

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

Αριθμός	73
Ημερομηνία	2-3-2005

ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ ΜΕ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

της φοιτήτριας

ΧΟΥΛΙΑΡΑ ΧΡΥΣΑΝΘΗ

ΒΟΛΟΣ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2005



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 4454/1
Ημερ. Εισ.: 05-07-2005
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2005
ΧΟΥ

«Άρδευση κωνοφόρων με υγρά απόβλητα.»

Χουλιάρη Χρυσάνθη

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπουσα: Καθηγήτρια Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη

Εξεταστές: Αναπληρωτής Καθηγητής Θεοφάνης Γέμος

Επίκουρος Καθηγητής Γιώργος Δ. Νάνος

*Στους γονείς μου,
στα αδέρφια μου,
στον Αργύρη.*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ερευνητικών δραστηριοτήτων που διεξάγει το εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την καθηγήτρια Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη για την ανάθεση του θέματος και την καθοδήγηση της καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Καλφούντζο, ερευνητή του Ι.Χ.Τ.ΕΛ. για την σημαντική του βοήθεια και για το χρόνο που διέθεσε για την ολοκλήρωση της πτυχιακής διατριβής μου.

Εξεταστές της παρούσας εργασίας ήταν ο Αναπληρωτής Καθηγητής Θεοφάνης Γέμτος και ο Επίκουρος Καθηγητής Γιώργος Δ. Νάνος τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω για την διόρθωση, τις συμβουλές και την εξέταση της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου η οποία με στήριξε υλικά και ηθικά καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών και κυρίως κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, της πόλεως του Βόλου, στην ανάπτυξη τριών καλλωπιστικών κωνοφόρων. Το πείραμα έγινε σε συνεργασία με την Διεύθυνση Ύδρευσης Αποχέτευσης μείζονος Περιοχής Βόλου και τη μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού Βόλου που διαθέτει τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας των αποβλήτων.

Το πείραμα εγκαταστάθηκε το έτος 2001, στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Οι μετρήσεις άρχισαν από το έτος 2002. Ο πειραματικός αγρός καταλάμβανε έκταση 100 m² περίπου. Χωρίστηκε σε δυο ίσα πειραματικά τεμάχια των 48 m² περίπου με ένα διάδρομο μεταξύ τους. Τα κωνοφόρα που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του πειράματος ήταν τα *Thuja orientalis* c.v. *Compacta Aurea nana*, *Cupressus macrocarpa* c.v. *Cold Crest*, *Juniperus chinensis* c.v. *Stricta*. Πραγματοποιήθηκαν δύο επεμβάσεις. Και στις δύο επεμβάσεις φυτεύτηκαν ο ίδιος αριθμός φυτών των παραπάνω ειδών και χρησιμοποιήθηκε υπόγεια στάγδην άρδευση. Η πρώτη επέμβαση αρδεύταν αποκλειστικά με νερό του αγροκτήματος ενώ η δεύτερη αρδεύταν περιοδικά και με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα. Τα υγρά απόβλητα προέρχονταν από το Βιολογικό καθαρισμό του Βόλου τα οποία είχαν υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία και χλωρίωση.

Τον Απρίλιο 2002 έγινε η μεταφύτευση των κωνοφόρων *Thuja orientalis*, *Cupressus macrocarpa* και *Juniperus chinensis*.

Οι αρδεύσεις πραγματοποιήθηκαν από το 3^ο δεκαήμερο Μαΐου έως το 3^ο δεκαήμερο Σεπτεμβρίου. Χρησιμοποιήθηκε η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση γιατί δεν τίθεται κάποιο όριο μικροβιολογικών χαρακτηριστικών του αρδευτικού νερού από τον Βιολογικό Καθαρισμό (Bahri et. al., 2002). Δεν χορηγήθηκε λίπανση σε καμία μεταχείριση. Οι κυριότερες παρατηρήσεις που έγιναν αφορούσαν το ύψος και τη διάμετρο φυτοκόμης των παραπάνω ειδών.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με τη χρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Αντίθετα έχουμε εξοικονόμηση ποσότητας νερού άρδευσης. Οι μετρήσεις του ύψους των κωνοφόρων έδειξαν ότι η μεταχείριση του καθαρού νερού απέδωσε σε μεγαλύτερη αύξηση του ύψους των κωνοφόρων και για τα 3 είδη.

Από τη μέτρηση της μεταβολής της διαμέτρου της φυτοκόμης, διαπιστώθηκε ότι η μεταχείριση του καθαρού νερού υπερτερούσε έναντι της μεταχείρισης του λύματος και στις 3 καλλιέργειες. Η υπεροχή αυτή ήταν στατιστικά σημαντική ($p=0,01$) στο είδος *Cupressus*.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1. Γενικά.....	10
1.2. Σκοπός του έργου.....	12
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	
2.1. Γενικά	13
2.2.Πρόσφατες έρευνες	14
3. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ-ΤΑ ΚΩΝΟΦΟΡΑ	
3.1. Γενικά	17
3.2. Η Τούγια	18
3.3. Το Στρίκτο.....	19
3.4. Ο Λεμονοκυπάρισσος	20
4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	
4.1. Γενικά	22
4.2. Περιγραφή του συστήματος	23
4.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	23
5. ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	
5.1.. Χαρακτηριστικά υγρών αστικών αποβλήτων.....	25
5.2. Βιολογικός καθαρισμός Βόλου	25
5.3. Μέθοδος Βιολογικού καθαρισμού	27
5.4. Επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων για άρδευση.....	30
5.5. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών	

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

αποβλήτων προς άρδευση.....	32
6. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ-ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	
6.1. Πειραματικό πλάνο.....	39
6.2. Υλικά άρδευσης.....	40
6.3. Εξαμισίμετρο.....	43
6.4. Υπολογισμοί δόσεων άρδευσης και χρόνου άρδευσης.....	47
6.5. Μετρήσεις.....	50
6.5.1. Δειγματοληψία.....	51
6.5.2. Κλιματικά δεδομένα.....	51
6.5.3. Εδαφολογική ανάλυση.....	52
6.5.4. Υγρά απόβλητα-Νερό άρδευσης.....	52
6.6. Μέθοδοι ανάλυσης	53
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ	
7.1. Κλιματικά δεδομένα.....	54
7.2. Ύψος φυτών	55
7.3. Διάμετρος φυτοκόμης.....	57
7.4. Εξαμισοδιαπνοή	59
7.5. Εξοικονόμηση νερού.....	60
7.6. Παράμετροι του νερού αρδεύσεως.....	60
7.7. Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού.....	62
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
8.1. Γενικά.....	67
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	69
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75
10.1. Ελληνική βιβλιογραφία.....	75
10.2. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	77
10.3. Ηλεκτρονικές σελίδες.....	78

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Είναι γνωστό ότι τα 2/3 του πλανήτη μας αποτελείται από νερό. Σχεδόν το 98% είναι αλμυρό, κι από το υπόλοιπο το μεγαλύτερο ποσοστό βρίσκεται εγκλωβισμένο στους παγετώνες ή στο υπέδαφος. Δεν είναι επομένως τυχαίο που η λειψυδρία αποτελεί κοινωνικό και οικονομικό πρόβλημα για πολλές χώρες, ακόμη και αιτία πολέμων ([http7](#)).

Η συνεχής πληθυσμιακή αύξηση, η ρύπανση και η συνεχής υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών, η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων και οι περιοδικές ξηρασίες καθιστούν αναγκαία τη διερεύνηση και ανάπτυξη νέων πηγών νερού. Η εξοικονόμηση νερού μπορεί να επιτευχθεί με χρησιμοποίηση καλλιεργειών που απαιτούν μικρότερες ποσότητες νερού, με εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων άρδευσης (υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση) (Πανώρας, 1999). Μια άλλη λύση είναι η αξιοποίηση των υγρών επεξεργασμένων αποβλήτων. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αξιοποίησης τους όπως είναι η άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων, η χρήση τους στη βιομηχανία και ο εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Η άρδευση των καλλιεργειών είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος επαναχρησιμοποίησης γιατί:

- ☛ αποφεύγεται η υποβάθμιση των υπόγειων αποδεκτών(το οργανικό φορτίο και τα θρεπτικά που περιέχονται ακόμη και στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα δημιουργούν προβλήματα στο περιβάλλον),
- ☛ επιτυγχάνεται η φυσική τροφοδοσία του εδάφους και των φυτών με θρεπτικά στοιχεία, γεγονός που μπορεί να μειώσει την χρησιμοποίηση χημικών λιπασμάτων και

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

✎ αποτελούν έναν επιπλέον υδατικό πόρο, γεγονός που είναι πολύ σημαντικό σε χώρες όπου οι βροχοπτώσεις είναι ιδιαίτερα ανεπαρκείς (Αγγελάκης, 1995).

Η Αγγλία, είναι η πρώτη Ευρωπαϊκή χώρα όπου εγκρίθηκε νομοθετικά η ελεγχόμενη εφαρμογή υγρών αποβλήτων με επαναχρησιμοποίηση τους στο έδαφος και στους βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να έχει αποκτηθεί σήμερα αρκετή εμπειρία γύρω από την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων. Εκτιμάται ότι λειτουργούν πάνω από 100 έργα ελεγχόμενης εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος (Αγγελάκης, 1995).

Στο Ισραήλ, σήμερα, υπολογίζεται ότι περίπου το 92% των υγρών αποβλήτων συλλέγεται σε δημόσια αποχετευτικά δίκτυα όπου το 42% επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση και το 30% για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων (Αγγελάκης, 1995).

Παρ' όλα αυτά στην Ελλάδα δεν έχει ξεκινήσει ουσιαστικά η αξιοποίηση των υγρών επεξεργασμένων αποβλήτων πλην μεμονωμένων περιπτώσεων, όπως στην Κω (με την απευθείας άρδευση κάποιων δενδροκαλλιεργειών), και στο Ηράκλειο (έχει ξεκινήσει η μελέτη πιλοτικού έργου που θα επεξεργάζεται τις εκροές, οι οποίες θα χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του υποβαθμισμένου υπόγειου υδροφορέα της περιοχής της Φοινικιάς) (Τασούλα και άλλοι, 2000).

Η πτυχιακή αποτελείται από οκτώ κεφάλαια. Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της εργασίας μου ενώ επίσης αναφέρεται ο σκοπός της παρούσας εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται ιστορική αναδρομή για τη χρησιμοποίηση των υγρών επεξεργασμένων αποβλήτων ανά το κόσμο. Επίσης αναφέρονται στοιχεία από πρόσφατες έρευνες που έγιναν για την χρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται τα είδη των φυτών που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του πειράματος. Περιγράφονται μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών καθώς επίσης οι καλλιεργητικές απαιτήσεις και οι ανάγκες των καλλωπιστικών κωνοφόρων.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά στην υπόγεια στάγδην άρδευση. Γίνεται μια γενική περιγραφή του συστήματος και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται αναφορά στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων και οι μέθοδοι Βιολογικής Επεξεργασίας των αποβλήτων. Επίσης αναφέρονται και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων προς άρδευση.

Στο κεφάλαιο 6 περιγράφονται τα Υλικά και οι Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Αναλύονται η εγκατάσταση του πειράματος, οι μετρήσεις που διεξήχθησαν και η άρδευση με απόβλητα.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος. Δίνονται τα κλιματικά δεδομένα, τα αποτελέσματα της ανάπτυξης των κωνοφόρων, οι παράμετροι του νερού άρδευσης, η εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού και οι δόσεις άρδευσης των κωνοφόρων.

Στο κεφάλαιο 8 δίνονται τα Συμπεράσματα που διεξήχθησαν μετά την ολοκλήρωση του πειράματος. Στο κεφάλαιο 9 υπάρχει το Παράρτημα των φωτογραφιών που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στο κεφάλαιο 10 παρουσιάζεται η Βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου διατριβής, τόσο της ελληνικής όσο και της ξενόγλωσσας, αλλά και των ηλεκτρονικών διευθύνσεων του internet.

1.2. Σκοπός του έργου

Σκοπός του έργου ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της άρδευσης των υγρών επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων με τη μέθοδο της υπόγειας σταγόνας. Για το λόγο αυτό μελετήθηκαν χαρακτηριστικά ανάπτυξης σε τρία κωνοφόρα, η επίδραση του αρδευόμενου νερού στις εδαφικές ιδιότητες και η εξοικονόμηση νερού από τη χρησιμοποίηση λυμάτων.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1. Γενικά

Έχουν κατασκευασθεί σημαντικά έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σε διάφορα μέρη του κόσμου. Με την έναρξη εφαρμογής δικτύων αποχέτευσης σε μεγάλες πόλεις της Ευρώπης και της Αμερικής, στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, τα υγρά αστικά απόβλητα χρησιμοποιήθηκαν στις λεγόμενες "sewage farms" δηλαδή "γεωργικές εκμεταλλεύσεις λυμάτων". Στο Grand Canyon National Park στην Arizona, το 1926, χρησιμοποιήθηκαν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε διπλό σύστημα υδροδότησης για τον καθαρισμό τουαλετών και για άρδευση χλοοταπής. Στην Αγγλία, την πρώτη Ευρωπαϊκή χώρα όπου εγκρίθηκε νομοθετικά η ελεγχόμενη εφαρμογή υγρών αποβλήτων με επαναχρησιμοποίηση τους στο έδαφος και βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς έχει αποκτηθεί σήμερα αρκετή εμπειρία. Εκτιμάται ότι λειτουργούν πάνω από 100 έργα ελεγχόμενης εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος (Αγγελάκης, 1995).

Η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έχει σημαντικότερες εφαρμογές σε χώρες όπως η Η.Π.Α., το Ισραήλ, η Νότιος Αφρική, το Μεξικό κ.τ.λ. (Στάμου κ. ά., 1996). Στο Ισραήλ, σήμερα, υπολογίζεται ότι περίπου το 92% των υγρών αποβλήτων συλλέγεται σε δημόσια αποχετευτικά δίκτυα όπου το 42% επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση και το 30% για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων. Στο Μεξικό, περίπου 250.000 εκτάρια (2.500.000 στρέμματα) αρδεύονται με υγρά απόβλητα, για να αυξηθούν κυρίως το σιτάρι ή το σανό. Στην Γερμανία έχει επίσης αποκτηθεί αρκετή εμπειρία και αναπτυχθεί αξιόλογη τεχνογνωσία στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για γεωργικούς σκοπούς παρ' όλο που η χώρα δεν παρουσιάζει ανάγκη από συμπληρωματική άρδευση. Γενικά σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες παρατηρείται αξιόλογο ενδιαφέρον σε θέματα που αφορούν στην επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων (Αγγελάκης, 1995).

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Η Κύπρος θεωρείται μια πρωτοποριακή χώρα στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων. Το ξηροθερμικό κλίμα και το μικρό σχετικά ύψος, η άνιση κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε συσχετισμό με την έντονη τουριστική ανάπτυξη δημιουργούν άριστες προϋποθέσεις για έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων. Εκτός των πολυάριθμων μικρών μονάδων επαναχρησιμοποίησης των εκροών των υγρών αποβλήτων για ανάπτυξη χώρων πράσινου και άρδευση γεωργικών εκτάσεων, προγραμματίζεται η εκτέλεση μεγάλων σύγχρονων έργων ανάκτησης –επαναχρησιμοποίησης.

Στην Ιαπωνία η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων αρχικά εστιάστηκε, κυρίως, στο βιομηχανικό τομέα και δεν προβλέπεται άμεσα σημαντική επέκταση της χρήσης τους στον γεωργικό τομέα. Στην Αυστραλία θεωρείται μια από τις πρωτοπόρες χώρες στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων κυρίως για άρδευση κτηνοτροφικών φυτών (Αγγελάκης, 1995).

Παρ' όλα αυτά στην Ελλάδα δεν έχει ξεκινήσει ουσιαστικά η αξιοποίηση των υγρών επεξεργασμένων αποβλήτων πλην μεμονωμένων περιπτώσεων, όπως στην Κω (με την απευθείας άρδευση κάποιων δενδροκαλλιεργειών) και στο Ηράκλειο (έχει ξεκινήσει η μελέτη πιλοτικού έργου που θα επεξεργάζεται τις εκροές, οι οποίες θα χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του υποβαθμισμένου υπόγειου υδροφορέα της περιοχής Φοινικιάς) (Τασούλα και άλλοι, 2000).

2.2.Πρόσφατες έρευνες

Οι Al-Lahham et al., (2003) ερεύνησαν την επίδραση διαφορετικών μιγμάτων πόσιμου και επεξεργασμένου ύδατος στη ποιότητα των καρπών ντομάτας (*Lycopersicon esculentum*) στην Ιορδανία. Τελικά κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική λύση για την άρδευση της βρώσιμης ντομάτας η οποία έχει πρώτα μαγειρευτεί, αλλά όχι και για νωπή κατανάλωση υπό τον όρο ότι η ποιότητα αποβλήτων αποχέτευσης ελέγχεται συνεχώς για να αποφεύγεται η μόλυνση.

Στη Λάρισα διερεύνησαν τη καταλληλότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων της μονάδας βιολογικού καθαρισμού της πόλης για άρδευση και μερική λίπανση βάμβακος και καλαμποκιού και την επίδραση αυτών στις εδαφικές ιδιότητες.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των αποδόσεων χωρίς τη προσθήκη λιπάσματος τόσο στο βαμβάκι όσο και στο καλαμπόκι (Τσαντήλας κ. α., 1996).

Στη Θεσσαλονίκη διερεύνησαν την καταλληλότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση. Διαπιστώθηκε ότι τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα της πόλης της Θεσσαλονίκης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση των καλλιεργειών της ομώνυμης πεδιάδας, εξοικονομώντας αντίστοιχες ποσότητες φρέσκου νερού για άλλες χρήσεις καθώς και ικανοποιητικές ποσότητες χημικών λιπασμάτων. Ο κίνδυνος αλάτωσης και νατρίωσης των εδαφών μικρής διαπερατότητας είναι υπαρκτός, ενώ υφίσταται και κάποιος κίνδυνος τοξικότητας από Na, Cl, B, για ορισμένες καλλιέργειες όταν η άρδευση γίνεται με καταιονισμό. Για τους λόγους αυτούς απαιτείται προσεκτική διαχείριση των υγρών αποβλήτων προκειμένου να αποφευχθούν δυσμενείς επιπτώσεις στο έδαφος και στα φυτά (Πανώρας κ.α., 1999).

Στην Κρήτη μελετήθηκε η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των εκροών της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων των Χανίων. Από τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής προκύπτει ότι η επαναχρησιμοποίηση των βιολογικά επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση είναι εφικτή, με βασικά πλεονεκτήματα τη μετατροπή ακαλλιέργητων θαμνωδών εκτάσεων σε καλλιεργήσιμες και την προστασία από υφαλμύρωση του υπόγειου υδροφορέα, λόγω ανεξέλεγκτης άντλησης (Τασούλα κ. α., 2000).

Σε μια έρευνα στο Μεξικό εδάφη που αρδεύονταν για 80 χρόνια με υγρά απόβλητα, διαπιστώθηκε μια αύξηση 2,5 φορές του οργανικού φορτίου σε εδάφη Vertisols ενώ σε εδάφη Leptosols η αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας έτεινε να αυξηθεί. Επίσης αυξήθηκε η απονιτροποίηση χωρίς να έχει παρατηρηθεί αρνητική επίδραση από τα βαρέα μέταλλα (Ortega-Larrocce et. al., 2001).

Σε πείραμα άρδευσης ειδών Ευκαλύπτου, Λεύκας και Πλάτανου με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στα Χανιά της Κρήτης, δε παρατηρήθηκε επιβάρυνση του εδάφους με βαρέα μέταλλα. Επίσης από τη φυλλοδιαγνωστική που πραγματοποιήθηκε, δεν παρατηρήθηκε συσσώρευση κάποιων στοιχείων στα φύλλα των δέντρων που αρδεύονταν με τα απόβλητα, σε σχέση με τα δένδρα που αρδεύονταν με καθαρό νερό (Βουρδούμπας, 2000).

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Οι Vasquez-Montiel et. al., (1996) διεξήγαγαν πείραμα άρδευσης καλαμποκιού αρδεύοντας με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα από φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Στην αρχή η νιτροποίηση της αμμωνίας από τους μικροοργανισμούς των αποβλήτων προκάλεσε μια μικρή πτώση του pH, αλλά αυτή η μείωση εξομαλύνθηκε κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Για τη μεγαλύτερη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης, οι ανάγκες των φυτών σε άζωτο επιβεβαιώθηκαν και από τη χαμηλή συγκέντρωση του αζώτου στο έδαφος. Προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, η συνεχής παροχή νιτρικών ιόντων στο έδαφος, υπερέβη τις απαιτήσεις των φυτών και υπήρξε συσσώρευση νιτρικών στο έδαφος. Τα απόβλητα επίσης περιείχαν υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου, χωρίς όμως να παρατηρηθεί σημαντική συσσώρευση του στο έδαφος. Η λιπαντική αξία των αποβλήτων αποδείχθηκε από τις αυξημένες αποδόσεις στο στάδιο της φυσιολογικής ωριμότητας και τη συγκέντρωση του N στη καλλιέργεια.

Οι Yoon et. al., (2001) στο Πανεπιστήμιο Konkuk της Σεούλ, μελέτησαν την επίδραση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε καλλιέργεια ρυζιού και στο έδαφος. Η άρδευση με απόβλητα δεν επηρέασε αρνητικά την ανάπτυξη ή την απόδοση της καλλιέργειας του ρυζιού. Αντίθετα, έδωσε 10% έως 50% απόδοση από ότι στους μάρτυρες. Η χημική σύνθεση των αποβλήτων δεν ήταν περιοριστικός παράγοντας και δεν παρατηρήθηκε καμιά ανασχεση στην ανάπτυξη του ρυζιού, ακόμη και με μια σχετικά υψηλή συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων (έως 160 mg l^{-1}).

3. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ-ΤΑ ΚΩΝΟΦΟΡΑ

3.1. Γενικά

Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του πειράματος ήταν τα είδη *Juniperus chinensis* cv. *Stricta*, *Thuja orientalis* cv. *Compacta Aurea Nana* και *Cupressus macrocarpa* cv. *Gold Grest*. Ανήκουν στην Οικογένεια των Cupressaceae και Υποοικογένεια Cupressoideae. Είναι αειθαλή θάμνοι, γενικά ρητινούχοι και αρωματικοί ([http₂](#)).

Τα κωνοφόρα είναι δεντρώδη ή θαμνώδη φυτά, πάντα πλούσια σε ρητίνη, που παράγουν για καρπούς κώνους ή κουκουνάρια και που, εκτός από λίγες εξαιρέσεις, είναι αειθαλή. Ορισμένα είδη έχουν πολύ αργή αύξηση και γι' αυτό περιλαμβάνονται στα είδη, που ονομάζονται «νάνα». Χάρη στις πολλές μορφές, στα χρώματα, στο σχήμα της φυτοκόμης τους και στη δομή των φύλλων τους που δίνουν όλο το χρόνο χρώμα και αντιθέσεις, τα κωνοφόρα διατηρούν σ' όλες τις εποχές τη δική τους ιδιαίτερη γοητεία (Μαρσέλος, 1985).

Γενικά δεν απαιτούν ιδιαίτερη φροντίδα και θεωρούνται από τα πιο απλούστερα φυτά για τη διακόσμηση του κήπου ως προς τη φροντίδα. Τα κυπαρίσσια μπορούν να προσβληθούν από αφίδες και ακάρεα, που προκαλούν το μαρασμό τους. Για τις αφίδες γίνονται ψεκασμοί με βάση την νικοτίνη. Τα νεαρά δενδρύλλια προσβάλλονται από τεφρά σήψη όπου στα προσβεβλημένα μέρη εμφανίζεται μια γκριζωπή σήψη. Για την αντιμετώπιση των ασθενειών αυτών έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελέσματα οι ψεκασμοί με βορδιγάλειο πολτό και Καπτάν. Τα κυπαρίσσια είναι ευαίσθητα στον μύκητα ελκών *Coryneum*, για τον οποίο όμως δεν υπάρχει καμία θεραπεία. Τα άσχημα μολυσμένα δέντρα απαιτούν την πλήρη αφαίρεση ([http₃](#)).

Διατηρούν το φύλλωμά τους όλο το χρόνο, και οι καρποί ωριμάζουν από το Σεπτέμβριο έως τον Οκτώβριο. Στη χώρα μας καλλιεργούνται ως καλλωπιστικά σε πάρκα και κήπους και είναι ιδιαίτερης αξίας. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε ομάδες για

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

την δημιουργία φραχτών ή μεμονωμένα για διακοσμήσουν τις εισόδους των σπιτιών (Σαρλής, 1999).

3.2. Η Τούγια - *Thuja orientalis* c.v. *Compacta Aurea nana*

Η «Τούγια η ανατολική» («*Thuja orientalis*») είναι ένα αειθαλές κωνοφόρο και κατάγεται από τη Κίνα. Πρόκειται για πυκνό, ορθοτενές θάμνο πυραμοειδούς κόμης ο οποίος έχει πολύ βραδεία ανάπτυξη. Το πιο χαρακτηριστικό του θάμνου είναι η αλλαγή του χρώματος των φύλλων, το όμορφο χρυσοκίτρινο του καλοκαιριού παίρνει χαλκοκόκκινες ανταύγειες το χειμώνα. Δεν αντέχει στους δριμύς χειμώνες, γι' αυτό πρέπει να καλλιεργείται μόνο σε νότιες περιοχές. Αντίθετα είναι πολύ ανθεκτικό στη ξηρασία ([http4](#)).



Εικόνα 1. *Thuja orientalis* (Τούγια).

Καλλιεργείται εύκολα σε όλα τα εδάφη αλλά προτιμά κυρίως τα βαθιά και υγρά εδάφη. Φυτεύονται σε απάνεμα και ηλιόλουστα μέρη. Τα δενδρύλλια που προορίζονται για φράχτες φυτεύονται σε αποστάσεις 60-80cm. Οι κορυφές των κύριων βλαστών κόβονται για να ευνοηθεί η διακλάδωση. Είναι το μοναδικό είδος του γένους που δεν έχει την χαρακτηριστική μυρωδιά των κωνοφόρων. Τα τυπικά είδη πολλαπλασιάζονται με

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

σπόρο ενώ οι ποικιλίες με μοσχεύματα (Μαρσέλος, 1985). Διατηρεί το φύλλωμά του όλο το χρόνο, και οι καρποί ωριμάζουν από το Σεπτέμβριο έως τον Οκτώβριο. Γενικά μεταφυτεύεται εύκολα.

Στη χώρα μας καλλιεργείται ως καλλωπιστικό σε πάρκα και κήπους και είναι ένα καλλωπιστικό ιδιαίτερης αξίας (Σαρλής, 1999).



Εικόνα 2. *Juniperus chinensis* (Στρίκτο).

3.3. Το Στρίκτο- *Juniperus chinensis* c.v. *Stricta*

Ο «Γιουνίπερος ο κινέζικος» («*Juniperus chinensis*») έχει κομψή εμφάνιση και κωνική κόμη. Πρόκειται για μεγάλο δέντρο, που μπορεί να φθάσει το ύψος των 20 μέτρων. Συνήθως όμως καλλιεργείται ως θάμνος και φθάνει τα 7-8 μέτρα. Παράγει μπλε-μαυριδερούς καρπούς. Διατηρεί το φύλλωμά του όλο το χρόνο, ανθοφορεί τον Απρίλιο και οι καρποί ωριμάζουν τον Οκτώβριο. Μια από τις πιο διαδομένες ποικιλίες είναι η «Στενή» («*Stricta*») με κωνική κόμη και γκριζογάλανα φύλλα (Μαρσέλος, 1985).

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Δίοικος (σπάνια μόνοικος) αειθαλής θάμνος ή δέντρο με 25 μ ύψος. Ο φλοιός είναι γκρίζος-καφέ και κατά μήκος σχισμένος. Τα άνθη είναι αρωματικά και επικονιάζονται με τον άνεμο. Οι σπόροι είναι ωοειδείς, αμβλείς, τριγωνικοί στο διαγώνιο τμήμα, καφετής, 3-6 χιλ. μήκος και 2-5 χιλ. πλάτος, με κοιλώματα ρητίνης. Αριθμός χρωμοσωμάτων: $2n = 22, 33, 44$ ([http5](#)).

Το στρίκτο αναπτύσσεται σε όξινα αλλά και σε αλκαλικά εδάφη. Προσαρμόζεται εύκολα σε οποιαδήποτε περιβάλλον. Αναπτύσσεται καλύτερα με πλήρη ηλιοφάνεια αλλά αντέχουν και την ελαφριά διάστικτη σκιά. Είναι ανθεκτικό στα ξηρά εδάφη αλλά απαιτεί τακτικό πότισμα κατά το πρώτο χρόνο ([http8](#)).

3.4. Ο Λεμονοκυπάρισσος-*Cupressus macrocarpa* c.v. Cold Crest

Το είδος αυτό κατάγεται από την Καλιφόρνια και φυτεύεται ευρέως ως διακοσμητικό σε Καλιφόρνια και συχνά στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη. Εξαιρετικό αειθαλές δέντρο, γρήγορης σχετικά ανάπτυξης και με χρώμα φυλλώματος έντονα χρυσίζον.



Εικόνα 3. *Cupressus macrocarpa* (Λεμονοκυπάρισσος).

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Είναι ανθεκτικό στις παραθαλάσσιες περιοχές, όπου συχνά φυτεύεται για να σχηματίσει ανεμοφράκτες. Το σχήμα του, στην αρχή, είναι πυραμοειδές αλλά όταν γεράσει γίνεται πλαγιόκλαδο. Τα φύλλα έχουν χρυσοκίτρινο χρώμα και είναι αρωματικά. Ο φλοιός είναι καστανέρυθρος, τραχύς, ινώδης και τα κυπαρισσόμηλα είναι ενωμένα σε ομάδες κατά μήκος του βλαστού (Μαρσέλος, 1985).

Προσαρμόζεται σε όλα τα βαθιά και αποστραγγιζόμενα εδάφη. Δεν είναι πολύ ανθεκτικό στη ξηρασία. Φυτεύεται τον Οκτώβριο-Νοέμβριο ή τον Μάρτιο-Απρίλιο σε προσήλιες θέσεις. Πολλαπλασιάζεται με σπόρους, μοσχεύματα και καταβολάδες. Οι σπόροι είναι συνήθως 5-6 χιλ., καφέ σκούρο, μη πρασινωποί. Αριθμός χρωμοσωμάτων: $2n = 22$ (<http2>).



4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

4.1. Γενικά

Μια από τις σημαντικότερες μεθόδους άρδευσης στις μέρες μας είναι η υπόγεια στάγδην άρδευση. Η μέθοδος συνίσταται στην εφαρμογή μικρών ποσοτήτων νερού στην περιοχή του ριζοστρώματος των φυτών, υπό την μορφή σταγόνων. Επάνω σε σωλήνες από πολυαιθυλένιο είναι τοποθετημένοι ειδικοί σταλακτήρες μικρής διαμέτρου. Οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια του έδαφος κοντά στη ριζόσφαιρα των φυτών. Η υπόγεια άρδευση είναι μια παραλλαγή της παραδοσιακής στάγδην άρδευσης, όπου οι σταλακτηφόροι αγωγοί θάβονται σε κάποιο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανάλογα με την καλλιέργεια. Στο νερό πολλές φορές προστίθενται λιπάσματα ή φυτοφάρμακα (Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, 2002).

Οι Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη κ. ά., (2000) σε πείραμα υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων διαπίστωσαν ότι η εδαφική υγρασία αυξάνει μετά το βάθος των 30 εκατοστών, σε σχέση με την επιφανειακή στάγδην άρδευση. Η υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση έδωσε μεγαλύτερη απόδοση σε ρίζες και ζαχαρικό τίτλο σε σχέση με την επιφανειακή στάγδην άρδευση.

Σε πείραμα άρδευσης του ινώδους σόργου (*Sorghum bicolor* L.) με δύο μεθόδους, επιφανειακή και υπόγεια στάγδην άρδευση, διαπίστωσαν σαφή υπεροχή της υπόγειας στάγδην άρδευσης έναντι της επιφανειακής στάγδην άρδευσης, με μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης και σημαντικά μεγαλύτερη τελική απόδοση ξηρής βιομάζας (Σακελλαρίου κ.α. 2003).

Οι Ayars et. al., (1999) παρουσίασαν τα αποτελέσματα μιας 15ετούς έρευνας στην υπόγεια στάγδην άρδευση σε καλλιέργειες τομάτας, βαμβακιού, καλαμποκιού, μηδικής και πεπονιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια εμφανή υπεροχή της υποεπιφανειακής στάγδην άρδευσης, όσον αφορά την απόδοση και την αξιοποίηση του νερού από τα φυτά. Επίσης η εφαρμογή της άρδευσης σε τακτά χρονικά διαστήματα

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

μείωσε τις απώλειες νερού με βαθιά διήθηση και αύξησε την χρησιμοποίηση του υπόγειου νερού από τα φυτά.

4.2. Περιγραφή του συστήματος

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης αποτελείται από το δίκτυο μεταφοράς, το δίκτυο εφαρμογής και από τη μονάδα ελέγχου.

Το δίκτυο μεταφοράς είναι το μέρος του συστήματος, το οποίο μεταφέρει το νερό από το χώρο υδροληψίας στους αγωγούς εφαρμογής. Αποτελείται από τους κύριους αγωγούς με μεγάλη διάμετρο (περίπου 30 mm πάχος) και είναι κατασκευασμένοι από άκαμπτο πλαστικό για την αποφυγή καταστροφής.

Το δίκτυο εφαρμογής αποτελείται από τους αγωγούς που διοχετεύουν το νερό στα φυτά μέσω των σταλακτιών. Οι σταλακτιές είναι ειδικές κατασκευές από τις οποίες το νερό βγαίνει με τη μορφή σταγόνας ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι σταλακτιές είναι τοποθετημένοι επάνω στους αγωγούς ανά σταθερά διαστήματα, είναι κατασκευασμένοι από μαλακό πλαστικό και έχουν μικρή διάμετρο (12-16 mm πάχος).

Το σημαντικότερο όμως μέρος του συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης είναι η μονάδα ελέγχου. Περιλαμβάνει κάποια συστήματα που βοηθούν στην ομαλή λειτουργία της άρδευσης. Αποτελείται από τα φίλτρα, την κεντρική ηλεκτροβάννα άρδευσης, τα μανόμετρα ένδειξης πίεσης λειτουργίας των αγωγών, τον προγραμματιστή άρδευσης, το σύστημα Venturi για δυνατότητα υδρολίπανσης και τις ηλεκτροβάνες.

Η αποδοτικότητα ενός συστήματος στάγδην άρδευσης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E_f = TR * EU$$

Όπου TR είναι το μέρος του νερού που διηθήθηκε στο έδαφος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλημα από την καλλιέργεια και EU είναι η ομοιομορφία ενστάλαξης του νερού.

4.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου

Μερικά από τα οφέλη της χρήσης της Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης που έχουν προσδιοριστεί (Neufeld, 2001) είναι :

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

1. Οικονομία νερού
2. Χρήση χαμηλής ποιότητας αρδευτικού νερού
3. Πλήρη αυτοματοποίηση του συστήματος
4. Έλεγχος της ποσότητας νερού που εφαρμόζεται στα φυτά
5. Πρωίμιση της παραγωγής
6. Μερική διαβροχή του εδάφους
7. Αποφυγή διαβροχή του φυλλώματος
8. Εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων
9. Προστασία του περιβάλλοντος
10. Άρδευση μεγαλύτερων εκτάσεων
11. Δυνατότητα εφαρμογής νερού βιολογικού καθαρισμού με μικροβιακό φορτίο
12. Αυξημένη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού
13. Μείωση της έκπλυσης του νερού στη ζώνη του ριζοστρώματος
14. Μείωση της απορροής από το άκρο του χωραφιού
15. Μείωση της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους
16. Αυξημένη ομοιομορφία κατανομής του νερού στο χωράφι
17. Μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας
18. Μείωση της υγρασιακής καταπόνησης των φυτών εξαιτίας των συχνών αρδεύσεων.

Παρά τα πολλά οφέλη που παρουσιάζει η υπόγεια στάγδην άρδευση σε σχέση με τις άλλες μεθόδους όπως όλες οι μέθοδοι άρδευσης έτσι κι αυτή έχει κάποια μειονεκτήματα. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου (Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, 2002) σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους που μπορούν να αναφερθούν είναι:

1. Υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης
2. Αδυναμία καθαρισμού του συστήματος
3. Εμφράξεις των σταλακτήρων από φερτά υλικά όπως άμμος
4. Συσσώρευση αλάτων στους σταλακτήρες
5. Καταστροφή από ζώα που ζούνε στο έδαφος και κυρίως από τα τρωκτικά
6. Μηχανικές ζημιές.

5. ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

5.1. Χαρακτηριστικά υγρών αστικών αποβλήτων

«Υγρά απόβλητα» ονομάζονται γενικά τα υγρά και οι λάσπες, που ρέουν εύκολα και αποβάλλονται ύστερα από χρησιμοποίηση από κατοικίες, ιδρύματα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, μεταφορικά μέσα ή μονάδες επεξεργασίας και γενικά από οποιοσδήποτε εγκαταστάσεις μιας περιοχής. Ανάλογα από το σύστημα που αποβάλλονται μπορούν να διακριθούν σε διάφορες κατηγορίες.

Τα αστικά απόβλητα περιέχουν μια μεγάλη ποικιλία ουσιών, υπό τη μορφή αιωρήματος, κολλοειδούς και διαλύματος (Αυγουστίνου, 1989).

Ειδικότερα μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

☛ Οικιακά απόβλητα, που είναι τα απόβλητα ενός οικισμού και των όμβριων υδάτων

☛ Βιομηχανικά απόβλητα, που είναι τα απόβλητα από τη χρησιμοποίηση νερού σε βιομηχανίες, βιοτεχνίες για παραγωγικούς σκοπούς αποκλειστικά και όχι αυτά που προέρχονται από χώρους εξυπηρέτησης του προσωπικού όπως π.χ. τουαλέτες και μαγειρεία.

☛ Αστικά απόβλητα, που είναι τα απόβλητα από τη χρησιμοποίηση νερού σε σπίτια, ξενοδοχεία, εργοστάσια, εστιατόρια, ιδρύματα για τις βασικές ανθρώπινες ανάγκες. Χαρακτηρίζονται από μεγάλο ποσοστό οργανικών ουσιών (Αυγουστίνου, 1989).

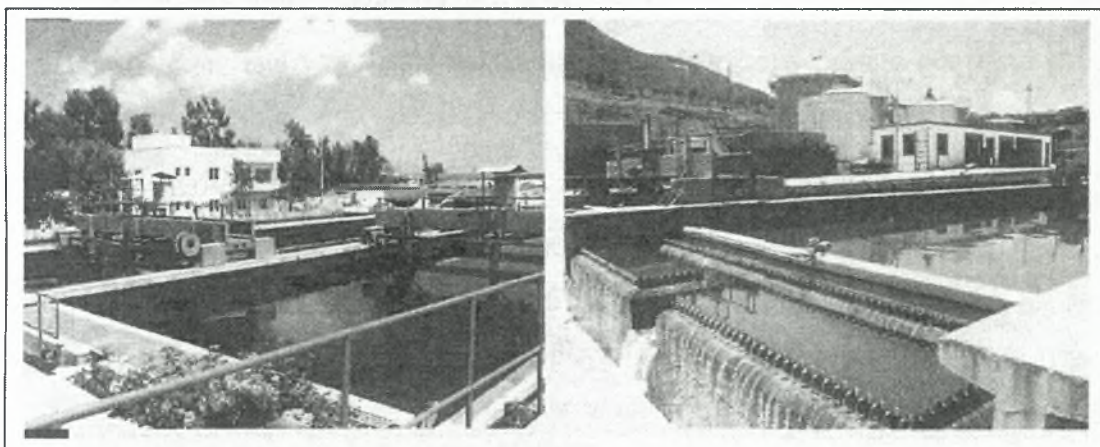
5.2. Βιολογικός καθαρισμός Βόλου

Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα προέρχονται από τον Βιολογικό Καθαρισμό του Βόλου. Η μονάδα εξυπηρετεί τους δήμους Βόλου και Ν. Ιωνίας, Αισωνίας και τη Βιομηχανική Περιοχή Βόλου συνολικού πληθυσμού 200.000

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

κατοίκων. Τα είδη των λυμάτων που δέχεται η μονάδα ανά ημέρα είναι περίπου καθημερινά 22.000 m³ αστικά λύματα και 2000 m³ βιομηχανικά λύματα, τα οποία προέρχονται από το Πολεοδομικό Συγκρότημα, την Α΄ και Β΄ Βιομηχανική Περιοχή. Ο Βιολογικός Καθαρισμός του Βόλου διαθέτει τριτοβάθμιο καθαρισμό (Μιχαηλίδου, 2003).

Το αποχετευτικό δίκτυο της Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. συλλέγει και μεταφέρει μόνο τα οικιακά λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα, ενώ τα νερά της βροχής οδηγούνται στη θάλασσα με το δίκτυο όμβριων (Μιχαηλίδου, 2003). Τα αστικά λύματα του Π. Σ. με ένα δίκτυο αγωγών αποχέτευσης, μήκους 400.000 μέτρων, συγκεντρώνονται στο κεντρικό αντλιοστάσιο, που βρίσκεται στη συμβολή των οδών Αθήνας-Λάρισας και αντλούνται στην εγκατάσταση επεξεργασίας.



Εικόνα 4. Εγκαταστάσεις Βιολογικού Καθαρισμού Βόλου. (Μιχαηλίδου, 2003)

Η εγκατάσταση περιλαμβάνει τρία μεγάλα στάδια στη σειρά, την προκαταρτική, την χημική και την βιολογική επεξεργασία. Η Διαδικασία επεξεργασίας ακολουθεί τα εξής βήματα:

- ✎ Πρωτογενή επεξεργασία: Τα λύματα με την είσοδο τους στην εγκατάσταση, υφίστανται την πρωτογενή επεξεργασία. Σ' αυτή τη φάση, με μια σειρά από διαδικασίες, απομακρύνονται τα περισσότερα στερεά που μπορούν να συγκρατηθούν από σχάρες, να επιπλεύσουν ή να καθιζάνουν.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

- ✚ Χημική επεξεργασία: Με τη προσθήκη χημικών στο λύμα απομακρύνεται ένα μεγάλο ποσοστό αιωρούμενων σωματιδίων, κολλοειδών υλικών, μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων .
- ✚ Βιολογική επεξεργασία: Με την διαδικασία «της ενεργούς ιλύος» λύμα και μικροοργανισμοί αναμιγνύονται, έρχονται και παραμένουν σε μεγάλες δεξαμενές αερισμού, νιτροποίησης και από-νιτροποίησης, που αποτελούν τη καρδιά της βιολογικής επεξεργασίας. Ολοκληρώνοντας το λύμα την πορεία του στις δεξαμενές έχει απαλλαγεί από το διαλυμένο οργανικό ρυπαντικό φορτίο. Αυτό το «μεικτό υγρό» οδηγείται στις δεξαμενές τελικής καθίζησης, όπου συντελείται η τελευταία πράξη της επεξεργασίας του λύματος.

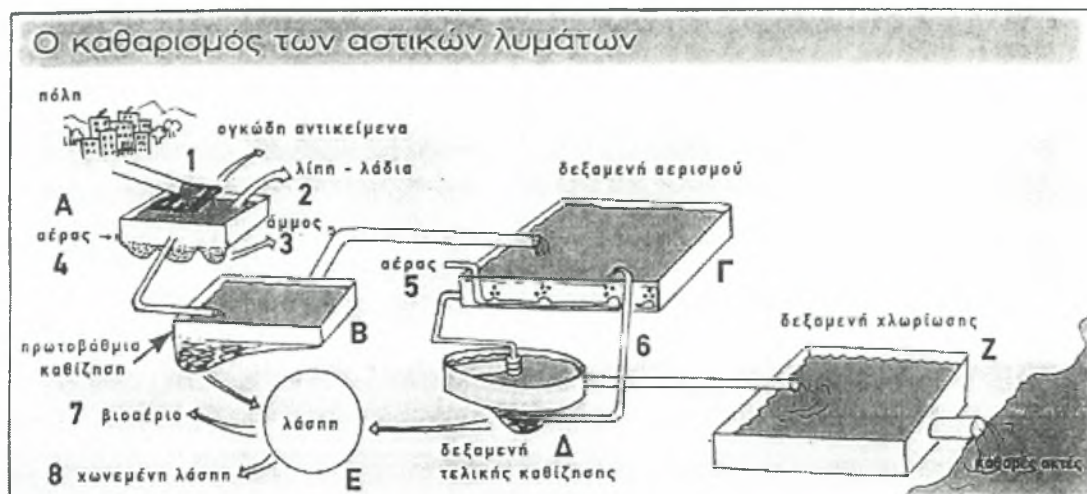
Από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης, το επεξεργασμένο λύμα οδηγείται στο αντλιοστάσιο εκροής και απομακρύνεται, μέσω καταθλιπτικού αγωγού, 8 χιλιομέτρων, που εκβάλλει στην εγκατάσταση διάθεσης, στο Ακρωτήριο Αγκίστρι. Η θέση του αγωγού Αγκίστρι, σε μια θαλάσσια περιοχή εκτός εσωτερικού κόλπου, με πολύ καλή κυκλοφορία και ανανέωση μαζών, διευκολύνει αποτελεσματικά τη διάχυση των επεξεργασμένων λυμάτων (Μιχαηλίδου, 2003).

5.3. Μέθοδοι Βιολογικής Επεξεργασίας

Η επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων αποβλέπει στην απομάκρυνση, εξουδετέρωση ή κατάλληλη τροποποίηση των επιβλαβών χαρακτηριστικών τους, ώστε να εξαλειφθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς συνέπειες για τον τελικό αποδέκτη (έδαφος, επιφανειακά νερά) (Μακραντωνάτου, 1990).

Οι διαδικασίες επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Σε αυτές που αφορούν την αποσταθεροποίηση και διαχωρισμό των αιωρούμενων στερεών, σε αυτές που αφορούν τη συγκράτηση και απομάκρυνση των διαλυτών συστατικών και σε αυτές που αφορούν την καταστροφή τυχόν παθογόνων μικροοργανισμών (Μήτρακας, 1996).

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Οι πιο συνηθισμένες διαδικασίες επεξεργασίας είναι:

- **Σχάρισμα ή άλεση** : για τα χονδρά υλικά.
- **Αμμοσυλλογή** : για τα βαριά, κυρίως αδρανή, υλικά (άμμος, χαλίκια, σπόροι κτλ.).
- **Ξάφρισμα-λιποσυλλογή** : για τα επιπλέοντα υλικά (λάδια, λίπη, λεπτά υλικά κτλ.).
- **Καθίζηση** : για την απομάκρυνση μέρους των αιωρούμενων λεπτών στερεών. Η καθίζηση διακρίνεται συνήθως σε απλή(πρωτοβάθμια), με χημική υποστήριξη (κροκίδωση), μετά από βιολογική επεξεργασία (δευτεροβάθμια).
- **Διύλιση** : κατ' αρχή μηχανική επεξεργασία, που εφαρμόζεται σε ορισμένες περιπτώσεις (άρδευση, αμμοδυλιστήριο) για τα πολύ λεπτά υλικά, αλλά συνδυάζεται ταυτόχρονα με βιολογική αποδόμηση των οργανικών με τη βοήθεια του εδαφικού οξυγόνου.
- **Κροκίδωση(χημική)** : για τα κολλοειδή (ανόργανα και οργανικά).
- **Βιολογική επεξεργασία** : για τα πολύ λεπτά ή διαλυμένα οργανικά υλικά.
- **Χημική επεξεργασία** : για τα διαλυμένα ανόργανα συστατικά (οξέα, άλατα).

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

- **Απολύμανση** : για τους παθογόνους μικροοργανισμούς.

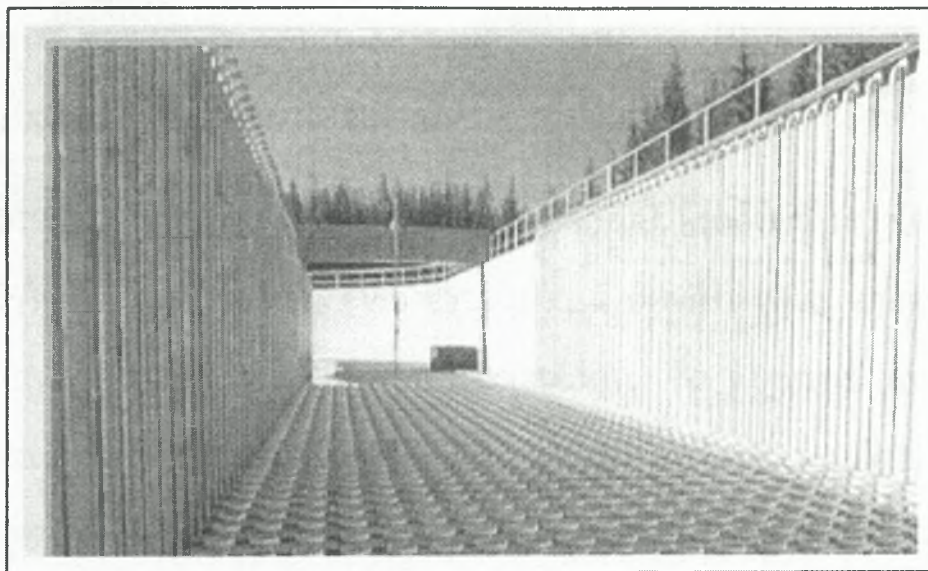
Διευκρινίζεται ότι σε κάθε περίπτωση δεν εφαρμόζονται ταυτόχρονα όλες οι πιο πάνω επεξεργασίες, αλλά ο πιο κατάλληλος συνδυασμός για την κάθε περίπτωση (Μακραντωνάτου, 1990).

Από την πρακτική εφαρμογή των διαφόρων συνδυασμών των διαδικασιών επεξεργασίας των αστικών λυμάτων έχουν διαμορφωθεί τρία κυρίως βασικά στάδια καθαρισμού, που εκφράζουν φραστικά το βαθμό της καθαρότητας της τελικής απορροής:



Εικόνα 5. Ταυτόχρονη κροκίδωση και καθίζηση

- ❖ **Πρωτοβάθμιος ή μηχανικός καθαρισμός**: Περιλαμβάνει σχάρισμα, αφαίρεση άμμου και ενδεχόμενα επιπλέον υλικών και πρωτοβάθμια καθίζηση με απαραίτητο συμπλήρωμα την επεξεργασία λάσπης.
- ❖ **Δευτεροβάθμιος καθαρισμός**: Αποτελείται είτε από βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών και απομάκρυνση των σχηματιζόμενων αιωρημάτων με δευτεροβάθμια καθίζηση είτε από χημική υποστήριξη της αρχικής απλής καθιζήσεως με κροκίδωση σε συνδυασμό με άλλες χημικές διεργασίες.



Εικόνα 6. Διαχυτήρας αερισμού

☛ **Τριτοβάθμιος ή προχωρημένος καθαρισμός:** Αποτελείται από τα προηγούμενα στάδια και συμπληρώνετε με την απομάκρυνση κυρίως του αζώτου και του φωσφόρου είτε για την αντιμετώπιση κινδύνων ευτροφισμού του τελικού αποδέκτη (λίμνες, θάλασσα) είτε για την επαναχρησιμοποίηση της τελικής απορροής για δευτερεύουσες χρήσεις.

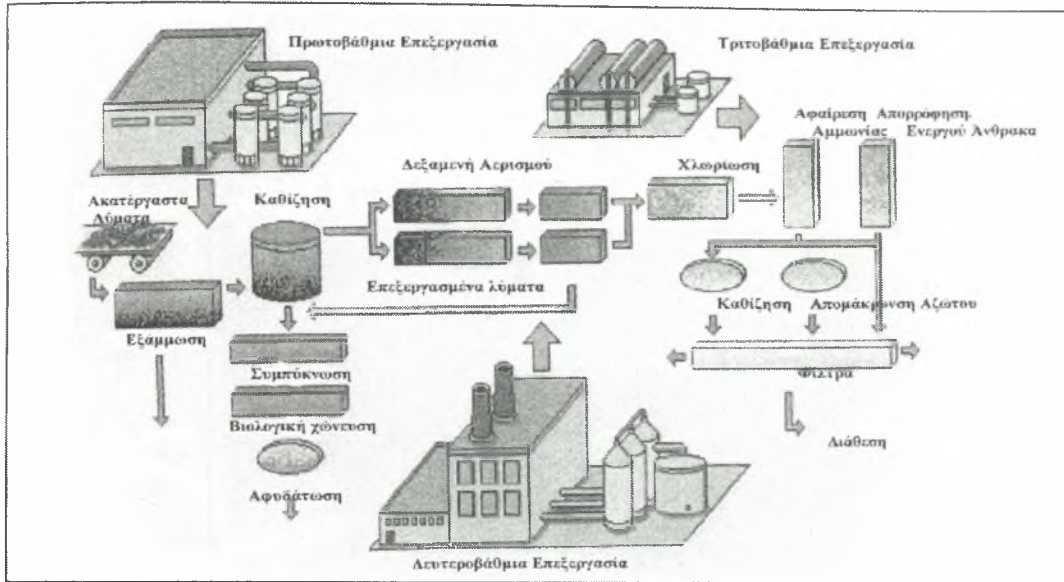
Και στα τρία στάδια καθαρισμού μπορεί να εφαρμοστεί μόνιμα ή περιοδικά, αν κριθεί απαραίτητο, απολύμανση της τελικής απορροής, συνήθως με χλωρίωση (Μακραντωνάτου, 1990)

5.4. Επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων για άρδευση

Για την οργάνωση ενός συστήματος επαναχρησιμοποίησης υγρών επεξεργασμένων αποβλήτων υπάρχουν κάποιες συνιστώσες. Οι βασικότερες συνιστώσες από αυτές είναι οι εξής (Στάμου, 1995) :

☛ Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση



Εικόνα 7. Σκίτσο βιολογικού καθαρισμού

- ☒ Το είδος της καλλιέργειας
 - Βαθμός ανθεκτικότητας σε αλκαλιωμένα εδάφη και τοξικά συστατικά
 - Καρποί εδώδιμοι ή μη
- ☒ Τα χαρακτηριστικά της περιοχής
 - Η τοπογραφία της περιοχής
 - Τα χαρακτηριστικά του εδάφους
 - Οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής
 - Τα υπόγεια νερά
 - Οι χρήσεις της γης
 - Το κλίμα της περιοχής
- ☒ Η μέθοδος άρδευσης
- ☒ Η πρακτική της άρδευσης

Υπάρχουν πολλοί τρόποι επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων αποβλήτων.

Οι συνήθεις μορφές επαναχρησιμοποίησης είναι (Στάμου, 1996):

- ☒ η άρδευση καλλιεργειών,
- ☒ η άρδευση χώρων πρασίνου,
- ☒ οι βιομηχανικές χρήσεις,
- ☒ η επαναφόρτιση υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα,

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

- η υδροδότηση διαφόρων δραστηριοτήτων αναψυχής,
- οι πόσιμες χρήσεις και
- άλλες μη πόσιμες χρήσεις.

Όπου κι αν χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή γιατί η μη σωστή χρήση τους έχει πολλές και σημαντικές επιπτώσεις. Οι κυριότερες επιπτώσεις λόγω της χρήσης επεξεργασμένων αποβλήτων είναι (Στάμου κ. α., 1995):

- ☛ η ρύπανση του αέρα
- ☛ η ρύπανση του εδάφους
- ☛ η ρύπανση των υπόγειων νερών
- ☛ η βλάβη των καλλιεργειών
 - οι βλάβες στις φυτικές μάζες
 - η μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών και
 - η μόλυνση των καλλιεργειών με παθογόνους μικροοργανισμούς
- ☛ η βλάβη της δημόσιας υγείας

5.5. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων προς άρδευση.

Για να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα για άρδευση θα πρέπει να μην υπερβαίνουν τις οριακές τιμές των συγκεντρώσεων που καθορίζονται από τις προδιαγραφές της κάθε χώρας. (Στάμου κ. α., 1996) Κατά τη θέσπιση τέτοιων προδιαγραφών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η προστασία της δημόσιας υγείας, οι χρήστες και το κοινό. Μεταξύ των προδιαγραφών που εφαρμόζονται σε διάφορες χώρες ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν η Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization, W.H.O.) και ο Κανονισμός της πολιτείας της Καλιφόρνιας (Γασούλα κ. α., 2000).

Εδώ και χρόνια ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ασχολείται με την κατάρτιση οδηγιών για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Το 1989, ο Π.Ο.Υ. ανακοίνωσε τέσσερις βασικές κατηγορίες μέτρων για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, οι οποίες συνίστανται στις πιο κάτω:

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

- Επεξεργασία λυμάτων
- Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών
- Επιλογή μεθόδου άρδευσης
- Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους οργανισμούς των λυμάτων, του εδάφους ή των αγροτικών προϊόντων (Γκίκας, 2004).

Για την ικανοποίηση των πιο πάνω μέτρων ο Π.Ο.Υ. κατέληξε στα εξής συμπεράσματα

- Η άρδευση με ακατέργαστα λύματα και χωρίς τη λήψη προληπτικών μέτρων εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.
- Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των λυμάτων ή η λήψη μέτρων για την αποφυγή της ανθρώπινης επαφής με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μειώνει τον κίνδυνο, ο οποίος όμως αν και χαμηλός, εξακολουθεί να υφίστανται.
- Αποτελεσματικό μέτρο, τουλάχιστο για τους καταναλωτές, αποτελεί η εφαρμογή της άρδευσης σε περιορισμένους τύπους καλλιεργειών και κυρίως σε καλλιέργειες που δεν παράγουν προϊόντα που τρώγονται ωμά (περιορισμένη άρδευση).
- Αποτελεσματικό μέτρο είναι η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των λυμάτων και συγκεκριμένα η εφαρμογή τους στο υπέδαφος.
- Η πλήρης επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί το αποτελεσματικότερο εργαλείο για την πρόληψη μετάδοσης ασθενειών, χωρίς στην περίπτωση αυτή να είναι αναγκαίος ο περιορισμός των καλλιεργειών (απεριόριστη άρδευση) (Γκίκας, 2004)

Στον πίνακα 1 εμφανίζονται τα προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση λυμάτων στην γεωργία, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Όσον αφορά στα κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης, για χωρίς περιορισμούς άρδευση καλλιεργειών θεωρείται ότι η συγκέντρωση των 1000/100 mL είναι τεχνολογικά εφικτή. Επίσης, στις περιπτώσεις όπου η μόνη εκτιθέμενη ομάδα είναι οι καλλιεργητές δεν τίθεται όριο μικροβιακού φορτίου, καθώς δεν υπάρχουν αποδείξεις για τον κίνδυνο που διατρέχουν αυτοί από τα βακτήρια. Ανεξάρτητα όμως από τη χρήση του νερού κάποια μείωση του βακτηριακού φορτίου είναι επιθυμητή. Η φυσική θανάτωση των παθογόνων εξαιτίας της δράσης της

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας, της αφυδάτωσης και των φυσικών τους καταστροφών κατά την εφαρμογή των αποβλήτων στα φυτά και το έδαφος μπορεί να επιφέρουν επιπλέον μείωση του φορτίου παθογενών κατά 90-99 % μερικές ημέρες μετά την εφαρμογή του νερού.

Εκτός από το μικροβιακό φορτίο τίθενται και επιπρόσθετα κριτήρια σχετικά με την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για άρδευση που έχουν να κάνουν με την συγκέντρωση χημικών ουσιών και με έμφαση στην συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων. Στον πίνακα 2. φαίνονται τα ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για χρήση λυμάτων στην γεωργία, σύμφωνα με την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (Γκίκας, 2004).

Πίνακας 1. Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια κατά τον Π.Ο.Υ.

Είδος άρδευσης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματοειδείς(α)	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια(FC) ανά 100ml (α)	Επεξεργασία που αναμένεται να επιτύχει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα
Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων και δημόσιων πάρκων(β)	Αγρότες, καταναλωτές, κοινό	<1	<1000	Σειρά λυμών οξείδωσης που επιτυγχάνει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα, ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία
Άρδευση δημητριακών βιομηχανιών καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δέντρων(γ)	Αγρότες	<1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε λίμνες σταθεροποίησης για 810 ημέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση περιττωματικών κολοβακτηριδίων

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Ομοίως με την προηγούμενη, με εξασφάλιση μη έκθεσης εργαζομένων και κοινού	Καμιά	Δεν έχουν εφαρμογή	Δεν έχουν εφαρμογή	Επεξεργασία που απαιτείται από την τεχνολογία του συστήματος άρδευσης, πάντως όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια
--	-------	--------------------	--------------------	---

(α) Κατά την περίοδο της άρδευσης

(β) Σε γκαζόν όπου υπάρχει πρόσβαση κοινού π.χ. ξενοδοχεία, πρέπει να εφαρμόζεται το αυστηρότερο κριτήριο των 200 FC/100ml

(γ) Στην περίπτωση οπωροφόρων δένδρων, η άρδευση θα πρέπει να σταματά δυο εβδομάδες πριν από την συλλογή των φρούτων, ενώ δεν πρέπει να συλλέγονται φρούτα από το έδαφος. Επίσης δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό.

Πίνακας 2. Ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για χρήση λυμάτων στην γεωργία κατά την US ERA.

Χημικό στοιχείο		Μέγιστη προτεινόμενη συγκέντρωση (mg/l)	
		Μακροχρόνια χρήση	Βραχυχρόνια χρήση
Al	Αλουμίνιο	0,5	20,0
As	Αρσενικό	0,1	2,0
Be	Βηρύλλιο	0,1	0,5
Cd	Κάδμιο	0,01	0,05
Co	Κοβάλτιο	0,05	5,0
Cr	Χρώμιο	0,1	1,0
Cu	Χαλκός	0,2	5,0
F	Φθόριο	1,0	15,0
FE	Σίδηρος	5,0	20,0
Li	Λίθιο	2,5	2,5
Mn	Μαγγάνιο	0,2	10,0
Mo	Μολυβδαίνιο	0,01	0,05
Ni	Νικέλιο	0,2	2,0
Pd	Μόλυβδος	5,0	10,0
Se	Σελήνιο	0,02	0,02
V	Βανάδιο	0,1	1,0

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Zn	Ψευδάργυρος	2,0	10,0
----	-------------	-----	------

Η Οδηγία του W.H.O. βασίζεται κυρίως στα δεδομένα επιδημιολογικών ερευνών σε συνδυασμό με μια εμφανή προσπάθεια ρελεαστικής αντιμετώπισης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έθεσε όχι ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια για την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Ο Κανονισμός της Καλιφόρνιας θέτει αυστηρότερα κριτήρια σε σύγκριση με την Οδηγία του W.H.O., αλλά δεν είναι ο αυστηρότερος που υπάρχει. Οι οδηγίες του Πίνακα 1. πρέπει να ερμηνεύονται και να τροποποιούνται ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιπτώσεις όπου ευαίσθητες σε μολύνσεις ομάδες πληθυσμού έρχονται σε επαφή με απόβλητα. Αντίθετα, σε άλλες περιπτώσεις επιτρέπεται μεγαλύτερη ελαστικότητα.

Ο Κανονισμός της πολιτείας της Καλιφόρνιας (όπως διαμορφώθηκε το 1978) αποτελεί τη βάση για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης όχι μόνο στη Καλιφόρνια, αλλά και σε άλλες χώρες του κόσμου. Τα μικροβιολογικά κριτήρια και τα απαιτούμενα συστήματα επεξεργασίας δεν βασίζονται τόσο σε επιδημιολογικές έρευνες, όσο σε μια προσπάθεια ελαχιστοποίησης των θεωρητικών κινδύνων από την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Βασική παράμετρος θεωρείται η πιθανότητα ανθρώπινης έκθεσης στα επαναχρησιμοποιημένα λύματα, η οποία καθορίζει και το μέγεθος του κινδύνου (Τασούλα κ. ά., 2000).

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Κοινότητας υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις προδιαγραφές των κρατών-μελών, ενώ στη χώρα μας, μέχρι σήμερα, δεν έχουν καθοριστεί προδιαγραφές διάθεσης για επαναχρησιμοποίηση ανακτημένων υγρών αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο. Στον πίνακα 3 φαίνονται οι συνιστώμενες οδηγίες για επαναχρησιμοποίηση νερού στην περιοχή της Μεσογείου.

Πίνακας 3. Συνιστώμενες οδηγίες για επαναχρησιμοποίηση νερού στην περιοχή της Μεσογείου.

Κατηγορία νερού	Κριτήρια Ποιότητας		Επεξεργασία απόβλητων
	Μικροβιακά	Φυσικό-Χημικά	

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

	Εντερικοί νηματώδεις (Αυγά /λίτρο)	Κολοβακτηρίδια ή <i>E. coli</i> (cfu/100 mL)	SS ^γ (mg/L)	
Κατηγορία I				
Α) Οικιστική επαναχρησιμοποίηση (άρδευση ιδιωτικών κήπων, πλύσιμο μηχανών κλπ)	<0,1 ^α	<200 ^β	<10	Δευτεροβάθμια επεξεργασία + φιλτράρισμα, +απολύμανση
Β) Αστική χρήση (άρδευση πάρκων, καθαρισμός οδών, πυρόσβεση κλπ.)				
Γ) Χρήση σε αρχιτεκτονική τοπίου και χώρους αναψυχής (λίμνες κλπ.)				
Κατηγορία II				
Α) Άρδευση λαχανικών, ζωοτροφών, οπωρώνων κλπ.	<0,1 ^α	<1000 ^β	<20 <150 ^{στ}	Δευτεροβάθμια επεξεργασία ή ισοδύναμη+ φιλτράρισμα+ απολύμανση Η Δευτ. επεξεργ. ή ισοδ. +αποθήκευση, δεξαμενές ωρίμανσης
Β) Πλήρωση υδροφόρων στρωμάτων				
Γ) Βιομηχανική χρήση	-			
Κατηγορία III				
Άρδευση δημητριακών και ελαιοδοτικών φυτών, κλωστικών φυτών, φυτωρίων, δασών οπωρώνων ^ε κλπ.	<1	Δεν απαιτείται	<35 <150 ^{στ}	Δευτεροβάθμια επεξεργασία ή ισοδύναμη ^ζ + λίγες ημέρες αποθήκευση Η Σύστημα αερόβιων δεξαμενών
Κατηγορία IV				
Α) Άρδευση λαχανικών με επιφ. και υπόγεια στάγδην άρδευση χωρίς επαφή αποβλήτων και εδάδιμου μέρους φυτών	Δεν απαιτείται	Δεν απαιτείται	Προεπεξεργασία όπως απαιτείται αλλά όχι λιγότερη από την πρωτοβάθμια καθίζηση	
Β) Άρδευση φυτών κατ. III με σταλακτήρες				
Γ) Άρδευση πάρκων που δεν είναι προσβάσιμοι στο κοινό με επιφανειακούς σταλακτήρες				
Δ) Άρδευση πάρκων, γηπέδων γκολφ, αθλητικών χώρων με υπόγεια στάγδην άρδευση.				

Πηγή : Bahri and Brissaud (2002).

^α Είδη *Ascaris* και *Trichuris* και Αγκυλόστομα (Επίσης για προστασία από παρασιτικά πρωτόζωα).

^β Κοπρώδη κολοβακτηρίδια ή *Escherichia coli* (cfu : colony forming units-μονάδες σχηματισμού αποικιών).

^γ SS : Αιωρούμενα στερεά.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

^δ Οι τιμές πρέπει να διαμορφώνονται στο 80 % των δειγμάτων ανά μήνα, ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5.

^ε Στην περίπτωση οπωρώνων, η άρδευση πρέπει να σταματά δύο εβδομάδες πριν τη συγκομιδή και κανένα φρούτο δεν πρέπει να συγκομίζεται από το έδαφος. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ο καταιονισμός.

^{στ} Δεξαμενές σταθεροποίησης.

^ζ Όπως προχωρημένη πρωτοβάθμια επεξεργασία (Jimenez *et al.*, 1999 και 2001).

^η Καθώς πολύ λίγες εξετάσεις έχουν γίνει για το όριο <0,1 αυγά νηματωδών /λίτρο, συνήθως αντικαθίσταται από το <1 αυγά νηματωδών /λίτρο.

6. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ - ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

6.1. Πειραματικό πλάνο

Το πείραμα εγκαταστάθηκε το έτος 2001, στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και οι μετρήσεις άρχισαν από το έτος 2002. Οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής ήταν ήπιες με ζεστό και ξηρό καλοκαίρι και ψυχρό, με πολλές βροχοπτώσεις χειμώνα. Σύμφωνα με τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν κατά την εγκατάσταση του πειράματος στο αγρόκτημα το έδαφος ήταν καλά αποστραγγιζόμενο, ασβεστούχο και αργιλλοπηλώδους υφής που ανήκει στην υπό-ομάδα των Typic Xerochrepts των Inceptisols.

Ο πειραματικός αγρός καταλάμβανε έκταση 48 m² περίπου. Χωρίστηκε σε δυο ίσα πειραματικά τεμάχια των 24 m² περίπου. Ο αγρός που χρησιμοποιήθηκε περιείχε υπολείμματα από καλλιέργεια σόργου. Το τελευταίο δεκαήμερο του Αυγούστου 2001 έγινε καταστροφή των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας με κάψιμο και ενσωμάτωση.

Στις 12/09/2001 πραγματοποιήθηκε η εκσκαφή του αγρού σε βάθος 15 εκ. με τη βοήθεια εκσκαφέα όπου την ακολούθησε η ισοπέδωση του αγρού (Εικόνα 10.). Το χώμα τοποθετήθηκε πρόχειρα σε παρακείμενη έκταση.

Στις 13/09/2001 πραγματοποιήθηκε ελαφρά κατεργασία του εδάφους με περιστροφικό καλλιεργητή (φρέζα). Στις 14/09/2001 έγινε σβάρνισμα του χωραφιού με τσουγκράνες από εργάτριες του αγροκτήματος.

Στις 18/09/2001 τοποθετήθηκε μια μαύρη κυλινδρική δεξαμενή προορισμένη να δεχθεί τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αλλά και το καθαρό νερό της γεώτρησης. Η δεξαμενή ήταν κατασκευασμένη από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και είχε χωρητικότητα

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

5 m³. Η δεξαμενή ήταν κατασκευή της εταιρίας Σύρμος-Λεβέντης. Ακολούθησε η τοποθέτηση του πίνακα ελέγχου (Εικόνα 13.).

Στις 4/10/2001 έγινε επιχωμάτωση της παραπάνω έκτασης με το χώμα που είχε τοποθετηθεί σε παρακείμενη έκταση κατά την εκχωμάτωση (Εικόνα 14.). Η επιχωμάτωση έγινε με τσουγκράνες και ακολούθησε μια πρόχειρη ισοπέδωση του αγρού με τη βοήθεια των σκαπτικών εργαλείων.

Στις 19/11/2001 έγινε ο διαχωρισμός και η οριοθέτηση των τεμαχίων σε επαναλήψεις. Η έκταση χωρίστηκε σε δύο μεταχειρίσεις εκτάσεως 48 m² (2 m x 24 m) η καθεμία των τεσσάρων επαναλήψεων με διάδρομο εκτάσεως 48 m² (2 m x 24 m) Οι μεταχειρίσεις ονομάστηκαν ΚΚ (Καλλωπιστικά Καθαρό) και ΚΛ (Καλλωπιστικά Λύμα).

Τον Οκτώβριο του 2001 έγινε μεταφύτευση των ειδών *Viola tricolor* (Πανσές), *Laurus nobilis* (Δάφνη Απόλλωνος) και του *Pittosporum tobira* (Αγγελική). Όμως ακολούθησε ένα διάστημα πολύ χαμηλών θερμοκρασιών (παγετός) και τα καλλωπιστικά φυτά καταστράφηκαν. Αυτό το γεγονός είχε ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση του πειράματος, για την εύρεση κατάλληλων ειδών για μεταφύτευση.

Στις 10/04/2002 μεταφυτεύθηκαν κωνοφόρα στη θέση των καταστραμμένων καλλωπιστικών. Τα είδη που μεταφυτεύτηκαν ήταν τα *Juniperus chinensis*, *Thuja orientalis* και *Cupressus macrocarpa*. Την ίδια ημέρα πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες παρατηρήσεις στους παραμέτρους του ύψους και του διαμέτρου της φυτοκόμης

6.2. Υλικά άρδευσης

Σκοπός της λειτουργίας ενός αρδευτικού συστήματος είναι να εφοδιάσει εγκαίρως τα φυτά με την απαιτούμενη ποσότητα νερού που χρειάζεται προκειμένου να διατηρηθούν στην άριστη δυνατή κατάσταση. Για την πραγματοποίηση του πειράματος ως μέθοδος άρδευσης επιλέχτηκε η υπόγεια κυρίως για λόγους ασφάλειας. Η περιεκτικότητα των υγρών αστικών αποβλήτων σε μικροβιολογικά χαρακτηριστικά αποτελούν ύποπτη πηγή μόλυνσης αν τα απόβλητα έρθουν σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Για την άρδευση του αγρού χρειάστηκε μαύρη κυλινδρική δεξαμενή χωρητικότητας 5 m³ προορισμένη να δεχθεί τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αλλά και το καθαρό νερό της γεώτρησης. Τοποθετήθηκε ο πίνακας ελέγχου ο οποίος περιείχε:

- Την κεντρική ηλεκτροβάννα άρδευσης (Muster Valve) όπου συνδέονταν μέσω πλαστικού αγωγού με την αντλία. Η αντλία ήταν οριζόντια, πολυβάθμια, κλειστού τύπου και συνδέονταν με την μαύρη δεξαμενή τοποθέτησης των επεξεργασμένων αποβλήτων.
- Το φίλτρο σίτας για την κατακράτηση των στερεών συστατικών με διάμετρο οπών 120 mesh.
- Τα μανόμετρα ένδειξης πίεσης λειτουργίας των αγωγών
- Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle 6 DC για τη διενέργεια της αυτοματοποιημένης άρδευσης. Ο προγραμματιστής ήταν κατασκευής της εταιρίας Motorola, λειτουργούσε με μπαταρία και αποτελούνταν από τα εξής: την οθόνη, τα τρία πλήκτρα εντολών, μια μπαταρία λιθίου 9 Volt, τον πίνακα ελέγχου, το τερματικό τμήμα των καλωδίων και το πλαίσιο στήριξης.
- Το σύστημα Venturi για δυνατότητα υδρολίπανσης
- Τρεις ηλεκτροβάνες (δύο για την άρδευση και μια για το πλύσιμο της δεξαμενής). Οι ηλεκτροβάνες ήταν του τύπου Aquanet II και με τάση λειτουργίας 9-40 Volt. Οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με τους αγωγούς μεταφοράς του νερού. Οι αγωγοί ήταν κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο, είχαν διατομή Φ32 και πίεση λειτουργίας 6 Atm και
- Δύο φίλτρα (Tech-filter) εμποτισμένα με treflan με διάμετρο οπών 155 mesh. Το treflan χρησιμοποιήθηκε ως ριζοαπωθητικό, για την αποφυγή έμφραξης των σταλακτών από την είσοδο των ριζών.

Οι αγωγοί μεταφοράς τοποθετήθηκαν κατά μήκος και περιμετρικά του αγρού. Μπροστά από κάθε τεμάχιο τοποθετήθηκε ένα φρεάτιο που περιείχε έναν υδρομετρητή για την καταγραφή του καταναλισκόμενου όγκου νερού.

Στα τεμάχια έγινε σύνδεση των αγωγών μεταφοράς με τους υποεπιφανειακούς σταλακτηφόρους σωλήνες. Σε κάθε τεμάχιο χρησιμοποιήθηκαν 15 σταλακτηφόροι σωλήνες (Εικόνα 12). Οι σταλακτηφόροι σωλήνες ήταν κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο (PE) και το μήκος τους ήταν 24 m. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες έφεραν

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

ενσωματωμένους σταλάκτες, οι οποίοι ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτόκαθαριζόμενοι. Η παροχή των σταλακτών ήταν 1,6 l/h και λειτουργούσαν με πίεση 0,5-4 Atm. Στον Πίνακα 4 αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος άρδευσης και των δύο μεταχειρίσεων (ΚΚ-ΚΛ). Στο τέλος των αγωγών εφαρμογής είχαν τοποθετηθεί ειδικές βαλβίδες εκτόνωσης της πίεσης, για την αποφυγή έμφραξης του δικτύου.

Πίνακας 4. Πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος άρδευσης των μεταχειρίσεων.

Χαρακτηριστικά	Μεταχείριση	
	ΚΚ	ΚΛ
Ισαποχή αγωγών (m)	0,4	0.4
Ισαποχή σταλλακτών (m)	0,3	0.3
Παροχή σταλλακτών (l/hr)	1,6	1.6
Πίεση λειτουργίας σταλλακτών (Atm)	0.5-4	0.5-4

Στις 20/5/2002 πραγματοποιήθηκε η πρώτη άρδευση στο πειραματικό τεμάχιο των κωνοφόρων. Η άρδευση πραγματοποιούνταν ανά δύο ημέρες εκτός αν είχε προηγηθεί βροχόπτωση, οπότε πραγματοποιούνταν σε αραιότερα χρονικά διαστήματα.

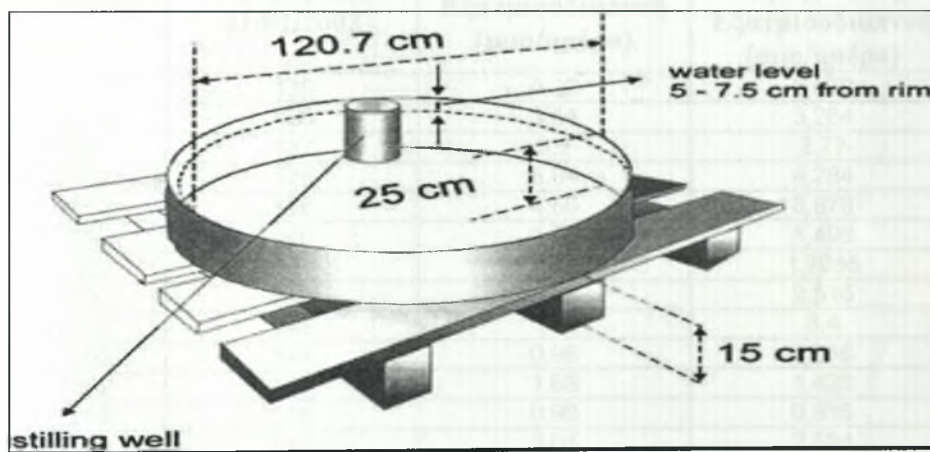
Στις 24/5/2002 έγινε η πρώτη άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα από το Βιολογικό Καθαρισμό της πόλεως του Βόλου. Τα απόβλητα διοχετεύονταν στην μαύρη πλαστική δεξαμενή και ακολουθούσε σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα η άρδευση των φυτών. Κατόπιν στην δεξαμενή γινόταν έκπλυση με καθαρό νερό και γέμιζε με καθαρό νερό.

Τα απόβλητα περιείχαν σε μεγάλη ποσότητα ιόντα χλωρίου, σε συγκεντρώσεις που ήταν απαγορευτικές για άρδευση καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό γινόταν μια άρδευση με απόβλητα και ακολουθούσαν δυο αρδεύσεις με καθαρό νερό από τη γεώτρηση του αγροκτήματος. Οι αρδεύσεις διενεργήθηκαν μέχρι το τέλος του Σεπτεμβρίου 2002.

6.4. Εξατμισόμετρο

Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη μέθοδο του Εξατμισιμέτρου Α τάξεως (Παπαζαφειρίου 1999). Το Εξατμισόμετρο Α Τάξεως (Εικόνα 8, 9) είναι μια κυλινδρική λεκάνη κατασκευασμένη από χοντρή γαλβανισμένη λαμαρίνα με διάμετρο 121 cm και βάθος 25,4 cm που τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση ώστε ο πυθμένας της να είναι απόλυτα οριζοντιωμένος και να απέχει 15 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια το έδαφος υπερυψώνεται κάτω από τη λεκάνη έτσι που τελικά να απέχει 5 cm από τον πυθμένα της. Η λεκάνη γεμίζεται με νερό μέχρι 5 cm κάτω από το πάνω χείλος της, η δε στάθμη του νερού κατά τη λειτουργία του οργάνου δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 7,5 cm από το χείλος αυτό.

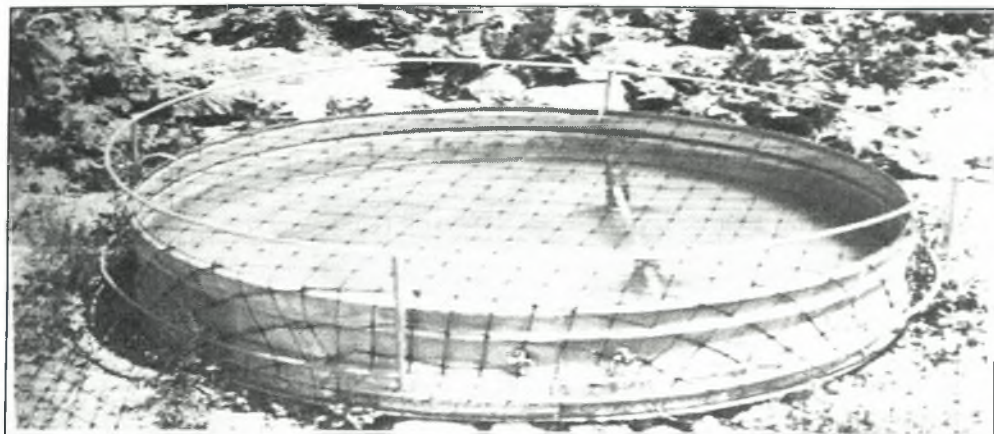
Το νερό της λεκάνης πρέπει να ανανεώνεται συχνά για να μη θολώνει. Τα τοιχώματα της λεκάνης κάθε χρόνο θα πρέπει να χρωματίζονται με χρώμα αλουμινίου. Η εύρεση της πτώσης της στάθμης γινόταν μέσω ενός γυάλινου ογκομετρικού σωλήνα.



Εικόνα 8. Διαγραμματική απεικόνιση του εξατμισιμέτρου.

Ο ογκομετρικός σωλήνας ήταν κατασκευής της εταιρείας Fortuna (Γερμανία). Είχε μήκος 28,5 cm και διάμετρο 1,2 cm. Είχε χωρητικότητα 50 mL, με διακριτότητα 0,1 mL. Ο κύλινδρος ήταν κατασκευασμένος σύμφωνα με τα πρότυπα DIN AS με σφάλμα ανάγνωσης 0,05 mL.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση



Εικόνα 9. Φωτογραφία του εξατμισμέτρου που χρησιμοποιήθηκε.

Οι τιμές της βασικής και της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και των κωνοφόρων παρατίθενται στο Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Βασική και Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή.

Ημερομηνία	Ημέρες από 01/01/2002	Ημερήσια Βασική Εξατμισοδιαπνοή (mm/ημέρα)	Ημερήσια Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή (mm/ημέρα)
16/5/2002	135	4,32	3,672
17/5/2002	136	3,84	3,264
18/5/2002	137	3,2	2,72
19/5/2002	138	5,04	4,284
20/5/2002	139	4,56	3,876
21/5/2002	140	1,76	1,496
22/5/2002	141	2,01	1,7085
23/5/2002	142	2,96	2,516
24/5/2002	143	4	3,4
25/5/2002	144	0,96	0,816
26/5/2002	145	1,68	1,428
27/5/2002	146	0,96	0,816
28/5/2002	147	3,04	2,584
29/5/2002	148	4	3,4
30/5/2002	149	6,24	5,304
31/5/2002	150	3,44	2,924
1/6/2002	151	4,32	3,672
2/6/2002	152	4,56	3,876
3/6/2002	153	4,48	3,808
4/6/2002	154	3,84	3,264
5/6/2002	155	4,8	4,08
6/6/2002	156	3,52	2,992
7/6/2002	157	3,6	3,06
8/6/2002	158	4,8	4,08
9/6/2002	159	6	5,1

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

10/6/2002	160	7,28	6,188
11/6/2002	161	5,12	4,352
12/6/2002	162	5,6	4,76
13/6/2002	163	3,44	2,924
14/6/2002	164	4,16	3,536
15/6/2002	165	4,56	3,876
16/6/2002	166	2,32	1,972
17/6/2002	167	6,24	5,304
18/6/2002	168	6,08	5,168
19/6/2002	169	5,44	4,624
20/6/2002	170	4,72	4,012
21/6/2002	171	5,04	4,284
22/6/2002	172	5,6	4,76
23/6/2002	173	4,8	4,08
24/6/2002	174	7,2	6,12
25/6/2002	175	6,4	5,44
26/6/2002	176	2,32	1,972
27/6/2002	177	3,28	2,788
28/6/2002	178	4	3,4
29/6/2002	179	5,52	4,692
30/6/2002	180	6,48	5,508
1/7/2002	181	2,4	2,04
2/7/2002	182	7,2	6,12
3/7/2002	183	5,12	4,352
4/7/2002	184	5,28	4,488
5/7/2002	185	6,08	5,168
6/7/2002	186	7,52	6,392
7/7/2002	187	5,6	4,76
8/7/2002	188	6	5,1
9/7/2002	189	6,8	5,78
10/7/2002	190	5,84	4,964
11/7/2002	191	6,16	5,236
12/7/2002	192	3,2	2,72
13/7/2002	193	2,4	2,04
14/7/2002	194	1,6	1,36
15/7/2002	195	5,44	4,624
16/7/2002	196	7,36	6,256
17/7/2002	197	10,96	9,316
18/7/2002	198	9,68	8,228
19/7/2002	199	7,84	6,664
20/7/2002	200	7,12	6,052
21/7/2002	201	5,04	4,284
22/7/2002	202	6,4	5,44
23/7/2002	203	5,44	4,624
24/7/2002	204	8,16	6,936
25/7/2002	205	5,6	4,76
26/7/2002	206	2,9	2,465
27/7/2002	207	2	1,7
28/7/2002	208	1,5	1,275
29/7/2002	209	1,7	1,445
30/7/2002	210	3,2	2,72
31/7/2002	211	1,6	1,36
1/8/2002	212	0,56	0,476
2/8/2002	213	7,04	5,984

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

3/8/2002	214	5,2	4,42
4/8/2002	215	4,8	4,08
5/8/2002	216	6,4	5,44
6/8/2002	217	5,04	4,284
7/8/2002	218	6,16	5,236
8/8/2002	219	7,2	6,12
9/8/2002	220	5,6	4,76
10/8/2002	221	6	5,1
11/8/2002	222	6	5,1
12/8/2002	223	5,6	4,76
13/8/2002	224	5,04	4,284
14/8/2002	225	5,84	4,964
15/8/2002	226	6,48	5,508
16/8/2002	227	6,48	5,508
17/8/2002	228	5,8	4,93
18/8/2002	229	5,2	4,42
19/8/2002	230	5,4	4,59
20/8/2002	231	6,8	5,78
21/8/2002	232	4	3,4
22/8/2002	233	4	3,4
23/8/2002	234	4,8	4,08
24/8/2002	235	4,8	4,08
25/8/2002	236	4	3,4
26/8/2002	237	4,8	4,08
27/8/2002	238	4,8	4,08
28/8/2002	239	4,8	4,08
29/8/2002	240	1,6	1,36
30/8/2002	241	1,2	1,02
31/8/2002	242	2,2	1,904
1/9/2002	243	1,8	1,496
2/9/2002	244	1,8	1,496
3/9/2002	245	0,9	0,748
4/9/2002	246	2,8	2,38
5/9/2002	247	3,8	3,196
6/9/2002	248	0,5	0,425
7/9/2002	249	4,32	3,672
8/9/2002	250	0,4	0,34
9/9/2002	251	0,56	0,476
10/9/2002	252	2,96	2,516
11/9/2002	253	2,72	2,312
12/9/2002	254	2,64	2,244
13/9/2002	255	2,2	1,87
14/9/2002	256	2,4	2,04
15/9/2002	257	3	2,55
16/9/2002	258	3,2	2,72
17/9/2002	259	4,23	3,5955
18/9/2002	260	5,76	4,896
19/9/2002	261	2,96	2,516
20/9/2002	262	2,88	2,448
21/9/2002	263	2,96	2,516
22/9/2002	264	2,24	1,904
23/9/2002	265	2,4	2,04
24/9/2002	266	1,52	1,292
25/9/2002	267	2,53	2,1505

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

26/9/2002	268	3,68	3,128
27/9/2002	269	2,88	2,448
28/9/2002	270	3,6	3,06
29/9/2002	271	3,1	2,635
30/9/2002	272	3,5	2,975

6.3. Υπολογισμοί δόσεων άρδευσης και χρόνου άρδευσης

Οι αρδεύσεις πραγματοποιήθηκαν το διάστημα 20/5/2002-28/9/2002. Υπάρχουν δύο τρόποι για την πραγματοποίηση της άρδευσης. Ο πρώτος τρόπος λαμβάνει υπόψη του τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και ο δεύτερος τρόπος αφορά την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.

Σύμφωνα με τον 1^ο τρόπο, υπολογίστηκαν τα μεγέθη : Υδατοϊκανότητα (% ξηρού βάρους), Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (% ξ.β. εδάφους), Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (g/cm^3), Βάθος ριζοστρώματος καλλιέργειας (mm), Συντελεστής εξάντλησης διαθέσιμης υγρασίας, Ποσοστό διαβροχής του εδάφους, Συντελεστής εφαρμογής του νερού. Τα δεδομένα των παραπάνω μεγεθών απεικονίζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6. Φυσικές Ιδιότητες του Εδάφους

Παράμετρος	Τιμή
Υδατοϊκανότητα (FC, % ξηρού βάρους)	21,2
Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP, % ξηρού βάρους)	11,64
Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (ASW, g/cm^3)	1,23
Βάθος ριζοστρώματος κωνοφόρων (RD, mm)	350
Συντελεστής Εξάντλησης Διαθέσιμης Υγρασίας (C)	0,5
Ποσοστό διαβροχής του εδάφους (P)	1
Συντελεστής εφαρμογής του νερού	0,95

Υπολογίστηκε η Θεωρητική Δόση Άρδευσης (I_d) από τον τύπο :

$$I_d = \frac{(FC-PWP)}{100} \times ASW \times RD \times C \times P \quad (1)$$

Η θεωρητική δόση άρδευσης είναι :

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

$$I_d = (0,212 - 0,1164) * 1,23 * 350 * 0,5 * 1 = 20,6 \text{ mm}$$

Η πρακτική δόση άρδευσης ισούται με :

$$I_{da} = (I_d / E_f) \quad (2)$$

Η πρακτική δόση άρδευσης των κωνοφόρων είναι :

$$I_{da} = 20,6 / 0,95 = 21,7 \text{ mm ή } 1,042 \text{ m}^3 \text{ για την επιφάνεια των } 48 \text{ m}^2$$

Το εύρος άρδευσης (I) ισούται με :

$$I = (I_d / ET_c) \quad (3)$$

όπου ET_c η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.

Η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή λήφθηκε ως 3,2 mm για τον μήνα Μάιο και 5 mm για το μήνα Ιούνιο.

Το εύρος άρδευσης ήταν :

$$I = 20,6 / 3,2 = 6 \text{ ημέρες τον Μάιο και } 4 \text{ ημέρες τον Ιούνιο.}$$

Η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε 2 ημέρες. Γι αυτό το λόγο έγινε αναγωγή της δόσης άρδευσης σε διήμερη βάση. Η δόση άρδευσης ήταν 0,350 m³ ανά 2 ημέρες για τον Μάιο και 0,520 m³ ανά 2 ημέρες για τον μήνα Ιούνιο.

Τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο η άρδευση πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου μέτρησης της εξατμισοδιαπνοής. Λαμβανόταν σε ημερήσια βάση η μέτρηση της εξάτμισης από Εξατμισόμετρο τύπου A που είχε εγκατασταθεί στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου. Με τη χρησιμοποίηση του συντελεστή του εξατμισομέτρου (0,8), εξαγόταν η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_r). Για την εύρεση της ημερήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών, χρησιμοποιήθηκαν οι φυτικοί συντελεστές των καλλιεργειών. Ο φυτικός συντελεστής ήταν ίσος με 0,85 για τα κωνοφόρα. Η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσώπευε και την ημερήσια δόση άρδευσης σε mm. Η δόση άρδευσης αναγόταν σε όγκο νερού για τη συγκεκριμένη έκταση που κατελάμβαναν οι δυο καλλιέργειες (48 m²).

Η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε 2 ημέρες. Η αθροιστική εξατμισοδιαπνοή των 2 ημερών λαμβάνονταν υπόψη και γινόταν η εύρεση της δόσης άρδευσης. Για τον υπολογισμό του χρόνου λειτουργίας του συστήματος άρδευσης, υπολογίστηκε το ωριαίο ύψος βροχής των σταλακτήρων από τον τύπο :

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

$$I_{dh}=(q/S_t*S_r) \quad (4)$$

Όπου

I_{dh} = ωριαίο ύψος βροχής (mm/hr)

q = παροχή των σταλακτών (L/hr)

S_t*S_r = η διάταξη των σταλακτών ($m*m=m^2$)

Το ωριαίο ύψος βροχής βρέθηκε ίσο με :

$$I_{dh} = 1,6/0,12 = 13,33 \text{ mm/hr}$$

Η διάρκεια άρδευσης ορίζεται ως το πηλίκο της δόσης άρδευσης προς το ωριαίο ύψος βροχής. Η διάρκεια άρδευσης υπολογίστηκε σε ώρες και σε λεπτά (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Υπολογισμός της ημερήσιας διάρκειας άρδευσης.

Εξάτμιση (E, mm/day)	Δόση άρδευσης $I_{da} =$ $E*0,8*0,85$ (mm ή $m^3/στρ.$)	Δόση άρδευσης σε $l/48 \text{ m}^2$	Ωριαίο ύψος βροχής $I_{dh} = q/S_t*S_r$ (mm/hr)	Διάρκεια άρδευσης $I_t = I_{da}/I_{dh}$ (hr)	Διάρκεια άρδευσης $I_t = I_{da}/I_{dh}$ (min)
1	0,68	32,64	13,33	0,05	3,61
2	1,36	65,28	13,33	0,10	6,1
3	2,04	97,92	13,33	0,15	9,2
4	2,72	130,56	13,33	0,20	12,2
5	3,4	163,2	13,33	0,26	15,3
6	4,08	195,84	13,33	0,31	18,4
7	4,76	228,48	13,33	0,36	21,4
8	5,44	261,12	13,33	0,41	24,5
9	6,12	293,76	13,33	0,46	27,5
10	6,8	326,4	13,33	0,51	30,6
11	7,48	359,04	13,33	0,56	33,7
12	8,16	391,68	13,33	0,61	36,7
13	8,84	424,32	13,33	0,66	39,8

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

14	9,52	456,96	13,33	0,71	42,9
15	10,2	489,6	13,33	0,77	45,9
16	10,88	522,24	13,33	0,82	49,0
17	11,56	554,88	13,33	0,87	52,0
18	12,24	587,52	13,33	0,92	55,1
19	12,92	620,16	13,33	0,97	58,2
20	13,6	652,8	13,33	1,02	61,2
21	14,28	685,44	13,33	1,07	64,3
22	14,96	718,08	13,33	1,12	67,3
23	15,64	750,72	13,33	1,17	70,4
24	16,32	783,36	13,33	1,22	73,5
25	17	816	13,33	1,28	76,5
26	17,68	848,64	13,33	1,33	79,6
27	18,36	881,28	13,33	1,38	82,6
28	19,04	913,92	13,33	1,43	85,7
29	19,72	946,56	13,33	1,48	88,8
30	20,4	979,2	13,33	1,53	91,8

Η σχέση που δίνει τη βασική εξατμισοδιαπνοή στη μέθοδο του εξατμισιμέτρου είναι : $ET_r = K_p \cdot E_{pan}$. Όπου E_{pan} είναι η μέση εξάτμιση του 24ώρου από το εξατμισόμετρο σε mm/ημέρα και K_p είναι ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου. Από δεδομένα προηγούμενων ετών, ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου λήφθηκε ίσος με 0,8.

Η βασική εξατμισοδιαπνοή πολλαπλασιάζονταν με τον φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας, για την εύρεση της ημερήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Για τα κωνοφόρα ο φυτικός συντελεστής λήφθηκε 0,85 (Allen et al., 1998).

6.5.Μετρήσεις

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

6.5.1. Δειγματοληψία

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν είναι:

- το ύψος των φυτών
- διάμετρος φυτοκόμης των φυτών.

Την μέρα (10/04/2002) που μεταφυτεύθηκαν τα φυτά ελήφθησαν και οι πρώτες παρατηρήσεις στο ύψος και στη διάμετρο φυτοκόμης των καλλωπιστικών. Για τη μέτρηση του ύψους και της διαμέτρου της φυτοκόμης των φυτών χρησιμοποιήθηκε υποδεκάμετρο. Οι παρατηρήσεις επαναλαμβάνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα (περίπου ανά δεκαπενθήμερο) έως τις 03/09/2002.

Στις 15/7/2002 πραγματοποιήθηκε ανάλυση των επεξεργασμένων αποβλήτων καθώς και εδάφους και από τις δύο μεταχειρίσεις με σκοπό τον προσδιορισμό του μικροβιακού φορτίου των αποβλήτων. Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν στο Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών Ερευνών (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.) στη Θεσσαλονίκη. Κατά την περίοδο 20-30 Ιουλίου, χορηγήθηκε ποσό χλωρίου στα απόβλητα με σκοπό τη μείωση του μικροβιολογικού φορτίου των αποβλήτων. Στις 9/10/2002 πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία εδάφους και στις δύο μεταχειρίσεις με σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων.

6.5.2. Κλιματικά δεδομένα

Μέσω ενός αυτοματοποιημένου μετεωρολογικού σταθμού που ήταν τοποθετημένος στο αγρόκτημα του Βελεστίνου, λαμβάνονταν σε ωριαία βάση οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα, της βροχόπτωσης και άλλων παραμέτρων. Οι τιμές καταγράφονταν σε Data Logger και επεξεργάζονταν με το πρόγραμμα του Excel.

Εκτός από την εξατμισοδιαπνοή, καταγράφονταν σε ημερήσια βάση και τα κλιματικά δεδομένα, από αυτοματοποιημένο μετεωρολογικό σταθμό, που ήταν εγκατεστημένος στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου. Οι παράμετροι που λαμβάνονταν ήταν : Θερμοκρασία, Σχετική Υγρασία, Βροχόπτωση, Ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία. Η μεταβολή της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων παρουσιάζονται στα αποτελέσματα υπό μορφή γραφήματος (Γράφημα 1).

6.5.3. Εδαφολογική ανάλυση

Στις 11/10/2001 έγινε δειγματοληψία εδάφους για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Λήφθηκαν 3 δείγματα στα βάθη 0-30, 30-60, 60-90 cm. Χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά : δειγματολήπτης εδάφους ολλανδικού τύπου, πρόχειρη πλαστική σακούλα ανακίνησης του εδάφους για τεμαχισμό των βόλων, πλαστικές σακούλες δειγματοληψίας, χάρτινες αυτοκόλλητες ετικέτες αναγραφής των στοιχείων των δειγμάτων. Τα δείγματα στάλθηκαν στο Ι.Χ.Τ.Ε.Λ. και οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν οι : Μηχανική ανάλυση, Οργανική Ουσία, pH (1:1), CaCO₃, P, Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.), Ολικά Διαλυτά Άλατα (T.D.S.), Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων, K, Na, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Cu, Mn, NO₃-N, NH₄-N.

Στις 9/10/2002 έγινε δειγματοληψία εδάφους στις μεταχειρίσεις ΚΚ και ΚΛ, με σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων, μετά το πέρας της περιόδου αρδεύσεως.

6.5.4. Υγρά απόβλητα-Νερό άρδευσης

Στις 24/5/2002 πραγματοποιήθηκε η πρώτη άρδευση της μεταχείρισης ΚΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου. Τα απόβλητα δέχονταν τριτοβάθμια επεξεργασία και ως εκ τούτου, δεν περιείχαν σε μεγάλες ποσότητες τα διάφορα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τα φυτά, όπως N, P, K. Όμως, περιείχαν σε μεγάλη ποσότητα ιόντα χλωρίου, σε συγκεντρώσεις που είναι απαγορευτικές για άρδευση καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό, γινόταν μία άρδευση με απόβλητα στη μεταχείριση ΚΛ, και ακολουθούσαν δυο αρδεύσεις με καθαρό νερό της γεώτρησης του αγροκτήματος.

Τα απόβλητα διοχετεύονταν στη μαύρη πλαστική δεξαμενή. Μετά την άρδευση με απόβλητα, η δεξαμενή ξεπλένονταν με καθαρό νερό. Οι αρδεύσεις και στις δύο μεταχειρίσεις διενεργήθηκαν μέχρι το τέλος του Σεπτεμβρίου 2002. Δεν πραγματοποιήθηκε λίπανση σε καμία μεταχείριση.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Για την εύρεση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων αποβλήτων, διενεργήθηκαν χημικές αναλύσεις στα απόβλητα, στις εγκαταστάσεις του Βιολογικού καθαρισμού και στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στον Βιολογικό καθαρισμό ήταν : B.O.D. (Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου), C.O.D. (Χημική απαίτηση οξυγόνου), Cl⁻, Ολικός P, NH₄-N, NO₃-N, S.S. (Αιωρούμενα στερεά), Fe, Cu, Zn. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής ήταν : pH και Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.). Επίσης, έγιναν αναλύσεις και των παραμέτρων του νερού άρδευσης προερχομένου από τη γεώτρηση του αγροκτήματος (Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος).

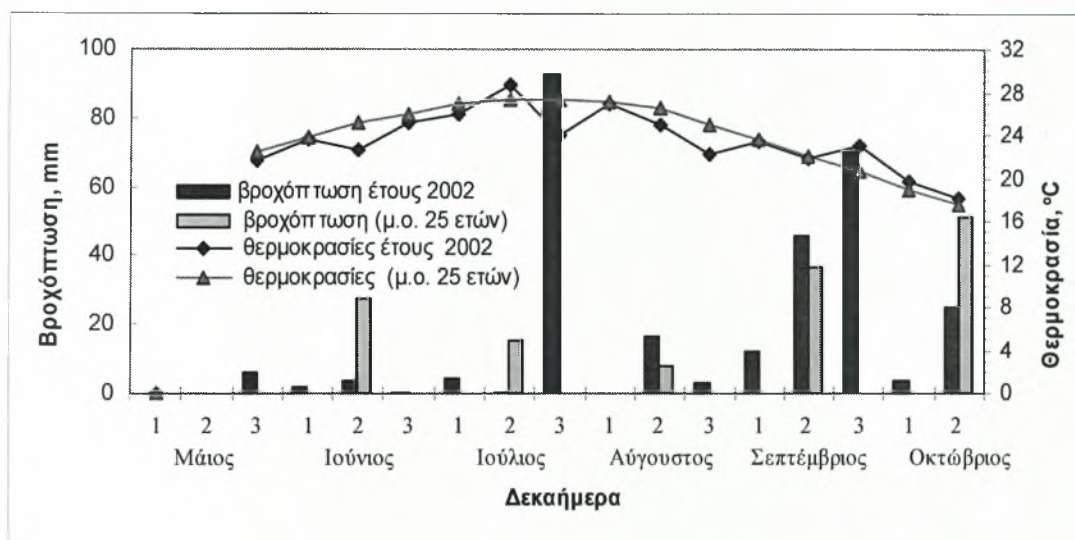
6.6.Μέθοδοι ανάλυσης

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το t-κριτήριο, που είναι το καταλληλότερο κριτήριο για τον έλεγχο δύο μέσων όρων ή σειράς 2 μέσων όρων. Για την στατιστική ανάλυση πάρθηκαν οι απόλυτες τιμές αύξησης των μεγεθών, επειδή οι αρχικές τιμές των 2 μεταχειρίσεων δεν παρουσίαζαν στατιστικά σημαντική διαφορά. Η καταγραφή, η ομαδοποίηση και η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων έγιναν με το πρόγραμμα Microsoft Excel.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

7.1. Κλιματικά δεδομένα

Από το ομβροθερμικό διάγραμμα του έτους 2002 και των προηγούμενων ετών διαπιστώθηκε ότι το θέρος του 2002 ήταν εξαιρετικά υγρό και με ηπιότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα προηγούμενα έτη.



Γράφημα 1. Ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής του αγροκτήματος για την περίοδο Μάιος-Οκτώβριος 2002 και των προηγούμενων ετών.

Συγκεκριμένα, την περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου 2002 είχαμε βροχόπτωση 250 mm περίπου, ενώ η βροχόπτωση της αντίστοιχης περιόδου των προηγούμενων ετών ήταν 138 mm περίπου. Ειδικότερα, ιδιαίτερα βροχεροί ήταν ο Ιούλιος με 97 mm βροχής και ο Σεπτέμβριος με 127 mm περίπου. Οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (Μάιος-Σεπτέμβριος 2002) ήταν χαμηλότερες σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Εξαιρεση μόνο ήταν το 2^ο δεκαήμερο Ιουλίου 2002 με 28,7 έναντι 27,4 του αντίστοιχου

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

δεκαήμερου των προηγούμενων ετών. Οι κλιματολογικές συνθήκες της περιόδου αυτής δεν θεωρείται ότι ευνόησαν ή ζημίωσαν ιδιαίτερα τα κωνοφόρα

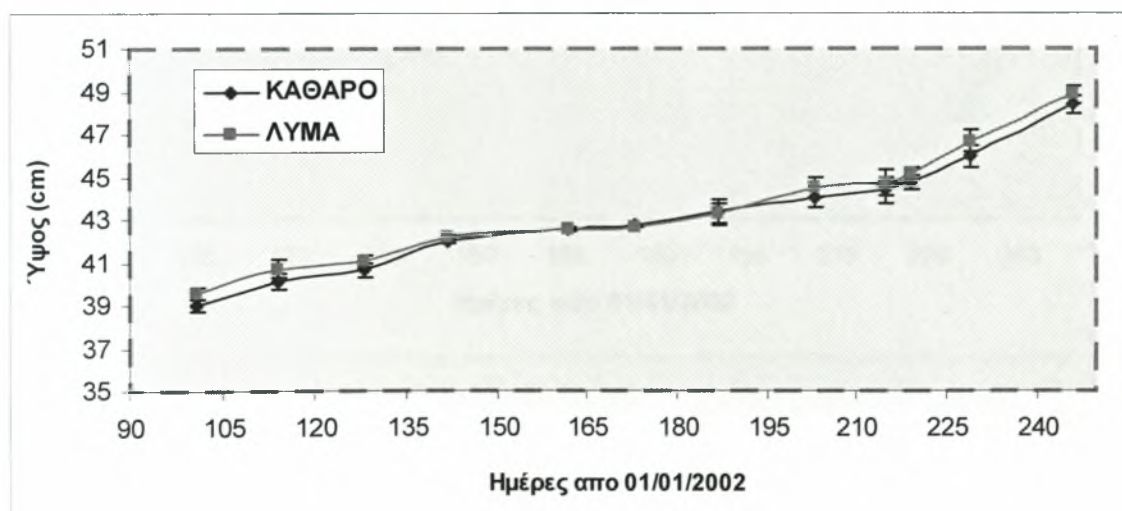
7.2. Ύψος φυτών

Στα παρακάτω γραφήματα παριστάνονται οι μεταβολές του ύψους των τριών κωνοφόρων κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από 10/04/2002 έως 03/09/2002. Έγινε στατιστική επεξεργασία με το πρόγραμμα Statgraphics plus και δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Στο είδος *Juniperus*, το μέσο ύψος φυτών μεταβλήθηκε από 39,01 cm σε 48,36 cm για τη μεταχείριση ΚΚ ενώ από 39,54 cm σε 48,85 για τη μεταχείριση ΚΛ. Η αύξηση του ύψους ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση ΚΚ 9,35 έναντι 9,32 της μεταχείρισης ΚΛ. Η διαφορά δεν αποδείχθηκε όμως στατιστικά σημαντική ($p=0,05$).

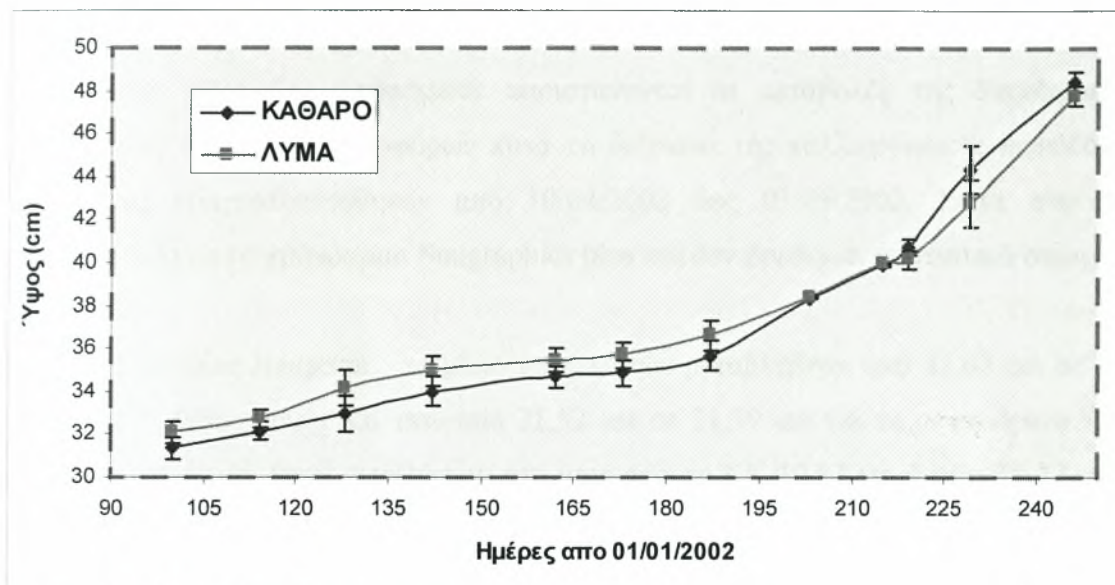
Στο είδος *Thuja*, το μέσο ύψος φυτών μεταβλήθηκε από 31,35 cm σε 48,43 cm για τη μεταχείριση ΚΚ ενώ από 32,09 cm σε 47,78 cm για τη μεταχείριση ΚΛ. Η αύξηση του ύψους ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση ΚΚ ήταν 17,08 cm έναντι 15,68 cm της μεταχείρισης ΚΛ. Η διαφορά δεν αποδείχθηκε όμως στατιστικά σημαντική ($p=0,05$).

Στο είδος *Cupressus*, το μέσο ύψος φυτών μεταβλήθηκε από 53,62 cm σε 77,17 cm για τη μεταχείριση ΚΚ ενώ από 54,04 cm σε 76,72 cm για τη μεταχείριση ΚΛ. Η αύξηση του ύψους ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση ΚΚ ήταν 23,55 cm έναντι 22,68 cm της μεταχείρισης ΚΛ. Η διαφορά δεν αποδείχθηκε όμως στατιστικά σημαντική ($p=0,05$).

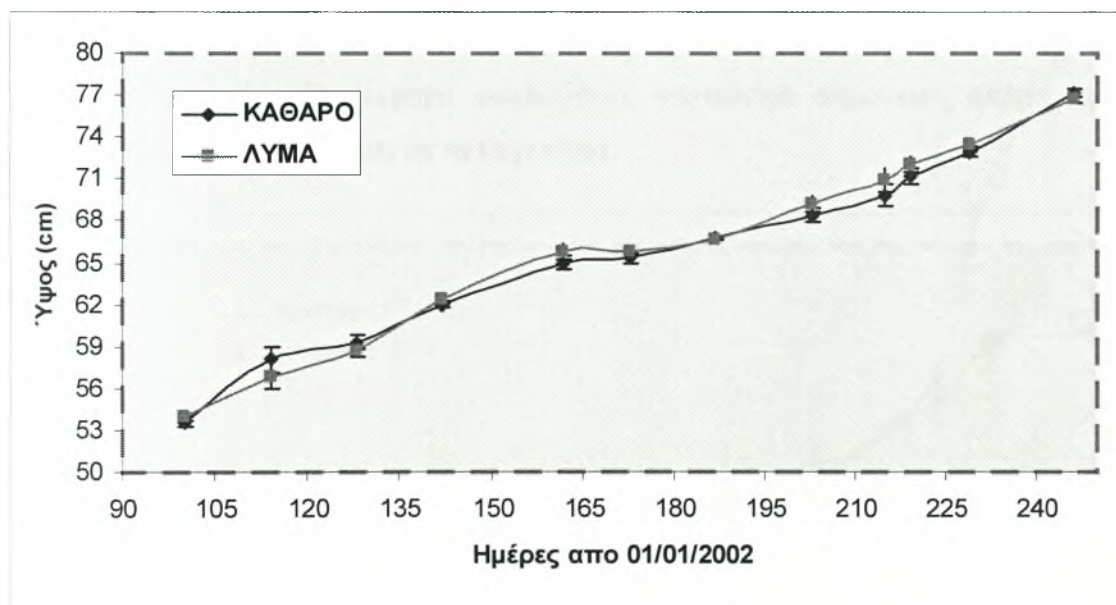


Γράφημα 2. Μεταβολή του ύψους των φυτών το είδους *Juniperus* (Στρίκτο).

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση



Γράφημα 3. Μεταβολή του ύψους των φυτών του είδους Thuja (Τούγια).



Γράφημα 4. Μεταβολή του ύψους των φυτών του είδους Cupressus (Λεμονοκypάρισσος).

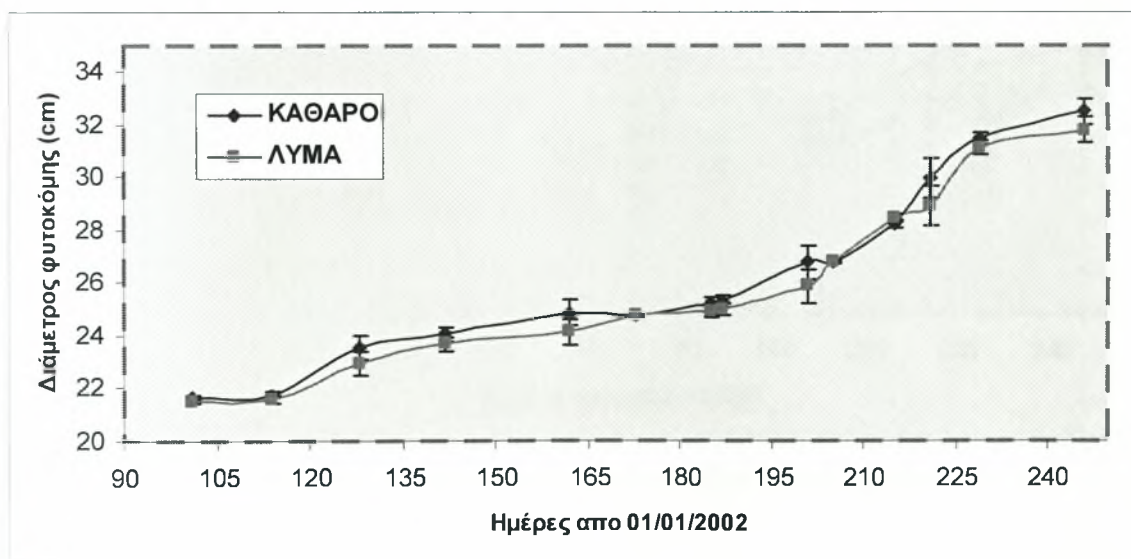
7.3. Διάμετρος φυτοκόμης

Στα παρακάτω γραφήματα παριστάνονται οι μεταβολές της διαμέτρου της φυτοκόμης των τριών κωνοφόρων κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από 10/04/2002 έως 03/09/2002. Έγινε στατιστική επεξεργασία με το πρόγραμμα Statgraphics plus και δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Στο είδος *Juniperus*, το μέσο ύψος φυτών μεταβλήθηκε από 21,67 cm σε 32,50 cm για τη μεταχείριση ΚΚ ενώ από 21,52 cm σε 31,79 cm για τη μεταχείριση ΚΛ. Η αύξηση του ύψους ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση ΚΚ 10,83 cm έναντι 10,27 cm της μεταχείρισης ΚΛ. Η διαφορά δεν αποδείχθηκε όμως στατιστικά σημαντική ($p=0,05$).

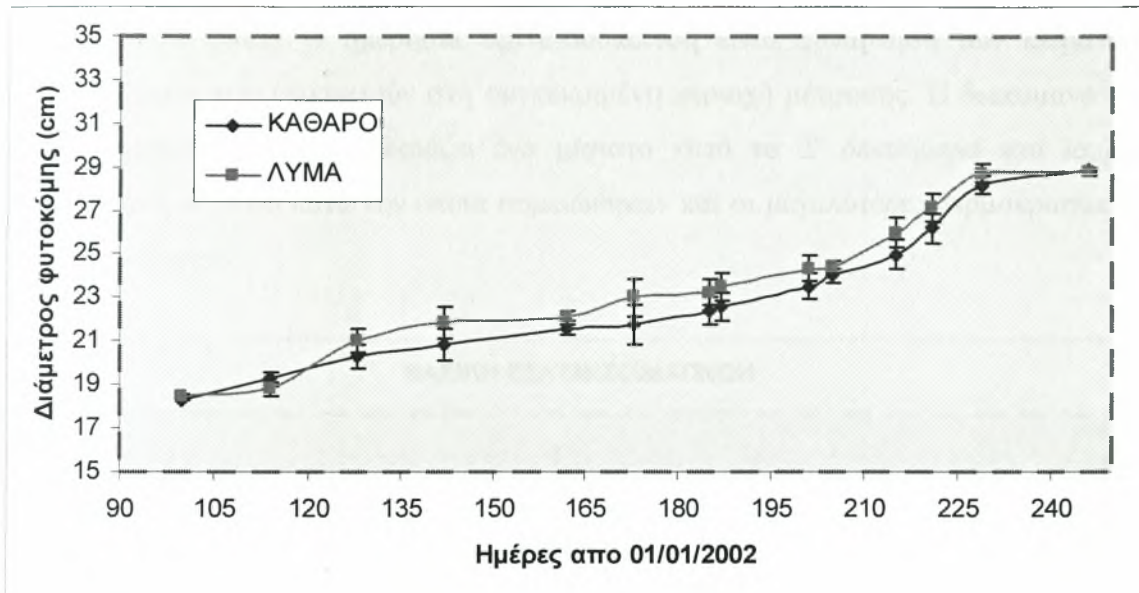
Στο είδος *Thuja*, το μέσο ύψος φυτών μεταβλήθηκε από 18,33 cm σε 28,89 cm για τη μεταχείριση ΚΚ ενώ από 18,45 cm σε 28,75 cm για τη μεταχείριση ΚΛ. Η αύξηση του ύψους ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση ΚΚ 10,55 cm έναντι 10,29 cm της μεταχείρισης ΚΛ. Η διαφορά δεν αποδείχθηκε όμως στατιστικά σημαντική ($p=0,05$).

Στο είδος *Cupressus*, το μέσο ύψος φυτών μεταβλήθηκε από 29,12 cm σε 42,95 cm για τη μεταχείριση ΚΚ ενώ από 27,54 cm σε 39,68 cm για τη μεταχείριση ΚΛ. Η αύξηση του ύψους ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση ΚΚ 13,83 cm έναντι 12,14 cm της μεταχείρισης ΚΛ. Η διαφορά αποδείχθηκε στατιστικά σημαντική ακόμη και για πιθανότητα $p=0,01$ σύμφωνα με το t-κριτήριο.

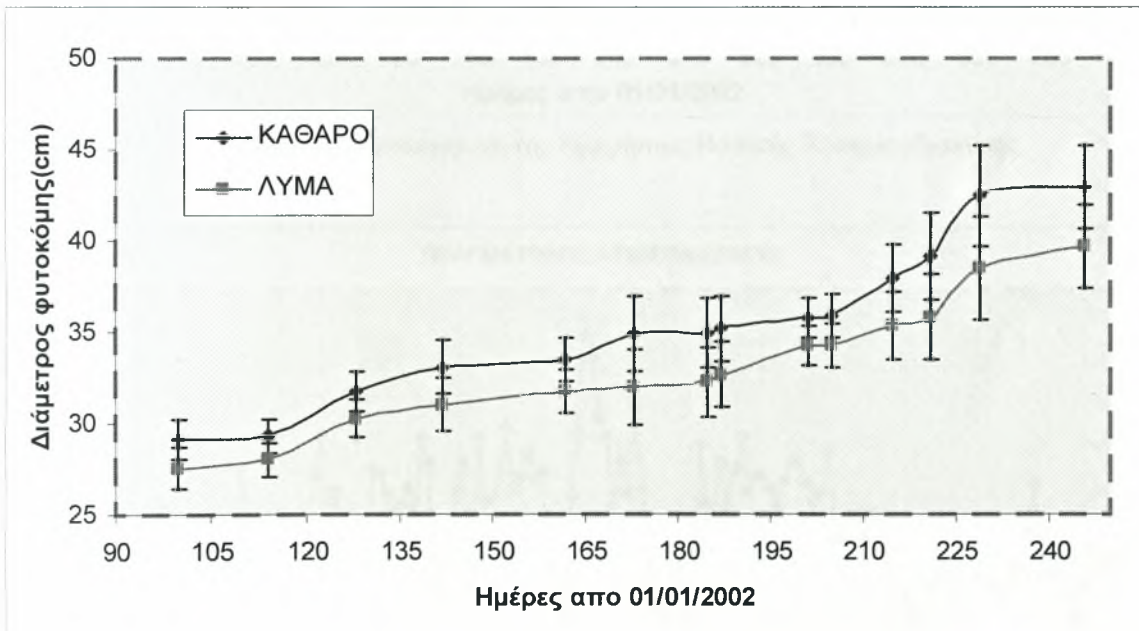


Γράφημα 5. Μεταβολή της διαμέτρου της φυτοκόμης των φυτών του είδους *Juniperus* (Στρίκτο).

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση



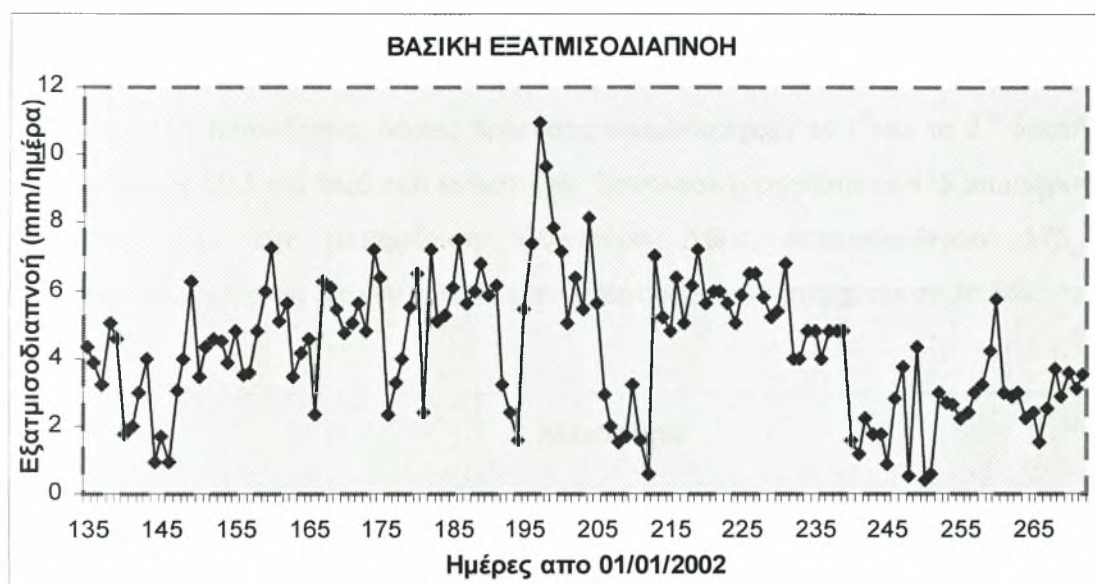
Γράφημα 6. Μεταβολή της διαμέτρου της φυτοκόμης για τα φυτά του είδους Thuja (Τούγια).



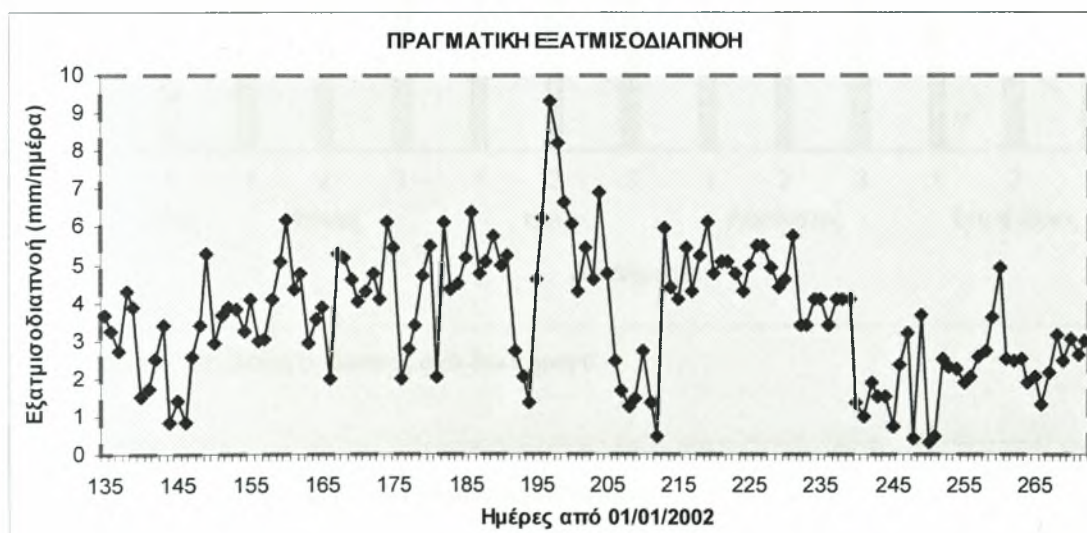
Γράφημα 7. Μεταβολή της διαμέτρου της φυτοκόμης για τα φυτά του είδους Cupressus (Λεμονοκυπάρισσος).

7.4. Εξατμισοδιαπνοή

Στο Γράφημα 8 φαίνεται η μεταβολή της βασικής εξατμισοδιαπνοής σε ημερήσια βάση. Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή είναι συνάρτηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στη συγκεκριμένη περιοχή μέτρησης. Η διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζει ένα μέγιστο κατά το 2^ο δεκαήμερο του Ιουλίου, χρονική περίοδο κατά την οποία σημειώθηκαν και οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες του καλοκαιριού.



Γράφημα 8. Διακύμανση της Ημερήσιας Βασικής Εξατμισοδιαπνοής.



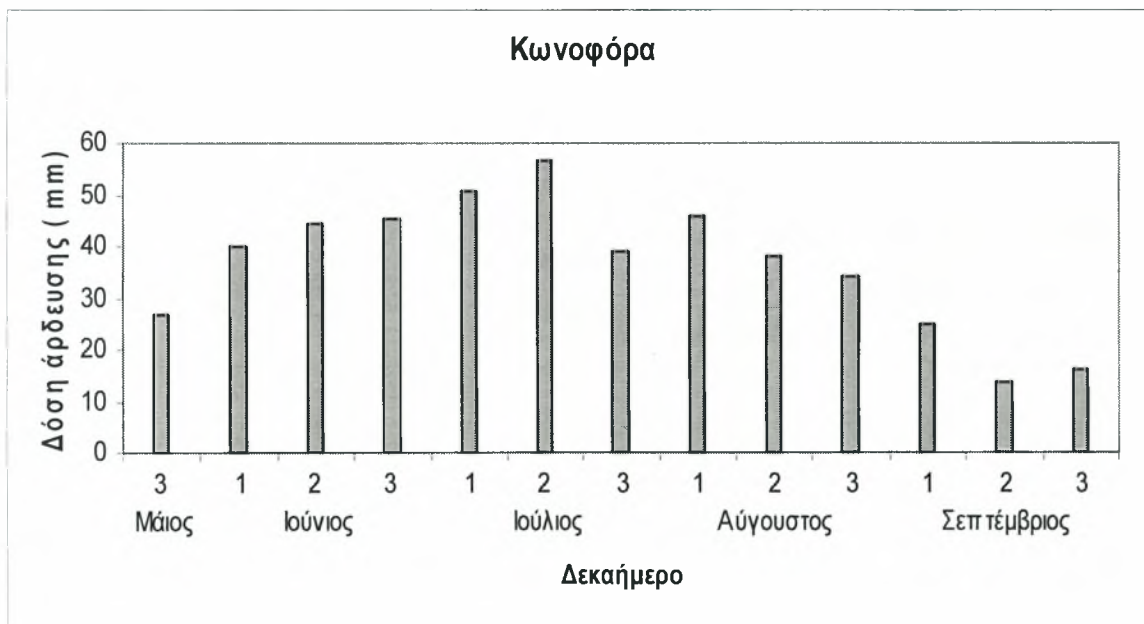
Γράφημα 9. Διακύμανση της Ημερήσιας Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής .

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Αντίθετα, παρατηρήθηκε μια πτώση στην τιμή της εξατμισοδιαπνοής κατά το 3^ο δεκαήμερο του Ιουλίου, εξαιτίας των αυξημένων βροχοπτώσεων και των χαμηλών θερμοκρασιών αυτού του δεκαήμερου. Οι μεγαλύτερες τιμές της βασικής εξατμισοδιαπνοής παρατηρήθηκαν στις 17 και 18 Ιουλίου, με 11 και 9,7 mm αντίστοιχα. Η μεταβολή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζεται στο Γράφημα 9.

7.4.Εξοικονόμηση νερού

Στο γράφημα 10. παρουσιάζεται η κατανομή των δόσεων άρδευσης ανά δεκαήμερο. Οι μεγαλύτερες δόσεις άρδευσης εφαρμόστηκαν το 1^ο και το 2^ο δεκαήμερο του Ιουλίου με 50,5 και 56,6 mm αντίστοιχα. Συνολικά χορηγήθηκαν 475 mm νερού στα κωνοφόρα. Για την μεταχείριση Κωνοφόρα Λύμα καταναλώθηκαν 175 mm επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Η εξοικονόμηση νερού ανέρχεται σε 36,8%.



Γράφημα 10. Δόση άρδευσης ανά δεκαήμερο.

7.5. Παράμετροι του νερού αρδεύσεως

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του νερού της γεώτρησης και

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

των αποβλήτων (Πίνακας 8.), διαπιστώνεται ότι, για το νερό της γεώτρησης, οι τιμές των παραμέτρων ήταν εντός των επιτρεπτών ορίων. Εξαιρέση ίσως αποτελεί η συγκέντρωση των NO_3^- (16,65 mg/L), που η τιμή τους θεωρείται επιφυλακτική. Οι Ayers and Westcot (1985) θέτουν το όριο των 10 mg/L ενώ οι Neja et al. (1978) θέτουν το όριο 30 mg/L για τα νιτρικά ιόντα.

Από τις παραμέτρους των αποβλήτων, πιο επικίνδυνη για τις καλλιέργειες, θεωρείται η συγκέντρωση των Cl. Ως ελάχιστο όριο ασφαλείας θεωρούνται τα 355 mg Cl/L, ενώ για τις ανθεκτικότερες καλλιέργειες μπορεί να εφαρμοστεί το όριο των 710 mg/L. Από τις άλλες παραμέτρους, η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν λίγο πάνω από το όριο των 3 dS/m (3,3 dS/m), που όμως με την εναλλαγή των αρδεύσεων με καθαρό νερό θεωρείται ότι μειώνεται σημαντικά η επίδρασή της.

Ακόμη, οι δείκτες B.O.D. (Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου) και C.O.D. βρίσκονταν ελάχιστα πιο πάνω από τα ενδεικνυόμενα όρια 17,1 mg/L και 44,8 mg/L έναντι των 15 και 40 mg/L αντίστοιχα (Μικροβιολογικές Προδιαγραφές Ισραήλ). Οι τιμές των αιωρούμενων στερεών (S.S.) ήταν εντός του προτεινόμενου ορίου (9,8 mg/L έναντι 10 mg/L) και τα υπόλοιπα στοιχεία χαρακτηρίζονταν από μικρές σχετικά συγκεντρώσεις.

Πίνακας 8. Παράμετροι του νερού της γεώτρησης και των αποβλήτων

Παράμετρος μέτρησης	Μονάδα μέτρησης	Μέση τιμή νερού γεώτρησης	Μέση τιμή αποβλήτω ν	Όρια ασφαλείας
pH		7,48	8,33	6,5-8,5
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (E.C.)	dS/m	0,58	3,3	0-3
Αιωρούμενα στερεά (S.S.)	mg/L	-	9,8	0-15
Χημική Απαίτηση Οξυγόνου (C.O.D.)	mg/L	-	44,8	0-40
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (B.O.D.)	mg/L	-	17,1	0-15
$\text{NO}_3\text{-N}$	mg/L	16,65	6,2	0-10
$\text{NH}_4\text{-N}$	mg/L	<1	1,4	0-30

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

P	mg/L	0,5	4	0-15
Fe	mg/L	<1	0,303	0-20
Cu	mg/L	<1	0,011	0-5
Zn	mg/L	<1	0,058	0-10
SO ₄ ²⁻	mg/L	12,23	-	0-1000
K ⁺	mg/L	1,33	-	0-2
Ca ²⁺	mg/L	30,9	-	0-400
Mg ²⁺	mg/L	28,15	-	0-60
B	mg/L	<1	-	0-10
Mo	mg/L	<1	-	0-0,05
Mn	mg/L	<1	-	0-10
Na	mg/L	21,28	-	0-200
Cl	mg/L	22,41	1468,4	0-700

7.6. Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού

Στον Πίνακα 9. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης που έγινε στον πειραματικό αγρό, κατά την έναρξη διεξαγωγής του πειράματος, τον Οκτώβριο του 2001.

Πίνακας 9. Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού Οκτώβριος του 2001.

Παράμετρος	Βάθος (cm)		
	0-30	30-60	60-90
Μηχανική Σύσταση	Πηλώδες (L)	Αργιλοπηλώδες (CL)	Αργιλοπηλώδες (CL)
Οργανική Ουσία (%)	1,39	1,14	1,36
pH (H ₂ O 1:1)	7,8	7,9	7,9
CaCO ₃ (%)	4,51	7,26	12,76
P (mg/kg)	8	9	4
Ηλ. Αγωγιμότητα (E.C., dS/m)	3	3	3

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Σύνολο διαλυτών αλάτων %	0,125	0,15	0,14
I.A.K. (meq/100g)	25,7	28,45	26,9
K (meq/100g)	0,355	0,24	0,295
Na (meq/100g)	0,405	0,45	0,5
Ca (meq/100g)	16,23	17,87	16,24
Mg (meq/100g)	2,81	3,79	5,7
B (meq/100g)	0,5	0,425	0,425
Fe (meq/100g)	4,74	6,83	10,47
Zn (meq/100g)	11,36	1,44	3,12
Cu (meq/100g)	4,24	2,77	2,53
Mn (meq/100g)	4,62	4,57	4,89
NO ₃ -N (mg/kg)	48,05	30,05	14,25
NH ₄ -N (mg/kg)	6,15	3,8	13,6

Το έδαφος ανήκει στην υποομάδα Typic xerochrept της τάξης Inceptisols. Σύμφωνα με τη μηχανική ανάλυση που έγινε, είναι αργιλοπηλώδες. Χαρακτηρίζεται ως ελαφρά αλκαλικό σύμφωνα με το pH (Μήτσιος κ.α. 2000).

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία θεωρείται χαμηλή. Ο φώσφορος θεωρείται ότι βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Η τιμή της I.A.K. χαρακτηρίζεται μέση ως υψηλή. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα K, Mg και Na θεωρείται ότι βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα. Η διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων Fe, Zn και Mn χαρακτηρίζεται ως χαμηλή. Ο Cu βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα.

Το έδαφος χαρακτηρίζεται ως ασβεστούχο όσον αφορά την περιεκτικότητα σε CaCO₃. Η αποστράγγιση του εδάφους χαρακτηρίζεται καλή. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα θεωρείται ότι δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα. Το επίπεδο των διαλυτών αλάτων είναι χαμηλό.

Στο τέλος της αρδευτικής περιόδου διενεργήθηκε εδαφολογική ανάλυση και στις δυο μεταχειρίσεις για την εύρεση της περιεκτικότητας των θρεπτικών στοιχείων. Τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης για τις μεταχειρίσεις του καθαρού φαίνονται στον Πίνακα 10.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

Η συγκέντρωση του Καλίου παρέμεινε σταθερή. Η ποσότητα του CaCO_3 μειώθηκε σε σχέση με το βάθος. Σημειώθηκε σημαντική μείωση της I.A.K., του Φωσφόρου και του Νατρίου. Μειώθηκαν ελαφρά η Οργανική Ουσία, ο Σίδηρος, ο Χαλκός και το Μαγγάνιο. Αυξήθηκε λίγο ο Ψευδάργυρος.

Τέλος, είχαμε μεγάλη μείωση στις συγκεντρώσεις του νιτρικού και του αμμωνιακού αζώτου με το πέρας της αρδευτικής περιόδου. Η μεγάλη μείωση της περιεκτικότητας σε NO_3^- και NH_4^+ , καθώς και άλλων στοιχείων του εδάφους, οφείλεται στην πολύ μικρή περιεκτικότητα αυτών στα επεξεργασμένα απόβλητα.

Η εδαφολογική ανάλυση για τη μεταχείριση του λύματος των Κωνοφόρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 11. Σημειώνεται ότι δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων στις παραμέτρους pH, E.C., Οργανική ουσία, I.A.K., Ολικά Διαλυτά Άλατα.

Πίνακας 10. Εδαφολογική ανάλυση της μεταχείρισης του καθαρού νερού.

Παράμετρος	Μεταχείριση με Καθαρό νερό					
	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm	
	Πριν την εγκατάσταση του πειράματος	Μετά το πέρας των αρδεύσεων	Πριν την εγκατάσταση του πειράματος	Μετά το πέρας των αρδεύσεων	Πριν την εγκατάσταση του πειράματος	Μετά το πέρας των αρδεύσεων
Οργανική Ουσία (%)	1,39	1,17	1,14	1,24	1,36	1,34
pH	7,8	7,8	7,9	7,8	7,9	8,0
CaCO_3 (%)	4,51	5,28	7,26	10,12	12,76	8,80
P (mg/kg)	8	7	9	5	4	5
Ηλ. Αγωγιμότητα (E.C., dS/m)	3	<3	3	<3	3	<3
Σύνολο διαλυτών αλάτων %	0,125	<0,16	0,15	<0,14	0,14	<0,14
I.A.K. (meq/100g)	25,7	18,07	28,45	16,48	26,9	18,86
K (meq/100g)	0,355	0,15	0,24	0,2	0,295	0,15
Na	0,405	0,26	0,45	0,26	0,5	0,21

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

(meq/100g)						
Ca (meq/100g)	16,23	-	17,87	-	16,24	-
Mg (meq/100g)	2,81	-	3,79	-	5,7	-
B (meq/100g)	0,5	-	0,425	-	0,425	-
Fe (meq/100g)	4,74	7,0	6,83	6,0	10,47	6,2
Zn (meq/100g)	11,36	2,5	1,44	11,6	3,12	1,6
Cu (meq/100g)	4,24	2,5	2,77	2,5	2,53	2,7
Mn (meq/100g)	4,62	4,8	4,57	4,5	4,89	4,2
NO ₃ -N (meq/100g)	48,05	3,99	30,05	6,04	14,25	9,46
NH ₄ -N (meq/100g)	6,15	1,42	3,8	1,68	13,6	1,36

Πίνακας 11. Εδαφολογική ανάλυση της μεταχείρισης του λύματος.

Παράμετρος	Μεταχείριση με Λύμα					
	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm	
	Πριν την εγκατάσταση του πειράματος	Μετά το πέρας των αρδεύσεων	Πριν την εγκατάσταση του πειράματος	Μετά το πέρας των αρδεύσεων	Πριν την εγκατάσταση του πειράματος	Μετά το πέρας των αρδεύσεων
Οργανική Ουσία (%)	1,39	1,17	1,14	1,27	1,36	1,31
pH	7,8	7,8	7,9	7,7	7,9	7,8
CaCO ₃ (%)	4,51	3,08	7,26	5,50	12,76	9,68
P (mg/kg)	8	5	9	9	4	9
Ηλ. Αγωγιμότητα (E.C., dS/m)	3	<3	3	<3	3	<3
Σύνολο	0,125	0,11	0,15	<0,14	0,14	0,11

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

διαλυτών αλάτων %						
I.A.K. (meq/100g)	25,7	17,28	28,45	18,07	26,9	18,07
K (meq/100g)	0,355	0,2	0,24	0,15	0,295	0,26
Na (meq/100g)	0,405	0,26	0,45	0,17	0,5	0,21
Ca (meq/100g)	16,23	-	17,87	-	16,24	-
Mg (meq/100g)	2,81	-	3,79	-	5,7	-
B (meq/100g)	0,5	-	0,425	-	0,425	-
Fe (meq/100g)	4,74	5,6	6,83	7,0	10,47	8,0
Zn (meq/100g)	11,36	3,3	1,44	3,2	3,12	4,0
Cu (meq/100g)	4,24	2,5	2,77	2,9	2,53	2,5
Mn (meq/100g)	4,62	5,0	4,57	4,6	4,89	5,7
NO ₃ -N (meq/100g)	48,05	11,27	30,05	1,16	14,25	0,75
NH ₄ -N (meq/100g)	6,15	1,58	3,8	2,92	13,6	3,49

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

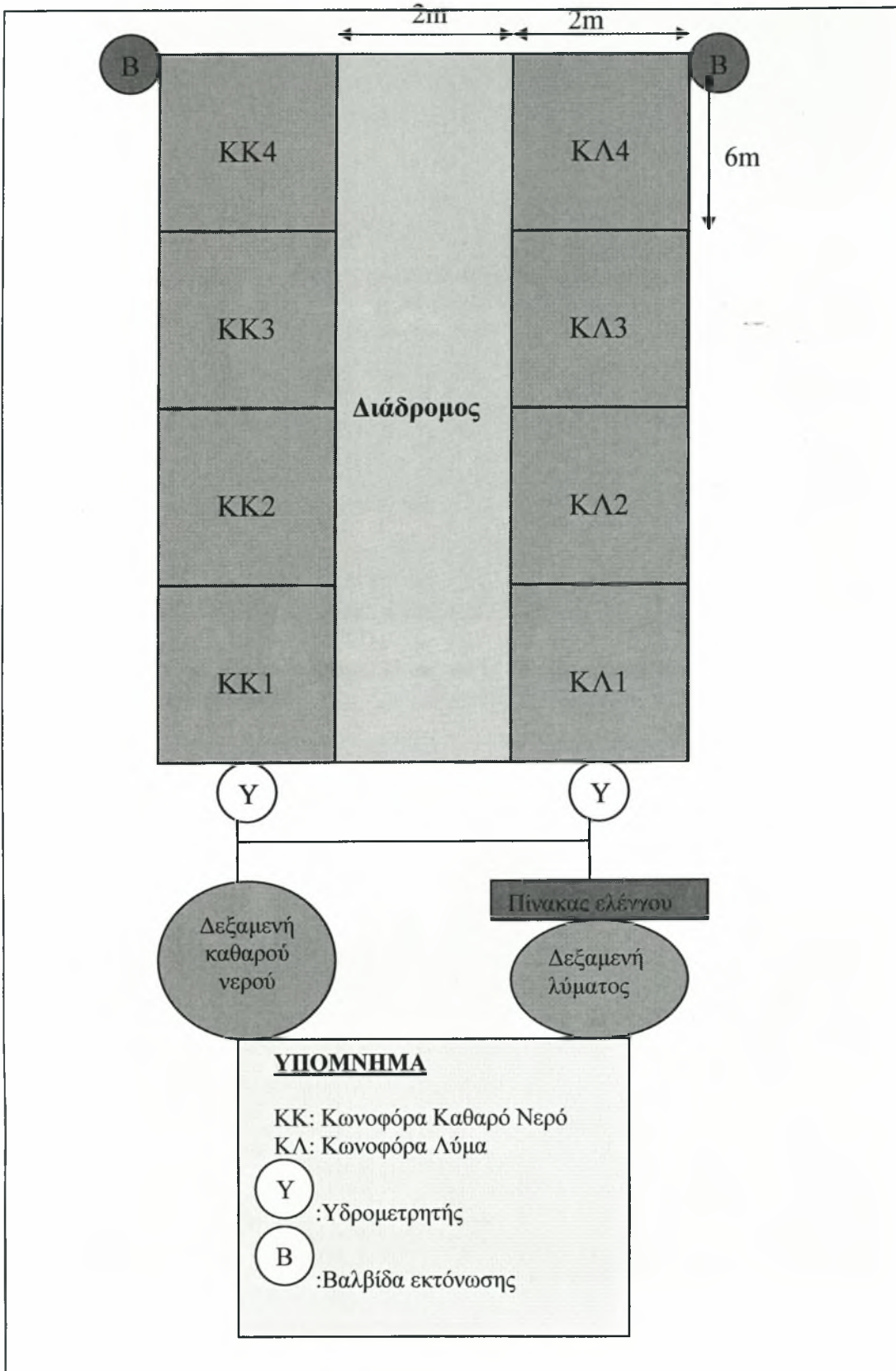
- 1) Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση κωνοφόρων φυτών, χωρίς να προκύψουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη τους.
- 2) Με την χρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση επιτυγχάνεται εξοικονόμηση καθαρού νερού και η αποφυγή ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών.
- 3) Η ωφέλεια στην προκειμένη περίπτωση είναι η εξοικονόμηση ποσοτήτων καθαρού νερού της τάξης του 37 %.
- 4) Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση είναι να ελέγχονται τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα σε σχέση με τις χημικές ιδιότητες και το μικροβιακό φορτίο. Οι χημικές ιδιότητες αποσκοπούν στην επιλογή της καλλιέργειας, ενώ το μικροβιακό φορτίο στην επιλογή της μεθόδου άρδευσης, για την αποφυγή υγειονομικών κινδύνων.
- 5) Στην παρούσα εργασία τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου ήταν σχετικά πτωχά σε θρεπτικά συστατικά, περιείχαν μεγάλες ποσότητες ιόντων χλωρίου και το μικροβιακό φορτίο ήταν υψηλό.
- 6) Η ανάπτυξη των κωνοφόρων και στις δύο μεταχειρίσεις δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές. Γενικά τα φυτά που αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα απόβλητα αναπτύχθηκαν κανονικά και δε παρουσίασαν σημαντικές διαφορές με τα φυτά που αρδεύτηκαν μόνο με νερό της γεώτρησης. Ωστόσο στην μεταχείριση Λύμα, στο είδος *Cupressus* η διάμετρος φυτοκόμης επηρεάστηκε αρνητικά από την παρουσία των αποβλήτων. Η μέση αύξηση της διαμέτρου της

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

φυτοκόμης ήταν μεγαλύτερη και στατιστικώς σημαντική σε επίπεδο $p = 0,05$ για τη μεταχείριση του καθαρού νερού έναντι του λύματος.

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση



Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση



Εικόνα 10. Εκσκαφή του αγρού σε βάθος 15 εκ. με τη βοήθεια εσκαφέα όπου την ακολούθησε η ισοπέδωση του αγρού.

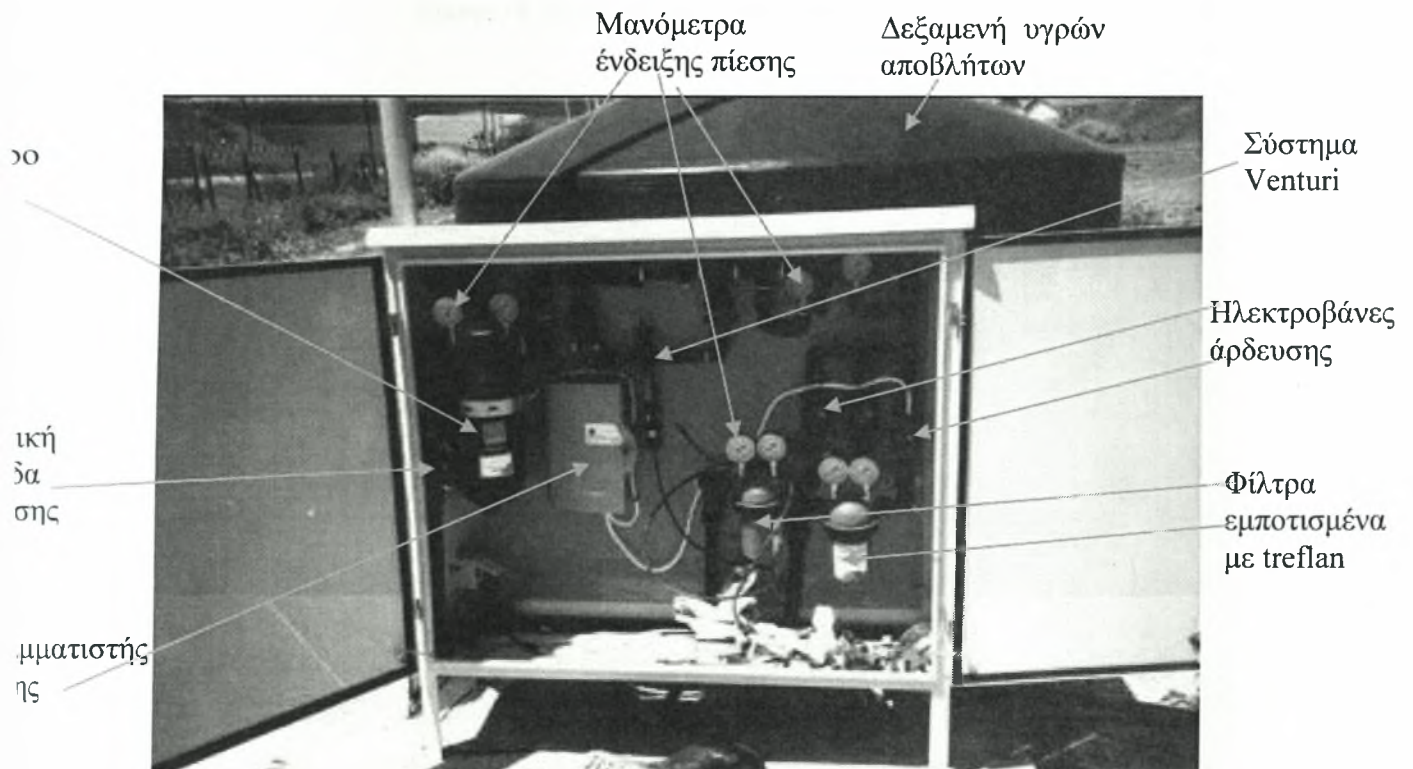


Εικόνα 11. Εγκατάσταση του αρδευτικού συστήματος.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση



Εικόνα 12. Έλεγχος λειτουργίας του αρδευτικού συστήματος.



Εικόνα 13. Πίνακας ελέγχου του αρδευτικού συστήματος.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση



Εικόνα 14. Επιχωμάτωση και ισοπέδωση του αγρού.



Εικόνα 15. Η μεταχείριση ΚΚ (Κωνοφόρα Καθαρό).



Εικόνα 16. Άποψη του πειράματος.



Εικόνα 17. Η μεταχείριση ΚΛ (Κωνοφόρα Λύμα).

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

10.1. Ελληνική βιβλιογραφία

- 1) Αγγελάκης Ν. Α. και Tchobanoglous G., 1995. Υγρά Απόβλητα, Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών.
- 2) Βουρδούμπας Ι., 2000. Άρδευση δασικής φυτείας με επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα. Γεωργία και Κτηνοτροφία 6, σελ.64-68. Αθήνα.
- 3) Γκίκας Πέτρος, 2004. Ανάκτηση και Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων. Πρακτικά Δημερίδας «Ορθολογική Διαχείριση Υδάτινων Πόρων και Περιβάλλον». Λάρισα.
- 4) Μακραντωνάτου Γ., 1990. Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων. Αθήνα.
- 5) Μαρσέλος Σ., 1985. Κηπουρική για όλους-Πρακτική Εγκυκλοπαίδεια για λουλούδια, φυτά, δέντρα και λαχανικά. Αθήνα.
- 6) Μήτρακας Μ., 1996. Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού. Αθήνα
- 7) Μήτσιος Κ. Ι., 2004, Γονιμότητα εδαφών-Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και Βαρέα Μέταλλα-Μέθοδοι και Εφαρμογές. Βόλος.
- 8) Μιχαηλίδου Λ. Καλλιόπη, 2003. Περιβαλλοντικός σχεδιασμός για το Νομό Μαγνησίας. Βόλος.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

- 9) Πανώρας Α. και Ηλίας Α., 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
- 10) Πανώρας Α., Καλαφατέλη Δ. και Ρέρη Ε., 1999. Διερεύνηση της καταλληλότητας για άρδευση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 1. Θεσσαλονίκη.
- 11) Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999. Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
- 12) Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καλφούτζος Δ., Παπανίκος Ν., 2000. Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος.
- 13) Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 2002. Σημειώσεις των αρδεύσεων. Βόλος.
- 14) Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Παπαλέξης Δ., Δαναλάτος Ν., Βουλτσάνης Π. και Νάκος Ν., 2003. Επίδραση Επιφανειακής και Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή της ενεργειακής καλλιέργειας του Σόργου στην Κεντρική Ελλάδα. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ. 183-190. 2-5 Απριλίου 2003, Θεσσαλονίκη.
- 15) Σαρλής Π. Γ., 1999. Συστηματική Βοτανική-Εφαρμογές κορμόφυτων, Αθήνα.
- 16) Στάμος Α., 1995. Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων. Αθήνα
- 17) Στάμου Α. Ι. και Κυριαζοπούλου Ι. Λ., 1996. Πρόσθετη Επεξεργασία για την διάθεση Αποβλήτων για Άρδευση. Πρακτικά 2^{ου} Πανελλήνιο Συνέδριο "Εγγειοβελτιωτικά Έργα – Διαχείριση Υδατικών Πόρων- Εκμηχάνιση Γεωργίας". Λάρισα .
- 18) Τασούλα Α. και Διαμαντόπουλος Ε., 2000. Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των εκροών της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Χανίων. Πρακτικά 9^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Υδροτεχνικής Ένωσης, Κρήτη.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

- 19) Τερζίδης Α. Γ. και Παπαζαφειρίου Γ. Ζ., 1997. Γεωργική Υδραυλική. Θεσσαλονίκη.
- 20) Τσαντήλας Χ. και Σαμαράς Β., 1996. Χρήση Επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων για άρδευση και λίπανση γεωργικών καλλιεργειών. Πρακτικά 2^{ου} Πανελλήνιο Συνέδριο "Εγγειοβελτιωτικά Έργα – Διαχείριση Υδατικών Πόρων-Εκμηχάνιση Γεωργίας". Λάρισα.

10.2. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- 1) Al-Lahham, N. M. El Assi and M. Fayyad, 2002. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit in www.sciencedirect.com. Agricultural Water Management, Vol.61: Pages 51-62.
- 2) Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. FAO. Rome.
- 3) Ayars E., Phene J., Hutmacher B., Davis R., Schoneman A. Vail S., Mead M., 1999. Subsurface Drip Irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. Agriculture Water Management, Vol.42: Pages 1-27.
- 4) Ayers R.S., and Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. F.A.O. Irrigation and Drainage Paper Vol 29: Pages 99-104, Rev. 1.
- 5) Bahri A. and Brissaud F., 2002. Guidelines for municipal water reuse in the Mediterranean countries.

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

- 6) Neufeld J., 2001. Water Conservation with Subsurface Drip Irrigation. Drought Symposium, College of Southern Idaho.
- 7) Neja, R.A., Ayers, R.S., and Kassimatis, A.N., 1978. Salinity appraisal of soil and water for successful production of grapes .Leaflet 21056, Division of Agricultural Sciences, University of California, Berkeley.
- 8) Ortega-Larrocea P.M., Siebe C., Becard G., Mendez I. and Webster R., 2001. Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of Mexico. Applied Soil Ecology, Vol.16: Pages 149-157.
- 9) Testa M. S., 2000. Geological Aspects of Hazardous Waste Management.
- 10) Vasquez-Montiel O., Horan J. and Mara D., 1996. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. Water Science and Technology, Vol. 33: Pages 355-362.
- 11) Yoon G., Kwun K. and Ham H., 2001. Effects of treated sewage irrigation on paddy rice culture and its soil. Irrigation and Drainage, Vol. 50: Pages 227-236.

9.3. Ηλεκτρονικές σελίδες

http₁: <http://www.futureharvest.org/>

http₂: *Cupressus macrocarpa* Hartweg 1847 in <http://www.botanik.uni-bonn.de/conifers/cu/cup/macrocarpa.htm>

http₃: *Cupressus macrocarpa*: Monterey Cypress, Edward F. Gilman and Dennis G. Watson in http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_ST224

Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση

http₄: Thuja orientalis "Pyramidalis Aurea" in <http://www.fiva.gr/gardencenter/plantdetail.asp?pCat=6&pCode=106>

http₅: Cupressaceae Rich. ex Bartling 1830 in <http://www.botanik.uni-bonn.de/conifers/cu/index.htm>

http₆: *Juniperus chinensis* Linnaeus 1767 in <http://www.botanik.uni-bonn.de/conifers/cu/ju/chinensis.htm>

http₇: <http://www.wwf.gr>

http₈: http://www.floridata.com/ref/j/juni_chi.cfm

http₉: <http://ga.water.usgs.gov/edu/wwvisit.html>



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074463