

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΠΕΡΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΩΝ ΣΕ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΠΟΥ ΑΡΔΕΥΕΤΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ
ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ**

Σπουδάστρια: Μωραϊτάκη Ιωάννα

Επιβλέπων καθηγητής: Μανιός Θρασύβουλος

Χανιά 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 Υδατικοί πόροι του πλανήτη	5
1.2 Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων	6
1.2.1 Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων	7
1.2.2 Γεωργική χρήση με έμφαση στην άρδευση.....	9
1.2.3 Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία	11
1.2.4 Εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων	12
1.2.5 Άρδευση κοινόχρηστων χώρων	14
1.2.6 Διάφορες χρήσεις.....	15
1.3 Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση χλοοτάπητα	16
1.3.1 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού	16
1.3.1.1 Περιεκτικότητα σε άλατα	19
1.3.1.2 Περιεκτικότητα σε νάτριο	20
1.3.1.3 Περιεκτικότητα σε ανθρακικά ιόντα, χλώριο και βόριο	20
1.3.1.4 Περιεκτικότητα σε μέταλλα.....	21
1.3.1.5 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά	23
1.3.1.6 Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά.....	23
1.3.1.7 Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά συστατικά.....	24
1.3.1.8 Επιπτώσεις του ανακυκλωμένου νερού στον χλοοτάπητα	24
1.4 Τα χαρακτηριστικά της περιοχής.....	25
1.4.1 Η τοπογραφία της περιοχής.....	25
1.4.2 Τα χαρακτηριστικά του εδάφους.....	26
1.4.2.1 Φυσικά χαρακτηριστικά.....	26
1.4.3 Οι γεωλογικές συνθήκες.....	33
1.4.4 Τα υπόγεια νερά.....	33
1.4.5 Το κλίμα της περιοχής.....	33
1.5 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων	35
1.5.1 Σύστημά ενεργούς ιλύος.....	35
1.5.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία.....	36
1.5.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία.....	37
1.5.4 Συστήματα βιολογικής επεξεργασία αποβλήτων	37
1.5.5 Τριτοβάθμια επεξεργασία	38
1.5.6 Απολύμανση.....	38
1.5.7 Διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων	38
1.6 Εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων Ηρακλείου	40
A. Γραμμή Υγρών Απόβλητων:.....	40
B. Γραμμή Ιλύος:.....	42
Γ. Γραμμή Βιοαερίου:	42
1.7 Μικροβιακές παράμετροι και προτεινόμενα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων	46
1.7.1 Προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.....	47
1.7.2 Άλλα Νομικά θέματα.....	48
1.7.3 Ισχύον θεσμικό πλαίσιο.....	49
1.7.4 Ανάγκη Θέσπισης Ελληνικών Προδιαγραφών Ανάκτησης και Επαναχρησιμοποίησης Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα	54
1.8 Αντικείμενο και σκοπός εργασίας.....	58

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	59
2.1 Γενικά στοιχεία πειράματος.....	59
2.2. Προετοιμασία χώρου εγκατάστασης ζαρντινιέρων.....	59
2.3. Παρασκευή υποστρώματος	60
2.4. Αστικά υγρά απόβλητα.....	62
2.5. Εγκατάσταση χλοοτάπητα	62
2.6 Πειραματικό σχέδιο - επεμβάσεις.....	64
2.7. Δειγματοληψίες- μετρήσεις – αναλύσεις.....	66
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	70
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	94

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πειραματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι Ηρακλείου στο χώρο του Εργαστηρίου Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων σε διάρκεια περίπου τεσσάρων μηνών, υπό την επίβλεψη του Δρ Θρασύβουλου Μανιού (Γεωπόνου, Χημικού Μηχανικού) τον οποίο ευχαριστώ που ανέλαβε την εποπτεία αυτού του πειράματος και βοήθησε στην πραγματοποίησή του. Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον κο Αντωνίου Θεόδωρο (Τεχνολόγος Γεωπόνος) για την πολύτιμη βοήθεια και τις χρήσιμες συμβουλές που μου πρόσφερε στην ολοκλήρωση της πτυχιακής. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Β. Μανιό (επικεφαλή του εργαστηρίου), το συνεργάτη του εργαστηρίου Τεχνολόγο Γεωπόνο Μανιαδάκη Κώστα και το σπουδαστή Γιάννη Ελενίτσα για τη βοήθεια του στην εγκατάσταση του πειράματος. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω το Προσωπικό της Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του Δήμου Ηρακλείου και ιδιαίτερα τον κ. Χ. Παπαδογιάννη, Χημικό και τον κ. Γ. Διαλυνά, Χημικό Μηχανικό για τα πολύτιμα στοιχεία που μου έδωσαν.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υδατικοί πόροι του πλανήτη

Από το νερό που φθάνει στην επιφάνεια της γης ένα μικρό ποσοστό είναι διαθέσιμο για ανθρώπινη χρήση. Από τα 106.000 Km³ το έτος βρόχινου νερού που υπολογίζεται ότι πέφτουν στην επιφάνεια της στεριάς, τα 40.000 Km³ είναι επιφανειακή απορροή και τα υπόλοιπα 66.000 Km³ εξατμίζονται. Από την ποσότητα της συνολικής ετήσιας απορροής των 40.000 Km³ υπολογίζεται ότι μια ποσότητα 26.000 Km³ δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο γιατί χάνεται με τις πλημμύρες, κρατείται στο έδαφος και στα έλη, ενώ μια άλλη ποσότητα 5.000 Km³ ρέει σε περιοχές που για λόγους κλιματολογικούς είναι ακατοίκητες και μόνο τελικά μια ποσότητα 9.000 Km³ υπολογίζεται ως υδάτινος πόρος (Λέκκας, 1992).

Η ποσότητα αυτή κρίνεται αρκετή για να καλύψει τις ανθρώπινες ανάγκες, αν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθεί όλο το νερό που είναι διαθέσιμο. Αυτό δεν συμβαίνει όμως γιατί οι ποσότητες του νερού που θεωρούνται υδάτινοι πόροι δεν είναι κατανεμημένες στην επιφάνεια της γης σύμφωνα με την κατανομή του παγκόσμιου πληθυσμού. Επιπλέον οι υδάτινοι πόροι δεν είναι κατανεμημένοι ομοιόμορφα χρονικά. Υπάρχει μια γεωγραφική και χρονική κατανομή των υδάτινων πόρων στον πλανήτη που δεν βρίσκεται σε αντιστοιχία με τη γεωγραφική και χρονική κατανομή της ζήτησης νερού (Λέκκας, 1992).

Σε πολλές περιοχές της Νότιας Ευρώπης (Μεσόγειος), μεταξύ των οποίων και αυτή της Κρήτης, υπάρχει εδώ και χρόνια έντονο πρόβλημα ανεπάρκειας υδατικών πόρων (Zacharias I. and Koussouris T., 2000, Zalidis *et al.*, 2002). Η έντονη τουριστική ανάπτυξη τους, κυρίως μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, οδήγησε σε ένα παράδοξο φαινόμενο. Από τη μία οι ανάγκες σε νερό να αυξάνουν σταθερά από χρόνο σε χρόνο και από την άλλη οι υδατικοί πόροι να παραμένουν στα ίδια επίπεδα.

Στην Κρήτη για παράδειγμα πάνω από 70% των υδατικών πόρων (γλυκό καθαρό νερό) χρησιμοποιείται σε αγροτικές δραστηριότητες. Ταυτόχρονα υπολογίζεται πως το προσεχές καλοκαίρι θα επισκεφθούν το νησί γύρω στα τρία εκατομμύρια τουρίστες που θα προστεθούν στις σχεδόν 600.000 μόνιμου πληθυσμού (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία). Οι κύριες καλλιέργειες του νησιού παρουσιάζουν την ίδια ακριβώς εποχή της μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό. Αν τώρα σε αυτό το πρόβλημα προστεθούν και φαινόμενα κακοδιαχείριση, όπως για παράδειγμα είναι η έλλειψη σε επίπεδο νησιού ολοκληρωμένης και ορθολογικής πολιτικής για το νερό, η περιορισμένη γνώση και τεχνολογία επί του αντικείμενου, άλλα και σχετικών έργων όπως φράγματα και δεξαμενές, είναι εύκολο κανείς να καταλάβει γιατί στο ξεκίνημα του 21^{ου} αιώνα έχουμε φτάσει να μιλάμε για φαινόμενα λειψυδρίας (Lazarova *et al.*, 2000).

Παράλληλα η συνεχής πληθυσμιακή αύξηση, η ρύπανση και η συνεχής υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών, η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων, η ταχεία ανάπτυξη της βιομηχανίας και οι περιοδικές ξηρασίες καθιστούν αναγκαία τη διερεύνηση και ανάπτυξη νέων πηγών νερού (Metcalf and Eddy, 1991). Στα βιομηχανικά κράτη υπάρχουν αυξανόμενα προβλήματα, που σχετίζονται με τη διασφάλιση της αναγκαίας τροφοδοσίας με νερό και τη διάθεση των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Αντίθετα τα αναπτυσσόμενα κράτη και ιδιαίτερα σε αυτές με ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές, υπάρχει έντονη η ανάγκη της τεχνολογίας με προσιτό κόστος, για αύξηση των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού και παράλληλα προστασία των ήδη υπάρχων πηγών (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Ένα νέο σημαντικό στοιχείο στον υδρολογικό κύκλο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι ο καθαρισμός των υγρών αποβλήτων και η «παραγωγή» νερού αποδεκτής περιβαλλοντικής ποιότητας. Οι όλο και περισσότερο αυξανόμενες απαιτήσεις για καθαρότερα απόβλητα έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που θα ήταν δυνατόν να θεωρηθούν υδάτινοι πόροι (Λέκκας, 1992).

1.2 Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Η επίδραση των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον είναι αρκετά σοβαρή. Συνίσταται στην ποιοτική υποβάθμιση υδατικών πόρων, στη ρύπανση ακτών και θαλασσών, στη μετάδοση ασθενειών, στην υποβάθμιση αστικών περιοχών και στη δημιουργία αισθητικών και άλλων προβλημάτων. Τα προβλήματα αυτά έχουν επιβάλλει τη λήψη δραστικών διαχειριστικών μέτρων με σκοπό τον περιορισμό του κινδύνου και των δυσμενών επιπτώσεων της ανεξέλεγκτης απορροής των υγρών αποβλήτων. Με τον όρο διαχείριση υγρών αποβλήτων, χαρακτηρίζουμε κάθε σκόπιμη ανθρώπινη επέμβαση που έχει σαν στόχο τη μείωση της αρνητικής επίδρασης των λυμάτων στο περιβάλλον .

Με τη σωστή επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, επιδιώκεται να περιοριστεί ή να εξαλειφθεί πλήρως η ρυπαντική επίδραση των αποβλήτων έτσι ώστε οι ανεπιθύμητες επιδράσεις τους στο περιβάλλον αντίστοιχα να περιορίζονται ή και να εξαλείφονται εντελώς. Με τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, γίνεται εξοικονόμηση πηγών νερού που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για άλλες χρήσεις και υπάρχει και κάποιο οικονομικό όφελός με τον εφοδιασμό με νερό και θρεπτικά στοιχεία φυτών ή δένδρων που είναι κατάλληλα για αγροτική εκμετάλλευση ή ανάπτυξη χώρων πρασίνου (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Στις επόμενες δεκαετίες η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων θα εντατικοποιηθεί στις Μεσογειακές χώρες εξαιτίας της έλλειψης νερού, των κλιματολογικών συνθηκών, της ανάγκης για

γεωργική άρδευση, της ανάγκης βελτίωσης των συνθηκών υγείας και περιβάλλοντος για τον αυξανόμενο πληθυσμό και για τον τουρισμό. Σε μερικές χώρες, όπως το Μαρόκο, την Ιορδανία, την Αίγυπτο, την Τυνησία, την Μάλτα, την Κύπρο και την Ισπανία, λειτουργούν ήδη κάποια συστήματα εκμετάλλευσης λυμάτων (Shelef and Azon, 1996). Σε άλλες χώρες όπως η Ιταλία, η Γαλλία, η Ελλάδα, η Πορτογαλία, έχει αρχίσει η εφαρμογή προγραμμάτων και πιλοτικών έργων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με φυσικά συστήματα καθώς και η παράλληλη ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των εκροών τους (Shelef and Azon, 1996).

Τα Μεσογειακά κράτη λόγω των κλιματολογικών όσο και γεωγραφικών χαρακτηριστικών τους, πληρούν τις προϋπθέσεις για την εφαρμογή τέτοιων προγραμμάτων. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά κάνουν επιτακτική την ανάγκη εντατικής και ασφαλούς εκμετάλλευσης των υγρών αποβλήτων επειδή τέτοιου είδους προγράμματα αποτελούν βασικό "θετικό κίνητρο" για την ανάπτυξη του εμπορίου (με την εξαγωγή προϊόντων) και του τουρισμού. Βασική προϋπόθεση όμως αποτελεί, οι μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και η διατήρηση της υψηλής ποιότητας στους κανόνες δημόσιας υγείας (Shelf and Azon, 1996).

1.2.1 Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων

Τα υγρά απόβλητα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε σκοπό. Αυτό που διαφέρει είναι το επίπεδο επεξεργασίας που απαιτείται για την κατάλληλη ποιότητα για κάθε ιδιαίτερη χρήση. Η αποτελεσματική ένταξη της επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στο γενικό προγραμματισμό νερού απαιτεί την προσεκτική αξιολόγηση και των αναγκών νερού και της ποιότητας νερού (Cleick, 2000).

Οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η γεωργική και κυρίως η άρδευση, η βιομηχανική, ο εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων και διάφορες άλλες χρήσεις. Από αυτές η πιο σημαντική είναι η άρδευση που αντιπροσωπεύει στις μέρες μας αλλά και στο κοντινό μέλλον τον πιο σημαντικό χρήστη νερού και προσφέρει σοβαρές δυνατότητες για απορρόφηση όλο και μεγαλύτερων ποσοτήτων ανακτώμενων υγρών αποβλήτων (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Η επόμενη μεγάλη κατηγορία είναι η βιομηχανία, που καταναλώνει μεγάλες ποσότητες ανακτώμενων υγρών αποβλήτων, κυρίως για ψύξη και μεταποίηση. Η βιομηχανική χρήση διαφέρει και σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται, ιδιαίτερη επεξεργασία πέρα από τη συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Η τρίτη κατηγορία χρήσης υγρών αποβλήτων, που έχουν ανακτηθεί, είναι ο εμπλουτισμός υδροφορέων, είτε με τη μέθοδο των επιφανειακών λεκανών διήθησης είτε με τη μέθοδο των γεωτρήσεων. Ο εμπλουτισμός των υδροφορέων περιλαμβάνει ενσωμάτωση και αφομοίωση της εκροής που χρησιμοποιείται για αντικατάσταση και αποθήκευση της στον υδροφορέα ή τη

δημιουργία υδραυλικού φράκτη προστασίας του υπόγειου νερού στην ανάμιξη με αλμυρό νερό. Ο χρόνος αποθήκευσης και η απόσταση των σημείων εφαρμογής και λήψης είναι πολύ σημαντικές παράμετροι για την προστασία της δημόσιας υγείας (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Η τέταρτη κατηγορία επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, είναι διάφορες άλλες δραστηριότητες, που αφορούν κυρίως λίμνες αναψυχής, υδατοκαλλιέργειες, καθαρισμό τουαλετών και άλλες (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων, με δυνατούς περιορισμούς κατά χρήση, αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα 1.2.1

Πίνακας 1.2.1: Κατηγορίες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων και δυνατοί περιορισμοί (Angelakis, *et al*, 2001).

Κατηγορία χρήσης	Περιορισμοί
1. Άρδευση γεωργικών εκτάσεων <ul style="list-style-type: none"> • Φυτικές καλλιέργειες • Εμπορικά φυτώρια 2. Άρδευση κοινόχρηστων - αναψυχής χώρων. <ul style="list-style-type: none"> • Πάρκα • Σχολικοί χώροι • Εθνική δρόμοι • Ιπποδρόμια • Κοιμητήρια • Ελεύθεροι κοινοτικοί χώροι • Περιφερειακές ζώνες πρασίνου κ.λ 	- Ποιότητα νερού (κυρίως ως προς την επίδραση αλάτων στο έδαφος και στα φυτά) - Προστασία δημόσιας υγείας (κυρίως σε σχέση με παθογόνα, όπως παράσιτα βακτήρια και ιοί). - Μόλυνση επιφανειακών και υπόγειων νερών όταν δεν υφίστανται κατάλληλο σύστημα διαχείρισης. - Εμπορικότητα και δημόσια αποδοχή των παραγόμενων προϊόντων.
3. Βιομηχανική χρήση <ul style="list-style-type: none"> • Ψύξη • Μεταποίηση • Βαρέα βιομηχανία • Άλλες 	- Συστατικά του νερού που ανακτάται και μπορούν να προξενήσουν διάβρωση, εναπόθεση, βιολογική ανάπτυξη ή γενικά προβλήματα ρύπανσης. - Δημόσια υγεία (ιδιαίτερα σε σχέση με μεταφερόμενα οργανικά ή παθογόνα aerosols)
4. Εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων <ul style="list-style-type: none"> • Αναπλήρωση • Προστασία <ul style="list-style-type: none"> • Ιζηματολογικός έλεγχος 	- Ίχνη οργανικών, άλλων χημικών και παθογόνων στο ανακτώμενο νερό υγρών αποβλήτων με υψηλό δυναμικό τοξικότητας. - Συνολικά διαλυμένα στερεά, μέταλλα και παθογόνα στο ανακτώμενο νερό.
5. Αναψυχή και άλλες περιβαλλοντικές χρήσεις. <ul style="list-style-type: none"> • Λίμνες και δεξαμενές • Αποκατάσταση ελώδων χώρων • Αύξηση παροχής υδαρορευμάτων • Ανάπτυξη αλιευτικών χώρων • Δημιουργία πάγου 	- Προστασία δημόσιας υγείας με βακτήρια και ιούς. - Ευτροφισμός οφειλόμενος στο N και P. - Αισθητικές οχλήσεις συμπεριλαμβανόμενων των οσμών

<p>6. Μη πόσιμες αστικές χρήσεις</p> <ul style="list-style-type: none"> • Πυροπροστασία • Κλιματισμός • Καθαρισμός WC 	<ul style="list-style-type: none"> - Προστασία δημόσιας υγείας από τη μεταφορά παθογόνων με aerosols. - Ποιοτικές επιδράσεις σε εναπόθεση διάβρωση βιολογική ανάπτυξη και γενικά ρύπανση. - Προβλήματα σε πιθανές διασταυρώσεις με το σύστημα υδροδότησης
<p>7. Πόσιμες χρήσεις</p> <ul style="list-style-type: none"> • Προηγούμενη ανάμειξη με το νερό υδροδότησης • Απ' ευθείας χρήση 	<ul style="list-style-type: none"> - Ίχνη οργανικών και άλλων χημικών ενώσεων και παθογόνων στο ανακτώμενο νερό υγρών αποβλήτων με υψηλό δυναμικό τοξικότητας - Δημόσια και αισθητική αποδοχή - Προστασία δημόσιας υγείας (κυρίως σε σχέση με μεταφορά παθογόνων, και κυρίως ιών).

1.2.2 Γεωργική χρήση με έμφαση στην άρδευση

Η εφαρμογή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση καλλιεργειών αποτελεί την πιο παλιά και τη πιο ευρέως εφαρμοζόμενη. Γενικά η άρδευση γεωργικών και άλλων εκτάσεων αποτελούν την πιο μαζική χρήση νερού, ιδιαίτερα σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Αρχικά, απαιτείται διαχωρισμός μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης άρδευσης βάσει των αρδευόμενων καλλιεργειών και του τρόπου εφαρμογής του νερού. Με τον όρο περιορισμένη άρδευση ονομάζεται η χρήση που δεν εγγυάται την πλήρη ασφάλεια των καταναλωτών και αφορά καλλιέργειες όπως δάση, εκτάσεις όπου δεν επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Ως προς τους τρόπους εφαρμογής του νερού, η μέθοδος του καταιονισμού δεν επιτρέπεται. Με τον όρο απεριόριστη άρδευση ονομάζεται η χρήση που πραγματοποιείται χωρίς περιορισμούς που επιβάλλονται για την ασφάλεια των καταναλωτών, δηλαδή ελεύθερη χρήση. Αφορά όλα τα είδη καλλιεργειών, όπως λαχανικά, αμπέλια, ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοληπία. Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού (<http://www.anatoliki.gr/life/gr/p4.htm>). Ο Πίνακας 1.2.2 συνοψίζει τα προτεινόμενα όρια και μεθόδους επεξεργασίας κατά την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη βιομηχανία (<http://www.anatoliki.gr/life/gr/p4.htm>).

Πίνακας 1.2.2: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση στην Ελλάδα (<http://www.anatoliki.gr/life/gr/p4.htm>).

Περιττωματικά κολοβακτηρίδια /FC 100 ml	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
200 διάμεση τιμή 800 για το 95% των δειγμάτων	25 για το 95% των δειγμάτων	35 για το 95% των δειγμάτων	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ^α Απολύμανση
5 για το 80% των δειγμάτων 15 για το 95% των δειγμάτων 100 μέγιστη τιμή	10 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ^α Τριτοβάθμια επεξεργασία ^β Απολύμανση ^γ

Οι καλλιέργειες αρδεύονται με υγρά απόβλητα κυρίως μετά την τριτοβάθμια επεξεργασία. Τα πλεονεκτήματα από την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για άρδευση περιλαμβάνουν (Angelakis, *et al*, 2001).

1. Πρόληψη της ρύπανσης των επιφανειακών νερών.
2. Συντήρηση των πόρων γλυκού νερού και η ορθολογική χρήση τους, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική στις ξηρές ημιάγονες περιοχές όπως στη Μεσόγειο.
3. Αύξηση της εδαφολογικής γονιμότητας, δεδομένου ότι τα υγρά απόβλητα είναι πλούσια σε θρεπτικές ουσίες (ειδικά σε άζωτο, φώσφορο και κάλιο) και μειώνουν έτσι την ανάγκη λίπανση.
4. Βελτίωση φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους μέσω της προστιθέμενης οργανικής ουσίας.
5. Μείωση του κόστους επεξεργασίας που απαιτείται για την διάθεση των αποβλήτων σε άλλες χρήσεις (Angelakis, *et al*, 2001).

Σε αρκετές περιοχές στον κόσμο, η άρδευση καλλιεργειών με εκροές αποβλήτων αποτελεί συνηθισμένη πρακτική. Η πολιτεία της Καλιφόρνιας στις ΗΠΑ θεωρείται πρωτοπόρος σε θέματα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, όπου το 12% των παραγόμενων αποβλήτων ανακτάται και επαναχρησιμοποιείται. Από την παραπάνω ποσότητα το 64% χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών και το 13% για άρδευση χώρων πράσινου. Στο Ισραήλ σήμερα, υπολογίζεται ότι το 92% περίπου των υγρών αποβλήτων συλλέγεται σε δημόσια αποχετευτικά δίκτυα και από αυτό το 72% ανακτούνται και επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση. Επίσης στην ίδια χώρα προβλέπεται ότι το 2010 το 18,8% του συνολικού εφοδιασμού με νερό και το 33,6% της συνολικής ζήτησης νερού για γεωργική χρήση θα είναι ανακατωμένα υγρά απόβλητα (Shelf, 1991). Στην Κύπρο περίπου 25 Mm³/έτος επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων εκτιμάται ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση. Αυτή η ποσότητα αναμένεται ότι θα αυξήσει κατά 8 –10% την αρδευόμενη γη, ενώ σημαντική ποσότητα νερού θα εξοικονομηθεί για άλλες χρήσεις. (Paradopoulos, 1995). Αρκετές περιοχές κυρίως στη Ν. Ελλάδα και στα νησιά αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα διαθεσιμότητας υδατικών πόρων. Η ύπαρξη 270 μονάδων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων (ΜΕΑΥΑ) σε λειτουργία και η παραγωγή 1,30 Mm³/έτος επεξεργασμένων εκροών καθιστούν δυνατή την χρήση τους για άρδευση. Σήμερα αρκετά πιλοτικά προγράμματα έχουν αναπτυχθεί για τη χρήση υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών (Ηράκλειο, Παλιόκαστρο, Άμφισσα, Λιβαδειά) και δασικών εκτάσεων (Σέριφος, Σάμος, Χαλκίδα).

1.2.3 Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία

Η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη βιομηχανία περιλαμβάνει νερά ψύξης, λεβήτων και χρήσης κατά τις διάφορες διεργασίες. Σε περιπτώσεις νερών ψύξης μιας χρήσης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα, τα οποία μετά από απολύμανση περιέχουν συγκεντρώσεις περιπρωματικών κολοβακτηριδίων μικρότερες από 200 FC /100 ml. Για όλες τις άλλες περιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένου του νερού που ανακυκλώνεται στα αντίστοιχα συστήματα ψύξης, η ελάχιστη απαίτηση επεξεργασίας είναι η τριτοβάθμια. Πρόσθετη επεξεργασία μπορεί να απαιτηθεί σε ειδικές περιπτώσεις. Ο Πίνακας 1.2.3 συνοψίζει τα προτεινόμενα όρια και μεθόδους επεξεργασίας κατά την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη βιομηχανία (<http://www.anatoliki.gr/life/gr/p4.htm>).

Πίνακας 1.2.3: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στη βιομηχανία, στην Ελλάδα (<http://www.anatoliki.gr/life/gr/p4.htm>).

	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια /FC 100 ml	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
Νερό ψύξης μιας χρήσης	200 διάμεση τιμή 800 για το 95% των δειγμάτων	25 για το 95% των δειγμάτων	35 για το 95% των δειγμάτων	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία απολύμανση
Επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, λέβητας και νερό χρήσης	5 για το 80% των δειγμάτων 15 για το 95% των δειγμάτων 100 μέγιστη τιμή	10 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία Τριτοβάθμια επεξεργασία Απολύμανση

1.2.4 Εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων

Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με ανακτώμενο νερό από υγρά απόβλητα συνδυάζει το τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφορέων με την περαιτέρω επεξεργασία των εφαρμοζόμενων εκροών, δια μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που συμβαίνουν στο σύστημα έδαφος- υδροφορέας (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995). Ο τεχνικός εμπλουτισμός των υδροφορέων στοχεύει, στην αποθήκευση πλεονασμάτων επιφανειακών νερών, στην ενίσχυση των αποθεμάτων νερού του υδροφορέα και προστασία από την υπεράντληση ή ρύπανση, που οφείλεται στη διείσδυση θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Έτσι για πιο αναλυτικά, ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων εφαρμόζεται για (Angelakis, *et al*, 2001):

- Προστασία υπόγειου νερού σε παράκτιους υδροφορείς από τη εισβολή και ανάμειξη του με θαλασσινού νερού
- παροχή περαιτέρω επεξεργασίας για τη μελλοντική επαναχρησιμοποίηση.

- παροχή υπόγειας αποθήκευσης νερού
- έλεγχος ή παρεμπόδιση της επίγειας καθίζησης του υδροφόρου ορίζοντα.

Εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων επιτυγχάνεται από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με εφαρμογή τους στο έδαφος ή κατά τη διάθεση εκροών υγρών αποβλήτων σε διάφορους αποδέκτες δια μέσου της διήθησης και κατείσδυσης στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Επίσης Εμπλουτισμός των υπογείων υδροφορέων με νερό, που ανακτάται κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, έχει ως επακόλουθο να αυξάνεται η ποσότητα του υπόγειου νερού. Τα πλεονεκτήματα αποθήκευσης νερού στους υπόγειους υδροφορείς είναι τα παρακάτω (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995):

1. Το ποσοστό της αποθήκευσης νερού σε υπόγειους υδροφορείς είναι χαμηλότερο από το κόστος αποθήκευσης σε επιφανειακούς ταμιευτήρες.
2. Οι υπόγειοι υδροφορείς μπορούν να προσφέρουν ακόμα και την τελική διανομή του αποθηκευμένου νερού, με αποτέλεσμα να μειώσουν την επιφανειακή μεταφορά με σωλήνες, κανάλια ή άλλες μεθόδους μεταφοράς.
3. Το νερό που αποθηκεύεται σε επιφανειακές εγκαταστάσεις, συνήθως εξατμίζεται ή ρυπαίνεται με συνέπεια να δημιουργούνται προβλήματα γεύσης και οσμής, που οφείλεται στην ανάπτυξη αλγών και άλλων υδροχαρών φυτών.
4. Οι επιφανειακοί αποταμιευτήρες νερού πιθανόν να μην είναι αποδεκτές για περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς ή για άλλους λόγους.
5. Και τέλος όταν ένα έργο περιλαμβάνει ανάκτηση και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει και εμπλουτισμό υπογείων υδροφορέων παρέχονται έμμεσα κοινωνικά, ψυχολογικά και αισθητικά οφέλη, ως αποτέλεσμα της εναλλαγής μεταξύ ανακτώμενου και υπόγειου νερού.

Η τεχνητή επαναφόρτιση των υπόγειων νερού με γλυκό νερό και η εκροή προεπεξεργασμένων υγρών απόβλητων συνεχίζει να αυξάνεται, ειδικά στις ξηρές και ημιάγονες περιοχές του κόσμου (Angelakis, *et al*, 2001).

1.2.5 Άρδευση κοινόχρηστων χώρων

Η άρδευση των κοινόχρηστων χώρων που καλείται και αστική επαναχρησιμοποίηση, περιλαμβάνει την άρδευση σε πάρκα, ελεύθερους χώρους, γήπεδα, γκολφ, δημόσια πάρκα, ιπποδρόμια, καθώς και το πλύσιμο των αυτοκινητόδρομων, τα εμπορικά γραφεία, τις βιομηχανίες, τα κοιμητήρια, το νερό για διακοσμητικά σιντριβάνια και τις περιοχές που είναι κατοικήσιμες κ.α. Ως προς την απαιτούμενη επεξεργασία η περιορισμένη αστική χρήση απαιτεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, ενώ η απεριόριστη προϋποθέτει επιπρόσθετα τριτοβάθμια επεξεργασία. Ο διαχωρισμός μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης αστικής χρήσης είναι μια αξιόπιστη και ασφαλής διαδικασία υπό την προϋπόθεση ότι τα θεσμικά, οργανωτικά και διαχειριστικά μέσα μπορούν να εξασφαλίσουν τη σωστή εφαρμογή της. Η εκπλήρωση αυτής της προϋπόθεσης είναι ωστόσο αμφίβολη στην περίπτωση της Ελλάδας (<http://www.anatoliki.gr/life/gr/p4.htm>).

Επειδή οι κοινόχρηστοι χώροι έχουν άμεση σχέση με τη δημόσια χρήση και υγεία, απαιτούνται αυξημένα ποιοτικά κριτήρια και κυρίως αυστηρός έλεγχος των παθογόνων μικροοργανισμών. Αυτό επιτυγχάνεται με την προωθημένη χρήση αποβλήτων καθώς και με τη δημιουργία ζωνών ασφαλείας, περιμετρικά των χώρων εφαρμογής. Πολλά προγράμματα άρδευσης κοινόχρηστων χώρων περιλαμβάνουν διπλά συστήματα διανομής, ένα δίκτυο διανομής για το πόσιμο νερό και άλλο για το ανακτημένο νερό (Angelakis, *et al*, 2001). Προτείνονται κοινά όρια τόσο για την περιορισμένη όσο και για την απεριόριστη αστική χρήση και τις χρήσεις αναψυχής, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.2.5 (<http://www.anatoliki.gr/life/gr/p4.htm>).

Πίνακας 1.2.5 : Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για αστική χρήση εκτός πόσης και χρήσεις αναψυχής στην Ελλάδα (www.anatoliki.gr/life/gr/p4.htm).

	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια /FC 100 ml	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
Μεγάλες εκτάσεις (κοιμητήρια, αυτοκινητόδρομοί, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής,	5 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία Τριτοβάθμια επεξεργασία Απολύμανση
κατάσβεση πυρκαγιών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμιων, διακοσμητικά σιντριβάνια, νερό για καθαρισμό τουαλέτας.	15 για το των δειγμάτων 100 μέγιστη τιμή	10 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία Τριτοβάθμια επεξεργασία Απολύμανση

1.2.6 Διάφορες χρήσεις

Το ανακτώμενο νερό χρησιμοποιείται για: α) απόβλητα από οικιακή χρήση (greywater) και ιδιαίτερα για την χρήση τουαλέτας, β) την κατάσβεση πυρκαγιών, γ) ξέπλυμα των υγειονομικών υπονόμων και άλλες χρήσεις λιγότερο σημαντικές (V. Lazarova, *et al*, 2002).

Οι πιο σημαντικές χρήσεις είναι τα greywater ειδικότερα για χρήση στην τουαλέτα. Με τον όρο greywater, ορίζονται όλα τα υγρά απόβλητα που παράγονται από την οικιακή χρήση, αποκλείοντας τα απόβλητα από τις τουαλέτες. Η δυνατότητα για επαναχρησιμοποίηση είναι αξιοσημείωτη στην Ευρώπη. Για παράδειγμα, το ξέπλυμα τουαλετών με καθαρό νερό αποτελεί περίπου 30% σε κατοικίες και φθάνει πάνω από 60% στα εμπορικά κτίρια. Τα greywater μπορεί να περιλάβει τα υγρά απόβλητα από τους νιπτήρες λουτρών, ντους και μπορεί επίσης να περιλάβει τα απόβλητα

από τις εγκαταστάσεις πλυντηρίων, τα πλυντήρια πιάτων και, σε μερικές περιπτώσεις, τους νιπτήρες κουζινών (V. Lazarova, *et al*, 2002).

Η οικιακή επαναχρησιμοποίηση νερού συχνά έχει παρεμποδιστεί από την έλλειψη κατάλληλων κριτηρίων ποιότητας νερού. Κατά κανόνα τα κριτήρια της ποιότητας νερού που απαιτούνται για το ξέπλυμα τουαλετών περιλαμβάνονται στον κανονισμό για τις αστικές χρήσεις του νερού. Η υπάρχουσα νομοθεσία ποικίλλει από χώρα σε χώρα. Σε πολλές χώρες δεν υπάρχει καμία συγκεκριμένη νομοθεσία που να καλύπτει τη χρήση του μη επεξεργασμένου greywater. Εξαίρεση είναι η Καλιφόρνια όπου πολλοί άνθρωποι χρησιμοποιούν τα greywater “παράνομα” για να ποτίσουν τους κήπους τους (V. Lazarova, *et al*, 2002).

1.3 Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση χλοοτάπητα

1.3.1 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού

Η ποιότητα του αρδευτικού νερού είναι παράγοντας, που επιδρά σημαντικά στην ανάπτυξη των καλλιεργειών καθώς και στην ποιότητα και την ποσότητα της παραγωγής των καλλιεργειών (Σπαντιδάκης, 1999). Συνήθως η επίδραση αυτή συναντάται σε περιοχές με ξηρό ή ημίξηρο κλίμα, όπου οι επικρατούσες υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τη χαμηλή υγρασία δημιουργούν συνθήκες για υψηλές ταχύτητες εξατμισοδιαπνοής (ΕΤ) (Αγγελάκης and Tchobanoglous, 1995). Η υψηλή εξατμισοδιαπνοή σε συνδυασμό με το χαμηλό ύψος βροχοπτώσεων στις περιοχές αυτές έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση αλάτων στην περιοχή της ριζόσφαιρας. Επίσης διάφορες χημικές, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους, όπως είναι η σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων, ο βαθμός διασποράς των εδαφικών σωματιδίων, η υδραυλική αγωγιμότητα, η εδαφική δομή είναι παράμετροι ευαίσθητες στα περιεχόμενα ιόντα, που προέρχονται από το αρδευτικό νερό (Σπαντιδάκης, 1999).

Έτσι, όταν σχεδιάζεται ένα αρδευτικό έργο με νερό που έχει ανακτηθεί από υγρά απόβλητα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η φυτική παραγωγή και οι εδαφικές ιδιότητες. Προβλήματα που αφορούν τέτοια έργα είναι τα ίδια με αυτά που προκύπτουν κατά την άρδευση με κάθε είδους περιθωριακό νερό, όπως είναι τα υφάλμυρα νερά. Σε τέτοιες συνθήκες απαιτείται ειδική διαχείριση των έργων, για να αποφεύγονται ανεπιθύμητες επιδράσεις στο έδαφος ή στην αρδευόμενη καλλιέργεια (Αγγελάκης and Tchobanoglous, 1995). Στη εικόνα 1.3.1 έχει γίνει άρδευση χλοοτάπητα με υφάλμυρο νερό σε αργιλλώδη και περιορισμένης περατότητας έδαφος (Σπαντιδάκης, 1999).



Εικόνα 1.3.1: Η άρδευση με υφάλμυρο νερό και μάλιστα σε αργιλλώδη και περιορισμένης περατότητας εδάφη, είναι πάντοτε καταστρεπτική για το χλοοτάπητα (Σπαντιδάκης, 1999)

Ένας σημαντικός αριθμός ποιοτικών ταξινομήσεων και οδηγιών χρήσης του αρδευτικού νερού έχουν δημοσιευθεί. Απ' αυτές, οι οδηγίες που αναπτύχθηκαν από ομάδα ειδικών του Πανεπιστημίου της California, Davis και στην συνέχεια επεκτάθηκαν από τους Ayers and Westcot (1985) και στην συνέχεια τροποποιήθηκαν από τους Pettygrove and Asano (1988) παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 1.3.1

Πίνακας 1.3.1: Οδηγίες για ερμηνεία – κατάταξη της ποιότητας του αρδευτικού νερού (Ayers and Westcot, 1985 και Pettygrove and Asano, 1988).

Βαθμός περιορισμού χρήσης				
Αρδευτικό πρόβλημα	Μονάδες	Χωρίς πρόβλημα	Αυξανόμενο πρόβλημα	Σοβαρό πρόβλημα
Αλατότητα (επηρεάζει κυρίως την διαθεσιμότητα του νερού στην καλλιέργεια)				
EC _w	dS/m	<0,75	0,75-3,0	>3,0
TDS	mg/L	<450	450-2000	>2000
Διαπερατότητα (επηρεάζει την Ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος και εκτιμάται με συνδυασμένη θεώρηση των EC _w SAR ^a ή adj ^a)				
SAR = 0-3 και EC _w	dS/m	>0,7	0,7-0,2	<0,2
SAR= 3-6 EC _w	dS/m	>1,2	1,2-0,3	<0,3
SAR=6-12 EC _w	dS/m	>1,9	1,9-0,5	<0,5
SAR=12-20 EC _w	dS/m	>2,9	2,9-1,3	<1,3
SAR=20-40 EC _w	dS/m	>5,0	5,0-2,9	<2,9
Ειδική τοξικότητα ιόντων (επηρεάζει κυρίως ευαίσθητες καλλιέργειες)				
Νάτριο (Na ⁺) ^β		<3,0	3-9	>9
α. Επιφανειακή άρδευση (SAR)				
β. Άρδευση με καταιονισμό Χλώριο (Cl ⁻) ^β	mg/L	<70	<70	
α. Επιφανειακή άρδευση		<140	140-350	>350
β. Άρδευση με καταιονισμό	mg/L	<100	>100	
Βόριο (B ⁺³) σε ίχνη	mg/L	<0,7	7,0-3,0	>3,0
Διάφορες άλλες επιδράσεις (αφορούν κυρίως ευαίσθητες καλλιέργειες)	mg/L			
Άζωτο (συνολικό N)	mg/L	<5,0	5-30	>30
Δισανθρακικά (HCO ₃ ⁻), μόνο για αρδεύσεις με καταιονισμό		<90	90-500	>500
PH		Κανονική διακύμανση :6,5-8,4		
Υπόλειμμα χλωρίου, μόνο για αρδεύσεις με καταιονισμό	mg	<1,0	1,0-5,0	>5,0

Για να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα για άρδευση θα πρέπει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους να τηρούν κάποια κριτήρια. Τα πιο σημαντικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και τα κριτήρια που ικανοποιούν αυτά είναι τα παρακάτω:

- Περιεκτικότητα σε άλατα.
- Περιεκτικότητα σε νάτριο.
- Περιεκτικότητα σε ανθρακικά ιόντα, χλώριο και βόριο.
- Περιεκτικότητα σε μέταλλα.
- Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά.
- Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά.
- Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά. (Στάμου, 1995)

1.3.1.1 Περιεκτικότητα σε άλατα

Η αλατότητα εκφράζεται ως η ολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων του αρδευτικού νερού και προσδιορίζεται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC_w). Αυτή χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) (Αγγελάκης and Tchobanoglous, 1995).

Όταν το αρδευτικό νερό περιέχει άλατα επηρεάζει έντονα την ανάπτυξη των φυτών με τις ακόλουθες διεργασίες: α) την ειδική τοξικότητα των ιόντων, που προξενεί η συγκέντρωση ενός ειδικού ιόντος, β) την ωσμωτική πίεση, που προξενεί συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στην εδαφική διάλυση, γ) τη διαταραχή της θρέψης και τέλος την διασπορά των εδαφικών σωματιδίων, που προξενεί ή υψηλή συγκέντρωση νατρίου και η χαμηλή αγωγιμότητα (αλατότητα). Με τέτοιες συνθήκες αυξημένης εδαφικής αλατότητας στην ριζόσφαιρα, τα φυτά καταναλώνουν περισσότερη από τη διαθέσιμη ενέργεια τους, με την πρόσληψη του απαιτούμενου νερού για την προσαρμογή τους σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στους ιστούς τους (Αγγελάκης and Tchobanoglous, 1995).

Όταν η αγωγιμότητα είναι μικρότερη από 0.7 ds/m δεν παρουσιάζονται προβλήματα αλάτωσης του εδάφους και δεν αναμένονται τα προβλήματα να είναι σημαντικά όταν η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 0.7 ds/m έως 3 ds/m. Υπάρχει κίνδυνος να αλατωθεί όταν οι τιμές της αγωγιμότητας ξεπεράσουν τα 3 ds/m (Στάμου, 1995).

1.3.1.2 Περιεκτικότητα σε νάτριο

Η περιεκτικότητα του νατρίου εκφράζεται ως ο λόγος των κατιόντων του διαλυτού νατρίου (Na^+) προς διαλυτά κατιόντα του ασβεστίου (Ca^{+2}) και του μαγνησίου (Mg^{+2}) που καλείται λόγος απορρόφησης νατρίου (SAR, Sodium Absorption Ratio), είναι πολύ σημαντικός και καθορίζεται από τον τύπο:

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$$

Οι συγκεντρώσεις του νατρίου, μαγνησίου και ασβεστίου προσδιορίζονται με χημική ανάλυση και εκφράζονται σε meq/l (Στάμου, 1995).

Οι εκροές υγρών αποβλήτων συχνά περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις νατρίου με αποτέλεσμα να δημιουργείται κρούστα και μείωση της περατότητας του εδάφους. Επίσης τα επεξεργασμένα απόβλητα περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις ασβεστίου, που όμως δε δημιουργεί κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα. Σε συνδυασμό όμως τις συγκεντρώσεις νατρίου με τις υψηλές τιμές αλατότητας μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα αλκαλίωσης του εδάφους (Στάμου, 1995).

1.3.1.3 Περιεκτικότητα σε ανθρακικά ιόντα, χλώριο και βόριο

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-) έχουν την τάση να σχηματίζουν αδιάλυτες ενώσεις με ιόντα του ασβεστίου και του μαγνησίου με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι συγκεντρώσεις του νατρίου και αυτό έχει σαν συνέπεια την αλκαλίωση του εδάφους. Οι συγκεντρώσεις των HCO_3^- όταν είναι μικρότερες από 90mg/l δεν αναμένεται πρόβλημα, όταν οι συγκεντρώσεις είναι 90mg/l – 500mg/l είναι μικρό πρόβλημα, ενώ υπάρχει σοβαρό πρόβλημα όταν οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν τα 500 mg/l (Στάμου, 1995).

Τα ιόντα χλωρίου όταν υπάρχουν σε μεγάλες συγκεντρώσεις δημιουργούν αρκετά προβλήματα στην ανάπτυξη και σοβαρές βλάβες στα φύλλα των δένδρων, και λιγότερο σημαντικά στις καλλιέργειες λαχανικών, σπόρων δημητριακών, χονδροειδών ζωοτροφών και φυτικών ινών δεν δημιουργούν σημαντικά προβλήματα. Όταν γίνεται επιφανειακή άρδευση δεν αναμένεται κανένα πρόβλημα για τιμές συγκεντρώσεων μικρότερες από 140mg/l, μικρό πρόβλημα αναμένεται για συγκεντρώσεις 140-350 mg/l, ενώ σοβαρό πρόβλημα υπάρχει όταν οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι μεγαλύτερες από 350 mg/l (Στάμου, 1995).

Στα απόβλητα το βόριο βρίσκεται με τη μορφή του βορικού οξέος, Το βόριο προέρχεται συνήθως από τα βιομηχανικά απόβλητα ή από τα απορρυπαντικά. Δεν επηρεάζεται σημαντικά από την επεξεργασία των αποβλήτων.

Είναι απαραίτητο συστατικό των φυτών σε μικρές πάντα συγκεντρώσεις, η αύξηση όμως των συγκεντρώσεων προκαλεί τοξικότητα. Δεν κατακρατείται στο έδαφος και αν δεν απορροφηθεί από τα φυτά καταλήγει στα υπόγεια νερά. Οι βλάβες που προκαλεί είναι κιτρίνισμα, κοκκίνισμα και πρόωρη πτώση των φύλλων, όπως και μειωμένη ανάπτυξη των φυτών. Οι συγκεντρώσεις του βορίου στα επεξεργασμένα απόβλητα κυμαίνονται από 0.1 έως 2.5mg/l (Στάμου,1995).

1.3.1.4 Περιεκτικότητα σε μέταλλα

Τα μέταλλα είναι πιθανόν να δημιουργήσουν προβλήματα κατά την ανεξέλεγκτη εφαρμογή επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση ανήκουν το κάδμιο, ο χαλκός το νικέλιο, το μολυβδαίνιο και ο ψευδάργυρος. Περιέρχονται στα απόβλητα και καταλήγουν κατά την επεξεργασία των αποβλήτων στην παραγόμενη λάσπη. Τα μέταλλα αυτά είναι πιθανόν να γίνουν τοξικά στις καλλιέργειες αλλά και στον άνθρωπό και στα ζώα μέσω της τροφικής αλυσίδας. Για να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα απόβλητα για άρδευση θα πρέπει όλα τα μέταλλα που περιέχονται να βρίσκονται στις συγκεντρώσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 1.3.1.4 (Στάμου,1995).

Πίνακας 1.3.1.4: Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο νερό άρδευσης (Ayers and Westcot, 1985 και Pettygrove and Asano, 1988).

Στοιχεία	Μακροχρόνια Χρήση (mg/L)	Βραχυχρόνια χρήση (mg/L)	Επιδράσεις
Αργίλιο (Al)	5	20	Προκαλεί μείωση της παραγωγικότητα, σε όξινα εδάφη (pH5,5), αλλά σε αλκαλικά εδάφη κατακρημνίζεται και περιορίζεται η τοξικότητα του.
Αρσενικό (As)	0,1	2	Η τοξικότητα του στα φυτά ποικίλει ευρέως από 12mg/L σε αγρωστώδη έως 0,05 mg/L στο ρύζι.
Βηρύλλιο (Be)	0,1	0,5	Η τοξικότητα του στα φυτά ποικίλει από 5 mg/L στα λάχανα έως 0,5 mg/L στα φασόλια
Κάδμιο (Cd)	0,01	0,05	Σε συγκεντρώσεις μέχρι και 0,10 mg/L σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό στα φασόλια, σακχαρότευτλα, και γογγυλώδη είδη. Συνιστώνται συντηρητικά όρια εξαιτίας του δυναμικού αθροιστικής συσσώρευσης του σε φυτικούς και ζωικούς ιστούς.
Κοβάλτιο (Co)	0,05	5	Τοξικό σε φυτά ντομάτας σε συγκεντρώσεις 0,1 mg/L. Αδρανοποιούνται σε ουδέτερα και αλκαλικά pH
Χρώμιο (Cr)	0,1	1	Θεωρείται απαραίτητο θρεπτικό συστατικό. Προτείνονται σχετικά συντηρητικές συγκεντρώσεις εξαιτίας της περιορισμένης γνώσης για τις τοξικές του επιδράσεις σε φυτικά είδη
Χαλκός (Cu)	0,2	5	Τοξικό σε αρκετά είδη φυτών σε συγκεντρώσεις από 0,1 mg/L ως 1 mg/L
Φθόριο (F)	1	15	Αδρανοποιούνται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη
Σίδηρος (Fe)	5	10	Δεν είναι τοξικό στα φυτά σε καλώς αεριζόμενα εδάφη. Συνεισφέρει στη μείωση του pH και ανταγωνίζεται το P και το Mo
Λίθιο (Li)	2,5	2,5	Σε συγκεντρώσεις μέχρι 5 mg/L είναι ανεκτικό για τα περισσότερα είδη φυτών. Στα εσπεριδοειδή όμως είναι τοξικό σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Προτεινόμενα όρια 0,075 mg/L. Είναι κινητικό στο έδαφος
Μαγγάνιο (Mg)	0,2		Τοξικό σε πολλά φυτά σε όξινα εδάφη σε συγκεντρώσεις από 0,1 ως 1mg/L
Μολυβδαίνιο (Mo)	0,01	0,05	Δεν είναι τοξικό στα φυτά σε κανονικές συγκεντρώσεις στο νερό και στο έδαφος. Μπορεί να είναι τοξικό σε ζώα που βοσκούν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις Mo
Νικέλιο (Ni)	0,2	5	Τοξικό σε αρκετά είδη φυτών σε συγκεντρώσεις από 0,5 ως 1mg/L. Η τοξικότητα του μειώνεται σε αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη
Μόλυβδος (Pb)	5	10	Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ανάσχεση της αύξησης των κυττάρων.
Σελήνιο (Se)	0,02	0,02	Τοξικό στα φυτά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (0,025 mg/L) καθώς επίσης και σε ζώα, που τρέφονται με τροφές που παράχθηκαν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις Se. Αντίθετα, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις θεωρείται απαραίτητο στοιχείο στα

			ζώα
Βανάδιο (V)	0,1	1	Τοξικό σε πολλά είδη φυτών σε μικρές συγκεντρώσεις
Ψευδάργυρος (Zn)	2	10	Τοξικό σε πολλά φυτά σε συγκεντρώσεις που ποικίλουν. Η τοξικότητα του ελαττώνεται σε εδάφη με pH 6 και καλής υφής ή οργανικά εδάφη

1.3.1.5 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά

Στα συστήματα επιφανειακής άρδευσης μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών (SS) μπορεί να δημιουργήσουν μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας και της διηθητικότητας των εδαφών με τη δημιουργία επιφανειακής κρούστας και την έμφραξη των πόρων του εδάφους, ειδικά όταν αυτά είναι λεπτόκοκκα καθώς και στη δημιουργία προβλημάτων στο φύτρωμα των σπόρων (Στάμου, 1995).

1.3.1.6 Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά

Τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στα επεξεργασμένα απόβλητά είναι πολύ σημαντικά διότι έχουν λιπασματική αξία για τα φυτά, είναι κυρίως το άζωτο, ο φώσφορος, το κάλιο, ο ψευδάργυρος, το βόριο και το θείο. Τα θρεπτικά συστατικά αυτά όταν βρίσκονται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τις ανάγκες των φυτών, μπορεί να προκαλέσουν διάφορα προβλήματα (Στάμου, 1995).

Το πιο ωφέλιμο και πιο πλεονασματικό στοιχείο μετά από την δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι το άζωτο που βρίσκεται ως αμμωνία ή αμμωνιακό άζωτο. Το βασικό πλεονέκτημα του αζώτου είναι ότι αποτελεί σημαντικό λίπασμα για τις καλλιέργειες, με αποτέλεσμα την πιθανή αντικατάσταση των εμπορικών λιπασμάτων (Στάμου, 1995).

1.3.1.7 Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά συστατικά

Στα απόβλητα μπορεί να υπάρχουν σύνθετα οργανικά συστατικά (π.χ. χλωροβενζόλιο, χλωροφόρμιο, μαλάθιο, κ.α) σε μικρές συγκεντρώσεις, τα οποία όμως θεωρείται ότι εγκυμονούν πολλούς κινδύνους διότι είναι τοξικά. Τα συστατικά αυτά με τη διαδικασία της άρδευσης καταλήγουν στο έδαφος. Ένα μέρος του νερού συγκρατείται από το έδαφος και ένα άλλο μέρος απορροφάται από τα φυτά και τελικά καταλήγει στο άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας. Επειδή όμως οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλές δεν αναμένονται σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου κατά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (Στάμου, 1995).

1.3.1.8 Επιπτώσεις του ανακυκλωμένου νερού στον χλοοτάπητα

Τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως διαμορφώνουν την εικόνα της ποιότητας του νερού από την οποία εξαρτάται ή εξέλιξη του χλοοτάπητα αλλά και η σωστή λειτουργία των συστημάτων άρδευσης χωρίς προβλήματα. Για τον έλεγχο όλων αυτών των παραμέτρων και ειδικότερα στην περίπτωση που γίνεται άρδευση σε μεγάλες επιφάνειες όπου το κόστος άρδευσης είναι σημαντικό είναι αναγκαίο να γίνονται σε τακτά διαστήματα αναλύσεις νερού και με βάση αυτές να καθορίζεται η περαιτέρω χρήση του ανακυκλωμένου νερού (Σπαντιδάκης, 1999).

Με την χρήση νερού προβληματικής ποιότητας ο χλοοτάπητας αποκτά επιφανειακό και περιορισμένο ριζικό σύστημα, χαρακτηρίζεται από απροθυμία αναπτύξεως, αποκτά σκουρότερο χρώμα, φύλλωμα δύσκαμπτο και μικρότερου μεγέθους εάν δε συνεχιστεί η χρήση του νερού το φύλλωμα αραιώνει, παρουσιάζει μάρανση και εγκαύματα στις άκρες των φύλλων. Η καταπόνηση που προκαλείται στον χλοοτάπητα προέρχεται από δυο παράγοντες:

1. Έλλειψη υγρασίας που δημιουργείται από την υπερβολική συγκέντρωση αλάτων που εμφανίζεται στο ριζικό σύστημα και τα οποία την κατακρατούν λόγω οσμωτικής πίεσης.
2. Η υψηλή συγκέντρωση αλάτων δημιουργεί τοξικά φαινόμενα στα φυτά π.χ. το βόριο που σε συγκέντρωση 1ppm είναι τοξικό για πολλά φυτά ενώ ο χλοοτάπητας μπορεί να αντέξει μέχρι 8 –10ppm (Σπαντιδάκης, 1999).

Η υψηλή περιεκτικότητα του νερού σε άλατα αντιμετωπίζεται με συνθήκες καλής στράγγισης και με συνδυασμό πλούσιας άρδευσης σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ο συνδυασμός αυτός οδηγεί στην απομάκρυνση των αλάτων και μείωση της τοξικότητας. Συνεπώς η χρήση του νερού κακής ποιότητας σε εδάφη βαριά με μειωμένη περατότητα και όταν είναι περιορισμένης ποσότητας καταλήγει πάντοτε σε καταστροφή του χλοοτάπητα.

Οι ενδιάμεσες λύσεις όπως ανάμειξη του νερού διαφόρων ποιοτήτων με σκοπό την μείωση των αλάτων ή η εναλλαγή χρήσεως νερού καλής ποιότητας και αντίστοιχου ανακυκλωμένου μειώνει τη φόρτιση του εδάφους με άλατα και διευκολύνει την ανάπτυξη του χλοοτάπητα (Σπαντιδάκης, 1999).

1.4 Τα χαρακτηριστικά της περιοχής

Τα χαρακτηριστικά της περιοχής έχουν σημαντική σημασία για την επιλογή μιας περιοχής, για άρδευση φυτών και ιδιαίτερα για καλλιέργεια χλοοτάπητα με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω (Στάμου, 1995):

1. Η τοπογραφία της περιοχής
2. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους
3. Οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής
4. Τα υπόγεια νερά
5. Το κλίμα της περιοχής

1.4.1 Η τοπογραφία της περιοχής

Οι τοπογραφικές παράμετροι είναι πολύ σημαντικές στην επιλογή άρδευσης υγρών αποβλήτων, είναι κυρίως η κλίση του εδάφους και το ανάγλυφο της περιοχής (Στάμου, 1995). Οι εκτεταμένες επιφάνειες με μεγάλη κλίση, αποτελούν πρόβλημα για την εγκατάσταση του χλοοτάπητα, τόσο για τις αρχικές εργασίες κατασκευής, εν συνέχεια στο κούρεμα αλλά κατά κύριο λόγο αυξάνουν την απορροή με αποτέλεσμα το έδαφος να γίνεται κορεσμένο και να δημιουργούνται ασταθείς εδαφικές συνθήκες. Άρα για να είναι εύκολη η εφαρμογή ενός σωστού προγράμματος συντηρήσεως, η μεταβολή των κλίσεων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 25%. Οι απότομες κλίσεις, επίσης ευνοούν την διάβρωση του εδάφους με αποτέλεσμα να προκαλούν μεγάλες δυσκολίες στην καλλιέργεια και καθιστούν ανοικονομική την άρδευση. Οι μέγιστες επιτρεπτές κλίσεις είναι 1 –2%. Το μεγαλύτερο πρόβλημα παρουσιάζεται όταν υφίσταται τεχνική ανάγκη να κατασκευαστεί χλοοτάπητας σε μεγάλες κλίσεις οπότε εφαρμόζεται ειδική τεχνική, η υδροσπορά (Στάμου, 1995).

Μια άλλη παράμετρος που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το ανάγλυφο της επιφάνειας του χλοοτάπητα που είναι υψομετρικές διαφορές που προκαλούν επιπτώσεις στις απαιτήσεις άντλησης με μεγάλη οικονομική επιβάρυνση και στην ομοιομορφία διανομής του νερού (Σπαντιδάκης, 1999).

1.4.2 Τα χαρακτηριστικά του εδάφους

Το έδαφος είναι σπουδαίος και αποφασιστικός παράγοντας εγκατάστασης, ανάπτυξης και διαβίωσης ενός φυτού (για παράδειγμα του χλοοτάπητα) διότι με τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες επηρεάζει άμεσα άλλα και προσδιορίζει τον βιολογικό του κύκλο. Τα πιο σημαντικά φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους είναι η μηχανική του σύσταση, το πορώδες και η δομή. Τα βασικότερα υδραυλικά χαρακτηριστικά είναι η διηθητικότητα και η υδραυλική αγωγιμότητα. Τα χημικά χαρακτηριστικά είναι το pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα και το ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου. Μικρότερης σημασίας είναι ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, ο διαθέσιμος φώσφορος, τα οργανικά συστατικά και το βόριο (Στάμου, 1995).

1.4.2.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

1.4.2.1.1 Μηχανική σύσταση

Η μηχανική σύσταση του εδάφους ονομάζεται η ικανότητα του μεγέθους των ανόργανων στερεών σωματιδίων του, τα οποία είναι η άμμος (μεγέθους 0.05 – 2.0mm), ο πυλός (ιλύς) (μεγέθους 0.002 – 0.05mm) και η άργιλος (μεγέθους μικρότερου από 0.002mm). Η μηχανική σύσταση του εδάφους γίνεται με τον τρόπο της μηχανικής ανάλυσης, που γίνεται είτε με το κοσκίνισμα, είτε με την φυγοκέντρωση ή με την καθίζηση (Στάμου, 1995).

Με βάση τη μηχανική σύσταση τους τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως χαλαρά, χοντρόκοκκα (ελαφριά) ή ως σφικτά ή λεπτόκοκκα (βαριά). Τα σφικτά εδάφη δεν αποστραγγίζονται καλά και κατακρατούν μεγάλες ποσότητες νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ τα χαλαρά εδάφη μπορούν να δεχθούν μεγάλες ποσότητες νερού που όμως δεν κατακρατούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ιδανικά εδάφη για την περίπτωση άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα πρέπει να θεωρούνται τα μέσης χαλαρότητας, όπως για παράδειγμα τα πηλώδη εδάφη (Στάμου, 1995).

1.4.2.1.2 Δομή εδάφους

Η δομή ενός εδάφους δείχνει την ικανότητα του για αποθήκευση, διήθηση, αερισμό και κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος. Ως συνεκτικότητα του εδάφους ονομάζεται η ικανότητα των κόκκων του εδάφους να αντιστέκεται στο διαχωρισμό (Στάμου, 1995).

Η δομή του εδάφους είναι ένας παράγοντας που επηρεάζεται από την καλλιέργεια, την διάβρωση που προκαλεί το νερό και ο αέρας, την μικροβιακή δράση, την ενυδάτωση του ή όχι, τη μεταβολή των ελάχιστων θερμοκρασιών που προκαλούν παγετούς ή τήξη του χιονιού, το ριζικό σύστημα του φυτού, τη συμπίεση που προκαλεί η κυκλοφορία ανθρώπων κ.α. (Σπαντιδάκης, 1999).

1.4.2.1.3 Πορώδες

Το πορώδες του εδάφους είναι και αυτός ένας σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα του χλοοτάπητα και αντιστοιχεί στο συνολικό κενό χώρο που υπάρχει μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους (στερεή φάση) όπου κυκλοφορούν τα διάφορα υγρά (νερό) καθώς επίσης και τα αέρια του εδάφους που είναι κυρίως το O_2 (0 – 21%) και το CO_2 (0,03 – 21%) (Σπαντιδάκης, 1999).

Από τους χαρακτήρες της στερεής φάσης του εδάφους (υφή, πορώδες, δομή) εξαρτώνται και οι άλλες δύο φάσεις η υγρή και η αέρια φάση. Το έδαφος που δέχεται το νερό της βροχής ή το πότισμα διεισδύει μέσα στο έδαφος και καλύπτει τους κενούς χώρους από όπου θα απορροφηθεί ένα σημαντικό ποσοστό από τις ρίζες του χλοοτάπητα. Το έδαφος θα θεωρηθεί κορεσμένο όταν οι πόροι του εδάφους γεμίσουν με νερό το οποίο κινείται από την επιφάνεια προς τα χαμηλότερα στρώματα με τη βοήθεια της βαρύτητας. Αυτό το πλεονάζον νερό θα απομακρυνθεί διότι δεν υπάρχει απορροφητική δύναμη να το συγκρατήσει. Το πόσο του νερού που συγκρατεί το έδαφος αφού στραγγιστεί η πλεονάζουσα ποσότητα δια της βαρύτητας και η προς τα κάτω κίνηση περιοριστεί στο ελάχιστο ονομάζεται αγραϊκανότητα (υδατοϊκανότητα) του εδάφους, ενώ το πόσο του αέρος που περιέχεται είναι η αεροϊκανότητα. Για την καλλιέργεια του χλοοτάπητα χρειάζονται εδάφη που έχουν τα δύο αυτά μεγέθη ισορροπημένα για να υπάρχει στο ριζικό σύστημα αρκετή υγρασία και παράλληλα εύκολος αερισμός. Όταν όμως δεν υπάρχει αρκετή υγρασία, ο χλοοτάπητας παρουσιάζει συμπτώματα μαράνσεως και τότε το ποσοστό περιεχόμενης της υγρασίας λέγεται σημείο μόνιμης μαράνσεως. Το ποσοστό αυτό για τα αμμώδη εδάφη είναι 2% και για τα βαριά αργιλώδη εδάφη φτάνει τα 30% (Σπαντιδάκης, 1999).

1.4.2.2 Υδραυλικά χαρακτηριστικά

Το σχέδιο και η λειτουργία ενός συστήματος άρδευσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ταχύτητα διήθησης ή διηθητικότητα και την υδραυλική αγωγιμότητα ή τη διαπερατότητα του χώματος. Η αγωγιμότητα του νερού προσδιορίζεται από την ευκολία με την οποία το νερό κινείται μέσα στο δεδομένο τύπο εδάφους, ενώ ταχύτητα διήθησης ονομάζεται η κίνηση του νερού προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους. Η συνολική κίνηση του νερού μέσα στη μάζα του εδάφους ονομάζεται υδατοπερατότητα και μετριέται σε εκατοστά ανά ώρα. Η ταχύτητα αυτή μπορεί να κυμαίνεται από 0,125 εκατοστά ανά ώρα για τα πολύ βαριά εδάφη μέχρι και άνω των 25 εκατοστών ανά ώρα για τα πολύ ελαφρά (περατά εδάφη) (Σπαντιδάκης, 1999).

Η υδατοπερατότητα του εδάφους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (υφή, μηχανική σύσταση, περιεχόμενη οργανική ουσία, η ομοιογένεια διατάξεως ή δομή του εδάφους κτλ.). Η πιο σημαντική ιδιότητα για τον χλοοτάπητα είναι ομοιογένεια διατάξεως του εδάφους έτσι ώστε να μην δημιουργούνται στρώματα αδιαπέραστα στην υγρασία που κινείται καθοδικά ή στρώματα πολύ χαλαρά όποτε η συγκράτηση της υγρασίας ελαχιστοποιείται με αποτέλεσμα να υπάρχει ανομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας στην εδαφική κατανομή (Σπαντιδάκης, 1999).

Με τον όρο κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα θεωρείται ο ρυθμός της κατακόρυφης κίνησης διαμέσου του εδαφικού ορίζοντα του στρώματος σε συνθήκες κορεσμού. Η υδραυλική αγωγιμότητα ποικίλλει με τη σύσταση του χώματος. Η διαποτισμένη αγωγιμότητα των αμμωδών χωμάτων χαρακτηρίζεται από τις υψηλές τιμές (10^{-2} cm/sec), ενώ στα χώματα αργίλου χαρακτηρίζεται από τις χαμηλές τιμές ($10^{-4} - 10^{-5}$ cm/sec). Η αγωγιμότητα μπορεί να διαφέρει μέσα στην εδαφοτομή αλλά η κατακόρυφη ροή νερού καθορίζεται από το στρώμα που έχει τη χαμηλότερη αγωγιμότητα. (Feigin, *et al.*, 1991).

1.4.2.3 Χημικά χαρακτηριστικά

Τα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους που επηρεάζουν την επιλογή περιοχών για την άρδευση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, περιλαμβάνουν το pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, το ποσοστό εναλλακτικού νατρίου και την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Άλλοι σχετικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι η οργανική ουσία, η περιεκτικότητα σε βόριο, ο διαθέσιμος φώσφορος και το ανθρακικό ασβέστιο (Feigin *et al.*, 1991).

1.4.2.3.1 Αλκαλίωση του εδάφους

Η επίδραση του νατρίου στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του εδάφους και στις καλλιέργειες είναι αρκετά σημαντική. Σε ένα ποσοστό εναλλακτικού νατρίου (μεγαλύτερο από 10%), που υπερτερεί από το ασβέστιο και το μαγνήσιο και καλύπτει περισσότερο από το μισό της περιεκτικότητας, επιδρά αποφασιστικά, η μείωση της ταχύτητας διήθησης, το πτωχό αερισμό του εδάφους, το πρόβλημα στην ανάπτυξη του χλοοτάπητα, η υποβάθμιση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους δηλαδή η άμεσα καταστροφή του ιστού του εδάφους. Με αποτέλεσμα η συγκράτηση των απαραίτητων αρδευτικών νερών να μην είναι δυνατή και έτσι η άρδευση δεν γίνεται σωστά. Γενικά η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις νατρίου και την αλκαλίωση του εδάφους. Μια υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα μπορεί να διατηρηθεί ακόμη και σε υψηλά επίπεδα ποσοστού εναλλακτικού νατρίου εάν οι συγκεντρώσεις άλατος είναι επάνω από το κρίσιμο επίπεδο (Στάμου, 1995).

Η αντοχή του χλοοτάπητα σε αλκαλιωμένα εδάφη μεταβάλλεται όταν μεταβάλλονται και οι διάφοροι άλλοι κλιματικοί παράγοντες (βροχοπτώσεις κλπ), αλλά οπωσδήποτε τα διάφορα είδη χλοοτάπητα παρουσιάζουν διαφορετική αντοχή μεταξύ τους (Σπαντιδάκης, 1999).

Η διόρθωση ή βελτίωση των προβληματικών εδαφών που παρουσιάζουν υπερβολική οξύτητα ή αλκαλικότητα απαιτεί ειδική μελέτη βάσει εδαφολογικών δεδομένων και επιτυγχάνεται με τη προσθήκη ασβεστίου, προκειμένου να μειωθεί η οξύτητα των όξινων, ή θείου προκειμένου να μειωθεί η αλκαλικότητα των αλκαλικών εδαφών (Σπαντιδάκης, 1999).

1.4.2.3.2 Αλάτωση του εδάφους

Σε μια περιοχή που γίνεται συνεχής άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα υπάρχει αυξημένη αλατότητα στο έδαφος, τα ανθρακικά άλατα δεσμεύονται στο έδαφος και δεν είναι πλέον διαθέσιμα στα φυτά. Το έδαφος αλατώνεται και συμπυκνώνεται με αποτέλεσμα να δημιουργείται χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα και φτωχό αερισμό (Στάμου, 1995).

Η αλατότητα των νερών του εδάφους εξαρτάται έντονα από τις απώλειες του νερού εξαιτίας της εξατμισοδιαπνοής. Όσο μεγαλύτερη είναι η εξατμισοδιαπνοή, τόσο μεγαλύτερες ποσότητες αλάτων συσσωρεύονται κοντά στις ρίζες των φυτών και αντίστοιχα τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος αλάτωσης του εδάφους (Στάμου, 1995).

Η αλατότητα του εδάφους και η υψηλή περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε άλατα παρεμποδίζει την απορρόφηση του νερού και των περιεχόμενων θρεπτικών ουσιών από το ριζικό σύστημα του χλοοτάπητα, ο οποίος παρουσιάζει συμπτώματα μαρασμού και ξήρανση. Ο χλοοτάπητα αρχίζει να παρουσιάζει μια γαλαζωπή πράσινη απόχρωση με καθήλωση της ανάπτυξης, ξήρανση στο φύλλωμα και αραίωση των βλαστών. Το πιο σημαντικό πρόβλημα είναι στο βαθμό φυτρώματος, όταν γίνεται σπορά χλοοτάπητα σε αλατούχα εδάφη (Σπαντιδάκης, 1999).

Η αλάτωση των εδαφών αντιμετωπίζεται με την αποστράγγιση των εδαφών, έτσι ώστε το αρδευτικό νερό να διέρχεται από την περιοχή των ριζών των φυτών χωρίς να συσσωρεύεται σε αυτή. Επίσης για την μείωση του pH μπορεί να γίνεται προσθήκη θείου ή γύψου στο έδαφος (Στάμου, 1995).

1.4.2.3.3 Το άζωτο στο έδαφος

Το άζωτο που υπάρχει στα λύματα είτε με την μορφή αμμωνίας (περίπου 40%) είτε ως οργανικό άζωτο μετατρέπεται στο έδαφος από αερόβιους και αναερόβιους μικροοργανισμούς σε αμμωνιακό άζωτο. Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά, να νιτροποιηθεί σε νιτρώδη και νιτρικά, να απορροφηθεί από αρνητικά φορτισμένα αργιλικά και οργανικά κolloειδή του εδάφους ή να εξαερωθεί ως αμμωνία. Τα νιτρικά, επίσης μπορεί να προσληφθούν από τα φυτά, να απονιτροποιηθούν ή να εκλυθούν (Στάμου, 1995).

Η πρόσληψη του αζώτου από τα φυτά εξαρτάται από την συγκέντρωση των νιτρικών στο εδαφικό νερό το οποίο έρχεται σε επαφή και απορροφάται από τις ρίζες των φυτών, την ταχύτητα ροής και από άλλους παράγοντες. Στο εδαφικό νερό πρέπει να υπάρχει μια μικρή συγκέντρωση νιτρικών για τις ανάγκες των φυτών σε άζωτο. Το ποσοστό πρόσληψης αζώτου δεν υπερβαίνει το 50%. Η περιεκτικότητα σε άζωτο είναι πολύ χρήσιμη για την θρέψη του χλοοτάπητα. Αλλά στην περίπτωση που το όριο των 8 ppm, τότε γίνεται επιβλαβείς και προκαλεί προβλήματα τοξικότητας (Σπαντιδάκης, 1999).

Η νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου γίνεται σχετικά γρήγορα σε εδάφη που διαθέτουν επαρκή αερισμό και σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 15 έως 193kg N/ha*day (Στάμου, 1995).

Η απορρόφηση από αρνητικά φορτισμένα αργιλικά και οργανικά κolloειδή του εδάφους γίνεται σχεδόν σε όλα τα είδη εδάφους εκτός από τα αμμώδη. Συνήθως η απορρόφηση αυτή διαρκεί μερικές εβδομάδες (Στάμου, 1995).

Όταν τα εδάφη είναι αλκαλικά και η άρδευση γίνεται με κατιονισμό μπορούν οι απώλειες του αζώτου εξαιτίας της εξαέρωσης της αμμωνίας να φτάσει σε σημαντικά επίπεδα 20%. Η πιθανότητα όμως της απορρόφησης της αερίου αμμωνίας από τα φύλλα των φυτών περιορίζει ακόμα περισσότερο τις απώλειες λόγω εξαέρωσης (Στάμου, 1995).

Οι συνέπειες που προκαλούνται όταν το άζωτο δεν απορροφάται από τα φυτά είναι ότι καταλήγει στα υπόγεια νερά. Για λόγους υγείας οι συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου για τα υπόγεια νερά πρέπει να μην υπερβαίνει το όριο των 10mg/l (Στάμου, 1995).

1.4.2.3.4 Ο φώσφορος στο έδαφος

Τα φωσφορικά των επεξεργασμένων αποβλήτων μπορεί να προσληφθούν από τα φυτά, να δεσμευτούν από τη στερεή φάση του εδάφους σχηματίζοντας αδιάλυτα φωσφορικά άλατα με το αλουμίνιο, το σίδηρο, το ασβέστιο ή να αποδεσμευτούν κατά την διάβρωση του εδάφους, για παράδειγμα από τα νερά της απορροής. Ένα μέρος του φώσφορου προσλαμβάνεται από τα φυτά ή δεσμεύεται στο έδαφος και ένα μικρό ποσοστό καταλήγει στα υπόγεια νερά (Στάμου, 1995).

Για την θρέψη του χλοοτάπητα το ανώτατο όριο είναι 20 ppm, εάν όμως το όριο υπερβεί τότε υπάρχει πρόβλημα τοξικότητας (Σπαντιδάκης, 1999).

1.4.2.3.5 Τα μέταλλα στο έδαφος

Τα μέταλλα που βρίσκονται σε αιωρούμενη μορφή δεσμεύονται στο έδαφος κυρίως με τις διαδικασίες της κατακρήμνισης και της προσρόφησης. Κατά πόσο μπορούν να δεσμευτούν μέταλλα στο έδαφος εξαρτάται συνήθως από την υφή του εδάφους, από το pH, τα οργανικά συστατικά του εδάφους κ.α. Γενικά, τα μέταλλα που βρίσκονται σε κατιονική μορφή (χαλκός, μόλυβδος, κάδμιο, νικέλιο, υδράργυρος και ψευδάργυρος), αλλά και αυτά σε ανιονική μορφή (οξειδία του αρσενικού χρωμίου) δεσμεύονται περισσότερο στο έδαφος, όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε αργίλιο και οξειδία του σιδήρου. Η φυσική κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα μέταλλα είναι συνάρτηση του pH. Όταν τα μέταλλα βρίσκονται διαλυμένα στα επεξεργασμένα απόβλητα η τιμή του pH είναι μικρότερη από 6.5, ενώ όταν μέταλλα βρίσκονται στη στερεή φάση οι τιμές του pH είναι μεγαλύτερες. Από τα μέταλλα που βρίσκονται στο έδαφος μόνο ένα μικρό ποσοστό (10%) δεσμεύεται από τα φυτά (Στάμου, 1995).

Η υψηλή περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα όπως κάδμιο, μόλυβδος, κοβάλτιο καθώς και βόριο προκαλούν προβλήματα τοξικότητας στον χλοοτάπητα (Σπαντιδάκης, 1999).

Για τον περιορισμό των συγκεντρώσεων των μετάλλων στα επεξεργασμένα απόβλητα χρησιμοποιείται η εφαρμογή ενός δείκτη, που εκφράζει τη συνολική επίδραση του καδμίου, του ψευδάργυρου, του μόλυβδου και του νικελίου, και ονομάζεται ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Cation Exchange Capacity, CEC). Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και μετριέται σε meq μετάλλου ανά 100gr ξηρού εδάφους (Στάμου, 1995).

Στον παρακάτω Πίνακα 1.4.2.3.5 παρουσιάζονται διάφορες τιμές της CEC που προτείνει η USEPA (United States Environmental Protection Agency's) κατά τη διάθεση λάσπης από την εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων σε εδάφη μέγιστες τιμές επιφανειακής φόρτισης (kg/ha) (Στάμου, 1995).

Πίνακας 1.4.2.3.5: Μέγιστες τιμές επιφανειακής φόρτισης (kg/ha) για διάφορες τιμές της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (CEC) (Στάμου, 1995).

ΜΕΤΑΛΛΟ	CEC<5	CEC=5 - 15	CEC>5
Cd	5	10	20
Ni	125	250	500
Zn	250	500	1000
Pd	500	1000	2000
Cu	125	250	500

Σύμφωνα με τις τιμές του παραπάνω πίνακα μπορεί να υπολογιστούν οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι χρόνοι εφαρμογής, δηλαδή οι χρόνοι μετά την πάροδο των οποίων γίνεται υπέρβαση του μακροπρόθεσμου ορίου που προτείνει η USEPA (Στάμου, 1995).

1.4.2.3.6 θερμοκρασία εδάφους

Κάποια από τα φυσικά, χημικά και βιολογικά φαινόμενα του εδάφους επηρεάζονται άμεσα και δραστικά από τη θερμοκρασία που επικρατεί στο έδαφος (Σπαντιδάκης, 1999).

Η θερμοκρασία του εδάφους συνεχώς μεταβάλλεται. Οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι οι ατμοσφαιρικοί παράγοντες (υγρασία και θερμοκρασία αέρος, πνέοντες άνεμοι και ηλιοφάνεια), η θερμοχωρητικότητα του εδάφους που εξαρτάται από το χρώμα, τη μηχανική σύσταση, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας και το ποσοστό περιεχόμενης οργανικής ουσίας. Η υψηλές περιεκτικότητες οργανικής ουσίας που περιέχουν τα εδάφη, εμφανίζουν σκούρο χρωματισμό και είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, θερμαίνονται ευκολότερα και αντιστρόφως, τα αμμώδη εδάφη θερμαίνονται ή ψύχονται ταχύτερα από τα αργιλώδη. Εδάφη συμπιεσμένα σε υψηλό ποσοστό θερμαίνονται ή ψύχονται σε μεγαλύτερο χρόνο από ότι τα αντίστοιχα φυσιολογικής υφής και πορώδους (Σπαντιδάκης, 1999).

Άλλος ένας παράγοντας επίσης είναι η κάλυψη του εδάφους με διάφορα φυτά (χλοοτάπητα, δέντρα, θάμνοι κλπ). Η άμεση σχέση που υφίσταται μεταξύ εδάφους και χλοοτάπητα τόσο κατά την εγκατάσταση του (σπορά, φύτευμα) όσο και κατά τη φυσιολογική εξέλιξη της ζωής του αλλά και η επίδραση που έχουν οι παραπάνω παράγοντες στη θερμοκρασιακή κατάσταση του εδάφους

συνδέουν άμεσα όλους τους προαναφερθέντες παράγοντες με την ομαλή ζωή του φυτού (Σπαντιδάκης, 1999).

1.4.3 Οι γεωλογικές συνθήκες

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι ασυνέχειες δημιουργούν διόδους στην πορεία των αρδευτικών νερών, με αποτέλεσμα να φτάνουν στα υπόγεια νερά και να μολύνονται. Ειδικά όταν στο επιφανειακό έδαφος υπάρχει από κάτω του βραχώδες έδαφος με ρήγματα τότε τα νερά καταλήγουν πολύ γρήγορα στο υδροφόρο ορίζοντα (Στάμου, 1995).

1.4.4 Τα υπόγεια νερά

Μια σημαντική παράμετρος που θα πρέπει να προστατεύεται είναι η μόλυνση του υπόγειου ορίζοντα. Όταν ο υπόγειος ορίζοντας είναι ψηλά μπορεί να επιδράσει σημαντικά στην ανάπτυξη των καλλιεργειών και στην μακροπρόθεσμη διήθηση των αρδευτικών νερών, ενώ παράλληλα απαιτείται υπόγεια αποστράγγιση. Κατά την άρδευση με επεξεργασμένα απόβλητα τα βάθη στους υπόγειους ορίζοντες είναι μεγαλύτερα από 0.9 – 1.2 m (Στάμου, 1995).

1.4.5 Το κλίμα της περιοχής

Το σύνολο των κλιματικών παραγόντων διαμορφώνει το μικροκλίμα της περιοχής. Οι κλιματικοί παράγοντες είναι σημαντικοί τόσο για την εκτίμηση δυνατότητας κατασκευής του χλοοτάπητα όσο και για την επιλογή του είδους που είναι κατάλληλο για τη περιοχή. Τα στοιχεία που απαρτίζουν και διαμορφώνουν το κλίμα μιας περιοχής είναι οι κατακρημνίσεις (βροχοπτώσεις), η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια – ο φωτισμός, ο άνεμος, η βλάστηση, η ατμοσφαιρική υγρασία. Οι παράμετροι αυτοί επηρεάζουν το υδάτινο ισοζύγιο της καλλιέργειας, τη χρονική διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης, τη χρονική διάρκεια της περιόδου μη-άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα, τις ποσότητες της αναμενόμενης απορροής και τις απαιτήσεις αποθήκευσης του αρδευτικού νερού (Σπαντιδάκης, 1999).

Οι βροχοπτώσεις έχουν πολύ μεγάλη σημασία και ιδιαίτερα η ομοιόμορφη κατανομή τους κατά τη διάρκεια του έτους. Αρκετές φορές μια ιδιαίτερα βροχερή περίοδος που συνοδεύεται και από υψηλές θερμοκρασίες (πρώιμο φθινόπωρο, άνοιξη), μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην υγεία του χλοοτάπητα (μυκητολογικές προσβολές) (Σπαντιδάκης, 1999).

Η θερμοκρασία είναι ένας παράγοντας που θα επιδείξει το είδος του χλοοτάπητα (μεμονωμένο είδος, μείγμα ειδών ή μείγμα ποικιλιών) που θα χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση (Σπαντιδάκης, 1999).

Σε μια χώρα που υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια δεν δημιουργούνται προβλήματα. Σε αντίθεση όμως σε επιφάνειες που σκιάζονται, η επιλογή του είδους του χλοοτάπητα θα πρέπει να στηριχτεί στην εκτίμηση της διάρκειας αλλά και στην ένταση που χαρακτηρίζει τον φωτισμό μιας επιφάνειας. Ο παράγοντας αυτός ελέγχει καθοριστικά την ένταση και τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης από την οποία εξαρτάται η ταχύτητα ανάπτυξης, ο χρωματισμός και η υγιεινή κατάσταση του χλοοτάπητα (Σπαντιδάκης, 1999).

Η κατεύθυνση και η ισχύς των ανέμων που επικρατούν στη περιοχή είναι ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας. Ο παράγοντας αυτός αυξάνει την εξατμισοδιαπνοή και επηρεάζει έντονα το σχεδιασμό και τη διάταξη του αρδευτικού συστήματος του χλοοτάπητα. Μερικές φορές όμως λειτουργεί και θετικά, ιδιαίτερα κατά την υγρή περίοδο των βροχών όπου σε μικρή ένταση απομακρύνει την πλεονάζουσα υγρασία και συντελεί στη μείωση των διαφόρων μυκητολογικών ασθενειών που ευνοούνται απ' αυτή (Σπαντιδάκης, 1999).

Η βλάστηση που θα συνυπάρξει με τον χλοοτάπητα θα δημιουργήσει αρκετά προβλήματα. Ο ανταγωνισμός αυτός αφορά την θρέψη των δυο φυτών, την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, τον φωτισμό και τον αερισμό και επίσης τα προβλήματα καθαριότητας από τα φυλλώματα των δένδρων (Σπαντιδάκης, 1999).

Η ατμοσφαιρική υγρασία είναι ένας κλιματικός παράγοντας, ο οποίος συνεχώς μεταβάλλεται και εξαρτάται από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω είτε ξεχωριστά είτε σε συνδυασμό μεταξύ τους (Σπαντιδάκης, 1999).

1.5 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Η επεξεργασία των υγρών απόβλητων έχει σκοπό την ελάττωση της ποσότητας των ρυπαντικών ουσιών που θα διοχετευθούν στο περιβάλλον σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην το επηρεάσουν. Ο βαθμός επεξεργασίας των αποβλήτων εξαρτάται από την ποιότητα των αποβλήτων (ποσότητες ρύπων που περιέχουν) κατά την διοχέτευση τους στους αποδέκτες (Σαββάκης, 2002).

Η επεξεργασία των αποβλήτων είναι μια σύνθετη διεργασία στην οποία χρησιμοποιούνται μέθοδοι φυσικές (εσχαρισμός, καθίζηση, διήθηση), χημικές (χημική κατακρήμνιση, εξουδετέρωση, κ.λ.π.), φυσικοχημικές (ανταλλαγή ιόντων, αντίστροφη ώσμωση, κροκίδωση-συσσωμάτωση, προσρόφηση κ.λ.π.) και βιολογικές (αερόβια βιοαποικοδόμηση) (Σαββάκης, 2002).

1.5.1 Σύστημά ενεργούς ιλύος

Η βασική αρχή των συστημάτων της ενεργούς ιλύος είναι η ανακύκλωση των μικροοργανισμών. Στη δεξαμενή αερισμού διοχετεύεται συνεχώς αέρας έτσι ώστε οι αερόβιοι μικροοργανισμοί να αναπτύσσονται και να αποικοδομούν την οργανική ύλη. Όταν τα απόβλητα φθάσουν στη δεξαμενή της δευτεροβάθμιας καθίζησης η τροφή των μικροοργανισμών (οργανική ύλη) έχει τελειώσει (αποικοδομηθεί) και οι μικροοργανισμοί καθιζάνουν και αποχωρίζονται. Στην ενεργό ιλύ (λάσπη) οι μικροοργανισμοί που διαχωρίζονται βρίσκονται « χωρίς τροφή» και συνεπώς ενεργοποιούνται για την «αναζήτηση τροφής». Λόγω της ενεργοποίησης των μικροοργανισμών χρησιμοποιήθηκε ο όρος ενεργός ιλύς. Μέρος της ενεργούς ιλύος αντλείται και μεταφέρεται στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού για να επαναληφθεί ο κύκλος (Σαββάκης, 2002).

Εφόσον οι μικροοργανισμοί δεν καθιζάνουν, η ιλύς που ανακυκλώνεται δεν είναι πλούσια σε «ενεργοποιημένους» μικροοργανισμούς για να λειτουργήσει αποδοτικά το σύστημα. Μερικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την καθίζηση των μικροοργανισμών είναι: μεταβολές θερμοκρασίας, υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, έλλειψη θρεπτικών συστατικών στα απόβλητα, λανθασμένος σχεδιασμός (Σαββάκης, 2002).

1.5.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία τα απόβλητα υποβάλλονται κατ' αρχήν σε προεπεξεργασία που γίνεται με τους παρακάτω τρόπους:

α) Εσχαρισμός: Τα απόβλητα διέρχονται από χαλύβδινες σχάρες όπου κατακρατούνται και απομακρύνονται τα μεγάλα στερεά σώματα (>1cm) (Σαββάκης, 2002).

β) Κόσκινα: Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται είναι κυλινδρικά δονούμενα ή περιστρεφόμενα, ακίνητα κ.λ.π. Διαχωρίζουν σωματίδια μεγαλύτερα από 0,2- 0,3mm (Σαββάκης, 2002).

γ) Συλλέκτες άμμου. Η απομάκρυνση της άμμου είναι απαραίτητη γιατί η άμμος αργότερα θα επιφέρει βλάβες στον εξοπλισμό της μονάδας όπως για παράδειγμα σε αντλίες, κλπ (Σαββάκης, 2002). Οι συλλέκτες άμμου είναι κανάλια μεγάλου εύρους όπου η ροή είναι τόσο χαμηλή ώστε να ευνοείται η καθίζηση της άμμου. Η άμμος είναι 2,5 βαρύτερη από τα περισσότερα οργανικά στέρεα συνεπώς καθιζάνει ταχύτερα από ότι τα οργανικά στέρεα. Σκοπός του αμμοσυλλέκτη είναι να διαχωριστεί η άμμος χωρίς να διαχωριστούν τα οργανικά στερεά (Σαββάκης, 2002).

δ) Ελαιοδιαχωριστήρες: Απομακρύνουν τα λάδια, τα πετρελαιοειδή και τις λιπαρές ουσίες. Χρησιμοποιούνται μόνο για ειδικές κατηγορίες αποβλήτων (Σαββάκης, 2002).

ε) Κροκίδωση – συσσωμάτωση. Γίνεται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων κολλοειδών σωματιδίων. Η τελευταία διεργασία της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η καθίζηση. Κατά την καθίζηση καθιζάνει και μέρος της οργανικής ύλης συνεπώς η διάθεση της λάσπης που λαμβάνεται από τις δεξαμενές καθίζησης απαιτεί επεξεργασία πριν από την διάθεση της (Σαββάκης, 2002).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία έχουμε σημαντική ελάττωση των στερεών, μικρή ελάττωση του BOD, απομάκρυνση των μετάλλων, ρύθμιση του pH (Σαββάκης, 2002).

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι απαραίτητη για να οδηγηθούν τα αστικά λύματα στη βιολογική επεξεργασία. Αν πρόκειται για απόβλητα βιομηχανιών και βιοτεχνιών, πρέπει οπωσδήποτε αυτή να γίνεται πριν την εισροή τους στο αστικό αποχετευτικό σύστημα.

ζ) Εξισορρόπηση της ροής. Μετά την προεπεξεργασία τα απόβλητα συλλέγονται και αναμειγνύονται σε δεξαμενή. Η διεργασία αυτή ονομάζεται εξισορρόπηση της ροής και έχει ως επιδίωξη την ελαχιστοποίηση ή τον έλεγχο της διακύμανσής των χαρακτηριστικών των αποβλήτων, ώστε να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες για την βιολογική επεξεργασία (Σαββάκης, 2002).

1.5.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι το στάδιο της αερόβιας βιολογικής αποικοδόμησης της οργανικής ύλης που περιέχεται στα απόβλητα (βιολογικός καθαρισμός). Για την αερόβια βιολογική αποικοδόμηση της οργανικής ύλης πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις: Να υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο, να ευνοείται η ανάπτυξη των βακτηρίων που θα χρησιμοποιήσουν το οξυγόνο για να αποικοδομήσουν βιολογικά τις οργανικές ενώσεις και το pH να κυμαίνεται μεταξύ 6,5-8,5 (Σαββάκης, 2002). Κατά την βιολογική επεξεργασία οι οργανικές ουσίες χρησιμοποιούνται ως τροφή από τους μικροοργανισμούς για την απόκτηση της απαραίτητης ενέργειας για την συντήρηση και την αναπαραγωγή τους (Σαββάκης, 2002). Όταν η οργανική ύλη μειωθεί ή εξαντληθεί οι μικροοργανισμοί προκειμένου να συντηρηθούν αυτοκαταναλώνονται. Η διεργασία αυτή ονομάζεται ενδογενής μεταβολισμός (Σαββάκης, 2002).

Οι βασικές διεργασίες στις οποίες βασίζεται η βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων είναι

1. Η τροφοδοσία με οξυγόνο ώστε να εξασφαλίζονται συνθήκες αερόβιας επεξεργασίας.
2. Η μεταβολή της συγκέντρωσης των οργανικών ουσιών λόγω κατανάλωσής τους από τους μικροοργανισμούς (μείωση των BOD)
3. Η μεταβολή της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών (Σαββάκης, 2002).

1.5.4 Συστήματα βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων

Τα κυριότερα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων είναι:

α) Σταλαγματικά φίλτρα. Αποτελείται από μία ορθογώνια ή κυλινδρική δεξαμενή γεμάτη με χαλίκια ή πλαστικές σφαίρες. Τα απόβλητα τροφοδοτούνται σε όλη την έκταση της δεξαμενής και διέρχονται σταλάζοντας από τα διάκενα που αφήνουν τα χαλίκια. Οι μικροοργανισμοί προσκολλούνται στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού όπου αναπτύσσονται και δημιουργούν τη βιομάζα. Ο αερισμός γίνεται τεχνητά ή με φυσικό ελκυσμό από κάτω προς τα πάνω. Η βιολογική διάσπαση της οργανικής ύλης γίνεται κατά τη διέλευση των αποβλήτων μέσα από το φίλτρο (Σαββάκης, 2002).

β) είναι ένα σύστημα με δίσκους που περιστρέφεται με μικρή ταχύτητα μέσα στα απόβλητα. Η βιομάζα εγκαθίσταται και αναπτύσσεται πάνω στους δίσκους. Κατά την περιστροφή του δίσκου η βιομάζα που βρίσκεται μέσα στα απόβλητα παίρνει τροφή. Όταν βρεθεί στον αέρα παίρνει τα απαιτούμενα οξυγόνα για τη βιολογική δράση (Σαββάκης, 2002).

Οι βασικές παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος είναι:

1. Η ταχύτητα περιστροφής
2. Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο σύστημα

3. Ο αριθμός των βιοδίσκων (στάδια επεξεργασίας)
4. Το ποσοστό εμβάπτισης του δίσκου στα απόβλητα
5. Η θερμοκρασία (Σαββάκης, 2002).

1.5.5 Τριτοβάθμια επεξεργασία

Μετά την βιολογική κατεργασία το BOD₅ των αποβλήτων έχει μειωθεί δραστικά και τα νερά μπορεί να διατεθούν στους αποδέκτες μετά την απολύμανση. Όμως σε ειδικές περιπτώσεις ιδίως όταν πρόκειται για τα απόβλητα βιομηχανιών, είναι απαραίτητο και τρίτο στάδιο επεξεργασίας πριν από τη διάθεση τους. Η τριτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να συνίσταται σε μία, ή σε συνδυασμό των παρακάτω διεργασιών:

1. Διήθηση με κατάλληλα φίλτρα για την απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων.
2. Απομάκρυνση ιόντων μετάλλων με αντίστροφη ώσμωση ή ανταλλαγή ιόντων.
3. Απομάκρυνση μη βιοαποικοδομήσιμων οργανικών ουσιών, χρώμα κλπ. Με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα (Σαββάκης, 2002).
4. Αφαίρεση των θρεπτικών συστατικών (ανόργανες ενώσεις, N, για την αποφυγή δημιουργίας ευτροφισμού στον αποδέκτη) (Σαββάκης, 2002).

1.5.6 Απολύμανση

Πριν από την διάθεση των αποβλήτων γίνεται απολύμανση. Η απολύμανση είναι απαραίτητη ιδιαίτερα όταν πρόκειται για αστικά απόβλητα. Συνήθως γίνεται με χλώριο (Σαββάκης, 2002).

1.5.7 Διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων

Η διάθεση γίνεται σε υδάτινους αποδέκτες ή στο έδαφος. Τα απόβλητα μπορεί επίσης να αφεθούν για εξάτμιση σε εκτεταμένες αβαθείς λίμνες. Τέλος βιομηχανικές μονάδες και ξενοδοχεία μπορεί να επαναχρησιμοποιήσουν τα νερά για δευτερεύοντες χρήσεις (πότισμα, πλύσεις κλπ.) (Σαββάκης, 2002).

1.5.8 Διάθεση λάσπης

Η λάσπη που λαμβάνεται από τις μονάδες βιολογικού καθαρισμού δεν είναι δυνατόν να διατεθεί χωρίς επεξεργασία ούτε να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα κοντά στην μονάδα. Και αυτό γιατί, εκτός από τις αισθητικές οχλήσεις που προκαλεί, είναι εξαιρετικά δραστική οπότε σαπίζει δημιουργώντας οσμές και παθογόνους οργανισμούς και επιπλέον περιέχει μεγάλες ποσότητες νερού. Η επεξεργασία της λάσπης είναι δαπανηρή αλλά απαραίτητη. Για να διατεθεί η λάσπη πρέπει να σταθεροποιηθεί (αδρανοποιηθεί και να ξηρανθεί). Η σταθεροποίηση περιορίζει ή

εξαλείφει τα προβλήματα που σχετίζονται με τη δραστικότητα της λάσπης (οσμές, παθογόνοι οργανισμοί). Μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

1. Με ασβέστη. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή CaO . Με την προσθήκη ασβέστη το pH γίνεται ίσο με 11. Οι οσμές ελαττώνονται σημαντικά και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί καταστρέφονται. Η αδρανοποίηση όμως είναι παροδική γιατί, μετά από πάροδο ημερών, το pH μειώνεται και η λάσπη ενεργοποιείται εκ νέου (Σαββάκης, 2002).

2. Αερόβια χώνευση. Γίνεται με παρατεταμένο αερισμό της λάσπης σε ειδικές δεξαμενές. Η μείωση του όγκου είναι 34-45%. Η λάσπη που έχει υποστεί αερόβια χώνευση αφυδατώνεται πιο δύσκολα από αυτή που έχει υποστεί αναερόβια χώνευση (Σαββάκης, 2002).

3. Αναερόβια χώνευση. Στην αναερόβια χώνευση δημιουργούνται συνθήκες αναερόβιας διάσπασης της οργανικής ύλης οπότε παράγεται μεθάνιο (βιοαέριο). Η αναερόβια διάσπαση γίνεται σε ειδικές δεξαμενές με θέρμανση στους $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ απουσία αέρα. Κατά την χώνευση αναπτύσσονται καταρχήν αναερόβιοι μικροοργανισμοί οι οποίοι μετατρέπουν την οργανική ύλη σε οργανικά οξέα. Στη συνέχεια αναπτύσσονται μεθανοβακτηρίδια που μετατρέπουν τα οργανικά οξέα σε μεθάνιο. Η μείωση του όγκου είναι 40-60%. Το μεθάνιο που ελκύεται συλλέγεται και χρησιμοποιείται ως καύσιμο για τη θέρμανση της δεξαμενής αναερόβιας διάσπασης (Σαββάκης, 2002).

Η αφυδάτωση γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

α) Κλίνες ξήρανσης. Η ξήρανση γίνεται σε υπόστρωμα χαλικιών και άμμου. Η υγρασία απομακρύνεται με αποστράγγιση και εξάτμιση. Είναι μέθοδος οικονομική (Σαββάκης, 2002). Η διάρκεια ξήρανσης είναι περίπου 3 μήνες και η περιεκτικότητα της λάσπης σε στερεά 50%.

β) Περιστροφικά φίλτρα κενού. Η περιεκτικότητα της λάσπης σε στερεά είναι 20%.

γ) Πιεστικά φίλτρα

δ) Φυγοκέντρωση. Η περιεκτικότητα της λάσπης σε στερεά είναι 60-70%

ε) Διάθεση λάσπης. Μετά την σταθεροποίηση και την αφυδάτωση πρέπει να επιλεγεί ο πιο κατάλληλος τρόπος διάθεσης της λάσπης που απέμεινε. Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι είναι:

- Υγειονομική ταφή σε χωματερές
- Ως βελτιωτικό εδάφους (λίπασμα): Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ύστερα από κατάλληλο έλεγχο. Δεν πρέπει να περιέχει βαριά μέταλλα και άλλες τοξικές ουσίες και επίσης πρέπει να είναι αφομοιώσιμο από το έδαφος και τα φυτά
- Καύση σε ειδικούς φούρνους: Η καύση πρέπει να γίνεται με αυστηρές προδιαγραφές προστασίας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Η θερμότητα που ελκύεται κατά την καύση χρησιμοποιείται για θέρμανση κ.λπ. Η μέθοδος δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι σήμερα στην Ελλάδα (Σαββάκης, 2002).

1.6 Εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων Ηρακλείου

Τα υγρά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το πείραμα ήταν από τις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού της πόλης του Ηρακλείου, που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 1,5χλμ από το αγρόκτημα του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος, όπου έγιναν όλα τα πειράματα. Ο Βιολογικός διαχειρίζεται υγρά απόβλητα περισσότερων από 160.000 ανθρώπων.

Ο βιολογικός καθαρισμός Ηρακλείου είναι σήμερα μια από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων στην Ελλάδα και ίσως η πιο σύγχρονη στο Μεσογειακό χώρο. Εντάσσεται μέσα στο σχέδιο ολοκληρωμένης διαχείρισης λυμάτων της ευρύτερης περιοχής Ηρακλείου, το οποίο περιλαμβάνει:

- α) χωριστικούς κεντρικούς και δευτερεύοντες αποχετευτικούς αγωγούς και αντλιοστάσια
- β) το βιολογικό Καθαρισμό Ηρακλείου
- γ) τον αγωγό διάθεσης της εκροής (χερσαίο και υποθαλάσσιο (Δ.Ε.Υ.Α.Η)).

Η ΜΕΑΥΑ (μονάδα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων) του Ηρακλείου κατασκευάστηκε από την κοινοπραξία " Krüger - Ζαχαρόπουλος" και διαθέτει τα παρακάτω τμήματα επεξεργασίας:

A. Γραμμή Υγρών Απόβλητων:

1. Αντλιοστάσιο εισόδου: Έξι υποβρύχιες αντλίες (με παροχή $232 \text{ lt/sec}=835 \text{ m}^3/\text{hr}$ η καθεμιά) αντλούν τα εισερχόμενα λύματα από τις εσχάρες. Συνδέεται με το σύστημα απόσμησης (βιόφιλτρα).
2. Κτίρια εσχάρων: Τρεις αυτοκαθαριζόμενες ημικυκλικές μηχανικές εσχάρες (με παροχή $500 \text{ lt/sec}=1800 \text{ m}^3/\text{hr}$ η καθεμιά) βρίσκονται στη μονάδα αυτή. Συνδέεται με το σύστημα απόσμησης (βιόφιλτρα).
3. Αμμοσυλλέκτης και λιποσυλλέκτης: Αυτή η μονάδα απομακρύνει τα λίπη και τα έλαια από τα λύματα και αποτελείται από δύο παράλληλες υπομονάδες εξοπλισμένες με κατάλληλους διαχυτήρες αέρα και κινούμενες γέφυρες. Η μονάδα είναι καλυμμένη εξ' ολοκλήρου και συνδέεται με το σύστημα απόσμησης (βιόφιλτρο).
4. Δίαυλος-Parshall: Ο διάυλος Parshall αποτελείται από δύο παράλληλες υπό μονάδες εξοπλισμένες με διάταξη υπερήχων για τη μέτρηση της παροχής των λυμάτων.

5. Θάλαμος διανομής: Ο θάλαμος της διανομής κατανέμει τα λύματα στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Μέσω αυτού μπορεί να παρακάμπτονται οι δεξαμενές της πρωτοβάθμιας καθίζησης σε περίπτωση που τα λύματα πρέπει να οδηγηθούν κατευθείαν στη δεξαμενή επιλογής. Σ' αυτόν το θάλαμο οδηγείται και η περίσσεια της ιλύος από το αντλιοστάσιο δευτεροβάθμιας ιλύος.
6. Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης: Δύο δεξαμενές με περιστρεφόμενα ξέστρα και με 30 m διάμετρο η καθεμιά.
7. Δεξαμενή Επιλογής: Αυτή η δεξαμενή σχεδιάστηκε για να ελαχιστοποιεί τα νηματοειδή βακτήρια (filamentous bacteria) και επομένως το φαινόμενο διόγκωσης της ιλύος (bulking sludge phenomenon). Η ανακυκλοφορούσα ιλύς από της δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης οδηγείται στη δεξαμενή επιλογής όπου παραμένει τουλάχιστο μισή ώρα.
8. Θάλαμος Διανομής: Ο θάλαμος κατανέμει τα λύματα της 4 δεξαμενές αερισμού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει την ανακυκλοφορούσα ιλύ κατ' ευθείαν στις δεξαμενές αερισμού, αν η δεξαμενή επιλογής πρέπει να παρακαμφθεί.
9. Δεξαμενές αερισμού: Οι 4 δεξαμενές αποτελούν 2 παράλληλα υποσυστήματα στα οποία γίνεται πλήρης νιτροποίηση και απονιτροποίηση σύμφωνα με το σύστημα BIOOENITAO της Krüger. Ο αερισμός επιτυγχάνεται με 12 ρότορες (μήκος 9 m διάμετρος 1 m). Οι 8 ρότορες είναι εφοδιασμένοι με μοτέρ δύο ταχυτήτων ενώ οι άλλοι 4 είναι εφοδιασμένοι με μοτέρ μιας ταχύτητας.
10. Θάλαμος Διανομής: Αυτή η μονάδα διανέμει τα λύματα της σε δύο δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης.
11. Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης: Δύο δεξαμενές με περιστρεφόμενα ξέστρα και 38 m διάμετρο η καθεμιά. Εδώ διαχωρίζεται το ανάμικτο υγρό των δεξαμενών αερισμού σε δύο κατηγορίες, στο κατεργασμένο λύμα, που υπερχειλίζει και την δευτεροβάθμια λάσπη, που καθιζάνει.
12. Φρεάτιο Χλωρίωσης: Στη δεξαμενή χλωρίωσης γίνεται η απολύμανση της εκροής που είναι εξοπλισμένη με μετρητή υπερήχων και μετρητή υπολειμματικού χλωρίου.
13. Κτίριο χλωρίωσης: Στο κτίριο χλωρίωσης υπάρχουν τρεις δοσομετρικές αντλίες για το διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου και οι δεξαμενές στις οποίες αποθηκεύεται αυτό το διάλυμα.

B. Γραμμή Ιλύος:

1. Αντλιοστάσιο Πρωτοβάθμιας Ιλύος: Το αντλιοστάσιο αυτό είναι εφοδιασμένο με 4 υποβρύχιες αντλίες (παροχή: $67 \text{ m}^3/\text{hr}$ η καθεμιά), οι οποίες οδηγούν την ιλύ που καθιζάνει στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (δεξαμενές προπάχυνσης). Συνδέεται με το σύστημα απόσμησης (βιόφιλτρα).
2. Αντλιοστάσιο Δευτεροβάθμιας Ιλύος: Αυτό το αντλιοστάσιο είναι εξοπλισμένο με 4 υποβρύχιες αντλίες για την ανακυκλοφορούσα ιλύ (παροχή: $232 \text{ lt/sec} = 835 \text{ m}^3/\text{hr}$ η καθεμιά) και με 2 αντλίες για την περίσσεια ιλύος (παροχή: $67 \text{ m}^3/\text{hr}$ η καθεμιά).
3. Δεξαμενές Προπάχυνσης: Αυτή η μονάδα αποτελείται από 2 δεξαμενές (διάμετρος 10m) εξοπλισμένες με περιστρεφόμενους αναδευτήρες ιλύος. Συνδέεται με το σύστημα απόσμησης (βιόφιλτρα).
4. Δεξαμενές χώνευσης: Αποτελείται από 2 δεξαμενές (διάμετρος: 13 m, βάθος 13 m) εξοπλισμένες με μηχανικό αναδευτήρα, ανακύκλωση ιλύος και σύστημα θέρμανσης της ιλύος.
5. Δεξαμενές Μεταπάχυνσης: Αυτή η μονάδα αποτελείται από 2 δεξαμενές (διάμετρος 10m) εξοπλισμένες με περιστρεφόμενους αναδευτήρες ιλύος. Συνδέεται με το σύστημα απόσμησης (βιόφιλτρα).
6. Κτίριο Αφυδάτωσης Ιλύος (Μονάδα 20). Το κτίριο αφυδάτωσης είναι εξοπλισμένο με τρεις αντλίες ιλύος (παροχή $3-18 \text{ m}^3/\text{hr}$ η καθεμιά), 2 ταινιοφιλτρόπρεσες (δυναμικότητας 11-16 m^3/hr η καθεμιά), ένα σύστημα προετοιμασίας πολυμερούς και ένα σύστημα έκπλυσης. Συνδέεται με το σύστημα απόσμησης (βιόφιλτρα).

Γ. Γραμμή Βιοαερίου:

Το βιοαέριο που παράγεται στις εγκαταστάσεις χώνευσης αποθηκεύεται στη δεξαμενή βιοαερίου για δύο σκοπούς:

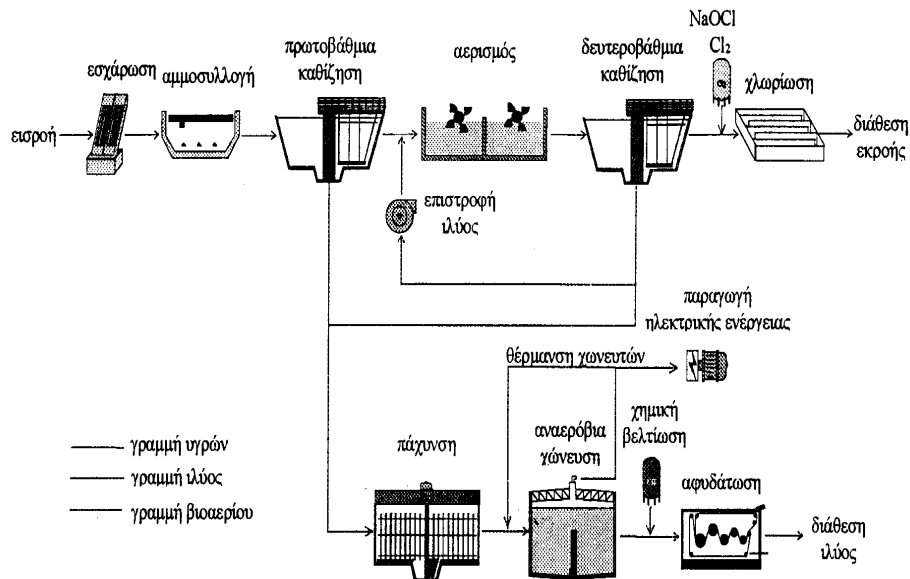
α) Για θέρμανση της ιλύος στους χωνευτές και σταθεροποίηση της θερμοκρασίας της στους $35 \text{ }^\circ\text{C}$

β) Για να τροφοδοτεί το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος αερίου με το πλεόνασμα βιοαερίου που καίγεται σε πυρσό καύσης αερίου.

γ) Δεξαμενές υποδοχής βοθρολυμάτων. Δύο δεξαμενές χωρητικότητας 1400 m³ δέχονται τα βοθρολύματα, τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται απ' αυτές κατ' ευθείαν στο κτίριο εσχάρων.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ΜΕΑΥΑ του Ηρακλείου παρουσιάζονται στον πίνακα 1.6.1 και αντίστοιχα στον πίνακα 1.6.2 παρουσιάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά για την εκροή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των μγνών που πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

Αναλυτικά, η ΜΕΑΥΑ της πόλης του Ηρακλείου, από όπου χρησιμοποιήθηκαν και οι εκροές αποβλήτων στην παρούσα εργασία, φαίνεται αναλυτικά στο σχήμα 1.6.1.



Σχήμα 1.6.1: Διάγραμμα ροής ΜΕΑΥΑ της πόλης του Ηράκλειο

Πίνακας 1.6.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά για την εκροών υγρών αποβλήτων του Βιολογικού (Δ.Ε.Υ.Α.Η).

Παράμετροι	Τιμές ^α
pH	7,1
COD (mg/L)	39,3
SS (mg/L)	10,4
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	2,6
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	11,4
TKN (mg/L)	30,4
P (mg/L)	6
Ποσότητα διαλ. Χλωρίου (lt/d)	410,5
Ελευθερο υπολ.χλώριο (mg/L)	0,09
Ολικό υπολ. Χλώριο (mg/L)	0,280
Ολικά κολοβακτηρίδια (MPN/100ml)	2,6 * 10 ³
Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (MPN/100ml)	4,2 * 10 ²

^αΜέσοι όριο έτους 2003

Πίνακας 1.6.2: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροών βιολογικού καθαρισμού Ηρακλείου κατά την διάρκεια του πειράματος τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο (Δ.Ε.Υ.Α.Η).

Παράμετροι	Τιμές
pH	6,98
COD (mg/L)	36
SS (mg/L)	9,3
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	3
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	7,5
TKN (mg/L)	-
P (mg/L)	-
Ποσότητα διαλ. Χλωρίου (lt/d)	416
Ελευθερο υπολ.χλώριο (mg/L)	0,06
Ολικό υπολ. Χλώριο (mg/L)	0,2
Ολικά κολοβακτηρίδια (MPN/100ml)	6,9 * 10 ⁴
Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (MPN/100ml)	1,0 * 10 ⁴

1.7 Μικροβιακές παράμετροι και προτεινόμενα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

Κάθε κατηγορία επαναχρησιμοποίησης απαιτεί ιδιαίτερα κριτήρια ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων, που καθορίζονται από τη προοριζόμενη χρήση και τις υφιστάμενες συνθήκες. Ο προβληματισμός σχετικά με τη χρήση τέτοιων νερών για άρδευση εστιάζεται στις προδιαγραφές της ποιότητας που πρέπει να εφαρμόζονται, όσον αφορά τις μικροβιολογικές παραμέτρους και οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και το είδος της αρδευόμενης καλλιέργειας (Tsagarakis, *et al.*, 2003). Οι εκροές υγρών αποβλήτων περιέχουν υψηλούς πληθυσμούς παθογόνων οργανισμών, όπως είναι τα βακτήρια, οι ιοί, τα πρωτόζωα κ.α. τα οποία είναι επικίνδυνα για την δημόσια υγεία. Η απομάκρυνση ή μείωση των πληθυσμών των οργανισμών αυτών σε επίπεδα που δεν απειλούν την δημόσια υγεία, αποτελούν τον κύριο στόχο κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Για το λόγο αυτό πολλές χώρες και οργανισμοί έχουν θεσπίσει κριτήρια που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων. Ο βασικότερος δείκτης για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας των επεξεργασμένων εκροών για άρδευση είναι ο αριθμός των κολοβακτηριδίων. Ο αριθμός αυτός αναφέρεται είτε στα ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms) ή στα κολοβακτηρίδια κοπρικής προέλευσης (fecal coliforms).

Οι βιομηχανικές χώρες και οι παραγωγοί τεχνολογίας, υποστηρίζουν την επιβολή αυστηρών προδιαγραφών για την ποιότητα του νερού με τη βεβαιότητα ότι οι ακριβότερες τεχνολογίες εξασφαλίζουν πιο υγιεινό και ασφαλές νερό (δηλαδή απαλλαγμένο από εντερροίους και παράσιτα). Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες που χαρακτηρίζονται από έλλειψη υδατικών πόρων, υποστηρίζουν τις λιγότερο αυστηρές οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) (Tsagarakis, *et al.*, 2003).

Οι οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων, οι μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και η προστασία της δημόσιας υγείας υποστηρίζονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας από το 1971 (Ursula, *et al.*, 2000). Σύμφωνα με τον WHO οι απαιτούμενες προδιαγραφές, που πρέπει να πληρούν οι εκροές των υγρών αποβλήτων για τη χρήση τους για άρδευση είναι λιγότερο αυστηρές από αυτές της U.S.EPA. Ενώ αντίθετα οι οδηγίες του WHO είναι αυστηρότερες από τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που ισχύουν για το νερό κολύμβησης. Επίσης πρόσφατα εξέδωσε οδηγίες που αφορούν τη συγκέντρωση επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία χημικών ενώσεων (Chang *et al.*, 1995).

1.7.1 Προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος

Το θέμα της χρήσης του ανακτώμενου νερού για αγροτικές καλλιέργειες, καθώς και η αστική χρήση (όπως άρδευση αστικού και περιαστικού πρασίνου), μπορεί να συνεπάγεται προβλήματα, που σχετίζονται με τη δημόσια υγεία. Επίσης η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση μπορεί να έχει σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις και στο περιβάλλον όταν δεν εφαρμόζεται ορθά ή διαθέσιμη τεχνολογία και τεχνογνωσία (Tsagarakis, *et al.*, 2003).

Οι ομάδες των ατόμων που είναι εκτεθειμένα στον κίνδυνο μόλυνσης είναι οι ακόλουθες:

1. Οι γεωργοί και οι οικογένειές τους. Οι γεωργοί που εργάζονται στις καλλιέργειες μπορεί να προστατευτούν από την μόλυνση από του ιούς (π.χ. αγκυλόστομα) χρησιμοποιώντας κατάλληλα προστατευτικά ρούχα. Ο εμβολιασμός κατά των σκωλήκων και των μικροοργανισμών που προκαλούν διάφορες δυσλειτουργίες στον οργανισμό (όπως διάρροια) δεν είναι αποτελεσματικός. Αντίθετα όμως η ύπαρξη φαρμάκων μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της μόλυνσης από την εντερική διάρροια.
2. Τα άτομα που διακινούν τα προϊόντα των καλλιεργειών. Συνιστάται η σωστή ενημέρωση και η ορθή και σύμφωνα με τους κανόνες της υγιεινής διαχείριση των προϊόντων.
3. Οι καταναλωτές των άμεσων και έμμεσων προϊόντων των καλλιεργειών (καρποί, κρέας και γάλα) προτείνεται η μη ωμή κατανάλωση, και το μαγείρεμα των προϊόντων καθώς και η σωστή εφαρμογή των κανόνων υγιεινής (π.χ. καλό πλύσιμο των προϊόντων). Η σωστή ενημέρωση θεωρείται και εδώ πολύ σημαντική.
4. Οι περίοικοι. Συνιστάται η αποφυγή πρόσβασης στις περιοχές των καλλιεργειών. Σε αυτή την περίπτωση θεωρείται πολύ χρήσιμη η περιφραγή της αρδευόμενης περιοχής και η χρησιμοποίηση κατάλληλων προειδοποιητικών πινακίδων ώστε να εμποδίζεται η ανεξέλεγκτη πρόσβαση (Στάμου, 1995).

Ο σχεδιασμός έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων θα πρέπει να περιλαμβάνει την ανάπτυξη και εφαρμογή κανονισμών ή οδηγιών, που θα προλαμβάνουν τη δημιουργία κινδύνων, που συνδέονται με τη δημόσια υγεία και την πιθανή υποβάθμιση του περιβάλλοντος (Tsagarakis, *et al.*, 2003).

Οι κανονισμοί αυτοί θα πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Σύστημα χορήγησης αδειών για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων καθώς και επιπλέον τεχνικούς ελέγχους, που αφορούν την αποτελεσματικότητα της απαιτούμενης συμπληρωματικής επεξεργασίας.

- Προδιαγραφές ποιότητας ανάλογα με τη χρήση του ανακτώμενου νερού.
- Ποιοτικούς ελέγχους που θα εξασφαλίζουν τη μη έκθεση σε κινδύνους των ανθρώπων που έρχονται σε επαφή με το ανακτώμενο νερό, καθώς και περιορισμούς στις διάφορες χρήσεις του.
- Ελέγχους όσον αφορά στην πρόσβαση στο σύστημα συλλογής και αποχέτευσης των υγρών αποβλήτων και προληπτικούς ελέγχους για την αποφυγή της σύνδεσης του δικτύου ύδρευσης και του δικτύου του ανακυκλωμένου νερού.
- Μηχανισμούς που θα καθιστούν υποχρεωτικούς και θα δίνουν αναγκαστική ισχύ σε όλους τους παραπάνω κανονισμούς ή οδηγίες συμπεριλαμβανομένων και των αρμοδιοτήτων για τη διενέργεια ελέγχων και επιβολή ποινών στις περιπτώσεις που διαπιστώνονται παραβιάσεις ή αποκλίσεις από αυτούς (Tsagarakis, *et al.*, 2003).

1.7.2 Άλλα Νομικά θέματα

Στις ανεπτυγμένες χώρες, μια σειρά από άλλα νομικά ζητήματα είναι πιθανόν να προκύψουν κατά την εφαρμογή της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων.

Η ομάδα εργασίας των FAO (Food Agriculture Organization)/ WHO που συστάθηκε για τα νομικά θέματα που συνδέονται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων και των υγρών αποβλήτων πρότεινε κάθε νομικό κείμενο ή κανονισμό ή οδηγία για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων να περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Ορισμός των εννοιών: “υγρά απόβλητα”, “ανακυκλωμένου νερό” και άλλων σχετικών όρων.
- Καθορισμός των δικαιούχων χρήσης του ανακυκλωμένου νερού.
- Θέσπιση συστήματος χορήγησης αδειών για χρήση του ανακτώμενου νερού.
- Καθορισμός του τρόπου με τον οποίο θα προστατεύονται τα πρόσωπα με κεκτημένα δικαιώματα χρήσης του νερού μετά από βλάβη, που οφείλεται στην μείωση της ποσότητας του νερού, εξαιτίας έργων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και επαναχρησιμοποίησης.
- Θέσπιση κανονισμών ή οδηγιών που θα διέπουν τις χρήσεις και την απαιτούμενη ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού με σκοπό την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος
- Θέσπιση νομοθετικών μηχανισμών, ώστε οι παραπάνω κανονισμοί ή οδηγίες να καταστούν υποχρεωτικοί.
- Ορισμός διαδικασιών τιμολόγησης του ανακυκλωμένου νερού.
- Θέσπιση μηχανισμών για τη διοίκηση και διαχείριση των απαιτούμενων έργων.

- Ορισμός της νομικής και θεσμικής σχέσης μεταξύ των έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης και των υφισταμένων έργων ύδρευσης, αποχέτευσης και περιβαλλοντικής προστασίας (Tsagarakis, *et al.*, 2003).

1.7.3 Ισχύον θεσμικό πλαίσιο

Διάφορες χώρες έχουν θεσπίσει κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση υγρών απόβλητων, όπως η Η.Π.Α (Καλιφόρνια, Αριζόνα και Φλορίδα), η Τυνησία, το Ισραήλ, και η Ν. Αφρική. Την τελευταία δεκαετία, με την τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας και ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης εκρών υγρών αποβλήτων, παρατηρείται μια έντονη και παράλληλη δραστηριότητα ανάπτυξης και θέσπισης τέτοιων κανονισμών ή οδηγιών, όπως στην Κύπρο, στην Ιαπωνία και στην Αυστραλία (Tsagarakis, *et al.*). Μια σύντομη περιγραφή των κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης στις διάφορες χώρες του κόσμου παρουσιάζονται στον πίνακα 1.7.3 Στην Ευρώπη δεν έχει αναπτυχθεί ακόμη ενιαία νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση εκρών υγρών αποβλήτων. Σήμερα μόνο η Ιταλία και η Ισπανία μαζί με την Κύπρο έχουν αναπτύξει τέτοιους κανονισμούς. Τελευταία, καταβάλλεται προσπάθεια για την θέσπιση ενιαίων κανονισμών από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Tsagarakis, *et al.*, 2003).

Πίνακας 1.7.3: Κριτήρια ποιότητας για την επαναχρησιμοποίηση ανακυκλωμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση (Angelakis, 1997 και Salgot and Angelakis, 2000).

Οργανισμός ή Πολιτεία ή Κράτος	Τύπος	Απαιτούμενη ποιότητα σε σχέση με την δημόσια
		Τα κοπρώδη κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 14MPN/100ml σε οποιοδήποτε δείγμα, το οποίο πρακτικά σημαίνει ότι είναι μη ανιχνεύσιμα.
US EPA (1992)	Οδηγίες	Χρησιμοποιείται δευτεροβάθμια επεξεργασία ακολουθούμενη από φιλτράρισμα (με προηγούμενη προσθήκη θρομβωτικού και/ ή πολυμελούς) και απολύμανση.
Αριζόνα ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα κοπρώδη κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2,2/100ml (διάμεσος) και 25/100ml (μονό δείγμα).
Καλιφόρνια ΗΠΑ CA/T-22(1978)	Κανονισμοί	Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2,2MPN/100ml (διάμεσος 7 ημερών) και τα κοπρώδη κολοβακτηρίδια 23MPN/100ml σε οποιοδήποτε δείγμα. Απαιτείται δευτεροβάθμια επεξεργασία ακολουθούμενη από φιλτράρισμα και

		απολύμανση.
Κολοράντο, ΗΠΑ	Οδηγίες	Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2,2/100ml (διάμεσος). Οι χρησιμοποιούμενες εκροές να οξειδώνονται θρομβώνονται διαχωρίζονται, φιλτράρονται και απολυμαίνονται.
Φλόριδα, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 25/100ml στη διάρκεια περιόδου 30 ημερών στο 75% των δειγμάτων. Απαιτείται δευτεροβάθμια επεξεργασία με φιλτράρισμα και απολύμανση υψηλού επιπέδου. Επίσης απαιτούνται συγκεντρώσεις των 20mg/L COD (ετήσιος μέσος) και 5 mg/L TSS (σε ένα τουλάχιστον δείγμα) στην εκροή.
Γεωργία, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα επίπεδα κοπρωδών κολοβακτηριδίων δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 30/100ml. Απαιτείται βιολογική επεξεργασία (30mg BOD/L και 30mg TSS/L).
Αϊντάχο, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2,2/100ml (μέσος). Οι χρησιμοποιούμενες εκροές να οξειδώνονται θρομβώνονται, διαχωρίζονται, φιλτράρονται και απολυμαίνονται.
Ιλινόϊς, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία είναι: σύστημα τεχνητών λιμνών (τουλάχιστον δυο διαδοχικών λιμνών) με φιλτράρισμα άμμου και απολύμανση ή μηχανική δευτεροβάθμια επεξεργασία με απολύμανση.
Ιντιάνα, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα κοπρώδη κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 1.000/100ml (μέσος) και 2.000/100ml (μονό δείγμα). Απαιτείται απολύμανση εάν τα όρια υπερβαίνονται.
Μίτσιγκαν, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα απαιτούμενα ποιοτικά κριτήρια ελέγχονται από την Επιτροπή Υδατικών Πόρων του Μίτσιγκαν που έχει εκδώσει έγγραφες άδειες NPDES (Εθνική Επιτροπή Αντιμετώπισης Ρύπανσης Περιβάλλοντος)
Β. Καρολίνα, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Απαιτείται τριτοβάθμια επεξεργασία (5mg TSS/L, μηνιαίος μέσος και 10 mg TSS/L, μέγιστες ημερήσιες τιμές).
Νεμπράσκα, ΗΠΑ	Οδηγίες	Απαιτείται βιολογική επεξεργασία και απολύμανση πριν την εφαρμογή.
Νέο Μεξικό, ΗΠΑ	Οδηγίες	Τα κοπρώδη κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 1.000/100ml. Απαιτείται επιπρόσθετη επεξεργασία με απολύμανση.
Όρεγκον, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα κοπρώδη κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2.2/100ml (μέσος) και τα 23/100ml (μόνο δείγμα). Απαιτείται βιολογική επεξεργασία περιλαμβάνοντας θρόμβωση, φιλτράρισμα και απολύμανση.
Τέξας, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα κοπρώδη κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 75/100ml. Απαιτείται ελάχιστη επεξεργασία για την παροχή 30mg/L και 10mg/L BOD με σύστημα λιμνών και άλλο ισοδύναμο, αντίστοιχα.

Γιούτα, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2,000 και 200/100ml (μέσος όρος 30d), αντίστοιχα. Η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία είναι η δευτεροβάθμια με συγκεντρώσεις των 25mg/L BOD ₅ και TSS (μέσος όρος 30d).
Ουάσιγκτον, ΗΠΑ	Οδηγίες	Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2.2/100ml (μέσος) και 24/100mL (μονό μέσο δείγμα). Η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία είναι η δευτεροβάθμια με συμπεριλαμβανομένου του φιλτραρίσματος.
Δυτική Βιρτζίνια, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία είναι η δευτεροβάθμια με απολύμανση και συγκεντρώσεις BOD και TSS 30mg/L
Γουαϊόμινγκ, ΗΠΑ	Κανονισμοί	Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 200/100ml. Η συγκεντρώσεις BOD στην εκροή δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 10mg/L (ημερησίως)
Καναδάς, Αλβέρτα	Κανονισμοί	Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 1,000 γεωμετρικός μέσος /100ml και κοπρώδη κολοβακτηρίδια να μην υπερβαίνουν τα 200gm/100ml, σε περισσότερο από το 20% των δειγμάτων. Επίσης, τα ολικά κολοβακτηρίδια να μην υπερβαίνουν 2,400gm/100ml, σε οποιαδήποτε δεδομένη μέρα, για λαχανικά που πρόκειται να αρδευτούν.
Κύπρος (1997)	Προσωρινά επίπεδα	Τα κοπρώδη κολοβακτηρίδια να μην υπερβαίνουν τα 50/100mL και 100/100mL στο 80% των δειγμάτων ανά μήνα ως μια μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή, αντίστοιχα. Επίσης, οι εντερικοί νηματώδεις να μην είναι > 1αυγό/L. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί τριτοβάθμια επεξεργασία ακολουθούμενη από αναγκαία απολύμανση
Γαλλία (1991)	Οδηγίες	Αυτές του WHO με πρόσθετους κανονισμούς για πρακτικές επαναχρησιμοποιήσεις
Ισραήλ, (1978)	Κανονισμοί	Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2,2 και 12NPN/100ml στο 50% και 80% των δειγμάτων, αντίστοιχα. Δευτεροβάθμια επεξεργασία ή ισοδύναμη (όπως διαδικασία μακράς αποθήκευσης) ακολουθούμενη και απολύμανση.
Ιαπωνία	Κριτήρια	Τα ολικά κολοβακτηρίδια και το BOD ₅ δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 50count/mL και 20mg/L, αντίστοιχα.
Ιορδανία	Κανονισμοί	Τα κοπρώδη κολοβακτηρίδια πρέπει να είναι <200/mL και ο πληθυσμός των νηματωδών <1 αυγό/L για επαναχρησιμοποίηση σε δημόσιους χώρους. Προτεινόμενες συγκεντρώσεις κοπρωδών κολοβακτηριδίων 1000 MPN/100mL (ανεξέλεγκτη άρδευση) και BOD ₅ 50mg/L (για δημόσια πάρκα και εμπλουτισμό υδροφόρων οριζόντων). Μόνο

Κουβεΐτ	Κριτήρια	<p>οπωροφόρα, δασικά δένδρα και κτηνοτροφικές καλλιέργειες μπορούν να αρδευτούν. Η παρουσία υπολειμματικού χλωρίου στα υγρά απόβλητα θεωρείται απαραίτητη.</p> <p>Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 100 count/100mL. Το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας είναι προοδευμένο με τις συγκεντρώσεις των BOD₅ και TSS στην εκροή να μην υπερβαίνουν τα 10mg/L.</p>
NSW, Αυστραλία	Οδηγίες	<p>Τα θερμοανθεκτικά κοπρωδή κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 10/100mL (μέσος όρος). Ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία είναι η δευτεροβάθμια και φιλτράρισμά με < 2NTU στην εκροή.</p>
Σαουδική Αραβία	Κανονισμοί	<p>Τα ολικά κολοβακτηρίδια δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2.2count/100mL. Οι συγκεντρώσεις των BOD₅ και TSS στην εκροή δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 10 mg/L.</p>
Βόρεια Αφρική	Οδηγίες	<p>Η μέγιστη συγκέντρωση κοπρωδών κολοβακτηριδίων των 30mg/L θα πρέπει να είναι 0.0 count/100mL. Επίσης, το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας είναι η καθιερωμένη πρωτοβάθμια δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια.</p>
Τυνησία (1975)	Κανονισμοί και /ή Νόμος	<p>Οι εντερικοί νηματώδεις θα πρέπει να είναι <1 αύγο/L. Οι ελάχιστες απαιτούμενες επεξεργασίες είναι λίμνες σταθεροποίησης ή ισοδύναμες.</p>
Βικτώρια, Αυστραλία	Οδηγίες NSW	<p>Για απεριόριστη άρδευση (χωρίς δημόσια πρόσβαση): pH=6,5-8,0, BOD<10mg/L, TC<1 org./100mL, ιοί<1org./50mL, παράσιτα<1org./10mL, υπολειμματικό Cl>1 mg/L (μετά από 30 min επαφής ή ισοδύναμης απολύμανσης). Εφαρμόζονται διαδικασίες προωθημένης επεξεργασίας όπου απαιτείται υψηλής ποιότητας ανακτώμενου νερού για χρήση όπως είναι η άρδευση.</p>
WHO (1989)	Οδηγίες	<p>Ο περιορισμένος κίνδυνος υγείας από μη περιορισμένο νερό άρδευσης έχοντας λιγότερο από κοπρωδή κολοβακτηρίδια 200/100 και εντερικούς νηματώδεις <1 αυγό/L. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία κατά προτίμηση ακολουθούμενη από φιλτράρισμα ή εξευγενισμό και απολύμανση</p>

Ο WHO έχει εκδώσει οδηγίες σχετικές με την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων. Εστίασε στον καθορισμό των κατάλληλων επιπέδων επεξεργασίας που απαιτήθηκαν για τους διαφορετικούς τύπους επαναχρησιμοποίησης (άρδευση, εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων κ.α.). Θεωρήθηκε για τις γεωργικές καλλιέργειες, τα προϊόντα που καταναλώνονται νωπά, όταν αρδεύονται με υγρά απόβλητα, θα πρέπει να έχουν υποστεί τουλάχιστον βιολογική επεξεργασία και απολύμανση, ώστε η μέγιστη συγκέντρωση των κολοβακτηριδίων να φτάνει τα 100/100ml στο 80% των θεωρούμενων δειγμάτων (Ursula *et al.*, 2000).

Οι νέες οδηγίες είναι αμφισβητούμενες, ιδιαίτερα για την απεριόριστη άρδευση, το όριο των κολοβακτηριδίων είναι 1000/100ml (γεωμετρικός μέσος όρος) και το όριο του 1 αυγού/lι. (γεωμετρικός μέσος όρος) για τους εντερικούς ιούς. Το όριο των κολοβακτηριδίων προτείνεται να είναι αυστηρότερο (200/100ml) στην περίπτωση της άρδευσης πρασίνων εκτάσεων, όπου επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού (Στάμου, 1995)

Η οδηγία των ολικών κολοβακτηριδίων ήταν για να προστατεύσει από τους κινδύνους της βακτηριακής μόλυνσης, και τα πρόσφατα εντερικά νηματοζωα. Οι οδηγίες αυγών προορίστηκαν για να προστατεύσουν από τις μολύνσεις που αφορούν τους σκώλικες. Οι μικροβιολογικές οδηγίες προορίστηκαν να προστατεύσουν την επεξεργασία υγρών αποβλήτων (Ursula *et al.*, 2000).

Παρ' όλο που οι οδηγίες αυτές του WHO δεν εξειδικεύονται στις επιμέρους χρήσεις και ποιοτικές και άλλες παραμέτρους αποτελούν ένα θετικό βήμα σε περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης ανεπεξέργαστων ή πλημμελώς επεξεργασμένων. Αυτές οι οδηγίες σήμερα ευρίσκονται σε στάδιο αναθεώρησης (Ursula *et al.*, 2000).

Σύμφωνα με αυτές τις υπάρχουσες οδηγίες, όταν χρησιμοποιούνται τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα για την επιφανειακή άρδευση (χλοοτάπητα, φυτά κ.λ.π.), όπου οι άνθρωποι έρχονται σε άμεση επαφή με το επαναχρησιμοποιημένο νερό, θα πρέπει να έχει γίνει τριτοβάθμια επεξεργασία, δηλ. απολύμανση (EPA, 1992, WHO, 1989). Η διαδικασία απολύμανσης στοχεύει να μειώσει τις πιθανότητες της πιθανής μόλυνσης των χρηστών από τους παθογόνους μικροοργανισμούς των υγρών απόβλητων (Tanaka *et al.*, 1998).

Ωστόσο, η απολύμανση, ειδικά με το χλώριο, δεν παράγει μια μόνιμη και αμετάκλητη επίδραση στα υγρά απόβλητα. Μικροοργανισμοί συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπινων παθογόνων μπορούν να εμφανιστούν στα απολυμασμένα υγρά απόβλητα κάποιο χρονικό διάστημα μετά από την εφαρμογή της απολυμαντικής χημικής ουσίας (Tchobanoglous and Burton, 1996).

Επιπλέον, τα αποτελέσματα απολύμανσης ποικίλλουν με το χρόνο ανάλογα με διάφορες παραμέτρους, π.χ. νερό, την θερμοκρασία περιβάλλοντος και το ποσοστό ροής (Tanaka *et al.*, 1998; Abughararah, 1994). Υπάρχουν επίσης μερικές ενδείξεις ότι ορισμένα παθογόνα παρουσιάζουν ένα χαμηλότερο ποσοστό αδρανοποίησης στο έδαφος απ' ό,τι στα υγρά απόβλητα (Gantzer *et al.*, 2001), ή μπορούν να ξανάαυξηθούν εάν είναι παρούσες θρεπτικές ουσίες (Rajkowski and Rice, 1999). Μερικοί ερευνητές προτείνουν ότι είναι ασφαλές να χρησιμοποιηθούν τα υγρά απόβλητα από την δευτεροβάθμια επεξεργασία στην περιοχή της Μεσογείου, όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες της υψηλής θερμοκρασίας και ηλιοφάνειας οδηγούν σε μείωση των αριθμών παθογόνων κάτω από τα επιτρεπτά επίπεδα (Bontoux και Courtois, 1996; Mujeriego *et al.*, 1996).

Είναι δύσκολο να αποφασιστούν τα όρια επικινδυνότητας για επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων σε επιφανειακή άρδευση, εάν τα υγρά απόβλητα απολυμαίνονται ή όχι δεδομένου ότι έχουν γίνει λίγες δημοσιεύσεις γύρω από την ασφάλεια εκείνων που τα χρησιμοποιούν (π.χ. παίζοντας ποδόσφαιρο παιδιά, (Arnon *et al.*, 2002; Gantzer *et al.*, 2001; Blumenthal, 2001 Oron *et al.*, 2001, Campos *et al.*, 2000a; Campos *et al.*, 2000b; Tanaka *et al.*, 1998). Τα επίπεδα επικινδυνότητας μπορούν μόνο να καθοριστούν από την ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση της παρουσίας, της επιβίωσης και του αριθμού παθογόνων που διατηρούνται από το χλοοτάπητα ή το έδαφος. Σύμφωνα με Tanaka *et al.*, (1998) αυτή η απουσία στοιχείων οφείλεται εν μέρει στην έλλειψη τυποποιημένων πρωτοκόλλων των τομέων και των εργαστηρίων για τον καθορισμό των επιπέδων, τα οποία είναι διαφορετικά για κάθε χώρα.

1.7.4 Ανάγκη Θέσπισης Ελληνικών Προδιαγραφών Ανάκτησης και Επαναχρησιμοποίησης Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα όπως και σε άλλες χώρες του κόσμου, έχει υιοθετηθεί η πρακτική της ανακύκλωσης των εκροών υγρών αποβλήτων προοδευτικά χωρίς την απαρχή θεσμοθέτηση σχετικών κριτηρίων. Οι βασικές χρήσεις στην Ελλάδα που έχουν ενδιαφέρον είναι η άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου και ο εμπλουτισμός των υπογείων υδροφορέων για την προστασία του κυρίως από την υπαλυμύρωση. Για κάθε χρήση θα πρέπει να εξετάζονται τα ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια καθώς επίσης σε κάθε ιδιαίτερη θεώρηση που μια παραδοσιακή υδατική πηγή, αντικαθίσταται με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται σε χρήσεις που έχουν σχέση με αυξημένη επαφή των αποβλήτων με τον άνθρωπο. Επομένως τα αναγκαία κριτήρια θα πρέπει να διαφοροποιούνται όχι μόνο μεταξύ των διάφορων κατηγοριών επαναχρησιμοποίησης, αλλά ακόμα και στην ίδια κατηγορία ανάλογα με τις επιμέρους χρήσεις (π.χ άρδευση εδωδιμων και βιομηχανικών φυτικών ειδών) (Tsagarakis, *et al.*, 2003).

Με δεδομένα τα παραπάνω έχει προταθεί στο Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. ένα σχέδιο με τα ελάχιστα μικροβιολογικά και φυσικοχημικά κριτήρια για ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα (Αγγελάκης *et al.*, 2000). Τα κριτήρια αυτά συνοψίζονται στον πίνακα 1.7.4

Με αυτά τα δεδομένα, θεωρείται βέβαιο ότι τόσο η ΕΕ, όσο η Ελληνική Κυβέρνηση και τα άλλα Μεσογειακά κράτη, σύντομα θα θεσπίσουν σχετικές οδηγίες ή προδιαγραφές. Σ' αυτό θα συμβάλλουν θετικά τόσο η κινητικότητα που επικρατεί στην ΕΕ, όσο και η υπό αναθεώρηση σχετικών οδηγιών του WHO (Salgot and Angelakis, 2000).

Πίνακας 1.7.4: Προτεινόμενα ελάχιστα μικροβιολογικά και φυσικοχημικά κριτήρια επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων
(Salgot and Angelakis, 2000).

Επαναχρησιμοποίηση Εκροών Υγρών Αποβλήτων ^α	Ποιοτικά κριτήρια				
	Μικροβιολογία		Φυσικό- Χημικά		Άλλα κριτήρια
	Αυγά νηματωδών ^β	Ολικά κολοβακτηρίδια	Αιωρούμενα στερεά (SS ^γ)	Θολότητα	
1. Αστική χρήση ^δ					
α) Οικιακές χρήσεις: ιδιωτική άρδευση κήπου, χρήση σε τουαλέτα, πλύσιμο αυτοκινήτων κ.α	< 1 αυγό/10L	0 MPN/100mL	<10mg/L	<2 NTU	
β) Αστικές χρήσεις και εγκαταστάσεις: ελεύθερης εισόδου σε αρδευόμενες περιοχές (Δημόσια πάρκα, χώρους στάθμευσης, γήπεδα γκολφ, αθλητικά γήπεδα κ.α	< 1 αυγό/L	<10 MPN/100ML	<20 mg/L	<5 NTU	
2. Γεωργική Χρήση ^η					
α) Άρδευση θερμοκηπίων	< 1 αυγό/L	<10 MPN/100ML	<20 mg/L	<5 NTU	Legionella Pneumophila 0 MPN/100mL
β) Άρδευση λαχανικών για νωπή κατανάλωση. Άρδευση οπωροφόρων δέντρων με καταιονισμό	< 1 αυγό/L	<10 MPN/100ML	<20 mg/L	<5 NTU	
γ) Άρδευση κτηνοτροφικών φυτών	< 1 αυγό/L	<1.000 MPN/100ML	<35 mg/L	Δεν προτείνεται όριο	Taenia Saginata και Taenia solium <1 αυγό/L

δ) Άρδευση καλλιεργειών για: α) κονσερβοβιομηχανία, β) λαχανικά μη νωπής κατανάλωσης και γ) άρδευση οπωροφόρων δέντρων (έκτος άρδευσης με καταιονισμό)	< 1 αυγό/L	<1.000 MPN/100ML	<35 mg/L	Δεν προτείνεται όριο	
ε) Άρδευση βιομηχανικών καλλιεργειών, φυτώρια, κτηνοτροφικές για αποθήκευση, δημητριακά και ελαιωδών σπόρων	< 1 αυγό/L	<1.000 MPN/100ML	<35 mg/L	Δεν προτείνεται όριο	
ζ) Άρδευση δασικών περιοχών, βιομηχανικών περιοχών, ζωνών πρασίνου ή άλλων περιοχών όπου δεν επιτρέπεται η είσοδος ανθρώπων	< 1 αυγό/L	<10.000 MPN/100ML	<35 mg/L	Δεν προτείνεται όριο	
3.	Υδατοκαλλιέργεια ^{δ,η}				
α)Υδατοκαλλιέργεια (παραγωγή φυτικής ή ζωικής βιομάζας)	< 1 αυγό/L	<1.000 MPN/100ML	<35 mg/L	Δεν προτείνεται όριο	
4.	Βιομηχανική Χρήση				
α) Βιομηχανική ψύξη (με εξαίρεση τη βιομηχανία τροφίμων)	Δεν προτείνεται όριο	<10.000 MPN/100ML	<35 mg/L	Δεν προτείνεται όριο	Legionella Pneumophila 0 MPN/100mL
5.	Περιβαλλοντική Χρήση και Αναψυχή				
α) Λίμνες και ρυάκια όπου το κοινό δεν επιτρέπεται να έρχεται σε επαφή (με εξαίρεση τη κολύμβηση)	< 1 αυγό/L	<200 MPN/100ML	<35 mg/L	Δεν προτείνεται όριο	NO ₃ <100mg/L
β) Λίμνες και ρυάκια όπου το κοινό δεν επιτρέπεται να έρχεται σε επαφή	Δεν προτείνεται όριο	<10.000 MPN/100ML	<35 mg/L	Δεν προτείνεται όριο	NO ₃ <100mg/L
6.	Εμπλουτισμός Υπόγειου Υδροφορέα				

α) Εμπλουτισμός υπογείου υδροφορέα: τοπικός (δια μέσου εδάφους ^{δ,ε})	< 1 αυγό/L	<1.000 MPN/100ML	<35 mg/L	Δεν προτείνεται όριο	Ολικό Άζωτο <50mg/L
γ) Εμπλουτισμός υπογείου υδροφορέα δια γεωτρήσεων ^ι	< 1 αυγό/L	0 MPN/100mL	<10 mg/L	<2NTU	Ολικό Άζωτο <50mg/L

^α Ελάχιστο επίπεδο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (δευτεροβάθμια ή ισοδύναμη)

^β Εντερικοί Νηματώδεις σε αυγά/L των οικογενειών Strongyloides (Οι Εντερικοί Νηματώδεις περιλαμβάνουν τις ακόλουθες οικογένειες: Strongyloides, Trichostrongylus, Toxocara, Enterobius και Capillaria)

^γ Αιωρούμενα στερεά

^δ Απαιτείται έλεγχος οσμοαερίων

^ε Απαιτείται ελάχιστο βάθος 5m

^ζ Οι παραπάνω τιμές πρέπει να πληρούνται στα 80% των δειγμάτων κατά μήνα

^η Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για γεωργικούς σκοπούς, εκτός από άρδευση φυτών για ανθρώπινη κατανάλωση που απαγορεύεται από την ελληνική νομοθεσία. Η γεωργική χρήση απαιτείται επίσης κριτήρια για τα TDS, CL⁻ και ορισμένα μέταλλα

^ι Απαιτείται έλεγχος των βαρέων μετάλλων στη πηγή

^θ Αποφυγή όταν είναι δυνατόν απολύμανσης με CL⁻. Επίσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη: i) Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων, ii) εποχιακή αποθήκευση που βελτιώνει την ποιότητα και την διαθεσιμότητα, iii) Μέθοδος άρδευσης. Η υποεπιφανειακή άρδευση απαιτεί εκροές χαμηλότερης ποιότητας, και iv) παρακολούθηση ποιότητας σχετικά με τον τρόπο δειγματοληψίας, τη συχνότητα λήψης και την αξιοπιστία των αναλύσεων

1.8 Αντικείμενο και σκοπός εργασίας

Κύριος σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να εκτιμηθεί η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, πάνω στην επιβίωση των παθογόνων βακτηρίων, σε χλοοτάπητα που αρδεύτηκε με αστικά υγρά απόβλητα (ΑΥΑ), διαφορετικού βαθμού καθαρισμού. Η πρακτική αξία αυτής της προσπάθειας συνίσταται στο ότι με βάση τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας θα μπορούσε να καθοριστούν τα επίπεδα κινδύνου για την ασφάλεια των χρηστών αυτών των χλοοταπήτων. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός καθορίστηκε ότι θα έπρεπε να προσδιοριστούν τα ακόλουθα επιμέρους ζητήματα:

1. Το μοντέλο επιβίωσης των παθογόνων βακτηρίων πάνω στο χλοοτάπητα, μετά την άρδευση του με νερό από τις εκροές της δευτεροβάθμιας και της τριτοβάθμιας επεξεργασίας ΑΥΑ.
2. Το μοντέλο επιβίωσης των παθογόνων βακτηρίων στο υπόστρωμα κάτω από τον χλοοτάπητα, μετά την προηγούμενη άρδευση του χλοοτάπητα με νερό από την δευτεροβάθμια και την τριτοβάθμια επεξεργασίας ΑΥΑ.
3. Την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (διάρκεια και ένταση) και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος πάνω στην επιβίωση των παθογόνων βακτηρίων σε κάθε μια από τις προηγούμενες περιπτώσεις.
4. Την πιθανή αθροιστική συγκέντρωση των παθογόνων βακτηρίων στο χλοοτάπητα και στο έδαφος κάτω από τη διαδοχική άρδευση με επεξεργασμένα ΑΥΑ.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

2.1 Γενικά στοιχεία πειράματος

Στις 9/07/02, ξεκίνησε στο Εργαστήριο Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων στο αγρόκτημα του ΤΕΙ Ηρακλείου, πείραμα άρδευσης χλοοτάπητα με ΑΥΑ διαφορετικού βαθμού επεξεργασίας. Η διάρκεια του πειράματος ήταν περίπου 3 μήνες από τις 9/07/02 μέχρι τις 30/09/02. Σε αυτό το χρονικό διάστημα πραγματοποιήθηκαν: η εγκατάσταση του πειράματος, η εφαρμογή των ΑΥΑ (μια δοκιμαστική και τέσσερις πλήρεις εφαρμογές), οι μετρήσεις της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας και τέλος οι μικροβιολογικές αναλύσεις και για τις δύο κατηγορίες υγρών αποβλήτων (δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας).

Για την εγκατάσταση και ανάπτυξη του χλοοτάπητα χρησιμοποιήθηκαν ζαρντινιέρες σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου με επιφάνεια ανοίγματος $0,25\text{m}^2$ η κάθε μια. Σε αυτές, τοποθετήθηκε έτοιμος χλοοτάπητας της ποικιλίας *Cynodon dactylon* (Bermuda grass), που προτείνεται, για γήπεδα ποδοσφαίρου και γκολφ και για τις ελληνικές κλιματολογικές συνθήκες.

Οι ζαρντινιέρες γεμίστηκαν με υπόστρωμα που παρασκευάστηκε από τύρφη, χώμα και άμμο, όπως περιγράφεται παρακάτω. Πάνω σε αυτό το υπόστρωμα τοποθετήθηκε ο έτοιμος χλοοτάπητας.

2.2. Προετοιμασία χώρου εγκατάστασης ζαρντινιέρων

Στο Αγρόκτημα του ΤΕΙ Κρήτης και σε χώρο, χωρίς σκιάνσεις προετοιμάστηκε έκταση 20m^2 περίπου. Συγκεκριμένα αφαιρέθηκαν από αυτήν όλα τα υπολείμματα φυτικής βλάστησης (ξερόχορτα), ισοπεδώθηκε και κυλινδρίστηκε το έδαφος και περιφράχτηκε ο χώρος. Στην παρακάτω Εικόνα 2.2.1 φαίνεται ο χώρος εγκατάστασης του πειράματος και η περιφράξη του.

Πάνω από το χώρο εγκατάστασης των ζαρντινιέρων κατασκευάστηκε κατάλληλο υποστύλωμα ύψους 2μ. περίπου και πάνω σ' αυτό τοποθετήθηκε δίκτυο σκίασης προκειμένου να διευκολυνθεί η εγκατάσταση του χλοοτάπητα προστατεύοντάς τον από τις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού. Στην Εικόνα 2..2.2 φαίνεται η κατασκευή στεγάστρου σκίασης



Εικόνα 2.2.1: Χώρος εγκατάστασης ζαρντινιέρων



Εικόνα 2.2.2: Στέγαστρο προστασίας χλοοτάπητα από την έντονη ηλιοφάνεια

2.3. Παρασκευή υποστρώματος

Τα υλικά για την παρασκευή του υποστρώματος (μείγματος) μεταφέρθηκαν στο υπόστεγο του Εργαστηρίου στο Αγρόκτημα και πριν από την ανάμειξη τους επεξεργάστηκαν ως ακολούθως:

- Το έδαφος, που συγκεντρώθηκε από ακαλλιέργητο σημείο του Αγροκτήματος, κοσκινίστηκε με ηλεκτροκίνητο περιστρεφόμενο κόσκινο με οπές 1cm για την απομάκρυνση χαλικιών και μεγάλων συσσωματωμάτων.

- Η άμμος ξεπλύθηκε με νερό βρύσης για να μειωθεί η αγωγιμότητά της
- Τα συσσωματώματα της τύρφης θρυμματίστηκαν χειρονακτικά.

Μετά από τις παραπάνω εργασίες πραγματοποιήθηκε η παρασκευή του μείγματος στην αναλογία 2:1:1(v/v) κατ' όγκο (τύρφη, άμμος, χώμα). Η αναλογία αυτή εξασφαλίζει καλή στράγγιση αλλά και την απαιτούμενη συγκράτηση νερού για την ανάπτυξη του χλοοτάπητα (Σπαντιδάκης, 1999). Η μίξη των υλικών έγινε με τη βοήθεια μικρής ηλεκτρικής μπετονιέρας. Επίσης προστέθηκαν 30 gr λιπάσματος (Nultra) στο μείγμα για κάθε ζαρντινιέρα προκειμένου να εξασφαλισθούν τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία στον χλοοτάπητα. Στην Εικόνα 2.3.1 φαίνονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη παρασκευή του μίγματος, και στην Εικόνα 2.3.2 φαίνεται ο χώρος και τα μέσα παρασκευής του υποστρώματος.



Εικόνα 2.3.1: Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του μείγματος.

Με τη μέθοδο 1:1,5 (v/v) μετρήθηκε το pH και η E.C τόσο των υλικών όσο και του τελικού μείγματος. Στον Πίνακα 2.3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων.

Πίνακας 2.3.1: Αποτελέσματα μέτρησης pH και E.C. υλικών παρασκευής υποστρώματος εγκατάστασης χλοοτάπητα και τελικού μείγματος.

Υλικά	Υδατικό εκχύλισμα με τη μέθοδο 1:1 ½ (v/v)	
	pH	E.C (mS/cm)
Τύρφη	6,42	0,09
Χώμα	7,76	1,19
Άμμος	7,75	0,40
Μείγμα (2:1:1)	7,70	0,73



Εικόνα 2.3.2: Χώρος και μέσα προετοιμασίας υποστρώματος (μείγματος) πλήρωσης ζαρντινιέρων

2.4. Αστικά υγρά απόβλητα

Τα Αστικά Υγρά Απόβλητα (ΑΥΑ) που χρησιμοποιήθηκαν, για τις ανάγκες του πειράματος προέρχονταν από το βιολογικό καθαρισμό της πόλης του Ηρακλείου. Η διαφορά μεταξύ των ΑΥΑ δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας ήταν ότι τα δεύτερα ήταν χλωριωμένα ΑΥΑ της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

Τα ΑΥΑ μεταφερόταν από το βιολογικό καθαρισμό στο χώρο του πειράματος μέσα σε πλαστικά δοχεία και η εφαρμογή του ποτίσματος γινόταν αμέσως μετά την παραλαβή τους από το βιολογικό καθαρισμό, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε μεταβολή στο μικροβιακό φορτίο τους.

2.5. Εγκατάσταση χλοοτάπητα

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο χλοοτάπητας εγκαταστάθηκε σε έξι ζαρντινιέρες διατομής ορθογωνίου παραλληλογράμμου, μήκους 78 cm, πλάτους 32,5 cm και βάθους 30 cm και επομένως συνολικής χωρητικότητας 76L περίπου η κάθε μια. Στον πυθμένα των ζαρντινιέρων απλώθηκαν ομοιόμορφα 5L περίπου χονδρόκοκκης ελαφρόπετρας με σκοπό τη διευκόλυνση της στράγγισης. Για την αποφυγή μετακίνησης της ελαφρόπετρας τοποθετήθηκε πάνω από αυτήν πλαστικό δίκτυο.

Μετά την παραπάνω προετοιμασία οι ζαρντινιέρες γεμίστηκαν με το μείγμα που αναφέρθηκε προηγουμένως και μέχρι 6 cm περίπου κάτω από το χείλος των τοιχωμάτων τους, και μεταφέρθηκαν στο χώρο εγκατάστασης του πειράματος.

Στην Εικόνα 2.5.1 φαίνονται οι ζαρντινιέρες μετά την τοποθέτηση σε αυτές του μείγματος και στην Εικόνα 2.5.2 φαίνεται η διάταξη των ζαρντινιέρων στο χώρο του πειράματος. Όπως φαίνεται στην τελευταία Εικόνα 2.5.2 εκτός από τις έξι ζαρντινιέρες του πειράματος υπήρχαν τρεις ακόμη οι οποίες πληρώθηκαν με το ίδιο υπόστρωμα και εγκαταστάθηκε σε αυτές ο ίδιος χλοοτάπητας ώστε σε περίπτωση που θα παρουσιαζόταν κάποιο πρόβλημα στις πειρακτικές ζαρντινιέρες να αντικατασταθούν με αυτές.

Ο έτοιμος χλοοτάπητας που είχε αναπτυχθεί σε στρώμα τύρφης 3cm και είχε τοποθετηθεί πάνω σε δίκτυο για την συγκράτηση του, τεμαχίστηκε σε κομμάτια διαστάσεων 78 x 32,5 cm (διαστάσεις επιφάνειας ζαρντινιέρας) και τοποθετήθηκαν πάνω στο υπόστρωμα της κάθε ζαρντινιέρας. Ακολούθησε πότισμα με άφθονο νερό και με ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να εξασφαλιστεί η επαφή του στρώματος του χλοοτάπητα με το μείγμα αλλά και να κορεστεί το μείγμα με νερό.

Το πότισμα του χλοοτάπητα με νερό της βρύσης συνεχίστηκε για μια βδομάδα πριν την έναρξη της άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα προκειμένου να εξασφαλιστεί η αναγκαία ομοιόμορφη ανάπτυξη του. Η άρδευση με νερό βρύσης και η προσθήκη του λιπάσματος Nutri Life, επαναλαμβάνονταν και μεταξύ των εφαρμογών των ΑΥΑ. Στην Εικόνα 2.5.3 φαίνεται ένα από τα κομμάτια του χλοοτάπητα που τοποθετήθηκαν πάνω στο υπόστρωμα της κάθε ζαρντινιέρας .



Εικόνα 2.5.1: Το τελικό μίγμα τοποθετημένο στις ζαρντινιέρες



Εικόνα 2.5.2: Οι ζαρντινιέρες τοποθετημένες στο χώρο εγκατάστασης



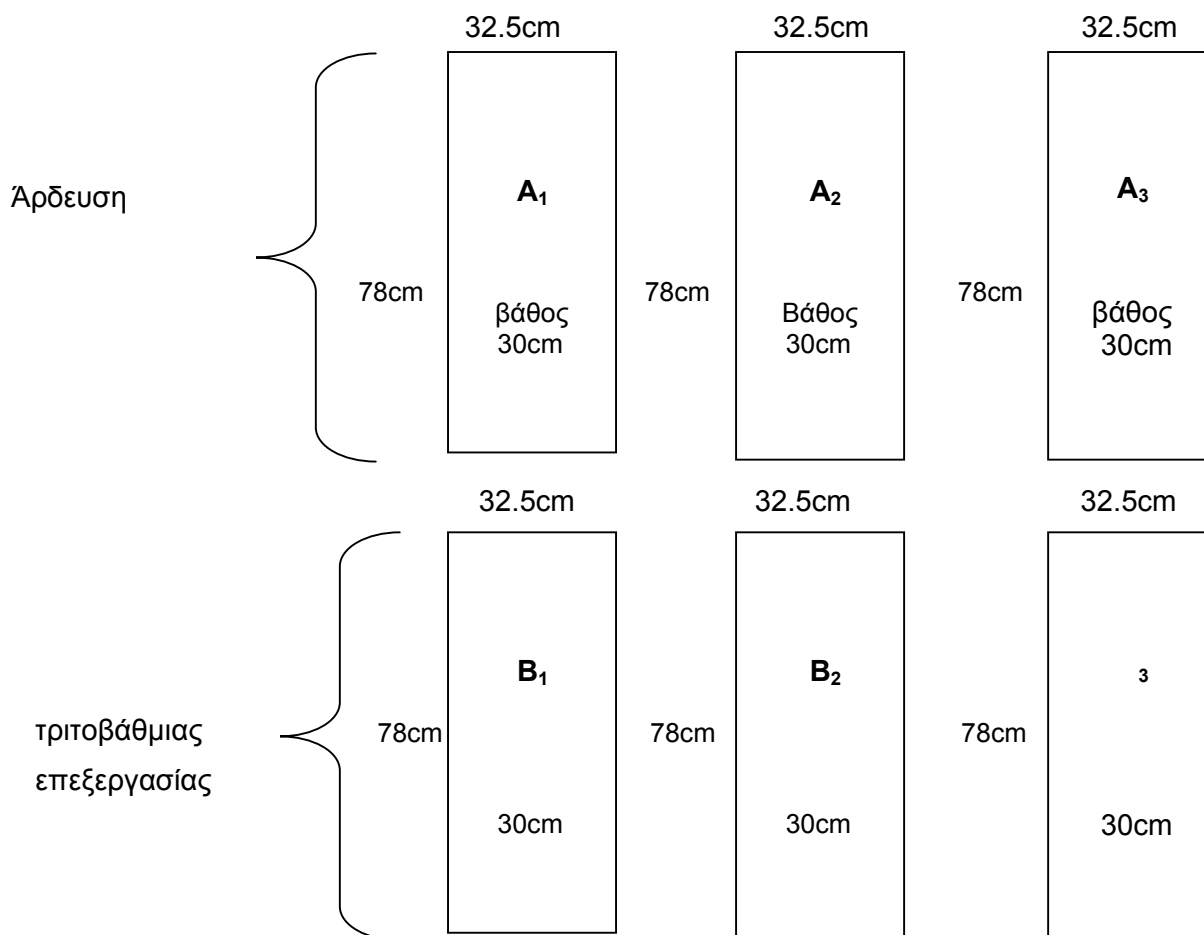
Εικόνα 2.5.3: Έτοιμος χλοοτάπητας *Cynodon dactylon* (Bermuda grass)

2.6 Πειραματικό σχέδιο - επεμβάσεις

Μετά την πρώτη εβδομάδα από την εγκατάσταση του χλοοτάπητα άρχισε η εφαρμογή του ποτίσματος με τα ΑΥΑ.

Οι ζαρντινιέρες χωρίστηκαν σε δυο ομάδες. Η κάθε ομάδα περιελάμβανε τρεις ζαρντινιέρες με τα στοιχεία Α₁, Α₂, Α₃, η πρώτη (Ομάδα Α) και με τα στοιχεία Β₄, Β₅, Β₆ η δεύτερη (Ομάδα

B). Η πρώτη ομάδα ποτιζόταν με ΑΥΑ δευτεροβάθμιας επεξεργασίας και η δεύτερη με ΑΥΑ τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Και οι δύο κατηγορίες ΑΥΑ προέρχονταν από το βιολογικό καθαρισμό της πόλης του Ηρακλείου. Στο Σχήμα 2.6.1 φαίνεται η διάταξη των ζαρντινιέρων με τρεις διαστάσεις τους.



Σχήμα 2.6.1: Πειραματική διάταξη

Σε κάθε ομάδα έγιναν τέσσερα ποτίσματα με τα αντίστοιχα ΑΥΑ. Η ποσότητα των ΑΥΑ που χρησιμοποιούνταν σε κάθε πότισμα κατά ζαρντινιέρα ήταν 2L, με βάση το δεδομένο ότι τους καλοκαιρινούς μήνες οι χλοοτάπητες στην Ελλάδα θα πρέπει να ποτίζονται με 80m³/ha ανά ημέρα (Σπαντιδάκης, 1999). Η εφαρμογή των ΑΥΑ γινόταν με μικρό ποτιστήρι για να εξασφαλιστεί η αναγκαία προσομοίωση με την τεχνητή βροχή που εφαρμόζεται στο πότισμα των χλοοταπήτων, αλλά και για να γίνει η αναγκαία ομοιόμορφη κατανομή των λυμάτων. Στην Εικόνα 2.6.1 φαίνεται η κατάσταση του χλοοτάπητα κατά την πρώτη δοκιμαστική εφαρμογή άρδευσης με υγρά απόβλητα που έγινε στις 30 Ιουλίου 2002.



Εικόνα 2.6.1: Η πρώτη εφαρμογή άρδευσης με υγρά απόβλητα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπήρξαν συνολικά πέντε επεμβάσεις. Η πρώτη η οποία και πραγματοποιήθηκε στις 30 Ιουλίου, αποτελούσε μια δοκιμαστική εφαρμογή τα αποτελέσματα της οποίας και δεν ελήφθησαν υπόψη. Από τη δοκιμή αυτή διαπιστώθηκε ότι δεν ήταν χρονικά δυνατόν να εφαρμοστούν ταυτόχρονα και τα δύο ήδη αποβλήτων. Έτσι οι υπόλοιπες επεμβάσεις πραγματοποιούνταν σε δύο ημέρες. Οι ημερομηνίες των επεμβάσεων παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.1 και 3.2 στο κεφάλαιο Αποτελέσματα και Συζήτηση.

2.7. Δειγματοληψίες- μετρήσεις – αναλύσεις

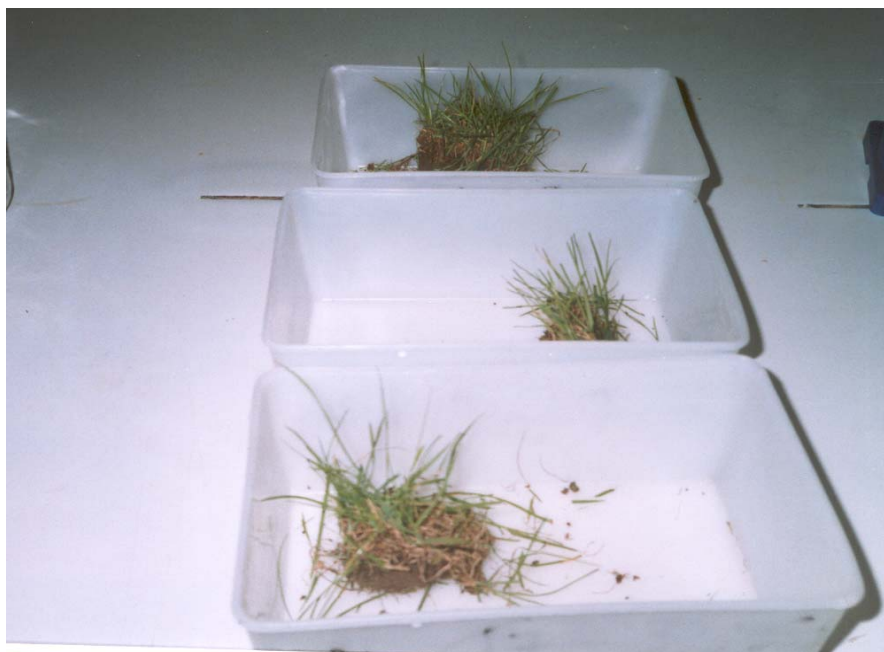
Για την καταγραφή των μεταβολών του αριθμού των κολοβακτηριδίων πάνω στο χλοοτάπητα και στο υπόστρωμα κάτω από τον χλοοτάπητα, σε σχέση με τα πότισμα και τις δυο κατηγορίες ΑΥΑ γίνονταν οι ακόλουθες δειγματοληψίες, μετρήσεις και αναλύσεις:

α) Δειγματοληψίες. Με ειδικά διαμορφωμένους δειγματολήπτες (ένα για κάθε ζαρντινιέρα των 2 x 4 cm διατομής) και μετά από αποστείρωση τους, παίρνονταν ομοιόμορφα δείγματα από τον χλοοτάπητα και το υπόστρωμα, αμέσως κάτω από αυτόν, στους ακόλουθους χρόνους:

- Πριν από το πότισμα (7 π.μ.)
- Αμέσως μετά το πότισμα (7 π.μ.)
- Δυο ώρες μετά το πότισμα (9 π.μ.)
- Τέσσερις μετά το πότισμα (11π.μ)

β) Μετρήσεις. Αμέσως μετά από κάθε δειγματοληψία καταγράφονταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά, με απλό υδραργυρικό θερμόμετρο και η ένταση του ηλιακού φωτός με φωτόμετρο (PHYWE LUX 07024.00).

γ) Αναλύσεις. Τα δείγματα μεταφέρονταν στο Εργαστήριο και κάτω από ασηπτικές συνθήκες τοποθετούνταν σε αποστειρωμένα προζυγισμένα βάζα των 500 ml. Ακολούθησε νέο ζύγισμα των βάζων με τα δείγματα για την εύρεση του βάρους των δειγμάτων. Το ίδιο γινόταν και με τα δείγματα του υποστρώματος (μείγματος). Στα δοχεία προστίθεντο στη συνέχεια, αποστειρωμένο νερό και εφαρμόζονταν η μέθοδος των διαδοχικών αραιώσεων (ΑΡΗΑ, 1995). Στις Εικόνες 2.7.1 και 2.7.2 φαίνονται αντίστοιχα τα δείγματα χλοοτάπητα και υποστρώματος και τα μέσα εφαρμογής της μεθόδου των διαδοχικών αραιώσεων. Στο παράρτημα Α παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές από την ζύγιση που γίνονταν στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος.



Εικόνα 2.7.1: Τα δείγματα χλοοτάπητα και υποστρώμα



Εικόνα 2.7.2: Μέσα εφαρμογής της μεθόδου των διαδοχικών αραιώσεων

Στα δείγματα μετρήθηκαν ο συνολικός αριθμός κολοβακτηριδίων, χρησιμοποιώντας τις επίσημες μικροβιολογικές αναλύσεις (ΑΡΗΑ, 1995) Στην Εικόνα 2.7.3 φαίνονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις διαλύσεις και αραιώσεις των δειγμάτων χλοοτάπητα και υποστρώματος. Στην Εικόνα 2.7.4 παρουσιάζονται ο χώρος που έγιναν οι μικροβιολογικές αναλύσεις και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 2.7.3: Διαλύσεις με απιονισμένο νερό χλοοτάπητα και υποστρώματος και αραιώσεις 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}



Εικόνα 2.7.4: Ο χώρος που γίνονται οι μικροβιολογικές αναλύσεις

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει το συνολικό αριθμό κολοβακτηριδίων (cfu/100 ml) στα δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασμένα ΑΥΑ που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε εφαρμογή. Ο αριθμός των συνολικών κολοβακτηριδίων για ΑΥΑ δευτεροβάθμιας επεξεργασίας (ΑΥΑΔΕ) βρίσκεται μέσα στα αναμενόμενα όρια, αν και υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των τεσσάρων επεμβάσεων. Αυτό δεν είναι ασυνήθιστο για ΑΥΑ όπως αναφερόταν και από τους Tanaka *et al.* (1998). Η εκροή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας απολυμαίνεται με χλώριο, με αποτέλεσμα την απουσία κολοβακτηριδίων από υγρά απόβλητα τριτοβάθμιας επεξεργασίας (ΑΥΑΤΕ) (Πίνακας 3.1). Αυτό είναι ένα λογικό, δεδομένου ότι η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ηρακλείου χρησιμοποιεί ισχυρές δόσεις απολυμαντικού (8 mg/l χλωρίου).

Πίνακας 3.1. Συνολικός αριθμός κολοβακτηριδίων (cfu/100ml) στα υγρά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε εφαρμογή.

	ΑΥΑΔΕ	ΑΥΑΤΕ
1 Εφαρμογή	5,2 x 10 ⁴	0
2 Εφαρμογή	8,0 x 10 ⁴	0
3 Εφαρμογή	4,3 x 10 ⁶	0
4 Εφαρμογή	6,1 x 10 ⁵	0

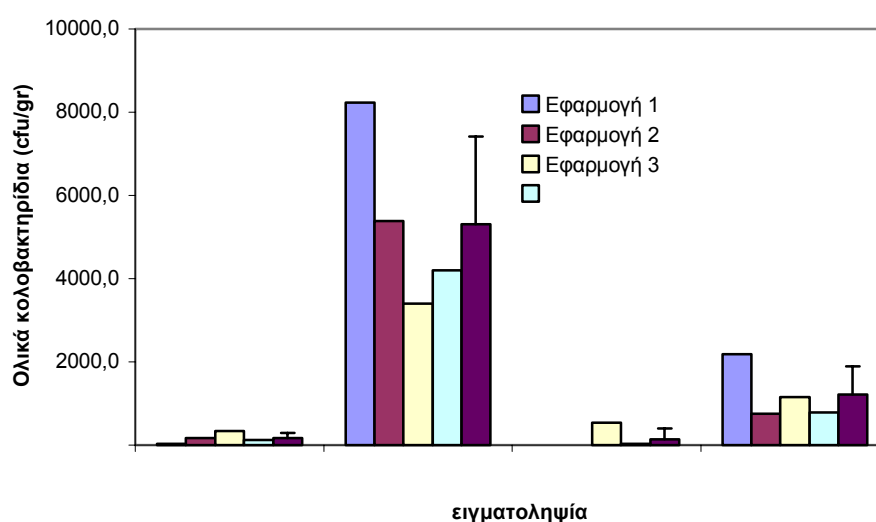
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως πριν από τις τέσσερις πλήρεις εφαρμογές πραγματοποιήθηκε μια δοκιμαστική εφαρμογή και με τις δυο κατηγορίες ΑΥΑ στις ζαρντινιέρες Α ομάδας και Β ομάδας αντίστοιχα. Πριν από αυτή τη δοκιμαστική εφαρμογή των ΑΥΑ πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία χλοοτάπητα και υποστρώματος για τον προσδιορισμό του αριθμού των κολοβακτηριδίων σε αυτά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Αριθμός κολοβακτηριδίων στο χλοοτάπητα και στο υπόστρωμα πριν από την εφαρμογή των ΑΥΑ

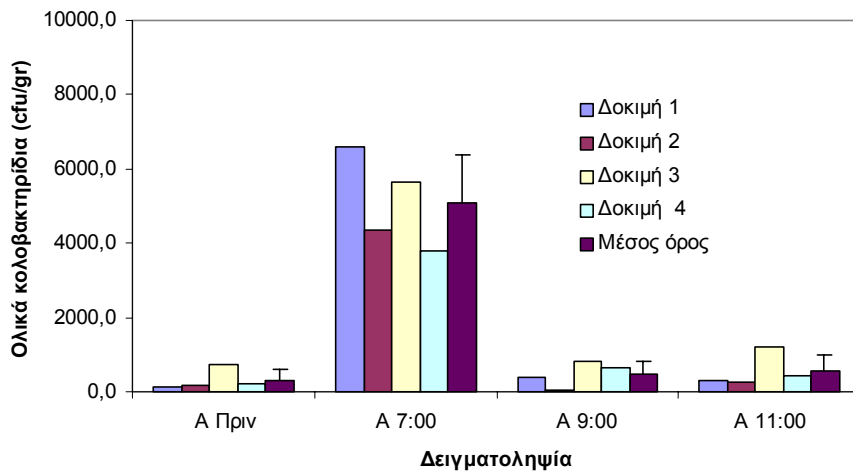
Δείγματα	Κολοβακτηρίδια (cfu/g)
Χλοοτάπητας	0,0
Υπόστρωμα ανάπτυξης χλοοτάπητα	38,0
Υπόστρωμα πλήρωσης ζαρντινιέρων	21,0

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αποτελέσματα κολοβακτηρίδια βρέθηκαν τόσο στο υπόστρωμα (τύρφη) που είχε αναπτυχθεί ο χλοοτάπητας όσο και στο υπόστρωμα που παρασκευάστηκε και πληρώθηκαν οι ζαρντινιέρες. Κολοβακτηρίδια δεν βρέθηκαν στο υπέργειο μέρος των φυτών του χλοοτάπητα.

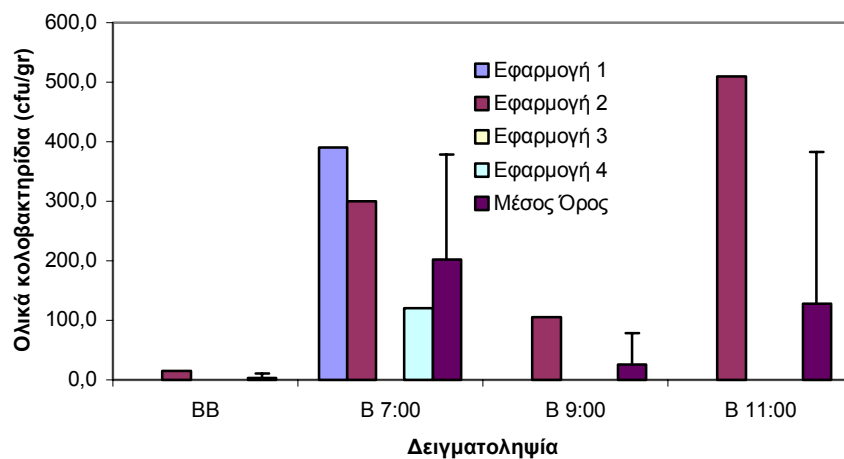
Στα Διαγράμματα 3.1 και 3.2 παρουσιάζονται οι μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g) στο **χλοοτάπητα** και στο **υπόστρωμα** αντίστοιχα για τις ζαρντινιέρες της ομάδας Α που αρδεύονταν με ΑΥΑΔΕ και στις τέσσερις εφαρμογές, σε συνάρτηση με το χρόνο δειγματοληψίας. Στα Διαγράμματα 3.3 και 3.4 παρουσιάζονται οι μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g), στο **χλοοτάπητα** και στο **υπόστρωμα** αντίστοιχα, για τις ζαρντινιέρες της Ομάδας Β που αρδεύονταν με ΑΥΑΤΕ, και στις τέσσερις πλήρεις εφαρμογές



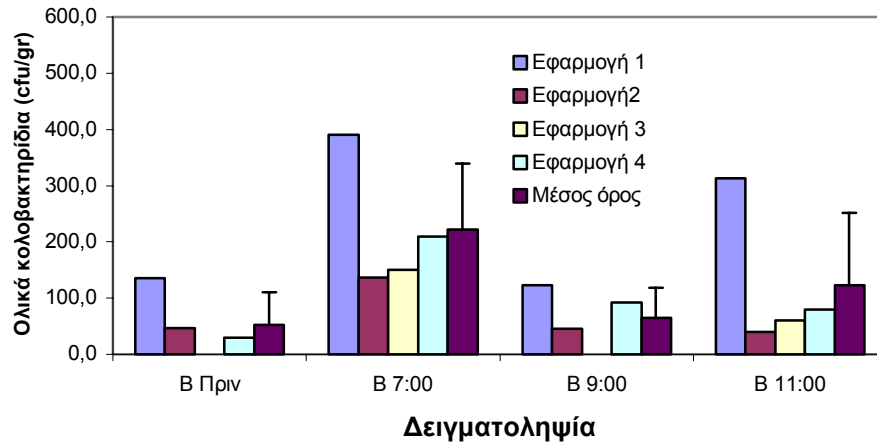
Διάγραμμα 3.1. Μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g) στο χλοοτάπητα που αρδεύτηκε με ΑΥΑΔΕ.



Διάγραμμα 3.2. Μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g) στο υπόστρωμα που αρδεύτηκε με ΑΥΑΔΕ.



Διάγραμμα 3.3. Μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g) στο χλοοτάπητα που αρδεύτηκε με ΑΥΑΤΕ.



Διάγραμμα 3.4. Μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g) στο υπόστρωμα που αρδεύτηκε με ΑΥΑΤΕ.

Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος που συλλέγονταν πριν από την κάθε πλήρη εφαρμογή, τόσο των ΑΥΑΔΕ όσο και ΑΥΑΤΕ, διαπιστώθηκε η παρουσία κολοβακτηριδίων. Στην περίπτωση των ΑΥΑΔΕ ο αριθμός των κολοβακτηριδίων κατά μέσον όρο, έφτασε τα 312cfu/g ενώ στην περίπτωση των ΑΥΑΤΕ έφτασε κατά μέσο όρον, μόλις τα 53cfu/g. Αυτός ο αριθμός των κολοβακτηριδίων, στην περίπτωση των ΑΥΑΤΕ, αλλά κυρίως στην περίπτωση των ΑΥΑΔΕ, είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνο που βρέθηκε στο υπόστρωμα (τύρφης) ανάπτυξης του χλοοτάπητα και στο υπόστρωμα (μείγμα) πλήρωσης των ζαρντινιέρων. Αυτό είναι πολύ πιθανόν να οφείλεται στη δοκιμαστική προσθήκη των ΑΥΑΔΕ και ΑΥΑΤΕ που έγινε μια βδομάδα νωρίτερα από την πρώτη πλήρη εφαρμογή και στην επιβίωση των προστεθέντων κολοβακτηριδίων με τα ΑΥΑ, σε αυτό το χρονικό διάστημα της μια εβδομάδας.

Όλα τα κολοβακτηρίδια που προϋπήρχαν στο υπόστρωμα και στο χλοοτάπητα μαζί με εκείνα που προστέθηκαν με την πρώτη εφαρμογή ΑΥΑ (δοκιμαστική εφαρμογή), ήταν εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία, εντάσεως μέχρι και 68,000 lux, και σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (Πίνακες 3.3 και 3.4). Πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι η ηλιακή ακτινοβολία (πρωτίστως) και η υψηλή θερμοκρασία (δευτερευόντως) αποτελούν τα αίτια της αυξημένης θανάτωσης των εντεροβακτηριδίων σε υγροβιοτόπους ή λίμνες σταθεροποίησης που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων (Zdragas *et al.*, 2002; Sinton *et al.*, 2002; Van der Steen *et al.*, 2000b). Επίσης συμφωνούν ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι πιο σημαντικός παράγοντας αδρανοποίησης των παθογόνων από την θερμοκρασία (Zdragas *et al.*, 2002; Sinton *et al.*, 2002; Gantzer *et al.*, 2001; Van der Steen *et al.*, 2000b).

Πίνακας 3.3. Θερμοκρασία και ένταση φωτός κατά την διάρκεια των εφαρμογών με ΑΥΑΔΕ.

		Θερμοκρασία(°C)	Φωτεινότητα (lux)
1 ^η Εφαρμογή 6/8/02	07:00	34	33,000
	09:00	39	32,000
	11:00	42	68,000
2 ^η Εφαρμογή 26/8/02	07:00	25	12,000
	09:00	31	24,000
	11:00	34	60,000
3 ^η Εφαρμογή 9/09/02	07:00	26	10,000
	09:00	26	31,000
	11:00	27	34,000
4 ^η Εφαρμογή 24/9/02	07:00	26	14,000
	09:00	31	22,000
	11:00	36	62,000

Τα συμπεράσματα αυτά είναι εξαιρετικά σημαντικά όσο αφορά την επιβίωση παθογόνων μικροοργανισμών σε υδατικά συστήματα, αλλά το πιθανότερο είναι ότι δεν μπορεί να συμβαίνει το ίδιο και στην περίπτωση της παρούσας εργασίας. Αν συνέβαινε τότε και οι δύο Ομάδες θα έπρεπε να παρουσιάζουν μηδενική συγκέντρωση κολοβακτηριδίων στα δείγματα πριν από την πρώτη πλήρη εφαρμογή των ΑΥΑ, γεγονός το οποίο δεν συνέβη όπως άλλωστε αποδεικνύουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 3.1 έως 3.4. Σύμφωνα με τους Gantzer *et al.* (2001), τα εντεροβακτήρια έχουν ένα μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης στο έδαφος από ότι στα υγρά απόβλητα κάτω από την επίδραση του φωτός και της θερμοκρασίας. Εν τούτοις οι ίδιοι ερευνητές παρουσίασαν στοιχεία σύμφωνα με τα οποία η ηλιακή ακτινοβολία μαζί με τη θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα τη θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Το υπόστρωμα όμως προστατευόταν από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία λόγω της πυκνής κάλυψής του με χλοοτάπητα. Ενεργώντας ως προστατευτικό κάλυμμα, ο χλοοτάπητας μείωσε την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, με συνέπεια τη συνεχή παρουσία παθογόνων στο υπόστρωμα. Αυτό υποστηρίζεται επίσης από Arnon *et al.*, (2002) ο οποίος ανίχνευσε *Cryptosporidium* oocysts σε διαφορετικά βάθη εδάφους που αρδεύτηκε με υγρά απόβλητα.

Πίνακας 3.4. Θερμοκρασία και ένταση φωτός κατά την διάρκεια των εφαρμογών με ΑΥΑΤΕ.

		Θερμοκρασία(°C)	Φωτεινότητα (lux)
1 ^η Εφαρμογή 7/8/02	07:00	22	27,000
	09:00	35	30,000
	11:00	39	68,000
2 ^η Εφαρμογή 27/8/02	07:00	24	11,000
	09:00	27	32,000
	11:00	33	62,000
3 ^η Εφαρμογή 10/09/02	07:00	25	12,000
	09:00	29	32,000
	11:00	31	34,000
4 ^η Εφαρμογή 25/9/02	07:00	27	13,000
	09:00	33	28,000
	11:00	38	64,000

Το φαινόμενο της σκίασης, που μπορεί να εξηγήσει την επιβίωση των μικροοργανισμών στο έδαφος, μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνο και για την παρουσία κολοβακτηριδίων στο γρασίδι πριν την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων. Το γρασίδι στις ζαρντινιέρες δεν κόπηκε ποτέ με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πυκνού φυλλώματος, που προστάτευε τα χαμηλά στρώματα από το ηλιακό φως. Επίσης, ενώ υπήρξε σημαντική προσπάθεια να αποφευχθεί η μόλυνση των δειγμάτων του γρασιδιού από το υπόστρωμα (και το αντίθετο) αυτό δεν ήταν πάντα δυνατόν, και επομένως μπορεί να επηρεάστηκαν μερικώς τα αποτελέσματα.

Αμέσως μετά την εφαρμογή των ΑΥΑΔΕ υπήρξε μια σημαντική αύξηση του μικροβιακού φορτίου τόσο στα δείγματα γρασιδιού όσο και του υποστρώματος της ομάδας Α. Αυτή η σημαντική αύξηση ήταν αναμενόμενη μετά τη χρήση ΑΥΑΔΕ, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων σ' αυτά (Πίνακα 3.1).

Δύο ώρες μετά ο αριθμός των κολοβακτηριδίων τόσο στο γρασίδι όσο και στο υπόστρωμα μειώθηκε σε τιμές όμοιες με αυτές πριν την εφαρμογή των ΑΥΑΔΕ. Η ηλιοφάνεια και η θερμοκρασία είχαν ως αποτέλεσμα τη λογαριθμική μείωση του συνολικού αριθμού κολοβακτηριδίων κατά 2.1 log στο υπόστρωμα και κατά 3.7 log στο γρασίδι (Πίνακας 3.5). Μια και η επίδραση της μέσης ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας θα πρέπει να θεωρείται η ίδια

για γρασίδι και έδαφος, είναι πολύ πιθανόν ότι η σημαντική μείωση των κολοβακτηριδίων που καταγράφηκε στο γρασίδι να οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία, σύμφωνα με άλλες σχετικές δημοσιεύσεις (Zdragas *et al.*, 2002, Arnon *et al.*, 2002, Sinton *et al.* 2002 Gantzer *et al.*, 2001, Gantzer *et al.*, 2001, Oron *et al.*, 2001, Van den Steen *et al.*, 2000a, Campos *et al.*, 2000a).

Πινάκας 3.5: Αριθμός των παθογόνων στο υπόστρωμα και στο χλοοτάπητα, για τις τέσσερις εφαρμογές ΑΥΑΔΕ και ΑΥΑΤΕ.

	Εφαρμογή 1 ^η	Εφαρμογή 2 ^η	Εφαρμογή 3 ^η	Εφαρμογή 4 ^η
Χλοοτάπητας (Ομάδα Α)	3.9	3.7	0.8	2.1
Υπόστρωμα (Ομάδα Α)	1.2	2.1	0.8	0.8
Χλοοτάπητας (Ομάδα Β)	2.6	0.5	0.0	2.1
Υπόστρωμα (Ομάδα Β)	0.5	0.5	2.2	0.35

Τέσσερις ώρες μετά την εφαρμογή των ΑΥΑΔΕ ο αριθμός των κολοβακτηριδίων παρουσιάζει αύξηση τόσο στο γρασίδι όσο και στο υπόστρωμα. Η αύξηση αυτή δεν είναι στατικά σημαντική και μπορεί να αποδοθεί στην επαναδραστηριοποίηση των μικροοργανισμών μετά το αρχικό στρες της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας (lag phase - Maier *et al.*, 2000; Madigan *et al.*, 2003).

Ο Herrera Melian *et al.*, 2000, Rincon και Pulgarin, 2003 ανέφεραν φαινόμενα ανάκτησης πληθυσμών μικροοργανισμών μετά την έκθεση τους σε ηλιακή ακτινοβολία, ή υπεριώδη ακτινοβολία η οποία μπορεί να υποστηρίξει αυτή την υπόθεση. Σύμφωνα με τους Rincon and Pulgarin (2003) η ζημία που προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία στο γενετικό υλικό των κυττάρων μπορεί να διορθωθεί μέσα από μια διαδικασία που ονομάζεται photoreactivation or photorepair η οποία απαιτεί την παρουσία φωτός. Οι ίδιοι συγγραφείς παρουσιάζουν δεδομένα που δείχνουν την πλήρη ανάκαμψη πληθυσμού *E. Coli* περίπου τρεις ώρες από την επίδραση UV ακτινοβολίας για 60' λεπτά.

Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι τόσο το γρασίδι και κυρίως το έδαφος είναι φιλικά περιβάλλοντα για τέτοιου είδους μικροοργανισμούς. Η υγρασία (κυρίως στο έδαφος) παραμένει σχεδόν σταθερή πολύ μετά την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων. Θρεπτικά στοιχεία είναι διαθέσιμα μια και η μέση τιμή χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) για τα ΥΑΔΕ είναι 39 mg/l και η συγκέντρωση ολικού αζώτου (TKN) 31 mg/l. Εάν τα κολοβακτηρίδια παραμένουν προστατευμένα από την απευθείας έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία τότε ακόμα και η θερμοκρασία περιβάλλοντος που κυμαίνεται στους 35 °C θα πρέπει να θεωρείται

ιδανική. Σύμφωνα με Standard Methods for the Analyses of Water and Wastewater (1996), η θερμοκρασία επώασης των ολικών κολοβακτηριδίων είναι 35 °C.

Όμοια επιχειρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξηγήσου τις αλλαγές στον αριθμό των ολικών κολοβακτηριδίων στα δείγματα που συλλέχθηκαν από την Ομάδα Β στην οποία χρησιμοποιήθηκαν τα ΑΥΑΤΕ. Το μοντέλο είναι παρόμοιο, αν και οι τιμές είναι κατά πολύ μικρότερες από αυτές της Ομάδας Α. Η πηγή των μικροοργανισμών πρέπει να είναι τα ΑΥΑΤΕ, αν και σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η συγκέντρωσή τους μετρήθηκε ως μηδενική. Είναι γνωστό ότι μετά τη χλωρίωση κολοβακτηρίδια επανεμφανίζονται στα υγρά απόβλητα σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την προσθήκη του χλωρίου (Shuval *et al.*, 1973, Tchobanoglous and Burton, 1996). Σύμφωνα με τους Shuval *et al.*, (1973), επαναδραστηριοποίηση των κολοβακτηριδίων σημειώνεται ακόμα, και όταν δε ήταν δυνατός ο εντοπισμός τους σε δείγματα των 10 ml αμέσως μετά τη χλωρίωση. Κατά την πειραματική δραστηριότητα υπήρξε ένα κενό δύο τουλάχιστον ωρών μεταξύ ανάλυσης νερού και δειγμάτων γρασιδιού και εδάφους. Η ανάλυση του νερού που γινόταν αμέσως μετά την παραλαβή του από τη μονάδα της ΔΕΥΑΗ Ηρακλείου, προηγούταν κατά δύο τουλάχιστον ώρες από τις αναλύσεις των πρώτων δειγμάτων υποστρώματος και χλοοτάπητα. Αυτή η καθυστέρηση μαζί με το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκε αποστειρωμένο απιονισμένο νερό (ελεύθερο από χλωρίνη) μπορεί να εξηγήσει την αύξηση του αριθμού κολοβακτηριδίων στα δείγματα που συλλέχθηκαν αμέσως μετά την επέμβαση και τη χρήση ΑΥΑΤΕ. Αυτή η μικρή αύξηση οδηγεί με τη σειρά της σε μια κατά πολύ μικρότερη λογαριθμική μείωση (Πίνακας 3.4) σε σχέση με τα δείγματα της Ομάδας Α.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα, του πειράματος οδηγούν σε μερικές σημαντικές διαπιστώσεις και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα:

1. Η χρήση δευτεροβάθμια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για άρδευση χλοοταπτήτων έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός πολύ μεγάλου αριθμού παθογόνων στο χλοοτάπητα και στο υπόστρωμα για μια μεγάλη χρονική περίοδο, ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο βαθμός επικινδυνότητας των παθογόνων που επιβίωναν δεν καθορίστηκε για τον χρήστη σε αυτή την εργασία, και αντικείμενο για περαιτέρω έρευνα.
2. Η χρήση των υγρών αποβλήτων της τριτοβάθμιας επεξεργασίας οδηγεί σε έναν πολύ μικρότερο αριθμό παθογόνων στο υπόστρωμα και στο χλοοτάπητα. Ο κίνδυνος για την υγεία μπορεί να είναι αρκετά μικρότερος έναντι της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ωστόσο όμως θα πρέπει επίσης να καθοριστεί με ακρίβεια. Απαιτείται συνεχής πειραματισμός και σε διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες.
3. Η ηλιακή ακτινοβολία φαίνεται να διαδραμάτισε σημαντικότερο ρόλο σε σχέση με τη θερμοκρασία, στην αδρανοποίηση παθογόνων, ειδικά για το χλοοτάπητα. Σε μερικές περιπτώσεις με τη χρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων τριτοβάθμιας επεξεργασίας ο αριθμός των παθογόνων στο χλοοτάπητα έδειξε να είναι μηδενικός, ακριβώς δύο ώρες μετά από την εφαρμογή, πράγμα που δείχνει την ισχυρή επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην αδρανοποίηση των παθογόνων. Η δυνατότητα επιβίωσης παθογόνων στο υπόστρωμα πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω σε σχέση με τον τύπο και το βάθος του εδάφους. Επίσης σε σχέση με την ποσότητα των υγρών αποβλήτων που προστίθεντα και φυσικά την ποιότητα τους (φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

Λεξιλόγιο Αγγλικών – Ελληνικών Όρων:

Five Days Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο πέντε ημερών

Cation exchange capacity (CEC), κατιονική ανταλλαγή ικανότητας

Colony forming Unit (cfu), σχηματισμένη μονάδα αποικιών

Electrical conductivity (EC), ηλεκτρική αγωγιμότητα

Faecal coliform (FC), θερμοανθεκτικά κολοβακτηρίδια (κολοβακτηρίδια κοπρικής προέλευσης)

Most probable number (MPN), πιθανότερος αριθμός (βακτηριδίων)

Nephelometric Turbidity Units (N.T.U.), νεφελομετρικές μονάδες θολότητας

Sodium absorption rate (SAR), ρυθμός απορρόφησης νατρίου

Suspended solids (SS), αιωρούμενα στερεά

Total coliform (TC), ολικά κολοβακτηρίδια

Total dissolved solids (TDS), ολικά διαλυμένα στερεά

Total nitrogen (TN), ολικό άζωτο

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Η πρώτη εφαρμογή (δοκιμασμένη) πραγματοποιήθηκε στις 30/7/02 και έγινε επιφανειακή άρδευση με αστικά υγρά απόβλητα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας στην ομάδα Α και αστικά υγρά απόβλητα τριτοβάθμιας επεξεργασίας στην ομάδα Β. Η δοκιμή αυτή ΔΕΝ χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο "Αποτελέσματα και Συζήτηση".

Η δειγματοληψία γίνονταν 3 φορές κατά την διάρκεια της ημέρας και παράλληλα μετρούνταν η θερμοκρασία και η ένταση της φωτεινότητας (Lux) Τα αποτελέσματα από την ζύγιση που γίνονταν στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες ΙΙ.1, ΙΙ.2, ΙΙ.3.

Πίνακας ΙΙ.1: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού πριν την άρδευση με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα (δοκιμαστική εφαρμογή).

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>			<u>Ωρα: 08:00</u> <u>Θερμοκρασία: 26° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 30000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:10)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:2)	H ₂ O (ml)
A ₁	5,2	52	29,7 gr	59,4
A ₂	2,5	25	25,3 gr	50,6
A ₃	2,4	24	37,5 gr	75
B ₄	2,0	20	31,6 gr	63,2
B ₅	2	20	24,1 gr	48,2
B ₆	2,7	27	23,9 gr	47,8

Πίνακας ΙΙ.2: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας Α, τριτοβάθμιας επεξεργασίας Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>			<u>Ωρα: 08:00</u> <u>Θερμοκρασία: 26° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 30000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:10)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:2)	H ₂ O (ml)
A ₁	4gr	40	27gr	54
A ₂	4,4gr	44	39gr	78
A ₃	4,5gr	45	38gr	76
B ₄	2,1gr	21	33,4gr	66,8
B ₅	3,3gr	33	21,6gr	43,2
B ₆	2,3gr	23	43,1gr	86,2

Πίνακας II.3: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας Α, τριτοβάθμιας επεξεργασίας Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 12:00</u> <u>Θερμοκρασία: 36° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 78500 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:10)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:2)	H ₂ O (ml)	
A ₁	3,5 gr	35	33,82 gr	67,64	
A ₂	1,8 gr	18	30,59 gr	61,18	
A ₃	2,8 gr	28	29,07 gr	58,14	
B ₄	1 gr	10	30,2 gr	60,4	
B ₅	2,1 gr	21	22,23 gr	44,46	
B ₆	0,5 gr	5	27,74 gr	55,48	

Στις 6/8/02 έγινε επιφανειακή άρδευση με δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αστικά υγρά απόβλητα και πάρθηκαν δείγματα μόνο από αυτή την εφαρμογή. Τα αποτελέσματα από την ζύγιση που έγινε στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες II.4, II.5, II.6, II.7.

Πίνακας II.4: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού πριν την άρδευση με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 34° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 30000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	3,99gr	75,81	4,8 gr	43,2	
A ₂	2,28gr	43,32	11,07 gr	99,63	
A ₃	3,99 gr	75,81	7,38 gr	66,42	

Πίνακας II.5: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας Α)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 34° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 30000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	3,3 gr	62,7	5,9 gr	53,1	
A ₂	3,5 gr	66,5	10,7 gr	96,3	
A ₃	2,7 gr	51,3	7,3 gr	65,7	

Πίνακας II.6: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας A)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 09:00</u> <u>Θερμοκρασία: 39° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 32000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	2,8 gr	53,2	7 gr	63	
A ₂	2,7 gr	51,3	6,3 gr	56,7	
A ₃	3 gr	57	9,1 gr	81,9	

Πίνακας II.7: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας A)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 11:00</u> <u>Θερμοκρασία: 42° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 68000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	2,4 gr	45,6	9,7 gr	87,3	
A ₂	2,9 gr	55,1	5,2gr	46,8	
A ₃	2,2 gr	41,8	6,8 gr	61,2	

Στις 7/8/02 έγινε επιφανειακή άρδευση με αστικά υγρά απόβλητα τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα από την ζύγιση που έγινε στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες II.8,II.9,II.10,II.11.

Πίνακας II.8: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού πριν την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 22° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 27000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₄	2,7 gr	51,3	6 gr	54	
B ₅	2,5 gr	47,5	5,1 gr	45,9	
B ₆	1,7 gr	32,3	7 gr	63	

Πίνακας II.9: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμιας επεξεργασίας Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 22° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 27000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₄	4,5 gr	85,5	4,6 gr	41,4	
B ₅	2,5 gr	47,5	7,5 gr	67,5	
B ₆	1,6 gr	30,4	6,5 gr	58,5	

Πίνακας II.10: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμιας επεξεργασίας Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 09:00</u> <u>Θερμοκρασία: 35° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 30000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₄	2,3 gr	43,7	8,4 gr	75,6	
B ₅	4 gr	76	10,6 gr	95,4	
B ₆	3,8 gr	72,2	7,5 gr	67,5	

Πίνακας II.11: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμιας επεξεργασίας Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 11:00</u> <u>Θερμοκρασία: 39° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 68000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₄	2,1 gr	39,9	6,4 gr	57,6	
B ₅	2,6 gr	49,4	6,3 gr	56,7	
B ₆	1,4 gr	26,6	8,7 gr	78,3	

Στις 26/8/02 έγινε επιφανειακή άρδευση από αστικά υγρά απόβλητα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα από την ζύγιση που έγινε στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες II.12, II.13, II.14, II.15.

Πίνακας II.12: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού πριν την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 25° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 24000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	5gr	95	4gr	36	
A ₂	2gr	38	8gr	72	
A ₃	3,1gr	58,9	5gr	45	

Πίνακας II.13: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας Α)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 25° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 24000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	2gr	38	5gr	45	
A ₂	3gr	57	8gr	72	
A ₃	2gr	38	5gr	45	

Πίνακας II.14: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας Α)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 09:00</u> <u>Θερμοκρασία: 31° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 24000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	2gr	38	8gr	72	
A ₂	3gr	57	6gr	54	
A ₃	2,7gr	51,3	7gr	63	

Πίνακας II.15: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας Α)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 11:00</u> <u>Θερμοκρασία: 34° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 60000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	3gr	57	7gr	63	
A ₂	2gr	38	6gr	54	
A ₃	3gr	57	6,8gr	61,2	

Στις 27/8/02 έγινε επιφανειακή άρδευση με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα από την τριτοβάθμια επεξεργασία. Τα αποτελέσματα από την ζύγιση που έγινε στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος αναγράφονται στους παρακάτω πίνακες II.16, II.17, II.18, II.19.

Πίνακας II.16: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού πριν την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 24° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 11000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₄	2gr	38	5gr	45	
B ₅	3gr	57	5,3gr	47,7	
B ₆	2,2gr	41,8	6gr	54	

Πίνακας II.17: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμιας επεξεργασίας Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 24° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 11000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₄	2,4gr	45,6	6gr	54	
B ₅	2gr	38	4gr	36	
B ₆	3gr	57	5,3gr	47,7	

Πίνακας II.18: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμιας επεξεργασίας Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 09:00</u> <u>Θερμοκρασία: 27° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 32000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₄	2gr	38	5gr	45	
B ₅	3,2gr	60,8	6gr	54	
B ₆	1,5gr	28,5	6,5gr	58,5	

Πίνακας II.19: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμιας επεξεργασίας Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 11:00</u> <u>Θερμοκρασία: 33° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 62000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₄	2,2gr	41,8	6gr	54	
B ₅	3gr	57	6,8gr	61,2	
B ₆	2,6gr	49,4	7,2gr	64,8	

Στις 9/9/02 έγινε επιφανειακή άρδευση με αστικά υγρά απόβλητα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα από την ζύγιση που έγινε στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες II.20, II.21, II.22, II.23.

Πίνακας II.20: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού πριν την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 27° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 20000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	0,8	15,2	4,9	44,1	
A ₂	1,6	30,4	9,5	85,5	
A ₃	0,5	9,5	8,5	76,5	

Πίνακας II.21: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας A)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 27° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 20000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	2,4	45,6	11,4	102,6	
A ₂	2,1	39,9	8,3	74,7	
A ₃	3,6	68,4	7,5	67,5	

Πίνακας II.22: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας A,)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 09:00</u> <u>Θερμοκρασία: 27° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 30000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	1,4	26,6	6,4	57,6	
A ₂	0,6	11,4	4,6	41,4	
A ₃	1,4	26,6	6,3	56,7	

Πίνακας II.23: Βάρος δειγμάτων μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας A)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 11:00</u> <u>Θερμοκρασία: 27° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 44.000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	1,7	32,3	7,8	70,2	
A ₂	1,1	20,9	8,2	73,8	
A ₃	2,9	55,1	11,7	105,3	

Στις 10/9/02 έγινε επιφανειακή άρδευση από την τριτοβάθμια επεξεργασία αστικών υγρών απόβλητων. Τα αποτελέσματα από την ζύγιση που έγινε στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες II.24, II.25, II.26, II.27.

Πίνακας II.24: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού πριν την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 27° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 13,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₁	1,3	24,7	8,7	78,3	
B ₂	1,5	28,5	9	81	
B ₃	1,6	30,4	9,6	86,4	

Πίνακας II.25: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμια επεξεργασία Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 27° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 13,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₁	2,4	45,6	10,3	92,7	
B ₂	2,4	45,6	4,2	37,8	
B ₃	1,3	24,7	11,6	104,4	

Πίνακας II.26: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμια επεξεργασία Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 09:00</u> <u>Θερμοκρασία: 33° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 28,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητα (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₁	1,6	30,4	3,4	30,6	
B ₂	1	19	7,6	68,4	
B ₃	1,4	26,6	8,3	74,7	

Πίνακας II.27: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμια επεξεργασία Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 11:00</u> <u>Θερμοκρασία: 38° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 64,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητας (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₁	1,8	34,2	7	63	
B ₂	1,6	30,4	3,6	32,4	
B ₃	2	38	6	54	

Στις 24/9/02 έγινε επιφανειακή άρδευση από την δευτεροβάθμια επεξεργασία αστικών υγρών απόβλητων . Τα αποτελέσματα από την ζύγιση που έγινε στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες II.28, II.29, II.30, II.31.

Πίνακας II.28: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού πριν την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 26° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 10,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητας (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	5,13	97,47	3,78	34,02	
A ₂	10	190	7,47	67,23	
A ₃	0,19	3,61	4,5	40,5	

Πίνακας II.29: Βάρος δειγμάτων μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμια επεξεργασία Α)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 26° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 10,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητας (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	2gr	38	4,5gr	40,5	
A ₂	2,09gr	39,71	6gr	54	
A ₃	2gr	38	5gr	45	

Πίνακας II.30: Βάρος δειγμάτων μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας A)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 09:00</u> <u>Θερμοκρασία: 26° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 31,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητας (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	2gr	38	7,65gr	68,85	
A ₂	3gr	57	6gr	54	
A ₃	2,28gr	43,32	7gr	63	

Πίνακας II.31: Βάρος δειγμάτων μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (δευτεροβάθμιας επεξεργασίας A)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 11:00</u> <u>Θερμοκρασία: 27° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 34,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητας (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
A ₁	3gr	57	5,4gr	48,6	
A ₂	2,47gr	46,93	5,49gr	49,41	
A ₃	3gr	57	6,8gr	61,2	

Στις 25/9/02 έγινε επιφανειακή άρδευση από την τριτοβάθμια επεξεργασία αστικών υγρών απόβλητων. Τα αποτελέσματα από την ζύγιση που έγινε στα δείγματα του χλοοτάπητα και του υποστρώματος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες II.32, II.33, II.34, II.35.

Πίνακας II.32: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού πριν την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 25° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 12,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητας (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₁	9,5	180,5	8,28	74,52	
B ₂	1,5	28,5	18	162	
B ₃	1,6	30,4	9	81	

Πίνακας II.33: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμια επεξεργασία Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 25° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 12,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητας (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₁	1,9	36,1	9,9	89,1	
B ₂	5,7	108,3	4,05	36,45	
B ₃	1,3	24,7	10,8	97,2	

Πίνακας II.34: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμια επεξεργασία Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 07:00</u> <u>Θερμοκρασία: 25° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 12,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητας (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₁	0,95	18,05	2,7	24,3	
B ₂	1	19	7,2	64,8	
B ₃	1,14	21,66	8,3	74,7	

Πίνακας II.35: Βάρος δειγμάτων και αναλογία νερού μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (τριτοβάθμια επεξεργασία Β)

<u>Συνθήκες δειγματοληψίας</u>				<u>Ωρα: 11:00</u> <u>Θερμοκρασία: 38° C</u> <u>Ένταση Η.Α.: 64,000 Lux</u>	
Ζαρντινιέρες	Χλοοτάπητας (1:19)	H ₂ O (ml)	Υπόστρωμα (1:9)	H ₂ O (ml)	
B ₁	0,38	7,22	6,3	56,7	
B ₂	1,14	21,66	2,7	24,3	
B ₃	2	38	6,3	56,7	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι μεταβολές του αριθμού των ολικών κολοβακτηριδίων στο χλοοτάπητα και στο υπόστρωμα που αρδεύτηκαν με υγρά απόβλητα δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας σε τέσσερις εφαρμογές, σε σχέση με το χρόνο δειγματοληψίας.

Πίνακας ΙΙΙ.1: Μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g) στο χλοοτάπητα που αρδεύτηκαν με υγρά απόβλητα δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας σε τέσσερις εφαρμογές σε σχέση με το χρόνο δειγματοληψίας.

ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ Δευτεροβάθμιας επεξεργασίας	Εφαρμογή1	Εφαρμογή 2	Εφαρμογή 3	Εφαρμογή 4	Μέσος όρος (N=4)	Τυπική απόκλιση
A Πριν	31,7	168,9	333,0	122	163,9	126,3077762
A 7:00	8233,3	5383,3	3400,0	4200	5304,2	2115,917409
A 9:00	0,0	0,0	538,3	30	142,1	264,5449447
A 11:00	2185,0	749,4	1155,8	780	1217,6	670,905175

Πίνακας ΙΙΙ.2: Μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g) στα δείγματα του υποστρώματος που αρδεύτηκαν με υγρά απόβλητα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας σε τέσσερις εφαρμογές σε σχέση με το χρόνο δειγματοληψίας.

ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ Δευτεροβάθμιας επεξεργασίας	Εφαρμογή1	Εφαρμογή 2	Εφαρμογή 3	Εφαρμογή 4	Μέσος όρος (N=4)	Τυπική απόκλιση
AB	120,0	190,0	720,0	220	312,5	274,8787612
A 7:00	6600,0	4350,0	5645,0	3800	5098,8	1264,847652
A 9:00	390,0	30,0	840,0	650	477,5	350,7491981
A 11:00	300,0	265,0	1215,0	420	550,0	448,2744695

Πίνακας III.3: Μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g) στο χλοοτάπητα που αρδεύτηκαν με υγρά απόβλητα τριτοβάθμιας επεξεργασίας σε τέσσερις εφαρμογές σε συνάρτηση με το χρόνο δειγματοληψίας.

ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ Τριτοβάθμιας επεξεργασίας	Εφαρμογή1	Εφαρμογή 2	Εφαρμογή 3	Εφαρμογή 4	Μέσος όρος (N=4)	Τυπική απόκλιση
B Πριν	0,0	15,0	0,0	0	3,8	7,5
B 7:00	390,0	300,0	0,0	120	202,5	175,57049 87
B 9:00	0,0	105,0	0,0	0	26,3	52,5
B 11:00	0,0	510,0	0,0	0	127,5	255

Πίνακας B.III: Μεταβολές του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων (cfu/g) για δείγματα του υποστρώματος που αρδεύτηκαν με υγρά απόβλητα τριτοβάθμιας επεξεργασίας σε τέσσερις δοκιμές σε σχέση με το χρόνο δειγματοληψίας.

ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ Τριτοβάθμιας επεξεργασίας	Εφαρμογή1	Εφαρμογή 2	Εφαρμογή 3	Εφαρμογή 4	Μέσος όρος (N=4)	Τυπική απόκλιση
B Πριν	135,0	46,7	0,0	30	52,9	58,02896786
B 7:00	391	136,6667	150	210	221,9	117,1476988
B 9:00	123,0	45,0	0,0	92	65,0	53,90732789
B 11:00	313,5	40,0	60,0	80	123,4	127,7976102

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abughararah, ZH., 1994. Effect of temperature on the kinetics of wastewater disinfections using ultraviolet -radiation. Environmental science and health part A- environmental science and engineering toxic and hazardous substance control (Environ. Sci. and Health Part A- Environ. Sci. and Eng. Toxic Hazard. Subst. Control), 29,585-603.
2. Αγγελάκης, Α.Ν., Κ.Π. Τσαγκαράκης, Ο.Ν. Κοτσελίδου και Ε. Βαρδάκου. 2000. Ανάγκη θέρμανσης Ελληνικών Προδιαγραφών Ανάκτησης και Επαναχρησιμοποίησης Εκρών Επεξεργασμένων Αστικών Υγρών Αποβλήτων: Μια Προκαταρκτική Προσέγγιση. Τεχνική Έκθεση για το ΥΠΕΧΩΔΕ και την Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης Αποχέτευσης Ελλάδας (ΕΔΕΥΑ). Λάρισα, σελ. 109.
3. Αγγελάκης, ΑΝ. και Tsobanoglous, G., 1995. Υγρά απόβλητα. Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτησης, επαναχρησιμοποίησης και διάθεσης εκρών. Ηράκλειο, Ελλάδα, 2,157-199.
4. Angelakis, A.N., Chartzoulakis, M., Salgot, 2001. Wastewater reclamation and reuse.,7,161-165.
5. APHA, 1995. Standard methods: for the examination of water and wastewater. Published jointly by: American Public Health Association, American Water Works Association, Water environment federation, 19th Edition, Washington DC.
6. Armon, R., Gold, D., Brodsky, M., Oron, G. (2002). Surface and subsurface irrigation with effluents of different qualities of Cryptosporidium oocysts in soil and on crops. Water science and technology (Water Sci. Technol), 46,115-122.
7. Ayers, R.S and K.K. Tanji. Agronomic Aspects of Crop Irrigation with Wastewater. Water Forum' 81, Am. Soc. Of Civil Engs., vol. 1, p. 578, 1981.
8. Ayers, R.S and D.W. Westcod. Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Revision 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 1985.
9. Blunemthal, UJ. (2001). The risk of enteric infections associated with wastewater reuse: the effect of season and degree of storage of wastewater. Transactions of the royal society of tropical medicine and hygiene (Trans. Roy Soc. Trop.Med. Hyg.),95, IS 2, 8-12.
10. Bontoux, J., Courtois, G.,(1996). Wastewater reuse for irrigation in France. Water science and technology (Water Sci. Technol.), 33, IS 10-11, 45-49.
11. Campos, C., Oron, G., Salgot, M., Gillerman, L. , Casals, G., (2000a). Attenuation of microorganisms in the soil during drip irrigation with waste stabilization pond effluent. Water Sci. Technol. 42,387-392.

12. Campos, C., Oron, G., Salgot, M., Gillerman, L. (2000b). Behaviour of the fecal pollution indicators in a soil irrigated with treated wastewater under on surface and subsurface drip irrigation. *Water science and technology (Water Sci. Technol.)*, 42, IS 1-2, 75-79.
13. Chang, C.A, A.R Page and T. Ashano. 1995. Developing health-related chemical guidelines for wastewater and sewage sludge applications in agriculture. WHO Geneva.
14. Chartzoulakis, K.S., Paranychinakis, N.V. and Angelakis, A.N., 2001. Water resources management in the island of Crete, Greece with emphasis on the agricultural use. *Water Policy*, 3,193-205.
15. Cleick, P., 2000. The World's Water 2000-2001. *Water Reclamation and Reuse: Waste Not, Want Not*,7, 139.
16. EPA, 1992. Guidelines for Water Reuse, EPA/625/R-92/00, USA.
17. Feigin, A., Ravina, I., Shalhevel, J., 1991. Irrigation with treated sewage effluent,132-140.
18. Gantzer, C., Gillerman, L., Kuznetsov, M., Oron, G. (2001). Adsorption and survival of faecal coliforms, somatic coliphages and F-specific RNA phages in soil irrigated with wastewater. *Water science and technology (Water Sci. Technol.)*, 43,117-124.
19. Lazarova, V., Hills, S., Birks, R., 2002. Using recycled water for non – potable, urban uses: a review with particular reference symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece,81-84.
20. Λέκκα, Θ. (1992). Από άρθρο εφημερίδας:: Το πρόβλημα των υγρών αποβλήτων. ΤΟ ΒΗΜΑ της Κυριακής 7 Ιουνίου,1992, σελ 45.
21. Madigan, M., Martinko, J., and Parker, J., 2003. *Brock Biology of Microorganisms*, Pearson Education Ltd, New Jersey, USA.
22. Maier, R.M., Pepper, I.L. and Gebra, C.P., 2000. *Environmental Microbiology*, Academic Press, San Diego, USA.
23. Metcalf and Eddy, 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse 3rd Ed.* Mc Graw-Hill, Inc, USA, 17,1195-1196.
24. Mujeriego, R., Sala, L., Carbo, M. and Turet, J., 1996. Agronomic and public health assessment of reclaimed water quality for landscape irrigation. *Water Sci. Technol.*, 33,335-334.
25. Nurizzo, C., Bonomo, L., Malpei, F.(2001). Some economic considerations on wastewater reclamation for irrigation, with reference to the Italian situation. *Water science and technology (Water Sci. Technol.)*, 43, 75-81.
26. Oron, G., Àrmon, R., Mandelbaum, R., Manor, Y., Campos, C., Gillerman, L., Salgot, M., Gerba, C., Klein, I., Enriquez, C. (2001). Secondary wastewater disposal for crop irrigation with minimal risks. *Water science and technology (Water Sci. Technol.)*, 43, 139-146.
27. Oron, G., Salgot, M., Gillerman, L., Casals, G. (2000). Attenuation of microorganisms in the soil during drip irrigation with waste stabilization pond effluent. *Water science and technology (Water Sci. Technol.)*, 42, 387 – 392.

28. Papadopoulos, I.1995. Present and perspective use of wastewater for irrigation in the Mediterranean basin. 2nd Intern. Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse (A.N. Angelakis *et al.*, Eds.), IAWQ, Iraklio, Greece Vol.2: 735-746.
29. Pettygrove, G.S and T. Asano.1988. Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater - Aguidance Mannual, 3rd Ed.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI, 1988
30. Rajkowski, KT., Rice, EW. (1999). Recovery and survival of Escherichia coli O157 : H7 in reconditioned pork – processing wastewater. Food protection (Food Prot.), 62,731- 734.
31. Σαββακης, Κ.Ε, 2002. Χημική Τεχνολογία. Εισαγωγή στην Περιβαλλονική Τεχνολογία, Θεσσαλονική,13,488-513
32. Salgot M. and A.N. Angelakis. 2000. Guidelines and regulations on wastewater reuse. Water Sci. and Techn. (in press).
33. Shelef, G., Azon, Y. (1996). The coming era of intensive wastewater reuse in the Mediterranean region. Water science and technology (Water Sci. Technol.), 33, 10-11, 115-125.
34. Shuval, H.I., Cohen, J and Kolodney, R.(1973). Regrowth of coliforms and fecal coliforms in chlorinated wastewater effluent. Water Res, 7,537-546.
35. Sinton, LW., Hall, CH., Lynch, Pa., Davies-Colley, RJ. (2002). Sunlight inactivation of fecal indicator bacteria and bacteriophages from waste stabilization pond effluent in fresh and saline waste. Applied and environmental microbiology (Appl. environ. microbiol.), 68,1122-1131.
36. Σπαντιδάκης, Ι.Γ., 1999. Γράστις. Επιστήμη και τεχνική του χλοοτάπητα, Αθηνά. 3,4,70-92, 99-110, 173.
37. Στάμου, Α.Ι., 1995. Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων: Με παρατεταμένο αερισμό και βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών. 8,177-197.
38. Tanaka, H., Asano, T., Schroeder, ED., Tchobanoglous, G. (1998). Estimating the safety of wastewater reclamation and reuse using enteric virus monitoring data. Water environment research (Water Environ. Res), 70, IS 1, 39-51.
39. Tchobanoglous, G and Burton, F.L., 1991. Wastewater Enginneering: Treatment, Disposal and Reuse.
40. Τσαγκαράκης, Κ.Π., Παρανυχιανάκης, Ν., Αγγελάκης, ΑΝ., 2003. Προτεινόμενα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα. Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος, HELECO' 03, 4^η Διεθνή έκθεση και συνέδριο για την τεχνολογία περιβάλλοντος, Τόμος Α, 236-255.
41. Ursula J., Blumenthal, Anne Peasey, Prof., Guillermo Ruiz – Palacios and Prof. Duncan D. Mara, 2000. Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture recommended revisions based on new research evidence. Well water and environmental Health at London and and Loughborough. Task No: 68 part 1, 2,19-10

42. Van der Steen, P., Brenner, A., Shabtai, Y., Oron., G. (2000a). The effect of environmental conditions on faecal coliform decay in post-treatment of UASB reactor effluent. *Water science and technology (Water Sci. Technol.)*, 42, 111-118.
43. Van der Steen, P., Brenner, A., Shabtai, Y., Oron., G. (2000b). Improved fecal coliform decay in integrated duckweed and algal ponds. *Water science and technology (Water Sci. Technol.)*, 42,10–11, 363-370.
44. WHO, 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. World Health Organization, Technical Report Series, 778, Geneva.
45. Zdragas, A., Zalidis, GC., Takavaloglou, V., Katsavoumi, S., Anastasiadis, ET, Eskridge, K., Panoras, A., (2002). The effect of environmental conditions on the ability of a constructed wetland to disinfect municipal wastewaters. *Environmental Management (Environ. Manage.)*, 29, 510-515.

Από ηλεκτρονικές πηγές:

1. <http://www.anatoliki.gr/life/gr/p4.htm>