικρότερο από 2000 Ι.Κ. λαμβάνονται υπόψη τα BOD₅, TSS, παρασιτικά σκουλήκια και κολοβακτηρίδια κοπράνων, ενώ για Μ.Ε.Α.Υ.Α που εξυπηρετεί πληθυσμό μεγαλύτερο των 2000 Ι.Κ. εξετάζονται επιπλέον 17 παράμετροι. Για τους μικρούς βιολογικούς καθαρισμούς ελέγχους διενεργεί το Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, ενώ για τους βιολογικούς άνω των

2000 Ι.Κ το Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων ή το Τμήμα Περιβάλλοντος ή το Τμήμα Αστικής Αποχέτευσης[36].

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός Πίνακας 3 για τις Ε.Ε.Λ. με ισοδύναμους κάτοικους (Ι.Κ.) κάτω από 2000.

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός Πίνακας ορίων ανά χρήση για Ε.Ε.Λ. με Ι.Κ. κάτω από 2000[36]

Χρήση	BOD5 (mg/L)	SS(mg/L)	E.Coli/100mL	Eggs of Intestinal Worms/L
Όλες οι καλλιέργειες και οι χώροι Πρασίνου με ελεύθερη χρήση (α)	10*	10*	5* 15**	0
Καλλιέργειες για Μαγειρεμένα Λαχανικά (β)	10* 15**	10* 15**	50* 100**	0
Προϊόντα για ανθρώπινη βρώση και χώροι πρασίνου με περιορισμένη χρήση από το κοινό	20* 30**	30* 45**	200* 1000**	0
Καλλιέργειες κτηνοτροφικών προϊόντων	20* 30**	30* 45**	1000** 5000**	0
Καλλιέργειες Βιομηχανικών φυτών	50* 70**	-	3000* 5000**	-

*: Οι τιμές δεν πρέπει να υπερβαίνουν για το 80% των δειγμάτων

**: Ανώτερη αποδεκτή τιμή

Αριθμός δειγματοληψιών: 24/ year

(α) Εξαιρούνται φυλλώδη λαχανικά, βολβοί και κόνδυλοι που τρώγονται χωρίς μαγείρεμα

(β) πατάτες, κολοκάσι, κοκκινογούλια

Η Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου διαθέτει την επεξεργασμένη εκροή για τον τεχνητό εμπλουτισμό του υδροφόρου Εζούσα μέσω ειδικά κατασκευασμένων αβαθών λιμνών. Το νερό από εκεί αντλείται ξανά από τον υδροφόρο ορίζοντα και χρησιμοποιείται για άρδευση. Η άντληση γίνεται σε στάδια ώστε να μεγιστοποιείται ο χρόνος κατακράτησης στο υδροφόρο ορίζοντα όπου λαμβάνει χώρα φυσικό καθαρισμός.

4.3. Παρουσίαση της Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου- Αποδόσεις Συστήματος

4.3.1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια της έρευνας για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στην Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου και συλλέχθηκαν φωτογραφίες και στατιστικά στοιχεία για την απόδοση του συστήματος επεξεργασίας κατά την διάρκεια το έτους, και τις καταναλώσεις ενέργειας. Αρχικά περιγράφονται τα βασικά στάδια επεξεργασίας με την χρήση φωτογραφιών που ελήφθησαν και στην συνέχεια παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των βασικών σταδίων επεξεργασίας, οι απαιτήσεις ενέργειας, τα χαρακτηριστικά της εκροής και οι αποδόσεις το συστήματος.

4.3.2. Επίσκεψη Εγκατάστασης

Η Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου διαθέτει δεξαμενές οι οποίες χρησιμοποιούνται όταν η παροχή αυξηθεί λόγω απρόβλεπτων συνθηκών, όπως σε έντονη βροχόπτωση, τουριστική περίοδο κ.α., ή σε περιπτώσεις που η εγκατάσταση σταματήσει την επεξεργασία για την συντήρηση του εξοπλισμού, ή κατά την εισροή τοξικού φορτίου. Στις εικόνες 4,5 παρουσιάζονται οι Δεξαμενές έκτακτης ανάγκης.



Εικόνα 5: Δεξαμενή έκτακτης ανάγκης



Εικόνα 6: Δεξαμενή έκτακτης ανάγκης

Κατά την επεξεργασία της πρώτης φάσης τα απόβλητα εισέρχονται σε δεξαμενές αερισμού με διαχυτές. Η επεξεργασία που λαμβάνει χώρα είναι βιολογική επεξεργασία Ενεργού Ιλύος (Ε.Ι.). Στις Εικόνες 6 έως 18 παρουσιάζονται οι εγκαταστάσεις στην Α' φάσης. Η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί ώστε να καλύπτει μεγάλο εύρος παροχής της εισροής και κατά τις περιόδους που η παροχή δεν είναι μεγάλη, λειτουργούν μόνο οι απαιτούμενες δεξαμενές.



Εικόνα 7: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 8: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 9: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 10: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 11: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 12: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 13: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 14: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 15: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 16: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 17: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 18: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας



Εικόνα 19: Εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας

Η Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου διαθέτει σύστημα αναερόβιας χώνευσης και μονάδα συλλογής του βιοαερίου. Το παραγόμενο μεθάνιο χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης και όταν δεν επαρκεί η χωρητικότητα πραγματοποιείται εκτόνωση με καύση της περίσσειας. Η παραγόμενη ιλύς από το σύστημα διοχετεύεται για φυγοκέντρωση σε decanter, και τμήμα της ιλύος ξηραίνεται και διατίθεται ως εδαφοβελτιωτικό ή οδηγείται σε τσιμεντοβιομηχανία της περιοχής. Στις επόμενες Εικόνες παρουσιάζεται η γραμμή επεξεργασίας της ιλύος.



Εικόνα 20: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 21: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 22: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 23: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 24: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 25: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 26: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 27: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 28: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 29: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.



Εικόνα 30: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος.

Για την αφαίρεση των παθογόνων μικροοργανισμών ώστε η εκροή να μην εγκυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία, και να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας στην Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου εφαρμόζεται χλωρίωση πριν την εκροή. Η μονάδα χλωρίωσης είναι μαιανδρικού τύπου όπως παρουσιάζεται και στις Εικόνες 30 έως 33.



Εικόνα 31: Δεξαμενή Χλωρίωσης



Εικόνα 32: Δεξαμενή Χλωρίωσης.



Εικόνα 33: Δεξαμενή Χλωρίωσης.



Εικόνα 34: Δεξαμενή Χλωρίωσης.

4.3.3. Αποδόσεις Συστήματος

Κατά την διάρκεια της επίσκεψης στην Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου συλλέχθηκαν δεδομένα που αφορούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της εισροής και των βόθρων της περιοχής, την διακύμανση τους ανά μήνα του έτους 2019, την απόδοση του συστήματος και της τριτοβάθμιας επεξεργασίας καθώς και την κατανάλωση ενέργειας.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές σχεδιασμού για την παροχή και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της εισροής που εισέρχεται στην Μ.Ε.Α.Υ.Α. μέσω του αποχετευτικού δικτύου.

Πίνακας 4: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές σχεδιασμού για την παροχή και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της εισροής.

	DESIGN INLET FLOWRATES (m ³ /d)		DESIGN INLET LOADS (Kg/d)		DESIGN INLET CONCENTRATIONS (mg/L)	
	MIN (33%)	MAX (100%)	MIN (33%)	MAX (100%)	MIN (33%)	MAX (100%)
Inlet flow design load	6435	19500				
Inlet septage flow design load		200				
BOD₅			3218	9750	165	625
COD			5309	16088	272	1031
TSS			1609	4875	83	313
TKN			483	1463	25	94
TP			129	390	7	25

Τα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας την μέγιστη, την ελάχιστη και την μέση τιμή για την εκάστοτε παράμετρο. Τόσο η παροχή, όσο και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της εισροής δεν έχουν μία σταθερή τιμή καθώς εξαρτώνται από τις καταναλώσεις και τον τρόπο ζωής των κατοίκων της περιοχής. Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει την διακύμανση της εκάστοτε παραμέτρου ανά μήνα και το Διάγραμμα 1 την διακύμανση της παροχής ανά μήνα του έτους 2019.

Πίνακας 5: Διακυμάνσεις φυσικοχημικών χαρακτηριστικών και παροχής ανά μήνα

ΜΗΝΑΣ	Μέση Μηνιαία Συγκέντρωση Εισροής								Μέση μηνιαία Παροχή
	pH	Αγωγιμότητα	BOD ₅	COD	TSS	TN	NH ₄ -N	TP	
		mS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
Ιανουάριος	7,84	1.57	305	573	301	51.3	34.4	7.9	13753
Φεβρουάριος	7,83	1.57	343	700	365	63.7	41.3	9.3	13886
Μάρτιος	7,81	1.64	404	993	525	67.9	42.9	11.2	13655
Απρίλιος	7,68	1.69	439	876	431	67.6	45.4	11.5	13995
Μάιος	7,73	1.70	570	876	444	69.8	46.8	12.6	14105
Ιούνιος	7,73	1.69	615	895	476	68.6	46.7	13.4	14916
Ιούλιος	7,77	1.67	472	814	371	70.4	48.9	11.8	14961
Αύγουστος	7,70	1.69	540	872	388	74.1	49.5	11.7	15606
Σεπτέμβρης	7,74	1.67	504	845	389	71.6	46.4	11.0	14808
Οκτώβρης	7,69	1.71	544	802	334	71.5	50.7	11.0	14085
Νοέμβρης	7,65	1.72	531	787	354	68.7	46.9	10.6	11935
Δεκέμβρης	7,69	1.75	395	694	331	60.7	41.3	9.6	12497
MAX	7.84	1.75	615	993	525	74.1	50.7	13.4	15606
AVERAGE	7.74	1.67	471.8	810.6	392.3	67.2	45.1	11.0	14017
MIN	7.65	1.57	305	573	301	51.3	34.4	7.9	11935
ANNUAL TOTAL									5116127

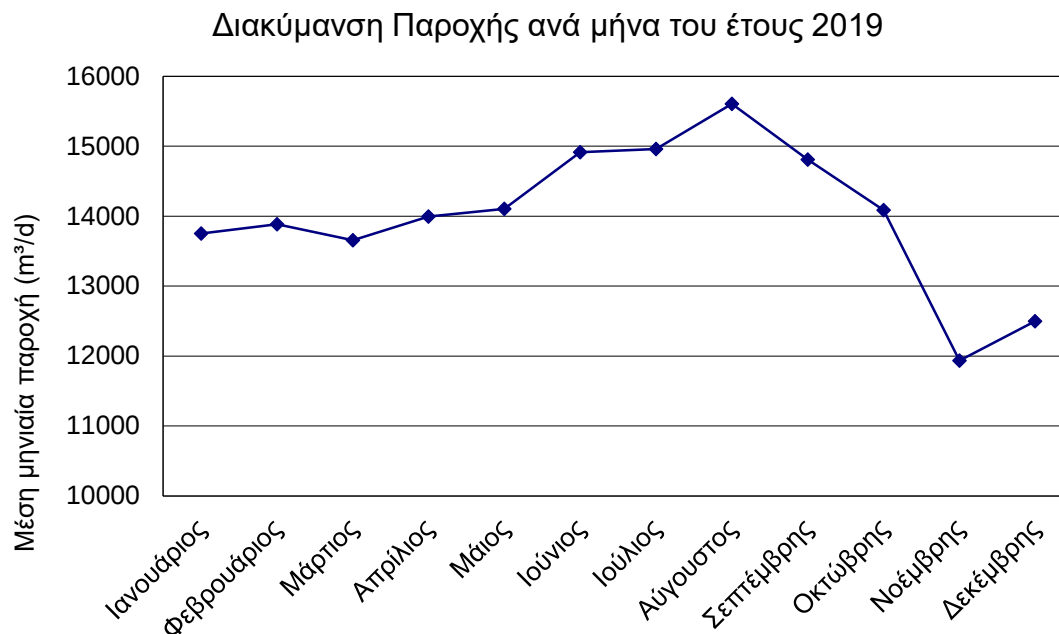


Figure Διάγραμμα 1: Διακύμανση παροχής ανά μήνα του έτους 2019

Από τα δεδομένα το Πίνακα 5 και το γράφημα 1 παρατηρούμε ότι η παροχή κατά τους θερινούς μήνες αυξάνεται καθώς οι απαιτήσεις των κατοίκων για νερό (ντουζ, πλύσεις κ.λπ.) είναι μεγαλύτερες. Επιπρόσθετα, η παράμετρος το pH δεν έχει σημαντική μεταβολή κατά την διάρκεια το έτους και η μέση τιμή το είναι 7,74 γεγονός που εννοεί την βιολογική επεξεργασία και δεν απαιτεί χρήση χημικών για την ρύθμιση του. Ο λόγος του BOD₅ προς το COD είναι σε καλή τιμή ώστε η απόδοση το συστήματος να είναι υψηλή. Το BOD₅ είναι λίγο πιο χαμηλό κατά τους χειμερινούς μήνες και αντίστοιχο προφίλ παρουσιάζει και το COD και τα στερεά. Στα στερεά παρατηρείται μία υψηλότερη τιμή κατά τον μήνα Μάρτιο γεγονός που έχει προκληθεί από κάποιο τυχαίο γεγονός, με το σύνολο των τιμών του να είναι κατάλληλες για βιολογική επεξεργασία. Οι τιμές το αζώτου, των αμμωνιακών και του φωσφόρου είναι τυπικές για αστικά απόβλητα και προέρχονται κυρίως από απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται στις οικίες.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται τα σχεδιαστικά δεδομένα για τα νερά από βόθρους που οδηγούνται στην Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου και στον Πίνακα 7 οι μηνιαίες διακυμάνσεις ανά φυσικοχημικό χαρακτηριστικό, όπως και η διακύμανση της εισροής ανά μήνα.

Πίνακας 6: Σχεδιαστικά δεδομένα για τα νερά από βόθρους που οδηγούνται στην Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου

	DESIGN INLET FLOWRATES	DESIGN INLET LOADS
	m ³ /d	Kg/d
Inlet septage flow design load	200	
BOD ₅		260
TSS		500

Πίνακας 7: Μηνιαίες διακυμάνσεις ανά φυσικοχημικό χαρακτηριστικό ανά μήνα του έτους 2019, και διακύμανση της εισροής ανά μήνα του έτους 2019.

ΜΗΝΑΣ	Μέση Μηνιαία Συγκέντρωση Εισροής					Μέση μηνιαία Παροχή
	pH	Αγωγιμότητα	BOD ₅	COD	TSS	m ³ /d
		mS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	
Ιανουάριος	8,07	9,55	2124	7317	4491	94
Φεβρουάριος	7,87	7,74	4931	12383	19438	95,2
Μάρτιος	7,77	2,40	1492	9615	6595	135,0
Απρίλιος	7,06	2,35	1774	4021	3342	142,9
Μάιος	7,57	3,30	3749	15675	26228	120
Ιούνιος	7,19	2,27	2879	17571	27803	130,4
Ιούλιος	6,67	4,11	3197	19522	13928	178,1
Αύγουστος	7,42	1,89	961	7894	7203	163,1
Σεπτέμβρης	7,56	4,06	1652	8982	15385	146,7
Οκτώβρης	7,20	3,87	2880	6752	7513	122,8
Νοέμβρης	7,55	1,52	898	6214	6418	107,9
Δεκέμβρης	8,15	3,35	1282	5785	7800	88,0
MAX	8,2	9,55	4931	19522	27803	178,1
AVERAGE	7,5	3,87	2318	10144	12178	127,1
MIN	6,7	1,52	898	4021	3342	88
ANNUAL TOTAL						46376

Οι τιμές από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των βόθρων είναι πιο υψηλές από τις εισροές του βιολογικού καθαρισμού, όμως λόγω της μικρής παροχής τους δεν αυξάνουν σημαντικά το συνολικό φορτίο των υγρών αποβλήτων. Το pH δεν παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις κατά την διάρκεια του έτους και η ουδέτερη τιμή του ευνοεί την βιολογική επεξεργασία. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) έχει σημαντικές μεταβολές κατά την διάρκεια του έτους αλλά δίχως τις μετρήσεις των προηγούμενων ετών δεν μπορούν να εξαχθούν τεκμηριωμένα συμπεράσματα. Επιπρόσθετα κατά τους θερινούς μήνες οι τιμές των BOD, COD, TSS είναι πιο αυξημένες. Κατά τους θερινούς μήνες όπου οι καταναλώσεις νερού αυξάνονται οι βόθροι γεμίζουν ταχύτερα με αποτέλεσμα οι παροχές και το φορτίο των αποβλήτων που οδηγείται την Μ.Ε.Α.Υ.Α. να είναι υψηλότερο.

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται οι αποδόσεις το συστήματος επεξεργασίας της Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου.

Πίνακας 8: Αποδόσεις του συστήματος επεξεργασίας της Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου

		BOD ₅	COD	TSS	TN	NH ₄ -N	TP
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Process Overall removal Efficiency (%) (24h Raw Sewage VS 24 h Tertiary Outlet)*		99.3	97.1	98.8	88.0		
Primary Settling Tank Removal Efficiency (24h Raw Sewage VS Grab Primary Clarifier Outlet)*	LINE 1	32.4	27.1	45.7	No Removal	No Removal	No Removal
	LINE 2	33.1	30.2	49.6	No Removal	No Removal	No Removal
	LINE 3	52.5	51.4	68.9	No Removal	No Removal	No Removal
Average Primary Settling Tank Removal Efficiency from all lines		39.3	36.2	54.8			
Tertiary Filters Removal Efficiency (Grab Secondary Clarifier Effluent VS 24 h Tertiary Effluent)*				29.2			
Rates calculated by annually average values. TN, NH ₄ -N or TP removal implies higher outlet that inlet values. This was due to PO ₄ -P or NH ₄ -N return in the system through the decanter drainage which is discharged prior to primary settling tanks.							

Η συνολική απόδοση της επεξεργασίας είναι πολύ υψηλή για όλες τις παραμέτρους που εξετάζονται στον Πίνακα 8. Κατά την προεπεξεργασία η απομάκρυνση των στερεών είναι πάνω από το 54,8% καθώς απομακρύνονται τα ευμεγέθη στερεά και τμήμα του οργανικού φορτίου. Το βιολογικά και το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5 και COD) μειώνεται στην τάξη του 40% και αυτό βοηθά την δευτεροβάθμια επεξεργασία η οποία αφαιρεί το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού φορτίου. Η Τρίτη γραμμή επεξεργασίας είναι και η πιο αποδοτική και ακολουθούν η δεύτερη και τέλος η πρώτη. Δυστυχώς δεν υπάρχει πρόσβαση σε περαιτέρω τεχνικές πληροφορίες ώστε να αιτιολογηθεί η διαφορά στην απόδοση. Για την τριτοβάθμια επεξεργασία, τα στερεά μειώνονται κατά 29,2% σε σχέση με την συγκέντρωση που είχαν στην έξοδο της δεξαμενής καθίζησης. Η χρήση φίλτρων μετά την δεξαμενή καθίζησης είναι γνωστή πρακτική ώστε να μειωθούν περαιτέρω τα στερεά του διαυγασμένου υγρού.

Η απομάκρυνση του αζώτου και των αμμωνιακών είναι 88 και 99,7% αντιστοίχως, ενώ η απομάκρυνση του φωσφόρου είναι 70,7%. Για να απομακρυνθεί με βιολογικό τρόπο ο φώσφορος θα πρέπει να παρέχονται επαρκείς χρόνοι παραμονής στο σύστημα. Ενδεχομένως να αυξηθεί η απομάκρυνση του αν αυξηθούν οι χρόνοι παραμονής κατά την βιολογική διεργασία. Η απομάκρυνση του αζώτου είναι ταχύτερη διεργασία και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα μπορεί να απομακρύνει επαρκώς το άζωτο από τα απόβλητα. Στο στάδιο της προεπεξεργασίας δεν καταγράφεται η απομάκρυνση του αζώτου, των αμμωνιακών, και το φωσφόρου καθώς η τιμή στην έξοδο είναι μεγαλύτερη από την τιμή της εισροής για τις παραμέτρους αυτές. Αυτό συμβαίνει διότι η ανακυκλοφορία από το decanter τροφοδοτείται στην δεξαμενή προεπεξεργασίας.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές στην έξοδο της τριτοβάθμιας επεξεργασίας και τα Νομοθετικά όρια εκροής για την Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου. Από τα δεδομένα του Πίνακα 9 παρατηρείται ότι όλες οι παράμετροι εκτός από την τιμή του ελεύθερου χλωρίου βρίσκονται κάτω από τα νομοθετικά όρια για την χρήση της εκροής. Η τιμή του ελεύθερου χλωρίου είναι κατά 0,1 mg/L πάνω από το όριο και μπορεί να ρυθμιστεί με παρακολούθηση της διεργασίας. Αν και το ελεύθερο χλώριο επιβαρύνει το οικοσύστημα και τον αποδέκτη της Μ.Ε.Α.Υ.Α. ο κίνδυνος για την δημόσια υγεία είναι πολύ πιο σημαντικός σε περίπτωση που το χλώριο που προστίθεται δεν επαρκεί και ελευθερώνονται παθογόνοι μικροοργανισμοί με την εκροή. Στα δεδομένα του προηγούμενου Πίνακα αναλύθηκε η απόδοση απομάκρυνσης του φωσφόρου και η χαμηλή τιμή της, όμως όπως βλέπουμε από τον Πίνακα 9 η απομάκρυνση αυτή επαρκεί ώστε να καλύπτονται τα νομοθετικά όρια. Κατά την συνάντηση στην Μ.Ε.Α.Υ.Α. υπήρξε περιορισμένη ενημέρωση για την διάθεση της εκροής με αποτέλεσμα να αντληθούν πληροφορίες από την σελίδα του Συμβουλίου Αποχετεύσεων Πάφου (Σ.Α.ΠΑ). Η εκροή διοχετεύεται στο υπέδαφος ώστε να εμπλουτιστεί ο υπόγειος υδροφόρος πλησίον γεώτρησης που αντλεί νερό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 10 η ενεργειακή κατανάλωση κατά τους χειμερινούς μήνες είναι μικρότερη από το υπόλοιπο έτος. Επιπρόσθετα τα έργα επέκτασης έχουν μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από τα έργα της πρώτης φάσης κατασκευής γεγονός που δικαιολογείται καθώς τριπλασίασαν την δυναμικότητα του συστήματος. Τέλος η αύξηση του φορτίου και της παροχής κατά τους θερινούς μήνες οδηγεί και σε αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας στην μονάδα βιοαερίου.

Πίνακας 9: Μέσες μηνιαίες τιμές στην έξοδο της τριτοβάθμιας επεξεργασίας και τα Νομοθετικά όρια εκροής για την Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου.

ΜΗΝΑΣ	Μέση Μηνιαία Συγκέντρωση Εκροής										
	pH	Αγωγιμότητα	BOD ₅	COD	TSS	TN	TKN	NH ₄ -N	NO ₃ -N	TP	Free Chlorine
		mS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	m ³ /d		
Ιανουάριος	7,6	1,6	0,8	19,4	4,7	14,1	2,4	0,6	12,1	3,6	1,4
Φεβρουάριος	7,7	1,4	1,6	22,4	4,2	13,4	2,2	0,4	11,3	5,0	1,2
Μάρτιος	7,8	1,5	4,1	27,2	5,5	10,7	1,3	0,1	9,3	2,5	0,7
Απρίλιος	7,8	1,4	4,5	26,1	4,8	6,9	1,2	0,2	5,7	1,9	0,7
Μάιος	7,9	1,4	4,7	25,9	5,5	7,4	1,2	0,1	6,1	2,4	0,7
Ιούνιος	7,9	1,4	5,1	22,6	4,6	5,2	0,8	0,03	4,4	1,8	1,0
Ιούλιος	8,0	1,4	5,3	23,7	4,5	6,4	0,9	0,02	5,5	1,6	1,5
Αύγουστος	7,9	1,4	4,3	25,7	4,7	4,0	1,2	0,1	2,8	2,3	1,1
Σεπτέμβρης	8,0	1,4	2,3	25,2	4,4	6,2	1,1	0,1	5,1	4,4	1,1
Οκτώβρης	7,9	1,4	4,0	20,6	3,5	6,6	0,9	0,02	5,6	4,5	1,0
Νοέμβρης	7,8	1,4	4,1	22,7	4,0	7,3	1,0	0,04	6,3	4,6	1,1
Δεκέμβρης	7,8	1,5	1,3	25,5	4,1	8,4	1,1	0,2	7,3	3,8	1,2
MAX	8,0	1,6	5,3	27,2	5,5	14,1	2,4	0,6	12,1	5,0	1,5
AVERAGE	7,9	1,4	3,5	23,9	4,5	8,1	1,3	0,15	6,8	3,2	1,1
MIN	7,6	1,4	0,8	19,4	3,5	4	0,8	0,00	2,8	1,6	0,7
Limit	6,5-8,5	2,5	10	70	10	15		0,39	11,3	10,0	1

Τέλος στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι καταναλώσεις ενέργειας για την Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου.

Πίνακας 10: Καταναλώσεις ενέργειας στην Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου

Μήνας	Section and Description				
	LVP2-1	MLV1	Total	Specific Consumption	Biogenerator
	Extension Works	Old (existing Works)			
	kWh	kWh	kWh	kWh/m ³	kWh
Ιανουάριος	87630	265965	353595	0,83	56532
Φεβρουάριος	77450	253046	330496	0,85	53634
Μάρτιος	58765	293412	352177	0,83	61618
Απρίλιος	78433	300818	379251	0,90	58269
Μάιος	110992	324760	435752	1,00	70041
Ιούνιος	131624	321011	452635	1,01	69234
Ιούλιος	157629	313488	471117	1,02	67505
Αύγουστος	172515	315256	487771	1,01	64225
Σεπτέμβρης	171587	290818	462405	1,04	57084
Οκτώβρης	181100	299256	480356	1,1	53009
Νοέμβρης	148004	262402	410406	1,15	46202
Δεκέμβρης	98892	247072	345964	0,89	66686
Annual Total	1477621	3487304	4961925		724039
Daily Average	4040,1	9554,26	13594,32	0,97	1983,7

Κεφάλαιο 5: Θετικές επιπτώσεις και κίνδυνοι από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

5.1. Γενικά

Η αλόγιστη κατανάλωση υδάτων έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση των φυσικών πηγών παροχής καθαρού νερού με αποτέλεσμα περιοχές όπως η Κύπρος να αντιμετωπίζουν το φαινόμενο της λειψυδρίας. Το φαινόμενο όμως δεν είναι τοπικό, καθώς πλήθος κρατών, είτε λόγω αυξημένου πληθυσμού είτε λόγω στήριξης της οικονομίας σε τομείς που απαιτούν σημαντικές ποσότητες υδάτων (πχ. Αγροτικός τομέας στην Κίνα), αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα λειψυδρίας [52].

Ο τομέας της Περιβαλλοντικής Μηχανικής εστιάζει στην έρευνα και την ανάπτυξη συστημάτων και τεχνολογιών ώστε να τα υγρά απόβλητα να μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση την τελευταία τριακονταετία έχει εστιάσει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την προστασία του περιβάλλοντος. Τα κράτη μέλη της οφείλουν να υιοθετούν πρακτικές και πολιτικές για την επίτευξη των στόχων που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση στους εκάστοτε τομείς. Ένας από τους κυρίαρχους στόχους που έχουν τεθεί είναι και η ορθή διαχείριση των υδάτων με βάση τις αρχές της κυκλικής οικονομίας [53].

Η κυκλική οικονομία όπως αναλύθηκε στο θεωρητικό μέρος αποτελεί μία βιώσιμη λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας και της ξηρασίας. Όπως κάθε πρόταση έτσι και η κυκλική οικονομία έχει θετικές και αρνητικές επιπτώσεις. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι θετικές και οι αρνητικές επιπτώσεις από την επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων.

5.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων στοχεύει στον περιορισμό του φαινομένου της λειψυδρίας, όμως κατά περιπτώσεις εγκυμονεί κινδύνους για το περιβάλλον και τα έμβια όντα. Τα υγρά απόβλητα, ιδιαιτέρως τα βιομηχανικής προέλευσης, περιέχουν ουσίες οι οποίες δεν δύναται να απομακρυνθούν μέσω των συμβατικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Οι ρυπαντές αυτοί όταν απελευθερωθούν στο περιβάλλον μέσω της εκροής, προκαλούν περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως δυσοσμία, διαταραχή της χλωρίδας ή και τις πανίδας της περιοχής, και υποβάθμιση των υδάτων και του εδάφους. Επιπρόσθετα, η ποιότητα ζωής, και η υγεία των κατοίκων υποβαθμίζεται και το αστικό τοπίο έχει αντίστοιχες επιπτώσεις. [54]. Στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας χρησιμοποιείται και το βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση ώστε να ηλεκτροδοτηθεί η εγκατάσταση, και η ιλύς επεξεργάζεται μέχρι ένα στάδιο και στην συνέχεια διατίθεται προς διάθεση σε χώρους ταφής, ή και αποτεφρωτήρες [53]. Επίσης υπό προϋποθέσεις η ιλύς μπορεί

να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη σε εγκαταστάσεις παραγωγής τούβλων ή άλλων δομικών υλικών [53].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση σε μία προσπάθεια να περιορίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τους κινδύνους από την διάθεση υγρών αποβλήτων, έχει θεσπίσει κανονισμούς με ανώτατα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης του εκάστοτε ρυπαντή εντός του υδροφόρου ορίζοντα [55].

5.2.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο έδαφος από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Η διάθεση της επεξεργασμένης εκροής στο έδαφος αποτελεί μία συνηθισμένη τακτική ώστε να τροφοδοτείται ο υπόγειος υδροφόρος και να εμπλουτίζεται το έδαφος με την λιγότερο δυνατή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Επιπρόσθετα, η τροφοδότηση της εκροής στο έδαφος και στην συνέχεια η άντληση της μέσω γεώτρησης είναι μία πρακτική που χρησιμοποιείται ώστε να επιτευχθεί εμπλουτισμός της εκροής με θρεπτικά και μέταλλα ώστε να χρησιμοποιηθεί σε άρδευση [56]. Στις περιπτώσεις που η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων δεν είναι ολοκληρωμένη, το σώμα της εκροής εμπεριέχει ουσίες οι οποίες σχηματίζουν δεσμούς στο έδαφος και τείνουν να συσσωρεύονται σε αυτό υποβαθμίζοντας την ποιότητα του και δημιουργώντας εστίες ρύπανσης [57]. Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν τις πιο συχνά απαντώμενες περιπτώσεις βιομηχανικής ρύπανσης καθώς εισέρχονται στο έδαφος μέσω της εκροής και σχηματίζουν οξειδωτικές ενώσεις [57].

5.2.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον υδροφόρο ορίζοντα από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Μία συχνή πρακτική διάθεσης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η διάθεση στον υδροφόρο ορίζοντα. Αρχικά τα επεξεργασμένα λύματα μπορούν να διατεθούν απευθείας μέσω γεώτρησης στον υδροφόρο ορίζοντα. Άλλες πρακτικές είναι η χρήση της εκροής για άρδευση εκτάσεων πρασίνου ή καλλιεργείων, και η χρήση για έκπλυση του προαύλιου χώρου εγκαταστάσεων ή τη βιομηχανία [58]. Ο βαθμός επεξεργασίας είναι καθοριστικό κριτήριο ώστε να μην επιβαρυνθεί το υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας και οι κανόνες ασφαλείας θα πρέπει να τηρούνται σε κάθε περίπτωση.

Η επεξεργασμένη εκροή μπορεί να διοχετευτεί στα υπόγεια ύδατα σε περιοχές όπου παρατηρείται το φαινόμενο της λειψυδρίας, όπως στην περίπτωση της Κύπρου. Στην περίπτωση που η εκροή δεν είναι ορθά επεξεργασμένη, ενδέχεται να προκληθούν φαινόμενα ρύπανσης και μόλυνσης των υπόγειων υδάτων. Θα πρέπει τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα να είναι απαλλαγμένα από μικροοργανισμούς ή χημικές ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας στους εργαζόμενους ή να υποβαθμίσουν το παραγόμενο προϊόν. Η εκροή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ποτιστούν πάρκα, και άλλοι χώροι πρασίνου και χώροι αναψυχής. Η νομοθεσία έχει θέσει αυστηρά κριτήρια ως προς την ποιότητα της

εκροής η οποία θα πρέπει να είναι πλήρως επεξεργασμένη ώστε να μην επιβαρυνθεί η υγεία των επισκεπτών.

5.2.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από άλλες χρήσεις

Σε περιοχές που παρατηρούνται ακραία φαινόμενα λειψυδρίας, η επεξεργασμένη εκροή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πυροπροστασία, σε καζανάκια ή ακόμα και για πόση. Το επεξεργασμένο νερό που χρησιμοποιείται για πόση θα πρέπει να επεξεργαστεί σε βαθμό που να μην εγκυμονεί κανένα κίνδυνο για την δημόσια υγεία. Χρησιμοποιούνται συνδυαστικές τεχνικές προχωρημένης επεξεργασίας σε συνδυασμό με απολύμανση και συχνά η εκροή τροφοδοτείται πρώτα στο υπέδαφος ώστε να αποκτήσει το νερό τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Πρέπει να αναφερθεί ότι η εκροή θα αναμιχθεί με πόσιμο νερό ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος κατά την πόση. Τέλος σε βιομηχανικές περιοχές η εκροή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να περιοριστεί το κόστος παραγωγής. Η εκροή μπορεί να τροφοδοτήσει συστήματα ψύξης, λέβητες καθώς και πλύσεις του προαύλιου χώρου.

5.5. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην γεωργία από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Η χρήση της επεξεργασμένης εκροής στην γεωργία είναι μία πρακτική που χρησιμοποιείται ευρέως σε περιοχές που αντιμετωπίζουν φαινόμενα λειψυδρίας. Ο κυριότερος κίνδυνος κατά την άρδευση καλλιεργήσιμων εκτάσεων είναι η μετάδοση των παθογόνων μικροοργανισμών στην περίπτωση που το σύστημα επεξεργασίας δεν λειτουργεί αποδοτικά. Επιπρόσθετα, οι χημικές, οι φαρμακευτικές ενώσεις καθώς και άλλες ενώσεις που δεν απομακρύνονται επαρκώς από τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μπορούν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση του εδάφους και καταστροφή της γεωργικής παραγωγής [59]. Οι καλλιεργητές θα πρέπει να ακολουθούν την ισχύουσα νομοθεσία και να τηρούν όλα τα μέτρα που εκδίδονται και αφορούν την ώρα, το χρόνο ποτίσματος κ.α. οι οργανικοί ρύποι που ενδεχομένως να εμπεριέχονται στην εκροή (φαινολικές ενώσεις, PCB, PAH, επιφανειοδραστικές ενώσεις, και φαρμακευτικές ενώσεις) τείνουν να συσσωρεύονται στο έδαφος το οποίο αρδεύεται συστηματικά με επεξεργασμένες εκροές και προκαλούν τοξικότητα στο έδαφος, τα φυτά και κατ' επέκταση στο συνολικό οικοσύστημα της περιοχής [60].

Το μικροβιακό φορτίο της εκροής μπορεί να απορυθμίσει και το μικροβιακό φορτίο του εδάφους και ιδιαίτερα τους μικροοργανισμούς που συμβιώνουν στις ρίζες των φυτών, με αποτέλεσμα η ανάπτυξη των φυτών να ανασταλεί και η γονιμότητα του εδάφους να μειωθεί. Οι φαινολικές ενώσεις διαταράσσουν το μικροβίωμα της περιοχής καθώς προάγουν την ανάπτυξη πρωτογενών αποικοδομητών φαινόλης [61]. Οι επιφανειοδραστικές ουσίες κατηγοριοποιούνται στις ρυπογόνες ουσίες καθώς προκαλούν επιπτώσεις στο έδαφος. Τα φαρμακευτικά προϊόντα, οι ενδοκρινικοί διαταράκτες καθώς και οι μεταβολίτες τους, κατατάσσονται στις

ενώσεις αναδυόμενης ανησυχίας και μόλις τα τελευταία χρόνια ξεκίνησε η διερεύνηση των αρνητικών επιπτώσεων τους στο περιβάλλον [60,62]. Οι φαρμακευτικές ενώσεις προκαλούν τοξικότητα στους μικροοργανισμούς της Ε.Ι. με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αφαιρεθούν βιολογικά και να οδηγούνται στο περιβάλλον προκαλώντας πλήθος αρνητικών επιπτώσεων [63].

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η χρήση επεξεργασμένου ανακυκλώσιμου νερού επιτρέπεται μόνο σε συγκεκριμένες καλλιέργειες και θα πρέπει να δηλώνεται με ειδική σήμανση [64]. Ακόμα και σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας το αγοραστικό κοινό δεν είναι εξοικειωμένο με τα αγροτικά προϊόντα που αρδεύονται με επεξεργασμένες εκροές λυμάτων. Σε μία προσπάθεια ενίσχυσης της χρήσης ανακυκλώσιμου νερού παρέχονται κρατικές επιχορηγήσεις σε αγρότες και επιχειρήσεις που ακολουθούν την πρακτική αυτή [65]. Αντίστοιχα προβλήματα αντιμετωπίζουν και οι καλλιεργητές που χρησιμοποιούν εδαφοβελτιωτικά προερχόμενα από σταθεροποιημένη ιλύ και για την επίλυση του προβλήματος θα πρέπει να υπάρξει επαρκής ενημέρωση του κοινού για την βιώσιμη επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων καθώς και συστηματικοί έλεγχοι που διασφαλίζουν την ποιότητα των προϊόντων, της εκροής και του εδαφοβελτιωτικού.

5.6. Κίνδυνοι για την Δημόσια Υγεία από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Μέχρι στιγμής κανένα κράτος σε Παγκόσμιο επίπεδο δεν έχει θεσπίσει την απευθείας πόση επαναχρησιμοποιημένου νερού. Ωστόσο, εγκυμονούν κίνδυνοι κατά την χρήση των εκροών στην γεωργία και την κτηνοτροφία [66]. Ιδιαίτερα οι βιολογικοί καθαρισμοί οι οποίοι δέχονται και βιομηχανικά ή νοσοκομειακά λύματα θα πρέπει να εξετάζουν την ποιότητα της εκροής ενδελεχώς πριν την διάθεσή της [67]. Τα βιομηχανικά και τα νοσοκομειακά απόβλητα περιέχουν χημικές, οργανικές, φαρμακευτικές ουσίες και ενδοκρινικούς διαταράκτες οι οποίοι δεν μπορούν να αφαιρεθούν από τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων [63]. Επιπρόσθετα, όταν η δευτεροβάθμια επεξεργασία δεν είναι αποδοτική, μειώνεται και η απόδοση της απολύμανσης με αποτέλεσμα η εκροή να είναι μολυσματική. Ρύποι και μικροοργανισμοί μπορούν να καταλήξουν στα αγροτικά προϊόντα και τα ζώα εκτροφής και στην συνέχεια να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό όταν καταναλώσει τα εν λόγω προϊόντα. Βαρέα μέταλλα καθώς και μη οργανικοί ρύποι μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας στον άνθρωπο όταν συσσωρευτούν σε υψηλές συγκεντρώσεις [68,69]. Ο πιο συχνά απαντημένος κίνδυνος για την δημόσια υγεία μέσω της άρδευσης είναι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που εμπεριέχονται στην εκροή [70,71]. Η επικινδυνότητα των παθογόνων μικροοργανισμών εξαρτάται από το είδος των μικροοργανισμών, την συγκέντρωσή τους, την ανοσία του ξενιστή, την μολυσματική δόση και την επιβίωση των παθογόνων στο περιβάλλον [70,71]. Η επιβίωση των παθογόνων στο περιβάλλον εξαρτάται από παράγοντες όπως η φυσική μικροβιακή χλωρίδα του εδάφους, το

ποσοστό υγρασία, την θερμοκρασία, την οργανική ύλη που υπάρχει διαθέσιμη, το pH και τις χημικές ενώσεις που υπάρχουν στο έδαφος [72,73]. Επίσης για τον περιορισμό την αύξησης των παθογόνων μικροοργανισμών συνίσταται οι καλλιέργειες να ποτίζονται νυχτερινές ώρες και να ποτίζεται μόνο η ρίζα του φυτού.

5.7.Οφέλη από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Όπως αναλύθηκε η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών ενδέχεται να επιφέρει πλήθος επιπτώσεων που μπορούν να αποφευχθούν όταν η επεξεργασία τους είναι ολοκληρωμένη. Η χρήση τους επιφέρει και πλήθος θετικών επιπτώσεων όπως η ενίσχυση της οικονομίας, η ενίσχυση της παραγωγικής διαδικασίας και η εξοικονόμηση χρηματικών ποσών για υδροδότηση και άρδευση. Επιπρόσθετα, είναι ένα μέτρο το οποίο μπορεί να επιλύσει το πρόβλημα της λειψυδρίας και τις ξηρασίας καθώς και να βελτιώσει την γονιμότητα του εδάφους [73].

Οι βιομηχανικές μονάδες μπορούν να αξιοποιήσουν το νερό για χρήση εντός της εγκατάστασης, και τα υπόλοιπα παράγωγα να τα επαναχρησιμοποιήσουν σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Η χρήση επεξεργασμένων εκροών για άρδευση μπορεί να μειώσει το φαινόμενο της λειψυδρίας σε περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα υδάτων, και ταυτόχρονα να ισορροπήσει την τιμή του νερού προς πόση, και τις τιμές των αγαθών που παράγει ο πρωτογενής τομέας (γεωργία, πτηνοτροφία) [74]. Επιπρόσθετα, η χρήση επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση συμβάλει και στην μείωση των χημικών και των λιπασμάτων στην γεωργία [60,62,65]. Η χρήση εδαφοβελτιωτικού και επεξεργασμένων λυμάτων παρέχει και συστατικά όπως Mg, Fe, Zn, Ca, B και Mn στο έδαφος και κατ' επέκταση τις καλλιέργειες.

Τα οφέλη της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αφορούν την εξοικονόμηση πόρων από την κατασκευή και την λειτουργία έργων επέκτασης του συστήματος ύδρευσης και την κατασκευή συστημάτων για την άρδευση. Επιπρόσθετα, εξοικονομούνται χρήματα και στους μηνιαίους λογαριασμούς ύδρευσης καθώς διατηρείται σε σταθερές τιμές το νερό ύδρευσης και άρδευσης. Τα γεωργικά προϊόντα επίσης παραμένουν σε μειωμένες τιμές καθώς χρησιμοποιείται η εκροή για την καλλιέργεια. Στα αστικά κέντρα οι χώροι πρασίνου και τα άλση ποτίζονται με επεξεργασμένες εκροές με αποτέλεσμα τα δημοτικά τέλη να μην αυξάνονται. Σε επίπεδο οικοσυστήματος και περιβάλλοντος τα υπόγεια ύδατα εμπλουτίζονται και η εκροή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την πυροπροστασία της περιοχής [76].

Κεφάλαιο 6: Συζήτηση και Συμπεράσματα

Η Ε.Ε. έχει θεσπίσει ένα σύνολο στόχων και κανόνων ώστε να διασφαλιστεί η προστασία του Περιβάλλοντος. Τα Κράτη Μέλη της Ε.Ε. οφείλουν να ακολουθούν τις οδηγίες της Ε.Ε. εντός καθορισμένων χρονικών πλαισίων. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων μπορεί να εφαρμοστεί σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας κατά την οποία το κάθε προϊόν πρέπει να παραμένει όσο το δυνατόν περισσότερο σε χρήση. Σε περιοχές όπως η Κύπρος που αντιμετωπίζουν έντονα φαινόμενα λειψυδρίας και ξηρασίας η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας είναι μία πρόταση που μπορεί να εξαλείψει τα ανεπιθύμητα φαινόμενα και να ενισχύσει την οικονομία της περιοχής.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου και η δυνατότητα αξιοποίησης των υγρών αποβλήτων σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Η Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου σύμφωνα με τα δεδομένα που διατέθηκαν από τον φορέα λειτουργεί με υψηλές αποδόσεις που πληρούν τα Νομοθετικά όρια για τον αποδέκτη της μονάδας. Όπως προαναφέρθηκε ο αποδέκτης της μονάδας είναι η υπεδάφεια διάθεση ώστε να εμπλουτιστεί ο υπόγειος υδροφόρας σε αγροτική περιοχή όπου λειτουργεί γεώτρηση.

Η μονάδα έχει αναβαθμιστεί τα τελευταία χρόνια ώστε να τριπλασιαστεί η δυναμικότητά της και να εφαρμοστεί τριτοβάθμια επεξεργασία με την χρήση φίλτρων άμμου, χλωρίωση και αναερόβια χώνευση. Πέρα από την εκροή η οποία ανακυκλώνεται και έμμεσα επαναχρησιμοποιείται μέσω της γεώτρησης, υπάρχει και παραγωγή ενέργειας μέσω της μορφής βιοαερίου. Το βιοαέριο μέσω της μονάδας συμπαραγωγής μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία τροφοδοτεί την εγκατάσταση. Μία μελλοντική τροποποίηση ώστε η Μ.Ε.Α.Υ.Α. να λειτουργεί στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας είναι η μεταπώληση της περίσσειας ενέργειας στον αντίστοιχο πάροχο ηλεκτρικού ρεύματος της περιοχής καθώς αυτή την στιγμή η μονάδα καίει την περίσσεια βιοαερίου. Η πρακτική της καύσης της περίσσειας το βιοαερίου όταν η εγκατάσταση είναι σε πληρότητα είναι μία περιβαλλοντική πρακτική καθώς η απευθείας έκλυση μεθανίου στην ατμόσφαιρα αποτελεί πηγή ρύπανσης.

Η παραγόμενη ιλύς από την βιολογική επεξεργασία οδηγείται στην μονάδα χώνευσης. η σταθεροποιημένη ιλύς που απομακρύνεται είτε ξηραίνεται μηχανικά ή με την χρήση decanter. Η μηχανικά επεξεργασμένη ιλύς μπορεί να διατεθεί ως εδαφοβελτιωτικό με την προϋπόθεση ότι δεν εμπεριέχει ρυπογόνους παράγοντες που δύναται να υποβαθμίσουν το έδαφος και τις καλλιέργειες. Αν και οι πληροφορίες που διατέθηκαν από τον φορέα δεν εμπεριείχαν επαρκείς πληροφορίες ώστε να προσδιοριστεί το είδος καλλιέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί το εδαφοβελτιωτικό (compost), αυτό χρησιμοποιείται στις γεωργικές καλλιέργειες ως

φυσικό λίπασμα. Σε κάθε περίπτωση η σταθεροποιημένη ιλύς μπορεί να διατεθεί σε Χ.Υ.Τ.Α. οι οποίοι βρίσκονται στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Επιπρόσθετα, η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε βιομηχανίες τσιμέντου για κάυση ή κατασκευής δομικών υλικών ως πρώτη ύλη.

Εκτός από την χρήση της εκροής, της ιλύος και της ενέργειας, η κυκλική οικονομία περιλαμβάνει και την ανάκτηση θρεπτικών από το σώμα των υγρών αποβλήτων. Η Μ.Ε.Α.Υ.Α. δεν ανακτά κάποιο θρεπτικό συστατικό καθώς επεξεργάζεται κυρίως αστικά απόβλητα. Τα αστικά απόβλητα εμπεριέχουν μεν θρεπτικά και άλλες χρήσιμες πρώτες ύλες, αλλά το οικονομικό όφελος από την ανάκτηση είναι πολύ μικρότερο από το κόστος για την κατασκευή και την λειτουργία των συστημάτων ανάκτησης. Εκτός από το κατασκευαστικό και το λειτουργικό κόστος, θα πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος για την μισθοδοσία εξειδικευμένου προσωπικού αλλά και η ζήτηση των ουσιών στην αγορά. Η ανάκτηση θρεπτικών είναι πρακτική που εφαρμόζεται κυρίως σε βιομηχανικές ιδιωτικές μονάδες και σε περιπτώσεις που τα νέα 'προϊόντα' έχουν μεγάλο οικονομικό όφελος από την μεταπώληση ή αναστέλλουν κάποια διεργασία.

Συνοψίζοντας η Μ.Ε.Α.Υ.Α. Πάφου είναι μία πλήρως λειτουργική και σύγχρονη μονάδα η οποία με μικρές τροποποιήσεις μπορεί να αξιοποιήσει όλα τα οφέλη της κυκλικής οικονομίας. Αν και το επενδυτικό κόστος σε συνδυασμό με την μειωμένη αποδοχή του κοινού για χρήση προϊόντων ή πρώτων υλών που έχουν προέλθει από απόβλητα αναστέλλει την ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας, τα οφέλη από τις πρακτικές αυτές είναι σημαντικά. Το κόστος μπορεί να αντληθεί μέσω επενδυτικών προγραμμάτων και συνεργασίες με ιδιώτες. Επιπρόσθετα, στην περιοχή της Κύπρου όπου το πρόβλημα της λειψυδρίας και της ξηρασίας εντείνεται κάθε χρόνο η εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας θα αποτελεί ανάγκη στο άμεσο μέλλον. Τέλος σε περιοχές με οικονομική κρίση θα πρέπει παρέχεται επιπλέον ενημέρωση στους πολίτες για τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την χρήση της κυκλικής οικονομίας.

Βιβλιογραφία

- [1]. Halbe J., (2017). Governance of Transformations towards Sustainable Water, Food and Energy Supply Systems-Facilitating Sustainability Innovations through Multi-Level Learning Processes.
- [2]. Tchobanoglous, G., Burton, F. and Stensel, H. (2003) Wastewater Engineering. Metcalf & Eddy Inc., New York.
- [3] Νταρακάς Ε.,(2006),”Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων” Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος
- [4] Rizzo L., Manaia C., Merlin C., Schwartz T., Dagot C., Ploy M.C., (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: a review.Total Environ, pp. 345–360.
- [5] Henze M., & Comeau Y., (2008). Wastewater characterization In: Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., Brdjanovic, D. (Eds.), Biological Wastewater Treatment: Principles Modelling and Design. IWA Publishing, pp. 33–52.
- [6] WHO (2006c). A Compendium for Standards for Wastewater Reuse in the Eastern Mediterranean Region World Health Organisation (WHO) (WHO-EM/CEH/142/E)
- [7] EPA. (2012). Guidelines for Water Reuse. Environmental Protection Agency (EPA).
- [8] Ghisellini, P.; Cialani, C.; Ulgiati, S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. J. Clean. Prod. 2016, 114, 11–32, doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.007.
- [9] Rashidi, H.; GhaffarianHoseini, A.; GhaffarianHoseini, A.; Sulaiman, N.M.N.; Tookey, J.; Hashim, N.A. Application of wastewater treatment in sustainable design of green built environments: A review. Renew. Sustain. Energy Rev. 2015, 49, 845–856, doi:10.1016/j.rser.2015.04.104.
- [10] Mo, W.; Zhang, Q. Energy–nutrients–water nexus: Integrated resource recovery in municipal wastewater treatment plants. J. Environ. Manag. 2013, 127, 255–267, doi:10.1016/j.jenvman.2013.05.007.

- [11] EU Reference Scenario 2016 Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050. Available online: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016_report_final-web.pdf (accessed on 20 February 2018).
- [12] WssTP. Water and Energy: Strategic Vision and Research Needs. The Water Supply and Sanitation Technology Platform. Available online: http://www.danishwaterforum.dk/activities/WssTP_Water_and_Energy_Publication%2009_2011.pdf (accessed on 20 February 2018).
- [13] Cantwell, J.; Dunning, J.H.; Lundan, S.M. An evolutionary approach to understanding international business activity: The co-evolution of MNEs and the institutional environment. *JIBS* 2010, 41, 567–586.
- [14] Eurostat. 2017. Available online: http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=env_ww_spd (accessed on 20 February 2018).
- [15] Hukari, S.; Hermann, L.; Nättorp, A. From wastewater to fertilisers—Technical overview and critical review of European legislation governing phosphorus recycling. *Sci. Total Environ.* 2016, 542, 1127–1135, doi:10.1016/j.scitotenv.2015.09.064.
- [16] Kabbe, C.; Kraus, F.; Remy, C. Review of promising methods for phosphorus recovery and recycling from wastewater. In Proceedings of the International Fertiliser Society, London, UK, 23–24 June 2015; pp. 1–29.
- [17] Batstone, D.J.; Hülsen, T.; Mehta, C.M.; Keller, J. Platforms for energy and nutrient recovery from domestic wastewater: A review. *Chemosphere* 2015, 140, 2–11, doi:10.1016/j.chemosphere.2014.10.021.
- [18] El-Shafai, S.A.; El-Gohary, F.A.; Nasr, F.A.; Van Der Steen, N.P.; Gijzen, H.J. Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed ponds system. *Bioresour. Technol.* 2007, 98, 798–807, doi:10.1016/j.biortech.2006.03.011.
- [19] Becerra-Castro, C.; Lopes, A.R.; Vaz-Moreira, I.; Silva, E.F.; Manaia, C.M.; Nunes, O.C. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in

soil fertility and human and environmental health. *Environ. Int.* 2015, 75, 117–135, doi:10.1016/j.envint.2014.11.001.

[20] Lyu, S.; Chen, W.; Zhang, W.; Fan, Y.; Jiao, W. Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *J. Environ. Sci.* 2016, 39, 86–96, doi:10.1016/j.jes.2015.11.012.

[21] Pintilie, L.; Torres, C.M.; Teodosiu, C.; Castells, F. Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study. *J. Clean. Prod.* 2016, 139, 1–14, doi:10.1016/j.jclepro.2016.07.209.

[22] Bertanza, G.; Canato, M.; Laera, G. Towards energy self-sufficiency and integral material recovery in waste water treatment plants: Assessment of upgrading options. *J. Clean. Prod.* 2018, 170, 1206–1218, doi:10.1016/j.jclepro.2017.09.228.

[23] Zhen, G.; Lu, X.; Kato, H.; Zhao, Y.; Li, Y.Y. Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 69, 559–577, doi:10.1016/j.rser.2016.11.187.

[24] Hagos, K.; Zong, J.; Li, D.; Liu, C.; Lu, X. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 76, 1485–1496, doi:10.1016/j.rser.2016.11.184.

[25] Culha, O.; Gunerhan, H.; Biyik, E.; Ekren, O.; Hepbasli, A. Heat exchanger applications in wastewater source heat pumps for buildings: A key review. *Energy Build.* 2015, 104, 215–232, doi:10.1016/j.enbuild.2015.07.013.

[26] Smol, M.; Kulczycka, J.; Henclik, A.; Gorazda, K.; Wzorek, Z. The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *J. Clean. Prod.* 2015, 95, 45–54, doi:10.1016/j.jclepro.2015.02.051.

[27] Bengtsson, S.; Karlsson, A.; Alexandersson, T.; Quadri, L.; Hjort, M.; Johansson, P.; Magnusson, P.A. Process for polyhydroxyalkanoate (PHA) production from municipal wastewater treatment with biological carbon and nitrogen removal demonstrated at pilot-scale. *N. Biotechnol.* 2017, 35, 42–53, doi:10.1016/j.nbt.2016.11.005.

- [28] Pandey, P.; Shinde, V.N.; Deopurkar, R.L.; Kale, S.P.; Patil, S.A.; Pant, D. Recent advances in the use of different substrates in microbial fuel cells toward wastewater treatment and simultaneous energy recovery. *Appl. Energy* 2016, 168, 706–723, doi:10.1016/j.apenergy.2016.01.056.
- [29] Gaur, A.; Scotney, B.; Parr, G.; McClean, S. Smart city architecture and its applications based on IoT. *Procedia Comput. Sci.* 2015, 52, 1089–1094, doi:10.1016/j.procs.2015.05.122.
- [30] Papa, M.; Foladori, P.; Guglielmi, L.; Bertanza, G. How far are we from closing the loop of sewage resource recovery? A real picture of municipal wastewater treatment plants in Italy. *J. Environ. Manag.* 2017, 198, 9–15, doi:10.1016/j.jenvman.2017.04.061.
- [31] Xie, M.; Shon, H.K.; Gray, S.R.; Elimelech, M. Membrane-based processes for wastewater nutrient recovery: Technology, challenges, and future direction. *Water Res.* 2016, 89, 210–222.
- [32] Swedish Utility Selects Veolia for Wastewater to Energy Project. Available online: <https://www.metering.com/news/swedish-utility-selects-veolia-for-rollout-of-wastewater-project/> (accessed on 15 February 2018).
- [33] Salgot M., Oron G., Cirelli G. L., Dalezios N. R., Día, A., & Angelakis A. N., (2017). Criteria for wastewater treatment and reuse under water scarcity. . *Handbook of Drought and Water Scarcity: Environmental Impacts and Analysis of Drought and Water Scarcity*.
- [34] European Union. (1991). European Directive 91/271/EEC. Brussels.
- [35] Eurostat. (2018, July). ec.europa.eu. Retrieved Αύγουστος 2020 from https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/Annexes/hlth_act_esms_an4.pdf
- [36] Abou-Elela S., Elekhawy M., Khalil M., Hellal M., (2017). Factors affecting the performance of horizontal flow constructed treatment wetland vegetated with *Cyperus papyrus* for municipal wastewater treatment. . *International journal of phytoremediation*, 19(11), 1023-1028.
- [37] Abou-Elela S., Elekhawy M., Khalil M., Hellal M., (2017). Factors affecting the performance of horizontal flow constructed treatment wetland vegetated with

Cyperus papyrus for municipal wastewater treatment. . International journal of phytoremediation, 19(11), 1023-1028.

[38] Angelakis A. N. M., Asano T., Bahri A., Jimenez B., & Tchobanoglous G., (2018). Water reuse: from ancient to modern times and the future. . Frontiers in Environmental Science, 6, 26.

[39] Berking J., Beckers B., Knitter D., & Schütt B. (2016). Problems Concerning Ancient Water Management in the Mediterranean.

[40] Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων. (2018). moa.gov.cy. Retrieved Αύγουστος 2020 from http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/index_gr/index_gr?opendocument.

[41] Giannakopoulos C., Psiloglou B., Lemesios G., Xevgenos D., Papadaskalopoulou C., Karali A., & Petrakis M., (2016). Climate change impacts, vulnerability and adaptive capacity of the electrical energy sector in Cyprus. . Regional environmental change, 16(7), 1891-1904.

[42] ΥΠΕΚΑ. (2013, Ιούνιος 9). Ανάπτυξη και λειτουργία της Εθνικής Υποδομής Γεωχωρικών Πληροφοριών από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Αθήνα. Retrieved Αύγουστος 2020, from http://www.inspire.okxe.gr/images/Files/Nea/2013-09-06_ypeka.pdf.

[43] ΓΧΧ. (2019). Γενικό Χημείο του Κράτους. Retrieved Αύγουστος 2020 from https://www.moh.gov.cy/moh/sgl/sgl.nsf/AdvancedSearch_gr/AdvancedSearch_gr?OpenForm&q=&p=1&w=&t=&s=επεξεργασία&L=G&e=&i=1.

[44]
] http://www.sapa.org.cy/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=+6&lang=el

[45] <http://www.envitec.gr/index.php/el/projects.html?categoryid=23>

[46] http://www.cylaw.org/nomoi/indexes/2002_1_106.html (Ο περί Ελέγχου της Ρύπανσης των Νερών (Τροποποιητικός) Νόμος του 2013 (Ν. 181(I)/2013) Ε.Ε., Παρ.Ι(Ι), Αρ.4422, 27/12/2013)

[47] http://www.cylaw.org/KDP/data/2002_1_407.pdf (Κ.Π.Δ 407/2002)

[48] http://www.cylaw.org/KDP/data/2003_1_772.pdf (Κ.Π.Δ 772/2003)

[49] <http://www.psb.org.cy/index.php/en/file/DwoSyNgleKuhGYAsl9Rd6A==/> (Κ.Π.Δ. 254/2003)

- [50] [http://www.cylaw.org/nomothesia/par_3/meros_1/2005/\(Κ.Π.Δ. 269/2005\)](http://www.cylaw.org/nomothesia/par_3/meros_1/2005/(Κ.Π.Δ. 269/2005))
- [51] http://www.cylaw.org/KDP/data/2002_1_407.pdf (Κ.Π.Δ. 407/2002)
- [52] Blanke A., Rozelle S., Lohmar B., & Wang H., (2007). Water saving technology and saving water in China. *Agricultural water management*, 87(2), pp. 139-150.
- [53] Turner N. C., (2004). Sustainable production of crops and pastures under drought in a Mediterranean environment. . *Annals of Applied Biology*, 144(2), 139-147.
- [54] Ψυχάρης Γ., (2011). Ζητήματα αστικής και περιφερειακής ανάπτυξης στον ελληνικό χώρο. *Αειφόρος, Κείμενα Πολεοδομίας και Ανάπτυξης*.
- [55] Bichai F., Grindle A. K., & Murthy S. L., (2018). Addressing barriers in the water recycling innovation system to reach water security in arid countries. . *Journal of Cleaner Production*, 171, 97-109.
- [56] Urbano V. R., Mendonça T. G., Bastos R. G., & Souza C. F., (2017). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. . *Agricultural water management*, 181, 108-115.
- [57] Nnadi E. O., Newman A. P., Coupe S. J., & Mbanaso F. U. (2015). Storm water harvesting for irrigation purposes: an investigation of chemical quality of water recycled in pervious pavement system. *Journal of environmental management*, 147, 246-256.
- [58] Kibuye, F. A., Gall, H. E., Elkin, K. R., Ayers, B., Veith, T. L., Miller, M., & Elliott, H. A., (2019). Fate of pharmaceuticals in a spray-irrigation system: From wastewater to groundwater. *Science of the Total Environment*, 654, 197-208
- [59] Cho D. K., Kim J. W., Jeong J. T., & Baik M. H., (2017). Preliminary study on optimization of disposal facilities against human intrusion.
- [60] Fatta-Kassinos D., Hapeshi E., Achilleos A., Meric S., Gros M., Petrovic M., Barcelo D., (2011). Existence of Pharmaceutical Compounds in Tertiary Treated Urban Wastewater that is Utilized for Reuse Applications. *Water Resour Manage* 25:1183–1193.

- [61] Sinsabaugh R., (2010). Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. . Soil Biol. Biochem, pp. 391–404.
- [62] Toze S., (2006). Reuse of effluent water—benefits and risks. . Agric. Water Manag.
- [63] Αλευρά Μ., (2017) . Διερεύνηση της τοξικότητας φαρμάκων στην ενεργό ιλύ με αναπνευσιμετρία
- [64] Adegoke A. A., Amoah I. D. Stenstrom T. A., Verbyka M. E., & Mihelcic J. R., (2018). Epidemiological Evidence and Health Risks Associated With Agricultural Reuse of Partially Treated and Untreated Wastewater: A Review. Front Public Health, 6, 337
- [65] Jaramillo M., & Restrepo I. (2017). Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. Sustainability, 9(10), 17-34.
- [66] Postel S., (1990). Saving water for agriculture. Saving water for agriculture, pp. 39-58.
- [67] Semerjian L., Shanableh A., Semreen M. H., & Samarai M., (2018). Human health risk assessment of pharmaceuticals in treated wastewater reused for non-potable applications in Sharjah, United Arab Emirates. . Environment international, 121, 325-331.
- [68] Courault D., Albert I., Perelle S., Fraisse A., Renault P., Salemkour A., & Amato, P., (2017). Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation. . Science of the Total Environment, 592, 512-526.
- [69] ΥΠΕΚΑ. (2013, Ιούνιος 9). Ανάπτυξη και λειτουργία της Εθνικής Υποδομής Γεωχωρικών Πληροφοριών από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Αθήνα. Retrieved Αύγουστος 20, 2020, from http://www.inspire.okxe.gr/images/Files/Nea/2013-09-06_ypeka.pdf.
- [70] Hussain I., Raschid L., Hanjra M., Marikar F., & Van der Hoek W., (2002). Wastewater use in agriculture: review of impacts and methodological issues in valuing impacts. International Water Management Institute, Colombo, p. Working Paper 37

- [71] Shuval H., Fattal B., (2003). Control of pathogenic microorganisms in wastewater recycling and reuse in agriculture. *The Handbook of Water and Wastewater Microbiology*.
- [72] Brandl, M., (2006). Fitness of human enteric pathogens on plants and implication for food safety. *Annu. Rev. Phytopathol.* , pp. 367–392.
- [73] Garcia, X., & Pargament, D., (2015). Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. *Resources, Conservation and Recycling*, 101, 154-166
- [74] Guzman G. I., & Alonso, A. M., (2008). A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agricultural Systems*, 98(3), pp. 167-176.
- [75] Adrover M., Farrus E., Moya G., & Vadell J. (2012). Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. *Journal of Environmental Managemen*, pp. 188-192
- [76] Angelakis A. N. M., Asano T., Bahri A., Jimenez B., & Tchobanoglous G., (2018). Water reuse: from ancient to modern times and the future. . *Frontiers in Environmental Science*, 6, 26