

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

*“ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ”*



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΦΟΙΤΗΤΗΣ
ΖΑΓΓΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
Μ. ΣΑΚΕΛΑΡΙΟΥ – ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΡΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2007



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 264/1
Ημερ. Εισ.: 17-01-2008
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2007
ΖΑΓ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 189
Ημερομηνία 19-10-2007

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

*“ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ”*

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΦΟΙΤΗΤΗΣ
ΖΑΓΓΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
Μ. ΣΑΚΕΛΑΡΙΟΥ – ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΡΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

Εξεταστική επιτροπή

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ., Επιβλέπουσα.

Τσιρόπουλος Ν., Επ. Καθηγητής Π.Θ.

Βαρδαβάκης Ε., Λέκτορας Π.Θ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων που διεξάγει το εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και σε συνεργασία με τον δήμο Βόλου και την Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Μείζονος Βόλου (Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β.).

Το θέμα της πτυχιακής μου διατριβής δόθηκε από την Καθηγήτρια του τμήματος, κυρία Μαρία Σακελαρίου – Μακραντωνάκη, την οποία ευχαριστώ ιδιαίτερα για την οργάνωση και παρακολούθηση της διατριβής μου σε ολόκληρη την πορεία της, καθώς επίσης και για την πολύτιμη και ουσιαστική συμβολή της στην επίλυση των θεωρητικών και πειραματικών προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά καιρούς. Επίσης την ευχαριστώ για την κριτική που άσκησε πριν την ολοκλήρωση της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Ευχαριστώ επίσης τον Επίκουρο Καθηγητή Π.Θ. κύριο Τσιρόπουλο Νικόλαο, καθώς και τον Λέκτορα κύριο Βαρδαβάκη Εμμανουήλ, για την εποικοδομητική τους κριτική και για το χρόνο που αφιέρωσαν για την ανάγνωση και διόρθωση της πτυχιακής μου διατριβής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στο μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π. του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος κύριο Παπανίκο Νικόλαο, για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος.

Θέλω ακόμη να ευχαριστήσω τον μεταπτυχιακό φοιτητή Παπαδάκη Ευάγγελο, για την καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια της πτυχιακής μου διατριβής, και τον προπτυχιακό φοιτητή, Παπανικολάου Νικόλαο για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. και το προσωπικό του Βιολογικού Καθαρισμού για την άψογη συνεργασία μας στη μεταφορά των υγρών αστικών αποβλήτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1. Ο ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ (<i>Festuca arundinacea</i>)	
1.1. Γενικά	8
1.2. Συντήρηση	9
1.3. Άρδευση	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
2. ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	
2.1. Υγρά Απόβλητα	11
2.1.1. Χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων	11
2.1.2. Κριτήρια του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.)	14
2.2. Επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων	
2.2.1. Γενικά	19
2.2.2. Μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων	21
2.2.2.1. Πρωτοβάθμιος Καθαρισμός	22
2.2.2.2. Δευτεροβάθμιος Καθαρισμός	23
2.2.2.3. Τριτοβάθμιος Καθαρισμός	25
2.2.2.4. Απολύμανση	25
2.2.2.5. Φυσικά συστήματα επεξεργασίας	26
2.3. Χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων	28
2.3.1. Ανάγκη χρήσης	28
2.3.2. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα	28
2.3.3. Συνέπειες της άρδευσης με υγρά απόβλητα	30
2.3.3.1. Αλατότητα	30
2.3.3.2. Διηθητικότητα του εδάφους	30
2.3.3.3. Τοξικότητα ιόντων	31
2.3.3.4. Θρεπτικά στοιχεία	34
2.3.3.5. Διάφορα προβλήματα	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	
3.1. Επιλογή μεθόδου άρδευσης	36
3.2. Υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση (ΥΣΑ)	37
3.3. Πειράματα με χρήση της ΥΣΑ	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	41
4.1. Εγκατάσταση του πειράματος	47
4.2. Μετρήσεις	47
4.2.1. Κλιματικά δεδομένα	47
4.2.2. Εδαφολογική ανάλυση	48
4.2.3. Χλοοτάπητας	49
4.2.4. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R.	51
4.3. Άρδευση	53
4.3.1. Εξατμισόμετρο	56
4.3.2. Υγρά απόβλητα- Νερό άρδευσης.	57
4.4. Μέθοδοι ανάλυσης	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	58
5.1 Κλιματικά δεδομένα	58
5.2. Εξατμισοδιαπνοή	59
5.3. Εξοικονόμηση νερού	59
5.4. Αποτελέσματα προσδιορισμού χαρακτηριστικών χλοοτάπητα	61
5.4.1. Ξηρή βιομάζα	61
5.4.2. Ανάπτυξη φυτών	61
5.4.3. Εκχύλιση χλωροφύλλης σε φύλλα χλοοτάπητα	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα της λειψυδρίας έχει κάνει πιο έντονη από ποτέ την εμφάνιση του λόγω των κλιματολογικών μεταβολών του πλανήτη. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με τον πολλαπλασιασμό του συνεχώς αυξανόμενου αστικού πληθυσμού, είχε σαν αποτέλεσμα την δραματική αύξηση των υγρών αποβλήτων. Το γεγονός αυτό οδήγησε την επιστημονική κοινότητα οδήγησε την επιστημονική κοινότητα σε μια προσπάθεια για εξεύρεση λύσεων, μεταξύ των οποίων είναι και η διερεύνηση της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση γεωργικών εκτάσεων μετά από κατάλληλη επεξεργασία καθαρισμού.

Στην παρούσα εργασία, η οποία πραγματοποιήθηκε το 2005 (τα πειράματα), μελετήθηκε η επίδραση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλης του Βόλου στην ανάπτυξη χλοοτάπητα (*Festuca arundinacea*), καθώς και η εξοικονόμηση καθαρού νερού λόγω της χρήσης του λύματος. Το πείραμα έγινε σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Ύδρευσης Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου που διαθέτει τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας των αποβλήτων.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Η συνολική έκταση που χρησιμοποιήθηκε ήταν 100 m². Η παραπάνω έκταση χωρίστηκε σε δύο τμήματα (μεταχειρίσεις). Η μια μεταχείριση αρδευόταν μόνο με καθαρό νερό από τη γεώτρηση του αγροκτήματος, ενώ η άλλη μεταχείριση με καθαρό νερό και επεξεργασμένα απόβλητα. Κάθε άρδευση με τα απόβλητα ακολουθήθηκε από δυο εφαρμογές άρδευσης με το καθαρό νερό, λόγω της υψηλής συγκεντρώσεως σε άλατα των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων. Τα υγρά απόβλητα προέρχονταν από το Βιολογικό καθαρισμό της πόλης του Βόλου τα οποία είχαν υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία και χλωρίωση. Δεν χορηγήθηκε λίπανση σε καμία μεταχείριση.

Οι παρατηρήσεις που έγιναν αφορούσαν το ύψος του χλοοτάπητα, την παραγωγή βιομάζας και την περιεχόμενη χλωροφύλλη των φύλλων του χλοοτάπητα σε κανονικά χρονικά διαστήματα. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων. Όσον αφορά στην κατανάλωση ύδατος, η χρήση υγρών αστικών αποβλήτων οδήγησε σε μια εξοικονόμηση του καθαρού νερού περίπου 36%.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η ρύπανση και η συνεχής υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών, όσο και των υπόγειων νερών, η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων, κυρίως λόγω της μεγάλης κατανάλωσης νερού από τον κλάδο της γεωργίας, και οι περιοδικές ξηρασίες, έχουν οδηγήσει σε προσπάθειες εξεύρεσης νέων πηγών νερού. Τα μεγάλα προβλήματα εντείνονται περισσότερο στις μεγάλες βιομηχανικές και αστικές περιοχές, όπου τίθενται θέματα υδατοτροφοδοσίας και εκμετάλλευσης των υγρών αποβλήτων. (Αγγελάκης,2000)

Τα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούν ένα πολύ σοβαρό για το περιβάλλον πρόβλημα, καθώς υποβαθμίζουν ποιοτικά το νερό, ρυπαίνουν ακτές και θάλασσες και δημιουργούν αισθησιακά και άλλα προβλήματα. Επιβάλλεται, λοιπόν η λήψη δραστικών διαχειριστικών μέτρων που να αποσκοπούν στον περιορισμό της ρυπαντικής ιδιότητας των αποβλήτων, καθώς και την εκμετάλλευσή τους με σκοπό την εξοικονόμηση πηγών νερού και το οικονομικό όφελος της άρδευσης φυτών και δέντρων με επεξεργασμένα θρεπτικά απόβλητα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά.

Σήμερα, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί τουλάχιστον προκαταρκτική επεξεργασία θεωρείται ότι συμβάλλει στην:

- ⇒ Ανάπτυξη νέων υδατικών πόρων,
 - ⇒ Προστασία υπαρχόντων υδατικών πόρων με έμφαση τη διατήρηση πηγών και του φυσικού περιβάλλοντος,
 - ⇒ Μείωση του κόστους νερού,
 - ⇒ Ανάπτυξη πολιτικής υδατικών πόρων με έμφαση τη διατήρηση πηγών και του φυσικού περιβάλλοντος,
 - ⇒ Αξιοπιστία της υδατοπρομήθειας ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές.
- (Αγγελάκης,2000)

Σήμερα, σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο, τα υγρά απόβλητα και κυρίως αυτά που έχουν υποστεί δευτερογενή επεξεργασία χρησιμοποιούνται για άρδευση. Αποτελούν, λοιπόν, έναν πολύ οικονομικό υδατικό πόρο για γεωργική χρήση στις ΗΠΑ, στην Αυστραλία, Στην Κύπρο, Στην Ισπανία, στο Ισραήλ, στη Σαουδική Αραβία και σε άλλες χώρες. Χαρακτηριστικά σημειώνεται ότι στο Ισραήλ το 25%

του αρδευτικού νερού προέρχεται από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και αναμένεται το ποσοστό αυτό να ανέλθει στο 35% το 2010. Σημαντική θεωρείται και η χρήση τέτοιων νερών για πυροπροστασία κυρίως δασικών εκτάσεων, που βρίσκονται σε κοντινές περιοχές αστικών κέντρων. Τέλος, κάτι που είναι άξιο αναφοράς είναι και οι υπό εξέλιξη μελέτες για την παραγωγή πόσιμου νερού από επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα.

Στην Ελλάδα, στις πειραματικές εγκαταστάσεις του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. στη Θεσσαλονίκη, χρησιμοποιήθηκαν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα τόσο από τις δεξαμενές σταθεροποίησης, όσο και από τη συμβατική Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού Θεσσαλονίκης. Αρδεύτηκαν σε φυσικό έδαφος και σε σύστημα υδροπονίας, μη εδώδιμες καλλιέργειες, όπως ζέρμπερες, αλλά και ευαίσθητες εδώδιμες καλλιέργειες, όπως πιπεριές και τομάτες. Επίσης, έγινε επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε καλλιέργειες ζαχαρότευτλων, βαμβακιού και ρυζιού, με ή χωρίς λίπανση, οι οποίες έδωσαν εντυπωσιακά αποτελέσματα όσον αφορά τη βελτίωση της ποιότητας και ποσότητας των παραγομένων προϊόντων, καθώς και την εξοικονόμηση νερού και χημικών λιπασμάτων (Παπαδόπουλος & Παρισόπουλος, 2001).

Η παρούσα εργασία, έχει σαν αντικείμενο της, τη μελέτη της επίδρασης της Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα της πόλης του Βόλου και με καθαρό νερό σε χλοοτάπητα, καθώς επίσης και την εύρεση του ποσοστού εξοικονόμησης καθαρού νερού λόγω της χρήσης του λύματος.

Το κεφάλαιο 1 περιλαμβάνει γενικά στοιχεία για το χλοοτάπητα και κυρίως για τη συντήρησή του και την άρδευση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει θέματα που αφορούν τα υγρά αστικά απόβλητα. Γίνεται αναφορά στην ποιότητα των αστικών αποβλήτων, στις συνέπειες της άρδευσης με υγρά απόβλητα και αναλύονται οι μέθοδοι επεξεργασίας τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα Υλικά και οι Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα και ακολουθεί η Βιβλιογραφία και το Παράρτημα όπου παρουσιάζονται οι πίνακες της στατιστικής επεξεργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Ο ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ (*Festuca arundinacea*)

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η Φεστούκη ή καλαμοειδής είναι το κυριότερο ψυχρόφιλο είδος που καλλιεργείται με μεγάλη επιτυχία στη χώρα μας από τη δεκαετία του 70 (Σπαντιδάκης, 1999). Ο λόγος που η *Festuca arundinacea* είναι τόσο δημοφιλής είναι ότι είναι μια πολυετής χλόη που εγκαθίσταται πολύ εύκολα και λίγες μέρες μετά την εγκατάστασή της δίνει φυτά χρώματος.

Όταν άρχισε να καλλιεργείται το συγκεκριμένο είδος, δεν ξεχώρισε συγκριτικά με τις άλλες ψυχρόφιλες χλόες. Το στοιχείο που έκανε τη *Festuca arundinacea* να διακριθεί ήταν το πλούσιο και βαθύτερο από κάθε άλλο ψυχρόφιλο χλοοτάπητα ριζικό σύστημα που διαθέτει. Το βαθύ της ριζικό σύστημα τη βοηθάει να αντέξει τις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού, αλλά και τις χαμηλές, έως -10°C , θερμοκρασίες του χειμώνα. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε σχέση με όλες τις ψυχρόφιλες χλόες, έχει την καλύτερη αντοχή στις ακραίες θερμοκρασίες του καλοκαιριού. Ενώ σχετικά με τις χαμηλές θερμοκρασίες, για θερμοκρασίες κοντά στους -5°C δεν καταστρέφεται, απλά χάνει το χρώμα της και κιτρινίζει μέχρι να επανέλθει η θερμοκρασία στα φυσιολογικά επίπεδα.

Όσον αφορά τις εδαφικές προτιμήσεις, παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητα. Δηλαδή, αναπτύσσεται καλύτερα σε εδάφη με pH μεταξύ 5,5 και 6,5 όμως μπορεί να αναπτυχθεί και σε όρια που κυμαίνονται από 4,7 έως 8,7. Επίσης σε σχέση με τα άλλα ψυχρόφιλα είδη αντέχει καλά αλκαλικά και αλατούχα εδάφη.

Τέλος, σχετικά με τις καλλιεργητικές συνθήκες, ανέχεται και την υψηλή υγρασία, αλλά και την ξηρασία. Αυξάνεται καλύτερα σε εδάφη όπου φώσφορος και κάλιο είναι σε ποσότητες πάνω του μετρίου και το εδαφολογικό άζωτο είναι εύκολα διαθέσιμο.

Σε γενικές γραμμές η *Festuca arundinacea* είναι ένας χλοοτάπητας που έχει μεγάλα όρια προσαρμοστικότητας που αφορούν κλιματικές, εδαφικές, αλλά και καλλιεργητικές συνθήκες και γι' αυτό και βρίσκει ευρεία εφαρμογή στην Ελλάδα. (Σπαντιδάκης, 1999)

Η *Festuca arundinacea* σπέρνεται νωρίς το Φθινόπωρο γιατί τότε παρουσιάζονται οι ιδανικές θερμοκρασίες για τη βλάστηση του σπόρου. Αποκτά το

μέγιστο ρυθμό αύξησής της την άνοιξη, όπου και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερο βάρος στην προληπτική καταπολέμηση πιθανών ζιζανίων της φυτείας. Η Φεστούκη διατηρεί καλά το πράσινο χρώμα της και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όμως ο ρυθμός αύξησής της ελαττώνεται κατά πολύ. (Koski and Skinner,2003)

1.2. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Για να είναι επιτυχημένη μια καλλιέργεια χλοοτάπητα απαιτεί και κάποιον αριθμό ενεργειών από τη πλευρά του καλλιεργητή σχετικά με τη συντήρησή του. Οι πιο συνηθισμένες ενέργειες σχετικές με τη συντήρηση είναι η κοπή χλοοτάπητα, η λίπανση και ο έλεγχος ζιζανίων.

⇒ Κοπή χλοοτάπητα: είναι η πιο συνηθισμένη εργασία συντήρησης του χλοοτάπητα, οπότε γίνεται αντιληπτό ότι η μηχανή κουρέματος είναι το πιο απαραίτητο εργαλείο για τη συντήρηση του χλοοτάπητα. Το κούρεμα του χλοοτάπητα γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε ο χλοοτάπητας να διατηρείται στο κατάλληλο ύψος (συνήθως 5cm), να μεταφέρονται στη ρίζα θρεπτικά στοιχεία από το φύλλωμα και φυσικά να επιτυγχάνεται και ο πρωταρχικός στόχος καλλιέργειας του χλοοτάπητα, δηλαδή η ελκυστική εμφάνιση. (Σπαντιδάκης,1999)

⇒ Λίπανση: Η *Festuca arundinacea* ανέχεται χαμηλά επίπεδα γονιμότητας αλλά συνίσταται να γίνεται λίπανση 3 έως 6 kg ανά στρέμμα. Την ποσότητα αυτή τη χορηγούμε σε 2 με 3 δόσεις το Φθινόπωρο και το Χειμώνα. Το διάστημα μεταξύ δύο δόσεων θα πρέπει να είναι τέσσερις με έξι εβδομάδες.(Koski and Skinner, 2003). Αν θέλουμε ο χλοοτάπητας να έχει πιο έντονο πράσινο χρώμα, μπορούμε να κάνουμε και πρόσθετες αζωτούχες λιπάνσεις, όμως θα πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί ώστε να μην καταστρέψουμε τον χλοοτάπητα από υπερλίπανση.

⇒ Έλεγχος ζιζανίων: Απαραίτητη ενέργεια συντήρησης του χλοοτάπητα είναι και ο έλεγχος ζιζανίων. Είναι απολύτως λογική η παρουσία ζιζανίων σε μια τρυφερή νεαρή πράσινη βλάστηση όπως αυτή του χλοοτάπητα. Για την καταπολέμησή τους υπάρχουν πολλά προφυτρωτικά αλλά και μεταφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα. Προβλήματα υπάρχουν στην καταπολέμηση του δυσκολοεξόντωτου ζιζανίου αγριάδα, όπου σε περίπτωση εφαρμογής ενός μη εκλεκτικού ζιζανιοκτόνου μπορεί να καταστραφεί και όλη η υπάρχουσα βλάστηση. (Σπαντιδάκης,1999)

1.3. ΑΡΔΕΥΣΗ

Η *Festuca arundinacea* είναι ίσως το είδος χλοοτάπητα με τις μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό από κάθε άλλο. Με το ικανοποιητικό πότισμα αποφεύγουμε το κιτρίνισμα των φύλλων και έτσι διατηρείται το επιθυμητό πράσινο χρώμα, που είναι εξάλλου και κριτήριο υψηλής ποιότητας. Εκτός όμως από την διατήρηση της ποιότητας, η ικανοποιητική άρδευση βοηθά και στην πρόσληψη των διαφόρων θρεπτικών ουσιών από το φυτό, αλλά και στη διάλυση και διείσδυση των διαφόρων χημικών ουσιών (εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα) στο έδαφος.

Για τον υπολογισμό του προσδιορισμού των αναγκών άρδευσης η καλύτερη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι αυτή του καθορισμού βάση υπολογισμού της συνολικής εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως θερμοκρασία, ταχύτητα του ανέμου, κ.α. Άνω του 85%, των απωλειών της υγρασίας από το έδαφος αποδίδεται στην εξατμισοδιαπνοή. (Παπαζαφειρίου,1999)

Όταν λοιπόν ο χλοοτάπητας χάσει κάπως το χρωματισμό του, δηλαδή παρατηρήσουμε εμφανή σημάδια έλλειψης νερού, τότε πρέπει να τον ποτίσουμε σε βάθος 15-18 cm. Είναι προτιμότερο οι αρδεύσεις να γίνονται είτε τις πρωινές ώρες, είτε τις βραδινές διότι κατ' αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται η εξατμισοδιαπνοή και επιτυγχάνεται η μέγιστη αποδοτικότητα της άρδευσης.(Παπαζαφειρίου,1999)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

2.1.ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

2.1.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και αυξάνεται η ανάγκη για εξεύρεση νέων πηγών νερού λόγω του φαινομένου της λειψυδρίας. Τα υγρά απόβλητα, αφού υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία, μπορούν να αποτελέσουν τέτοιες πηγές και να χρησιμεύσουν στην άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων με σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά και στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων. Τα απόβλητα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν ακόμη και για βιομηχανική χρήση. (Angelaki et al. , 2002).

Τα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούνται κατά 99,9% από νερό με σχετικά μικρές περιεκτικότητες αιωρούμενων και διαλυμένων στερεών ουσιών.(Πανώρας και Ηλίας, 1999). Έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί, και αναμένεται να αυξηθεί η εφαρμογή τους, για άρδευση γηπέδων γκολφ, κήπων, δασών, πάρκων, και αλλού καθώς αποτελούν μια πολύτιμη πηγή από θρεπτικές ουσίες και νερό.(Al-Jamal M.S. et al., 2002). Τυπική σύσταση των υγρών αποβλήτων δίνεται στον πίνακα 2.1.

Τα κυριότερα οργανικά υλικά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα είναι οι υδρογονάνθρακες, οι λιγνίνες, οι εστέρες, τα λίπη, τα απορρυπαντικά, οι πρωτεΐνες και τα προϊόντα αποσύνθεσής τους. Όσον αφορά τις ανόργανες ουσίες των υγρών αποβλήτων, δεν αποκλείεται η παρουσία τοξικών στοιχείων, όπως αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, χαλκός, μόλυβδος, υδράργυρος, ψευδάργυρος. Η συγκέντρωση των στοιχείων αυτών πρέπει να ερευνάται με προσοχή, για να αποφεύγεται η δημιουργία προβλημάτων στα φυτά και στους ανθρώπους. Αυτό φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 2.2.

Ο κύριος όγκος των αστικών υγρών αποβλήτων αποτελείται από οικιακές εκροές, κάτι που σημαίνει ότι μικροοργανισμοί και παράσιτα που βρίσκονται στα ανθρώπινα εκκρίματα, βρίσκονται και στα απόβλητα με συνέπεια τον κίνδυνο μετάδοσης διάφορων μολυσματικών ασθενειών. Βεβαία τα τελευταία χρόνια, λόγω των αυστηρών μέτρων υγιεινής που εφαρμόζονται, ο κίνδυνος αυτός, έχει ελαχιστοποιηθεί, αλλά δεν έχει εκλείψει.

Πίνακας 2.1 Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων

Συστατικά	Όρια συγκέντρωσης			Μέσες τιμές Η.Π.Α.
	Μεγάλη	Μέση	Μικρή	
Ολικά στερεά (mg/l)	1200	720	350	-
Διαλυμένα(mg/l)	850	500	250	-
Αιωρούμενα(mg/l)	350	220	100	192.0
Καθιζάνοντα στερεά (ml/l)	20	10	5	-
Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (B.O.D. ₅ (mg/l) ,20 °C)	400	220	110	181.0
Ολικός οργανικός άνθρακας (T.O.C.,(mg/l))	290	160	80	102.0
Χημική απαίτηση οξυγόνου (C.O.D.,(mg/l))	1000	500	250	417.0
Αζωτο ολικό (ως N,(mg/l))	85	40	20	34.0
Οργ.-N(mg/l)	35	15	8	13.0
NH ₄ -N(mg/l)	50	25	12	20.0
NO ₂ -N(mg/l)	0	0	0	-
NO ₃ -N(mg/l)	0	0	0	0.6
Φώσφορος ολικός (ως P,(mg/l))	15	8	4	9.4
Οργανικός Φώσφορος(mg/l)	5	3	1	2.6
Ανόργανος Φώσφορος(mg/l)	10	5	3	6.8
Χλωριόντα(mg/l)	100	50	30	-
Βόριο(mg/l)				0.7-1.7
Διαλυτό Na (%)				50-70
EC (dS/m)				2.0-3.0
SAR (meq/l) ^{1/2}				3.0-9.0
Σκληρότητα (CaCO ₃)				200-300
Αλκαλικότητα (ως CaCO ₃)	200	100	50	211
Λίπη-Ελαια (mg/l)	150	100	50	-
Ολικά κολοβακτηρίδια, MPN/100 ml	-	-	-	22*10 ⁶
Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης MPN/100 ml	-	-	-	8*10 ⁶
Ιοί, PFU/100 ml	-	-	-	3.6

Πηγή : Asano et al. (1985), U.N.D.T.C.D. (1985), Asano (1994).

Πίνακας 2.2 Συστατικά των υγρών αστικών αποβλήτων που πρέπει να ελέγχονται

Συστατικά	Μετρούμενες παράμετροι	Αιτία ελέγχου
Αιωρούμενα στερεά	Αιωρούμενα στερεά που περιλαμβάνουν ασταθείς και σταθερές ενώσεις	Τα αιωρούμενα στερεά μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία λασπωδών ιζημάτων και αναερόβιων συνθηκών, όταν ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα εκβάλλουν σε υδάτινο περιβάλλον. Υπερβολική ποσότητα αιωρούμενων στερεών.
Βιοδιασπώμενη οργανική ύλη	Βιοχημική και χημική απαίτηση οξυγόνου	Συνίσταται κυρίως από πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες και λίπη. Όταν αποβάλλονται σε φυσικά συστήματα, η βιολογική τους αποσύνθεση μπορεί να οδηγήσει σε έλλειμμα διαλυμένου οξυγόνου στους υδάτινους αποδέκτες και στην ανάπτυξη σηπτικών συνθηκών.
Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Ενδεικτικοί μικροοργανισμοί. ολικά και εντερικής προέλευσης κολοβακτηρίδια	Μπορεί να μεταδοθούν ασθένειες από βακτήρια, ιούς και παράσιτα των αποβλήτων.
Θρεπτικά στοιχεία	Άζωτο, φώσφορος, κάλιο	Το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο είναι ουσιώδη θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών και η παρουσία τους κατά κανόνα επαυξάνει την αξία του νερού. Όταν εκβάλλουν σε υδάτινο περιβάλλον, το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να προκαλέσουν ανάπτυξη ανεπιθύμητης δραστηριότητας (υδροχαρής βλάστηση, ευτροφισμός). Όταν αποβάλλονται σε μεγάλες ποσότητες στο έδαφος το άζωτο μπορεί να προκαλέσει ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων.
Σταθερά οργανικά	Επιλεγμένες ενώσεις (π.χ. φαινόλες εντομοκτόνα, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες)	Αυτά τα οργανικά τείνουν να αντιστέκονται στις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων. Μερικές οργανικές ενώσεις είναι τοξικές στο περιβάλλον και η παρουσία τους μπορεί να καταστήσει τα απόβλητα ακατάλληλα για άρδευση.
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	pH	Το pH των αποβλήτων επηρεάζει τη διαλυτότητα των μετάλλων όπως επίσης και τη νατρίωση των εδαφών. Το συνηθισμένο εύρος pH σε υγρά αστικά απόβλητα είναι 6.5-8.5. αλλά οι βιομηχανικές εκροές μπορεί να μεταβάλλουν το pH σημαντικά.
Βαρέα μέταλλα	Επιλεγμένα στοιχεία (π.χ. Ζη, Νί)	Κάποια από τα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται στο περιβάλλον και ασκούν τοξική δράση στα φυτά και στα ζώα. Η παρουσία τους σε ορισμένες συγκεντρώσεις μπορεί να καταστήσει τα απόβλητα ακατάλληλα για άρδευση.
Διαλυμένα ανόργανα	Ολικά διαλυμένα στερεά, ηλεκτρική αγωγιμότητα, επιλεγμένα στοιχεία (π.χ. Na, Ca, Mg, Cl, B)	Υπερβολική αλατότητα μπορεί να προξενήσει ζημιές σε κάποιες καλλιέργειες. Ορισμένα ιόντα, όπως το χλώριο, το νάτριο και το βόριο, δρουν τοξικά σε κάποια φυτά. Το νάτριο μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα δομής στο έδαφος.
Υπολειμματικό χλώριο	Ελεύθερο και δεσμευμένο χλώριο	Υπερβολική ποσότητα ελεύθερου χλωρίου (> 0.05 mg/L, O ₂) μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στα φύλλα και γενικά να προξενήσει ζημιές σε ορισμένες καλλιέργειες. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος του χλωρίου σε ανακυκλωμένα απόβλητα βρίσκεται υπό μορφή ενώσεων, που γενικά δεν προκαλούν ζημιές στα φυτά. Προσοχή πρέπει να δίνεται στην πιθανότητα μόλυνσης των υπόγειων υδροφορέων με τις ιδιαίτερα τοξικές ενώσεις.

Πηγή : Pettygrove and Asano (1985).

2.2.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΥΓΕΙΑΣ (Π.Ο.Υ.)

Το 1989, κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης των ισχυουσών οδηγιών επαναχρησιμοποίησης λυμάτων διερευνήθηκαν από τον Π.Ο.Υ. με την υποστήριξη της Παγκόσμιας Τράπεζας και άλλων διεθνών οργανισμών, οι ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες μέτρων για τη μείωση ή εξάλειψη των κινδύνων μετάδοσης ασθενειών κατά την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση:

- ⇒ Επεξεργασία των λυμάτων,
- ⇒ Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών,
- ⇒ Επιλογή μεθόδου άρδευσης,
- ⇒ Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους μικροοργανισμούς των λυμάτων, του εδάφους ή των καλλιεργειών.

Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- ⇒ Η άρδευση με ακατέργαστα λύματα και χωρίς 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 υφίσταται.
- ⇒ 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 για την πρόληψη μετάδοσης των ασθενειών, χωρίς στη περίπτωση αυτή να είναι αναγκαίος ο περιορισμός των καλλιεργειών (απεριόριστη άρδευση).(W.H.O.,1989)

Στον πίνακα 2.3. εμφανίζονται τα προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ.

Εκτός από το μικροβιακό φορτίο, τίθενται και επιπρόσθετα κριτήρια σχετικά με τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για άρδευση, που έχουν να κάνουν με τη συγκέντρωση χημικών ουσιών και με έμφαση στη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων. Στον Πίνακα 2.4 φαίνονται τα ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων

μετάλλων για χρήση λυμάτων στη γεωργία, σύμφωνα με την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US-EPA 1992), (FAO 1992).

Πίνακας 2.3. Προτεινόμενα μικροβιολογικά όρια κατά τον Π.Ο.Υ.

Είδος άρδευσης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί Νηματοειδής (α) (β)	Περιττωματικά Κολοβακτηρίδια (FC) / 100ml (β)	Επεξεργασία που αναμένεται να επιτύχει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα
Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων και δημοσίων πάρκων (γ)	Αγρότες Καταναλωτές Κοινό	< 1	1000	Σειρά λιμνών Οξειδωσης που Επιτυγχάνει την Απαιτούμενη Μικροβιολογική Ποιότητα, ή άλλη Ισοδύναμη επεξεργασία
Άρδευση δημητριακών βιομηχανικών καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δένδρων (δ)	Αγρότες	<1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε λίμνες σταθεροποίησης για 8-10 ημέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση περιττωματικών κολοβακτηριδίων
Ομοίως με την προηγούμενη , με εξασφάλιση μη έκθεσης εργαζομένων και κοινού	Καμία	Δεν έχουν εφαρμογή	Δεν έχουν εφαρμογή	Επεξεργασία που απαιτείται από την τεχνολογία του συστήματος άρδευσης, πάντως όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια

(α) Τα είδη *Ascaris Trishuris*.

(β) Κατά την περίπτωση άρδευσης

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

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

Πίνακας 2.4 Ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων

Χημικό στοιχείο		Μέγιστη προτεινόμενη Συγκέντρωση(mg/l) (α)	
		Μακροχρόνια Χρήση (β)	Βραχυχρόνια Χρήση (γ)
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

Χημικό στοιχείο		Μέγιστη προτεινόμενη Συγκέντρωση(mg/l) (α)	
		Μακροχρόνια Χρήση (β)	Βραχυχρόνια Χρήση (γ)
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
Zn	Ψευδάργυρος	2,0	10,0

(α) Η μέγιστη συγκέντρωση βασίζεται σε ένα ρυθμό εφαρμογής νερού σύμφωνα με ορθολογικές πρακτικές άρδευσης (10.000 m³/h/yr). Εάν ο ρυθμός εφαρμογής νερού υπερβαίνει σημαντικά τα πιο πάνω, οι μέγιστες συγκεντρώσεις θα πρέπει να προσαρμοστούν προς τα κάτω ανάλογα. Για κατανάλωση νερού μικρότερη από 10.000 m³/h/yr δεν γίνεται προσαρμογή των μέγιστων συγκεντρώσεων.

(β) Οι συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις για μακροχρόνια χρήση έχουν τεθεί συντηρητικά για να συμπεριλάβουν αμμώδη εδάφη τα οποία έχουν μικρή δυνατότητα στράγγισης των στοιχείων που εξετάζονται.

(γ) Τα κριτήρια για βραχυχρόνια χρήση(μέχρι 20 έτη) συνιστώνται για εδάφη με λεπτή δομή, και ουδέτερο ή αλκαλικό χαρακτήρα και αυξημένη δυνατότητα απομάκρυνσης των διαφόρων ρυπογόνων στοιχείων.

Οι οδηγίες και τα όρια που τίθενται από τον Π.Ο.Υ., έχουν υποστεί κριτική από τις αναπτυγμένες χώρες, αφού θεωρούνται αρκετά ελαστικά. Παρόλα αυτά, αποτελούν μια βάση εκκίνησης για τις υπό ανάπτυξη χώρες, όπου πολλές φορές παρατηρείται το φαινόμενο της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων απουσία σχετικών κριτηρίων ποιότητας. Πολλές από τις αναπτυγμένες χώρες έχουν θεσπίσει δικά τους κριτήρια, τα οποία κατά κανόνα είναι αυστηρότερα από αυτά του Π.Ο.Υ. Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο πρώτος κανονισμός για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία, εκδόθηκε το 1918 από την πολιτεία της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ. Ο κανονισμός αυτός, αναθεωρήθηκε πολλές φορές μέχρι το 1978, και σήμερα αποτελεί τη βάση για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης λυμάτων και σε άλλες πολιτείες των

ΗΠΑ., αλλά και σε πολλές άλλες χώρες του κόσμου. Τα κριτήρια της πολιτείας της Καλιφόρνιας συνοψίζονται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5. Μικροβιολογικά κριτήρια της πολιτείας της Καλιφόρνιας για χρήση λυμάτων στη γεωργία

Είδος χρήσης	Ολικά κολοβακτηρίδια(TC) ανά 100 ml(5)	Απαιτούμενη επεξεργασία
Ζωοτροφές, μη βρώσιμες καλλιέργειες, άρδευση οπωρώνων, αμπελώνων (1)	Δεν τίθενται όρια	Δευτεροβάθμια
Βοσκότοποι για γαλακτοπαραγωγή ζώα, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2), πότισμα γηπέδων γκολφ, νεκροταφείων κ.λ.π.	< 23 (διάμεση τιμή)	Οξειδωση και απολύμανση
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών (3), τεχνητές λίμνες αναψυχής (2 ^α)	< 2,2 (διάμεση τιμή)	Οξειδωση και απολύμανση
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2 ^β)	< 2,2 (διάμεση τιμή, με απόλυτο μέγιστο τα 23) (6)	Οξειδωση, κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση και απολύμανση

- (1) Για τους οπωρώνες και τους αμπελώνες τίθεται ως προϋπόθεση ότι οι καρποί δεν έχουν έρθει σε επαφή με το νερό άρδευσης ή το έδαφος.
- (2) Λίμνες για αισθητική απόλαυση, χωρίς το κοινό να έρχεται σε επαφή με το νερό.
- (2^α) Λίμνες για αλιεία, ιστιοπλοΐα και άλλες ψυχαγωγικές χρήσεις που δεν προϋποθέτουν επαφή του νερού με το ανθρώπινο σώμα.
- (2^β) Λίμνες για χρήσεις χωρίς περιορισμό επαφής του νερού με το ανθρώπινο σώμα.
- (3) Εξαιρέσεις μπορούν να γίνουν σε βρώσιμες καλλιέργειες που υφίστανται επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους.
- (4) Η θολρότητα του διυλισμένου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 2 μονάδες θολρότητας κατά τη διάρκεια του 24ωρου.
- (5) Η διάμεση τιμή προκύπτει από τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων αναλύσεων των 7 ημερών που αυτές πραγματοποιήθηκαν.
- (6) Η μέγιστη τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνει σε περισσότερα του ενός δείγματα για οποιαδήποτε περίοδο 30 ημερών.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2.5, ο κανονισμός της πολιτείας της Καλιφόρνιας προβλέπει, ότι τα λύματα που θα χρησιμοποιηθούν για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση θα πρέπει να είναι ουσιαστικά απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς (2,2 TC/100ml ως διάμεση τιμή με απόλυτη μέγιστη τα 23 TC/100ml). Αν με την πρώτη ματιά φαίνεται, ότι τα όρια αυτά δεν διαφέρουν ουσιαστικά από τα όρια που τίθενται για την αμέσως προηγούμενη κατηγορία (2,2 TC/100ml ως διάμεση τιμή), η ποιότητα του παραγομένου νερού είναι σημαντικά βελτιωμένη, αφού το προτεινόμενο σχήμα επεξεργασίας λειτουργεί ως ασφαλιστική δικλείδα, αφ' ενός ελαχιστοποιώντας την περίπτωση αστοχίας και αφ' εταίρου διασφαλίζοντας την απομάκρυνση του συνόλου σχεδόν των ιών.

Το Νομικό Πλαίσιο στον Ευρωπαϊκό χώρο

Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία στερείται νομοθετικών ρυθμίσεων σχετικά με την απαιτούμενη ποσότητα των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Μια γενική αναφορά στο θέμα γίνεται στην Οδηγία 91/271 της ΕΕ, όπου αναφέρεται ότι: «Τα επεξεργασμένα λύματα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι σκόπιμο...». Πολλές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν θεσπίσει τα δικά τους κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Η Ελλάδα δεν έχει ακόμη θεσπίσει προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Andreadakis et al. 2003), έτσι θα μπορούσε κάποιος να θεωρήσει ότι ισχύουν οι όχι και τόσο αυστηρές προδιαγραφές που έχει εκδώσει ο Π.Ο.Υ. Πιστεύετε, πάντως, ότι σύντομα θα καλυφθεί το νομοθετικό κενό είτε με κρατική, είτε με Ευρωπαϊκή πρωτοβουλία (στην περίπτωση που η ΕΕ αποφασίσει να θεσπίσει ενιαία κριτήρια).

2.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

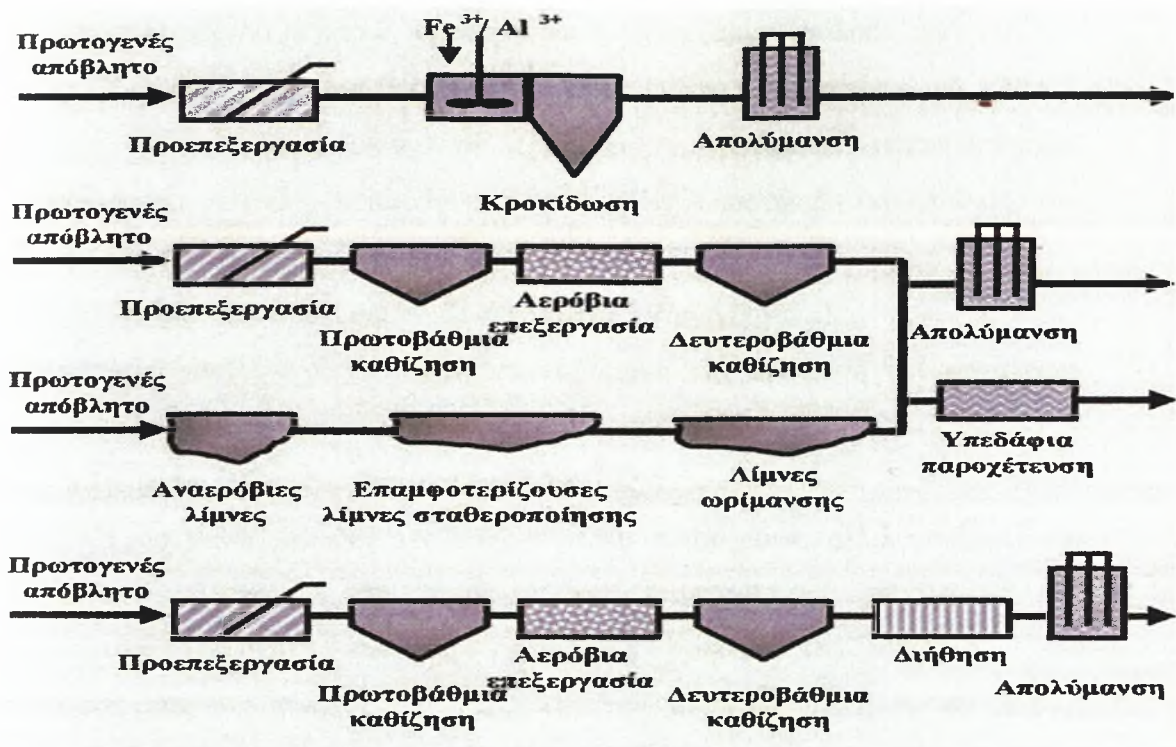
Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νερού έχει σαν συνέπεια αφενός την εξάντληση των υδάτινων αποθεμάτων, και αφετέρου την επιστροφή μεγάλων ποσοτήτων ποιοτικά υποβαθμισμένου νερού στο περιβάλλον. Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων κατά τον έναν ή τον άλλον τρόπο είναι πλέον μονόδρομος, πρέπει όμως να εφαρμόζονται αυστηρά κριτήρια ποιότητας για την αποφυγή δημιουργίας οξύτερων περιβαλλοντικών προβλημάτων και για τη διασφάλιση της υγείας του πληθυσμού που θα έρθει είτε σε άμεση, είτε σε έμμεση επαφή. Γεγονός είναι ότι η τεχνολογία για την παραγωγή υψηλής ποιότητας ύδατος από ανακυκλωμένα ύδατα υπάρχει, σε κάθε περίπτωση όμως απαιτείται η εκπόνηση τεχνοοικονομικής μελέτης ώστε να προσδιοριστεί ο βαθμός απαιτούμενης επεξεργασίας σε σχέση με την επιδιωκόμενη χρήση.

Η επεξεργασία καθαρισμού των λυμάτων, λοιπόν, αποβλέπει στην απομάκρυνση, εξουδετέρωση ή κατάλληλη τροποποίηση των επιβλαβών χαρακτηριστικών τους, ώστε να εξαλειφθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη (έδαφος, επιφανειακά νερά, κλπ.) συνέπειες (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Η αποτελεσματική επεξεργασία των λυμάτων με στόχο την επιστροφή καλής ποιότητας νερού είναι γενικά μια σύνθετη και υψηλού βαθμού δυσκολίας διεργασία. Η επεξεργασία που τελικά επιλέγεται αποτελείται συνήθως από πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία, με τελικό στάδιο, πριν τη διάθεση, την εφαρμογή κάποιας διεργασίας απολύμανσης. Κατά την τελευταία δεκαετία έχουν ιδιαίτερα αναπτυχθεί οι διεργασίες καθαρισμού με τη χρήση μεμβρανών, και πιστεύεται ότι πολύ σύντομα, όταν οι τεχνολογίες αναπτυχθούν περαιτέρω, θα είναι εφικτή η παραγωγή υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένου ύδατος προς πόση, σε προσιτό κόστος.

Τα αστικά ή βιομηχανικά υγρά απόβλητα, λοιπόν, πριν από τη διάθεσή τους πρέπει να υποστούν κάποια επεξεργασία για να αποφευχθούν πιθανοί περιβαλλοντικοί κίνδυνοι αλλά και κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει φυσικές, χημικές αλλά και βιολογικές διεργασίες με σκοπό τη μείωση του οργανικού φορτίου και των παθογόνων οργανισμών.

Στο σχήμα εμφανίζεται τυπικό σχήμα ανάκτησης λυμάτων για γεωργική χρήση (Lazarova, 2003).



Αν αναλογιστεί κανείς τα νέα χημικά παρασκευάσματα που παράγονται συνεχώς, αντιλαμβάνεται ότι η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων γίνεται ολοένα και δυσκολότερη χρόνο με το χρόνο. Τα υγρά απόβλητα περιέχουν συνήθως τοξικές, αλλά και δύσκολα βιοαποικοδομήσιμες ουσίες με αποτέλεσμα το σύστημα επεξεργασίας τους, να παρουσιάζει πολλές φορές καταστάσεις δυσλειτουργίας και μείωσης του βαθμού απόδοσης.

Είναι λοιπόν αναγκαία η εφαρμογή τεχνικών, όπως η εξισορρόπηση του υδραυλικού και η εξουδετέρωση του ρυπαντικού φορτίου, ώστε να εξασφαλισθεί η αποτελεσματικότητα της περαιτέρω επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Έτσι ακολουθείται η τακτική της ειδικής προεπεξεργασίας μέσα στο χώρο του εργοστασίου για την απομάκρυνση ή εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων ειδικών χαρακτηριστικών, προτού οδηγηθούν στο γενικό δίκτυο συλλογής. Με αυτό τον τρόπο, το σύνολο των λυμάτων που διατίθενται για επεξεργασία, είναι σχετικά σταθερής ποιότητας και μπορούν έτσι, να υποβληθούν σε τυποποιημένες μεθόδους επεξεργασίας καθαρισμού με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

2.2.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Οι πιο συνηθισμένες διεργασίες καθαρισμού που εμφανίζονται είναι:

- ⇒ Σγάρισμα: για τα χοντρά υλικά
- ⇒ Αμμοσυλλογή: για τα βαριά, κυρίως αδρανή, υλικά (άμμος, χαλίκια, σπόροι).
- ⇒ Απομάκρυνση λίπους: για τα επιπλέοντα υλικά (λάδια, λίπη, λεπτά υλικά, κλπ.).
- ⇒ Καθίζηση: για την απομάκρυνση μέρους των αιωρούμενων λεπτών στερεών. Διακρίνεται σε απλή (πρωτοβάθμια), με χημική υποστήριξη (κροκύδωση) και μετά από βιολογική επεξεργασία (δευτεροβάθμια)
- ⇒ Κροκύδωση: για τα κολλοειδή υλικά (οργανικά και ανόργανα)
- ⇒ Βιολογικά επεξεργασία: για την αποικοδόμηση και αφαίρεση των οργανικών κυρίως ουσιών.
- ⇒ Απολύμανση: για τους παθογόνους παράγοντες.

Οι πιο πάνω μέθοδοι δεν εφαρμόζονται ταυτόχρονα, αλλά συνδυάζονται κατάλληλα, ανάλογα με την ποιότητα και ποσότητα των αποβλήτων, την αφομοιωτική ικανότητα και τις επιθυμητές χρήσεις του αποδέκτη, την οικονομικότητα, τις τοπικές συνθήκες και την ακολουθούμενη γενικά τοπική πολιτική για το περιβάλλον (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Η πρακτική εφαρμογή διάφορων συνδυασμών διαδικασιών επεξεργασίας έχει διαμορφώσει τρία κυρίως βασικά στάδια επεξεργασίας-καθαρισμού, που εκφράζουν το βαθμό καθαρότητας της τελικής απορροής:

- ⇒ Πρωτοβάθμιος καθαρισμός: περιλαμβάνει τη χρήση φυσικών λειτουργιών, όπως σγάρισμα, απομάκρυνση άμμου και καθίζηση για να αφαιρεθούν τα χονδροειδή, τα επιπλέοντα και καθιζάνοντα υλικά. Ο πρωτοβάθμιος καθαρισμός μπορεί να ελαττώσει το ρυπαντικό φορτίο (οργανικά, στερεά, μικρόβια), κατά μέσο όρο περίπου 35-50%.
- ⇒ Δευτεροβάθμιος καθαρισμός: ακολουθεί συνήθως του πρωτοβάθμιου καθαρισμού. Στο στάδιο αυτό γίνεται χρήση είτε της κροκύδωσης, είτε της βιολογικής επεξεργασίας. Η ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου (BOD₅, αιωρούμενα στερεά, κωλοβακτηριοειδή) κατά τον δευτεροβάθμιο καθαρισμό, σε συνδυασμό με τον πρωτοβάθμιο, είναι κατά μέσο όρο 80-90%.

⇒ Τριτοβάθμιος ή προχωρημένος καθαρισμός: Έχει βρει εφαρμογή τα τελευταία χρόνια, και αποσκοπεί κυρίως στην απομάκρυνση των παραγόντων ευτροφισμού (Αζώτο, φώσφορος).

2.2.2.1. Πρωτοβάθμια Επεξεργασία

Ο πρωτοβάθμιος καθαρισμός αρχίζει με την προκαταρκτική επεξεργασία (pretreatment) και συνεχίζεται με την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών.

Η προκαταρκτική επεξεργασία (preliminary treatment) αποτελείται από διεργασίες απομάκρυνσης των χονδρόκοκκων στερεών και άλλων υλικών μεγάλου μεγέθους που πιθανόν βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Η απομάκρυνση αυτή είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των υπόλοιπων διεργασιών και μπορεί να γίνει με εσχάρωση, άλεση και εξάμμωση.

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία (primary treatment) συνίσταται στην απομάκρυνση των καθιζανόντων οργανικών και ανόργανων στερεών με κάποια διαδικασία καθίζησης, καθώς και στην απομάκρυνση των επιπλεόντων συστατικών. Μια καλά μελετημένη δεξαμενή καθιζήσεως μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην επεξεργασία των αποβλήτων, αφού είναι σε θέση να απομακρύνει τα αιωρούμενα στερεά σε ποσοστό από 50 έως 70%, να ελαττώνει την αρχική βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (BOD) σε ποσοστό 25 με 50 %, τη χημική απαίτηση οξυγόνου (COD) σε ποσοστό 35 έως 50 %, ενώ ακόμη μπορεί να απομακρύνει το 65 % περίπου από τα λίπη και έλαια. Ανέπαφα μένουν τα διαλυμένα και τα κολλοειδή. Επίσης ένα μέρος του οργανικού αζώτου, του οργανικού φωσφόρου και των βαρέων μετάλλων, τα οποία είναι κατά κάποιο τρόπο συνδεδεμένα με τα αιωρούμενα στερεά, απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα κατά τη διαδικασία της πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Σε αρκετές χώρες η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι η ελάχιστη που απαιτείται πριν τα υγρά απόβλητα διατεθούν για αρδευτικούς σκοπούς. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να θεωρείται αρκετή όταν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα θα χρησιμοποιηθούν για άρδευση καλλιεργειών, τα φυτικά μέρη των οποίων δεν θα καταναλωθούν ως τροφή από τον άνθρωπο ή θα υποστούν κάποια άλλη επεξεργασία πριν καταναλωθούν.

2.2.2.2. Δευτεροβάθμια Επεξεργασία

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία ακολουθείται από τη δευτεροβάθμια (secondary treatment), η οποία και εφαρμόζεται με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση των χαρακτηριστικών του νερού που εκβάλλεται από την πρωτοβάθμια επεξεργασία, μειώνοντας ακόμη περισσότερο το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά. Στις περισσότερες περιπτώσεις η δευτεροβάθμια επεξεργασία ακολουθεί την πρωτοβάθμια και περιλαμβάνει την απομάκρυνση της βιοδιασπώμενης, διαλυμένης και κολλοειδούς οργανικής ύλης με τη χρήση αερόβιων μικροοργανισμών, κατά κύριο λόγο βακτηρίων, που μεταβολίζουν την οργανική ουσία των υγρών αποβλήτων.

Σκοπός της δευτεροβάθμιας (ή βιολογικής) επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών των αποβλήτων με βιολογικές διεργασίες στις οποίες χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί οι οποίοι αναπαράγονται, καταναλώνοντας τις οργανικές ουσίες. Οι παραγόμενοι οργανισμοί στη συνέχεια απομακρύνονται από τα απόβλητα με καθίζηση ή κάποια άλλη διαδικασία.

Οι διαδικασίες αυτές γίνονται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, συνήθως με την είσοδο ενέργειας στο σύστημα με συνέπεια την ταχεία αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, γι' αυτό και ονομάζονται διαδικασίες υψηλού ρυθμού. Οι πιο συνηθισμένες διαδικασίες υψηλού ρυθμού είναι:

- ⇒ Διαδικασία με **Ενεργό ιλύ**
- ⇒ Διαδικασία με **Σταλάζοντα φίλτρα**
- ⇒ Διαδικασία με **Περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες**

Ενεργός ιλύς (activated sludge)

Ο αντιδραστήρας διασποράς και πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών αποτελείται από αεριζόμενες δεξαμενές που περιέχουν ένα αιώρημα υγρών αποβλήτων και μικροοργανισμών. Το οξυγόνο παρέχεται είτε με ειδικούς βυθισμένους διαχύτες αέρα, είτε με ισχυρά ανατάραξη της επιφάνειας του αιωρήματος.

Κατά τη διαδικασία της ενεργού ιλύος οι μικροοργανισμοί πολλαπλασιάζονται με ταχείς ρυθμούς, καθώς οι συνθήκες είναι ιδανικές (διαθεσιμότητα οργανικής ύλης και οξυγόνου). Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις δεξαμενές κυμαίνεται μεταξύ τριών και οχτώ ωρών, μπορεί όμως να είναι και μεγαλύτερος για απόβλητα με υψηλές τιμές βιοχημικής ζήτησης οξυγόνου. Στο τέλος της διαδικασίας οι μικροοργανισμοί διαχωρίζονται από την υγρή φάση με

δευτεροβάθμια καθίζηση, οπότε προκύπτουν δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Ένα μέρος της βιολογικής λάσπης ανακυκλώνεται στη δεξαμενή αερισμού για να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα ο αριθμός των μικροοργανισμών.

Σταλάζοντα φίλτρα (trickling filters)

Τα σταλάζοντα φίλτρα ή βιοφίλτρα, αποτελούνται από πυργίσκους που φέρουν λίθους, πλαστικούς δίσκους ή ξύλινες γρίλιες ως υλικό στήριξης. Η δίοδος των υγρών αποβλήτων διαμέσου των φίλτρων μπορεί να είναι συνεχής ή διακεκομμένη. Οι μικροοργανισμοί προσκολλώνται στο υλικό στήριξης και δημιουργούν μια σταθερή βιολογική στρώση. Η οργανική ύλη διαχέεται μέσα σε αυτές τις βιολογικές στρώσεις όπου και μεταβολίζεται. Ο αερισμός επιτυγχάνεται συνήθως με τη φυσική ροή των αποβλήτων. Το πάχος της βιολογικής στρώσης αυξάνει καθώς μεγαλώνει ο πληθυσμός των μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα τμήματα των βιολογικών στρώσεων να απορρίπτονται περιοδικά από το υλικό στήριξης. Η λάσπη, και σε αυτή την περίπτωση, διαχωρίζεται από το νερό με κάποια διαδικασία δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες (rotating biological contactors)

Η διαδικασία αυτή είναι παρόμοια με αυτή των βιοφίλτρων, αφού περιλαμβάνει και αυτή μια σταθερά σχηματιζόμενη βιολογική στρώση πάνω στα υλικά στήριξης. Η διαφορά είναι ότι στην περίπτωση αυτή το υλικό στήριξης είναι δίσκοι που περιστρέφονται αργά και βυθίζονται μερικώς στα ρέοντα απόβλητα κάποιου αντιδραστήρα. Το οξυγόνο που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί προσλαμβάνεται είτε από τον αέρα κατά το χρόνο που οι δίσκοι δεν είναι πλήρως βυθισμένοι στα απόβλητα, είτε από τα ίδια τα υγρά τα απόβλητα όταν οι δίσκοι είναι βυθισμένοι σε αυτά.

Οι βιολογικές διαδικασίες υψηλού ρυθμού, όταν συνδυαστούν με πρωτοβάθμια επεξεργασία, μειώνουν κατά 85 έως 95 % το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά που έχουν αρχικά τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα, καθώς και ένα μέρος των βαρέων μετάλλων. Η διαδικασία της ενεργού ιλύος είναι πιο αποτελεσματική ως προς τη μείωση του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών σε σχέση με τα σταλάζοντα φίλτρα και τις περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες.



2.2.2.3. Τριτοβάθμια Επεξεργασία

Η τριτοβάθμια (tertiary treatment) ή προχωρημένη επεξεργασία (advanced treatment) των υγρών αποβλήτων χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση συγκεκριμένων συστατικών που δεν μπορούν να απομακρυνθούν με τις συνήθεις διαδικασίες επεξεργασίας όπως άζωτο, φώσφορος, απολυμαντικά, απορρυπαντικά, αποσκληρυντικά νερού, βαρεία μέταλλα, διαλυμένα στερεά, κ.α.

Οι προχωρημένες τεχνικές που εφαρμόζονται για την απομάκρυνση των παραπάνω στοιχείων ακολουθούν συνήθως τη δευτεροβάθμια επεξεργασία, γι' αυτό και αναφέρονται ως τριτοβάθμια επεξεργασία. Πρέπει να σημειωθεί ότι το άζωτο και ο φώσφορος απομακρύνονται για να μειωθούν οι κίνδυνοι ευτροφισμού στους υδάτινους αποδέκτες, όπου πιθανώς καταλήγουν τα υγρά απόβλητα, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς, η ύπαρξη των στοιχείων αυτών αποτελεί κατά κανόνα πλεονέκτημα.

2.2.2.4. Απολύμανση

Η απολύμανση (disinfection) είναι συνήθως το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών των αποβλήτων, ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών μέσω του νερού του αποδέκτη.

Η απολύμανση είναι το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας και το μοναδικό με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας.

Τρεις είναι οι κύριες μέθοδοι απολύμανσης οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά: η χλωρίωση, ο οζονισμός και η υπεριώδης (UV) ακτινοβολία. Η κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και απαιτείται τεχνοοικονομική μελέτη για τον προσδιορισμό της πλέον κατάλληλης, η οποία σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να συνίσταται σε κατάλληλο συνδυασμό δυο τεχνολογιών.

Στον πίνακα 2.6. φαίνονται τα συγκριτικά τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά των τριών τεχνολογιών.

Πίνακας 2.6. Τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά των Τεχνολογιών Απολύμανσης (Lazarova, 2003)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΧΛΩΡΙΩΣΗ	ΟΖΟΝΙΣΜΟΣ	UV
Βακτηριοκτόνος δράση	++	++	++
Ιοκτόνος δράση	+	+++	++
Επανεμφάνιση βακτηρίων	+	+	+
Απομένουσα τοξικότητα	+++	+	-
Παραπροϊόντα	+++	+	-
Προβλήματα ασφαλείας	+++	++	+
Λειτουργικό κόστος	+	++	+
Κόστος επένδυσης	+	++	+
Ευκολία εγκατάστασης	+	+	++
Συντήρηση	++	+	+++
Σύστημα ελέγχου	+	++	+++

2.2.2.4. Φυσικά συστήματα επεξεργασίας

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας περιλαμβάνουν τις αεριζόμενες δεξαμενές, τις δεξαμενές σταθεροποίησης, τα συστήματα εφαρμογής των υγρών αποβλήτων στο έδαφος, τα οποία και είναι τα πιο διαδεδομένα, καθώς και τα συστήματα φυτικών στρώσεων, τα οποία έχουν τεθεί σε εφαρμογή πρόσφατα. Σε όλα τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας, κυρίως όμως στα δυο τελευταία, απαιτείται κάποια προεπεργασία, πριν τα απόβλητα εισαχθούν σε αυτά, για να απομακρυνθούν τα στερεά που είναι πιθανό να δημιουργήσουν προβλήματα στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής του νερού, καθώς και ενοχλητικές συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο.

Τα φυσικά βιολογικά συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (natural biological treatment systems) είναι αυτά που η επεξεργασία των αποβλήτων επιτυγχάνεται στο περιβάλλον με συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο τρίγωνο: απόβλητο- έδαφος- φυτό. Από τους αρχαίους χρόνους ο άνθρωπος είχε προσπαθήσει να αξιοποιήσει να αξιοποιήσει την ευεργετική επίδραση των λυμάτων σε γεωργικές εφαρμογές σε συνδυασμό με την απομάκρυνσή τους από τους οικισμούς. Χαρακτηριστικό το παράδειγμα των λυμάτων για άρδευση στις Μινωικές πόλεις (Angelakis and Spyridakis). Στη σύγχρονη εποχή η συστηματική χρήση γήινων συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων χρονολογείται από τα τέλη το 19^{ου} αιώνα, όταν αρχικά στις Η.Π.Α. και στη συνέχεια στην Ευρώπη αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε η «γεωργία λυμάτων» ως πρωταρχική προσπάθεια ελέγχου της υδατικής ρύπανσης (Frankland 1870; Frank and Rhynus 1920).

Η τεχνολογία αυτή σήμερα είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη και ανάλογα με το υδραυλικό σύστημα που χρησιμοποιείται μπορεί να διακριθεί σε:

- ⇒ Τοπικής εφαρμογής,
- ⇒ Βραδείας εφαρμογής
- ⇒ Ταχείας διήθησης
- ⇒ Επιφανειακής ροής
- ⇒ Διαφόρων συνδυασμένων τύπων.

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας των αποβλήτων έχουν πολλά πλεονεκτήματα τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι τα εξής:

- ⇒ Το χαμηλότερο κόστος κατασκευής και λειτουργίας, καθώς και την εξαιρετικά απλή λειτουργία και συντήρηση σε σχέση με τις συμβατικές εγκαταστάσεις (Αγγελάκης 1995, Papadopoulos et al. 1995, Παπαδόπουλος κ.ά. 1997β).
- ⇒ Τα φυσικά συστήματα εκμεταλλεύονται τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που γίνονται στο φυσικό περιβάλλον με χαμηλούς ρυθμούς και μάλιστα χωρίς ή με ελάχιστη εισροή ενέργειας στο σύστημα. Οι διαδικασίες αυτές λαμβάνουν χώρα συγχρόνως και βραδέως, σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα στα οποία οι διεργασίες γίνονται διαδοχικά, σε διαφορετικούς αντιδραστήρες ή δεξαμενές αλλά με ταχείς ρυθμούς, σαν αποτέλεσμα της εισρέουσας σε αυτά ενέργειας (Metcalf and Eddy 1991, Αγγελάκης και Tsobanoglous 1995)
- ⇒ Δεν γίνεται χρήση χημικών προσθέτων. Δεν υπάρχει ανάγκη για χλωρίωση στην έξοδο.

Κάποια μειονεκτήματα των φυσικών βιολογικών συστημάτων που είναι άξια αναφοράς είναι τα εξής:

- ⇒ Χρειάζονται μεγαλύτερες εκτάσεις από τις συμβατικές μονάδες κατεργασίας αποβλήτων.
- ⇒ Μια συμβατική μονάδα που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της ενεργού ιλύος επιτυγχάνει αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου.

2.3 ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.3.1. ΑΝΑΓΚΗ ΧΡΗΣΗΣ

Τα υγρά απόβλητα έχουν σοβαρές επιδράσεις στο περιβάλλον, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι οι εξής:

- ⇒ Ρύπανση ακτών και θαλασσών
- ⇒ Μολύνσεις με μεταφορά διαφόρων παθογόνων
- ⇒ Υποβάθμιση αστικών κυρίως περιοχών
- ⇒ Δημιουργία αισθητικών και άλλων προβλημάτων.

Επιβάλλεται, λοιπόν, η λήψη δραστικών διαχειριστικών μέτρων, με σκοπό τον περιορισμό του κινδύνου των δυσμενών επιπτώσεών τους. Με τον όρο διαχείριση υγρών αποβλήτων, ορίζεται κάθε ανθρώπινη επέμβαση με σκοπό:

- ⇒ Τον περιορισμό μέχρι και την πλήρη εξάλειψη της ρυπαντικής επίδρασης των αποβλήτων, ώστε οι ανεπιθύμητες επιδράσεις τους στο περιβάλλον να περιορίζονται ή να εξαλείφονται εντελώς.
- ⇒ Την εξοικονόμηση πηγών ύδατος, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες χρήσεις.
- ⇒ Το οικονομικό όφελος, που προκύπτει από τον εφοδιασμό με νερό και θρεπτικά στοιχεία, των φυτών ή των δέντρων στις αγροτικές εκμεταλλεύσεις ή την ανάπτυξη χώρων πρασίνου (Αγγελάκης, 1989).
- ⇒ Διεθνώς οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με τη σειρά όγκου του χρησιμοποιούμενου νερού είναι η άρδευση γεωργικών εκτάσεων, η βιομηχανική χρήση, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και διάφορες άλλες (Αγγελάκης και Tsobanoglous 1995).

2.3.2. ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Γενικά, η άρδευση γεωργικών και άλλων εκτάσεων, αποτελούν την πιο μαζική χρήση νερού, ιδιαίτερα σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σε σχετικά υγρές περιοχές, η άρδευση εφαρμόζεται συμπληρωματικά των βροχοπτώσεων, με σκοπό την καλύτερη ανάπτυξη και αύξηση της παραγωγής των διαφόρων καλλιεργειών. Επίσης, η άρδευση εφαρμόζεται με σκοπό την ανάπτυξη και διατήρηση διαφόρων κοινόχρηστων εκτάσεων και χώρων αναψυχής, όπως είναι τα πάρκα και τα γήπεδα γκολφ. Η άρδευση τέτοιων εκτάσεων με προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα, αποκτά όλο και περισσότερο ενδιαφέρον για τον αστικό σχεδιασμό (Αγγελάκης, 1994).

Η άρδευση των καλλιεργειών, είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, διότι:

- ⇒ αποφεύγεται η υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών,
- ⇒ επιτυγχάνεται η φυσική τροφοδοσία του εδάφους και των φυτών με θρεπτικά στοιχεία, γεγονός που μπορεί να μειώσει την ανάγκη προσθήκης χημικών λιπασμάτων (Πανώρας και Ηλίας, 1999) και
- ⇒ αποτελούν έναν επιπλέον υδατικό πόρο, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό, σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις είναι ιδιαίτερα ανεπαρκείς.

Έρευνα και πειράματα άρδευσης με απόβλητα σε γκαζόν έχουν γίνει στην Αυστραλία (Menzel and Broomshall, 2001) και την Τυνησία (Bahri et al, 2001). Στην Ελλάδα διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης των υγρών αποβλήτων της Λάρισας για άρδευση καλαμποκιού και βαμβακιού (Βακάλης και Τσαντήλας, 2002) και των υγρών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης για άρδευση βαμβακιού (Panoras et al, 2001α), καλαμποκιού (Panoras et al, 2001β), θερμοκηπιακών καλλιεργειών τομάτας, και πιπεριάς, καθώς και του ανθοκομικού είδους ζέρμπερα (Πανώρας και Ηλίας, 1999 & Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη κ.α., 2003)

Πίνακας 2.7 Χρήσεις προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη γεωργία και δυνατοί περιορισμοί.

	Χρήσεις	Περιορισμοί
1	Άρδευση γεωργικών εκτάσεων α) Αροτριάες καλλιέργειες β) Δενδροκομικές και Λαχανοκομικές	- Ποιότητα νερού (κυρίως ως προς την επίδραση αλάτων στο έδαφος και φυτά)
2	Άρδευση κοινοχρήστων – αναψυχής χώρων α) πάρκα β) σχολικοί χώροι γ) εθνικοί δρόμοι δ) υπόδρομοι ε) νεκροταφεία στ) ελεύθεροι κοινοτικοί χώροι ζ) περιφερειακές ζώνες πρασίνου	- Προστασία δημόσιας υγείας (κυρίως σε σχέση με παθογόνα, όπως παράσιτα, βακτήρια και ιοί). - Μόλυνση επιφανειακών και υπόγειων νερών όταν δεν υφίσταται κατάλληλο σύστημα διαχείρισης. - Εμπορικότητα και δημόσια αποδοχή των παραγομένων προϊόντων.

Πηγή: Asano, 1991 και Αγγελάκης, 1994.

2.3.3. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

2.3.3.1. Αλατότητα

Η πιο σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού άρδευσης, είναι η αλάτωση του εδάφους. Η αλάτωση, μετρούμενη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, συνδέεται άμεσα με τη συνολική συγκέντρωση αλάτων στο νερό και με τα πιθανά προβλήματα που προκαλούν τα 'άλατα του νερού άρδευσης στο έδαφος και τα φυτά.

Τα άλατα συσσωρεύονται στο έδαφος με την εφαρμογή του αρδευτικού νερού και τα προβλήματα παρουσιάζονται όταν αυτά φθάσουν σε συγκεντρώσεις, που είναι βλαπτικές για το έδαφος ή και τα φυτά. Ο ρυθμός συσσώρευσης των αλάτων στο έδαφος εξαρτάται από το ποσό και το ρυθμό αποθήκευσης αυτών στο έδαφος με το αρδευτικό νερό και από το ρυθμό απομάκρυνσής τους με έκπλυση. Για την εφαρμογή της έκπλυσης είναι απαραίτητο να υπάρχει καλή έως άριστη στράγγιση, ώστε να είναι δυνατή η συνεχής ροή του νερού από τη ζώνη του ριζοστρώματος προς τα κάτω (Μισοπολινός, 1991; Παπαζαφειρίου και Αντωνόπουλος 1991).

Ο τύπος που υπολογίζει το επιπλέον ποσό νερού που χρειάζεται για την έκπλυση των αλάτων δίνεται από τη σχέση:

$$LR = \frac{EC_w}{3EC_{50}}, \text{ όπου}$$

LR ο συντελεστής έκπλυσης, EC_w η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αρδευτικού νερού και $3EC_{50}$ η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος κορεσμού του εδάφους σε dS/m που αντιστοιχεί σε απόδοση 50 % (Maas 1990).

Από τον παραπάνω τύπο συμπεραίνουμε ότι ιδιαίτερο πρόβλημα και πιθανή υποβάθμιση του εδάφους λόγω αλάτωσης όταν τα αρδευτικά νερά έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 3.0 dS/m. Τότε απαιτείται προσεκτική διαχείριση και λήψη κάποιων δραστικών μέτρων. Μέτρα που μπορούν να παρθούν περιλαμβάνουν επιλογή ανθεκτικών καλλιεργειών στα άλατα, σημαντική αύξηση της έκλυσης και υψηλή διαθεσιμότητα εδαφικού νερού (U.C.C.C. 1974, Ayers 1977, Ayers and Westcot 1985).

2.3.3.2. Διηθητικότητα του εδάφους

Η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα είναι δυνατό να έχει σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση της εδαφικής δομής. Έτσι μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο το νερό εισέρχεται στο έδαφος, όπως όμως και ο αερισμός του εδάφους. Άλλες

αρνητικές συνέπειες είναι η ανάπτυξη πολλών ζιζανίων, αλλά και το ότι πολλές φορές το νερό λιμνάζει πάνω από τα φυτά και έτσι δεν τους δίνει την δυνατότητα να αναπτυχθούν κανονικά.

Βέβαια είναι πολύ σπάνιο να δημιουργηθεί τέτοιου είδους πρόβλημα από άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Επειδή όμως τα νερά αυτά ενδέχεται να είναι πλούσια σε νάτριο, η πιθανή υψηλή τιμή του SAR πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στα προγράμματα επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων. Το SAR είναι μια παράμετρος, η οποία εκφράζει τον κίνδυνο να προκληθεί αλκαλίωση στο έδαφος από την ύπαρξη Νατρίου στο νερό άρδευσης. Δίνεται από τη σχέση:

$$SAR = \frac{[Na]}{[Ca + Mg / 2]^{0.5}}$$

2.3.3.3. Τοξικότητα ιόντων

Ορισμένα ιόντα που προσλαμβάνονται από τα φυτά, ακόμη και όταν βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα, ασκούν τοξική δράση σε αυτά με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιών σε αυτά και τη μείωση της παραγωγής. Ιδιαίτερα όταν προβλήματα τοξικότητας συνδυάζονται μαζί με προβλήματα αλατότητας, τότε το πρόβλημα γίνεται πολύ πιο πολύπλοκο.

Η συνηθέστερα εμφανιζόμενη τοξικότητα από τη χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων στη γεωργία προέρχεται από το Βόριο (B). Πηγές βορίου είναι συνήθως τα οικιακά απορρυπαντικά και οι εκροές που περιέρχονται από τις βιομηχανικές μονάδες. Γενικά συγκεντρώσεις βορίου μεγαλύτερες από 3 ppm επηρεάζουν τις περισσότερες καλλιέργειες. Ορισμένες φορές δεν παρουσιάζεται πρόβλημα στα φυτά ακόμη και σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 3 ppm. Αυτό εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, ανθρακικό ασβέστιο καθώς και από το pH του εδάφους (Μισοπολινός 1991).

Το χλώριο και το νάτριο, επίσης, αυξάνονται κατά την οικιακή χρήση του νερού, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντικά του νερού. Οι καλλιέργειες δεν παρουσιάζουν την ίδια ανθεκτικότητα στα διάφορα τοξικά ιόντα. Για παράδειγμα στον πίνακα 2.8. φαίνεται η ανθεκτικότητα των αγροτικών καλλιεργειών στο βόριο (Πανώρας κ.ά. 1999).

Πίνακας 2.7. Ανθεκτικότητα αγροτικών καλλιέργειών στο βόριο

Αγροτικές καλλιέργειες	
<u>Πολύ ευαίσθητες (<0.5 mg/l)</u>	<u>Μετρίως ευαίσθητες (1.0-2.0 mg/l)</u>
Λεμονιά (<i>Citrus limon</i>)	Πιπεριά κόκκινη (<i>Capsicum annum</i>)
Βατόμουρο (<i>Rubus spp.</i>)	Μπιζέλι (<i>Pisum sativa</i>)
<u>Ευαίσθητες (0.5-0.75 mg/l)</u>	Καρότο (<i>Dacus carota</i>)
Αβοκάντο (<i>Persea americana</i>)	Ραπανάκι (<i>Raphanus sativus</i>)
Γκρέϊπφρουτ (<i>Citrus X paradisi</i>)	Πατάτα (<i>Solanum tuberosum</i>)
Πορτοκαλιά (<i>Citrus sinensis</i>)	Αγγούρι (<i>Cucumis sativus</i>)
Βερυκοκιά (<i>Prunus armeniaca</i>)	<u>Μετρίως ανθεκτικές (2.0-4.0 mg/l)</u>
Ροδακινιά (<i>Prunus persica</i>)	Μαρούλι (<i>Lactuca sativa</i>)
Κερασιά (<i>Prunus avium</i>)	Μάππα (<i>Brassica oleracea capitata</i>)
Δαμασκηλιά (<i>Prunus domestica</i>)	Σέλινο (<i>Apium graveolens</i>)
Διόσπυρος (<i>Diospyros kaki</i>)	Γογγύλι (<i>Brassica rapa</i>)
Συκιά (<i>Ficus carica</i>)	Γρασίδι Κεντάκι (<i>Poa pratensis</i>)
Αμπέλι (<i>Vitis vinifera</i>)	Βρώμη (<i>Avena sativa</i>)
Καρυδιά (<i>Juglans regia</i>)	Καλαμπόκι (<i>Zea mays</i>)
Ελαιοκάρυο (<i>Carya illinoensis</i>)	Αγκινάρα (<i>Cynara scolymus</i>)
Βίγκνα (<i>Vigna unguiculata</i>)	Καπνός (<i>Nicotiana tabacum</i>)
Κρεμμύδι (<i>Allium cepa</i>)	Σινάπι (<i>Brassica juncea</i>)
<u>Ευαίσθητα (0.75-1.0 mg/l)</u>	Μελιλωτός (<i>Melilotus indica</i>)
Σκόρδο (<i>Allium sativum</i>)	Κολοκυθάκια (<i>Cucurbita pepo</i>)
Γλυκοπατάτα (<i>Ipomoea batatas</i>)	Αρωματικό πεπόνι (<i>Cucumis melo</i>)
Σιτάρι (<i>Triticum aestivum</i>)	<u>Ανθεκτικές (4.0-6.0 mg/l)</u>
Κριθάρι (<i>Hordeum vulgare</i>)	Σόργο (<i>Sorghum bicolor</i>)
Ηλίανθος (<i>Helianthus annuus</i>)	Τομάτα (<i>Lycopersicon esculentum</i>)
Φασολιά (<i>Vigna radiata</i>)	Μηδική (<i>Medicago sativa</i>)
Σουσάμι (<i>Sesamum indicum</i>)	Βίκος (<i>Vicia benghalensis</i>)
Λούπινο (<i>Lupinus hartwegii</i>)	Μαϊντανός (<i>Petroselinum crispum</i>)
Φραουλιά (<i>Fragaria spp.</i>)	Κοκκινογούλια (<i>Beta vulgaris</i>)
Αγκινάρα Jerusalem (<i>Heliantus tuberosus</i>)	Ζαχαρότευτλα (<i>Beta vulgaris</i>)
Φασολιά (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	<u>Πολύ ανθεκτικές (6.0-15.0 mg/l)</u>
Φασολιά (<i>Phaseolus lunatus</i>)	Βαμβάκι (<i>Gossypium hirsutum</i>)
Αράπικο φυστίκι (<i>Arachis hypogaea</i>)	Σπαράγγι (<i>Asparagus officinalis</i>)

Πηγή : Maas (1984).

Οι συγκεντρώσεις που φαίνονται στον πίνακα είναι οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στο εδαφικό νερό χωρίς να παρατηρείται μείωση της παραγωγής. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βορίου στο αρδευτικό νερό είναι περίπου ίσες ή λίγο μικρότερες από εκείνες του εδαφικού νερού.

Ορισμένα άλλα ιόντα, που στις συνηθισμένες συγκεντρώσεις τους (<100μg/l) μπορεί να έχουν ευεργετική επίδραση στα φυτά, γίνονται τοξικά όταν αυξηθούν πολύ οι συγκεντρώσεις τους, ή αποτελούν δυνητικό κίνδυνο για την υγεία των καταναλωτών. Στον πίνακα 3.8 σημειώνονται οι συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις ορισμένων φυτοτοξικών ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό, για άρδευση μέχρι 20 χρόνια σε λεπτόκοκκης υφής εδάφη με pH 6,0-8,5.

Πίνακας 2.8 Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων σε νερά που χρησιμοποιούνται το πολύ 20 χρόνια και σε εδάφη λεπτόκοκκης υφής με pH 6.0-8.5.

Στοιχείο	Συνιστώμενη μέγιστη συγκέντρωση (mg/l)	Παρατηρήσεις
Al (Αργίλιο)	20.0	Μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγωγής σε όξινα εδάφη (pH=5.5), αλλά σε νατριωμένα εδάφη (pH>7.0) τα ιόντα του Al καθιζάνουν και ελαχιστοποιείται η τοξικότητά του.
As (Αρσενικό)	2.0	Η φυτοτοξικότητα του ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό και κυμαίνεται από 12 mg/l για το Sudan grass έως λιγότερο από 0.05 mg/l για το ρύζι.
Cd (Κάδμιο)	0.05	Είναι τοξικό στα φασόλια, παντζάρια, ζαχαρότευτλα και κοκκινόγouλια, όταν η συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα είναι έως 0.1 mg/l. Συνιστώνται συντηρητικά όρια εξαιτίας της τάσης του να συσσωρεύεται σε φυτικούς ιστούς και εδάφη σε συγκεντρώσεις που μπορεί να είναι επιβλαβείς για τους ανθρώπους.
Co (Κοβάλτιο)	5.0	Είναι τοξικό στη ντομάτα, όταν η συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα φθάνει τα 0.1 mg/l). Σε ουδέτερα και νατριωμένα εδάφη καθίσταται αδρανές.
Cr (Χρώμιο)	1.0	Θεωρείται, όχι πάντα, βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη των φυτών. Εξαιτίας της περιορισμένης γνώσης πάνω στην φυτοτοξικότητα, συνιστώνται συντηρητικές συγκεντρώσεις.
Cu (Χαλκός)	5.0	Είναι τοξικό σε αρκετά φυτά, όταν οι συγκεντρώσεις του στο θρεπτικό διάλυμα κυμαίνονται από 0.1 έως 1.0 mg/l.
F (Φθόριο)	15.0	Αδρανοποιείται σε ουδέτερα και νατριωμένα εδάφη.
Fe (Σίδηρος)	20.0	Σε αεριζόμενα εδάφη δεν είναι τοξικό για τα φυτά. Μπορεί όμως να συμβάλλει στην οξίνιση των εδαφών και να μειώσει τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου και του μολυβδενίου που είναι σημαντικά στοιχεία για τα φυτά. Άρδευση με καταιονισμό δημιουργεί αποθέσεις σε φυτά, εξοπλισμό και κτίσματα.
Mn (Μαγγάνιο)	10.0	Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από μερικά δέκατα έως μερικά mg/l, αλλά συνήθως μόνο σε όξινα εδάφη.
Mo (Μολυβδένιο)	0.05	Μη τοξικό για τα φυτά, όταν βρίσκεται σε κανονικές συγκεντρώσεις στο έδαφος και στο νερό. Μπορεί να είναι τοξικό για τα ζώα, όταν βοσκήσουν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου μολυβδενίου.
Ni (Νικέλιο)	2.0	Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από 0.5 έως 1.0 mg/l. Μειωμένη τοξικότητα σε ουδέτερα ή αλκαλικά pH.
Pb (Μόλυβδος)	5.0	Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ανάσχεση της αύξησης των φυτικών κυττάρων.

Se (Σελήνιο)	0.02	Τοξικό στα φυτά, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις, όπως 0.025 mg/l. Επίσης, είναι τοξικό στα ζώα που βόσκουν σε εδάφη με σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις εφαρμοζόμενου σεληνίου. Αντίθετα, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις είναι απαραίτητο στα ζώα.
Sn (Κασσίτερος)	-	Δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά. Συγκεκριμένα επίπεδα ανεκτικότητας άγνωστα.
Zn (Ψευδάργυρος)	10.0	Τοξικό σε πολλά φυτά σε μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Η τοξικότητά του μειώνεται όταν το pH >6 και τα εδάφη είναι καλής δομής ή οργανικά.

2.3.3.4. Θρεπτικά στοιχεία

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα αποτελεί η περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά στοιχεία. Έτσι λοιπόν, επιτυγχάνεται και οικονομία καθώς μειώνεται η ανάγκη προσθήκης χημικών λιπασμάτων. Πολλές φορές όμως, προκαλούνται προβλήματα σε ορισμένες καλλιέργειες από περίσσεια θρεπτικών στοιχείων και έτσι έχουμε την εμφάνιση φαινομένων τοξικότητας. Τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχουν τα υγρά απόβλητα είναι κυρίως άζωτο, φώσφορος και μερικές φορές κάλιο, ψευδάργυρος, βόριο και θείο. Το πιο ωφέλιμο, αλλά και το στοιχείο που περιέχεται σε μεγαλύτερο ποσοστό, είναι το άζωτο.

Το άζωτο περιέχεται στις εκροές των αστικών αποβλήτων σε συνολική ποσότητα από 20 έως 60 mg/L, ποσότητα ικανή να αντικαταστήσει ισοδύναμη ποσότητα χημικού λιπάσματος στην αρχική και ενδιάμεση φάση ανάπτυξης της καλλιέργειας. Στην τελευταία φάση της καλλιέργειας των φυτών, η μεγάλη συγκέντρωση αζώτου δημιουργεί κάποια προβλήματα, όπως καθυστέρηση ωρίμανσης ή ποιοτική υποβάθμιση των παραγόμενων προϊόντων. Για τη διόρθωση του προβλήματος αυτού γίνεται αλλαγή, όταν είναι δυνατή, του νερού άρδευσης με άλλο διαθέσιμο νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο ή ανάμειξή του με άλλο αρδευτικό νερό.

Ο φώσφορος περιέχεται επίσης σε μια ποσότητα αρκετά μεγάλη (6-15 mg/L). Η συνεχής άρδευση με απόβλητα αυξάνει χρόνο με το χρόνο τα επίπεδα φωσφόρου στο έδαφος, μειώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ανάγκη για πιθανή μελλοντική λίπανση. Περίσσεια φωσφόρου δεν αποτελεί πρόβλημα, όμως η παρουσία του στα απόβλητα και στο έδαφος καλό είναι να παρακολουθείται.

Το κάλιο κυμαίνεται σε ποσότητες από 10 έως 30 mg/L.

Κάτι άλλο σημαντικό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι σχεδόν όλα τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα περιέχουν και ψευδάργυρο. Οι ποσότητες του

περιεχόμενου ψευδαργύρου είναι ικανές να διορθώσουν τις ελλείψεις των εδαφών σε 1 έως 3 έτη.

2.3.3.5. Διάφορα προβλήματα

Διάφορα άλλα προβλήματα μπορεί να κάνουν την εμφάνισή τους κατά την άρδευση με υγρά απόβλητα. Τέτοια μπορεί να είναι ανωμαλίες στο pH, διάβρωση αγωγών και εξοπλισμού, κ.α.

Το pH του νερού σπάνια αποτελεί από μόνο του πρόβλημα. Ωστόσο, τιμή του pH έξω από τα συνήθη όρια (6.5-8.5) αποτελεί ένδειξη ότι το νερό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας με πιθανή παρουσία τοξικών ιόντων. Τιμές pH εκτός των παραπάνω ορίων πρέπει να αποτελούν προειδοποίηση και να οδηγούν σε περαιτέρω αναλύσεις και εκτιμήσεις για την ποιότητα του νερού.

Άλλο πιθανό πρόβλημα είναι η έμφραξη των συστημάτων καταιονισμού ή των υποεπιφανειακών συστημάτων άρδευσης. Η έμφραξη οφείλεται στην ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών στις εξόδους των ακροφυσίων (Meyer 1985, Nakayama and Bucks 1985), όπως επίσης και στις μεγάλες συγκεντρώσεις φυκιών (English 1985) και αιωρούμενων στερεών (Bucks et al. 1982).

Το σύστημα άρδευσης στο οποίο παρουσιάζονται τα περισσότερα προβλήματα είναι η υπόγεια στάγδην άρδευση. Τα δίκτυα με στάγδην άρδευση είναι πιο επιδεικτικά στα προβλήματα που σχετίζονται με αποφράξεις, ιδιαίτερα στους μηχανισμούς εφαρμογής του αρδευτικού νερού (σταλακτήρες). Οι λόγοι εμφάνισης των προβλημάτων αυτών είναι η ύπαρξη στερεών τεμαχιδίων στα απόβλητα που δέχθηκαν δευτεροβάθμια επεξεργασία και η ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σταλακτήρες. Προβλήματα τέτοιου τύπου ξεπερνιούνται με τη χρήση χαλκικόφιλτρου, φίλτρου σίτας, έγχυσης χλωρίου στο σύστημα άρδευσης καθώς και με συχνό καθάρισμά των σταλακτάρων με άφθονο καθαρό νερό. Αντίθετα όμως, τα συστήματα αυτά θεωρούνται ιδανικά από άποψη προστασίας της δημόσιας υγείας, επειδή είναι πλήρως κλειστά και περιορίζουν ή ελαχιστοποιούν την καταίωση και την έκθεση στην εφαρμοζόμενη εκροή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

3.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου άρδευσης οι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι η ποσότητα και η ποιότητα νερού, το κλίμα, το κόστος της μεθόδου, το κλίμα, η καλλιέργεια, το έδαφος, αλλά ακόμη και η ικανότητα του καλλιεργητή να διαχειριστεί σωστά το σύστημα άρδευσης. Ειδικά όμως στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες με πιο καθοριστικούς εκείνους που έχουν να κάνουν με την ανθρώπινη υγεία. Η μέθοδος άρδευσης, το είδος της καλλιέργειας, ο βαθμός επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων και ο έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης, αποτελούν ένα αλληλοεξαρτώμενο σύστημα, όπου κάθε παράμετρος επηρεάζει τις υπόλοιπες και επηρεάζεται από αυτές.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την άρδευση των καλλιεργειών διακρίνονται σε επιφανειακές (κατάκλιση, λωρίδες αυλάκια), καταιονισμό (τεχνητή βροχή), υπάρδευση και τοπικές αρδεύσεις (Παπαζαφειρίου, 1984; U.S.D.A., 1956).

Η μέθοδος που θεωρείται καλύτερη για άρδευση με απόβλητα είναι η στάγδην άρδευση για τρεις λόγους:

- ⇒ Αποτελεί κλειστό σύστημα και δεν εκθέτει σε κίνδυνο τους αγρότες,
- ⇒ δεν προκαλεί διασπορά των αποβλήτων με τον άνεμο,
- ⇒ δεν δημιουργεί απορροή αποβλήτων προς γειτονικές περιοχές, όπως συμβαίνει με τις επιφανειακές μεθόδους.

Το μόνο πρόβλημα που εμφανίζει αυτή η μέθοδος είναι οι εμφράξεις στους σταλακτήρες ή στους σωλήνες μεταφοράς του νερού, εξαιτίας διαφόρων μικροοργανισμών ή λόγω μεγάλης συγκέντρωσης φυκών και αιωρούμενων στερεών. Τα προβλήματα αυτά ξεπερνιούνται με τη χρήση χαλκικόφιλτρου και με το συχνό καθάρισμά τους με άφθονο νερό. Οι Massoud et al. (1995) έδειξαν ότι η άρδευση των καλλιεργειών με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα μέσω συστήματος σταγόνων, προϋποθέτει την ταυτόχρονη χρήση χαλκικόφιλτρου, φίλτρου σίτας και έγχυσης χλωρίου στο σύστημα άρδευσης για αποφυγή εμφράξεων. Επειδή η περιεκτικότητα του Ca στα απόβλητα είναι συνήθως υψηλή πρέπει να υπολογίζεται ο δείκτης LSI (Nakayama and Bucks, 1985; Πανώρας κ.ά., 1992), που εκφράζει τον πιθανό κίνδυνο εμφραξης των σταλακτάρων από την καθίζηση του ασβεστίου (Ca).

3.2. ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ

Η υποεπιφανειακή ή υπόγεια στάγδην άρδευση είναι μια σύγχρονη μέθοδος άρδευσης η οποία εξασφαλίζει υψηλή αποδοτικότητα του αρδευτικού νερού, επιτρέπει την υψηλή παραγωγή των φυτών και εκμηδενίζει τα προβλήματα έκπλυσης και απορροής. Από σχετικές εργασίες, (Sakellariou-Makrantonaki et al 2001; Sakellariou-Makrantonaki et al 2002; Sakellariou-Makrantonaki et al 2003) διαπιστώθηκαν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την επιφανειακή άρδευση με σταγόνες. Η ΥΣΑ θα μπορούσε να οριστεί ως η συχνή εφαρμογή μικρών ποσοτήτων νερού στο έδαφος διαμέσου σταλακτών που είναι τοποθετημένοι σε αγωγό σε αγωγό μεταφοράς που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα ΥΣΑ αποτελείται από το δίκτυο μεταφοράς, το δίκτυο εφαρμογής και την μονάδα ελέγχου.

Το δίκτυο μεταφοράς είναι το μέρος του συστήματος που τροφοδοτεί με νερό τους αγωγούς εφαρμογής από το χώρο υδροληψίας. Το δίκτυο μεταφοράς αποτελείται από τους κύριους αγωγούς μεταφοράς οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από άκαμπτο PVC και έχουν μεγάλη διάμετρο (περίπου 30mm).

Το δίκτυο εφαρμογής αποτελείται από εύκαμπτους σωλήνες πολυαιθυλενίου με διάμετρο 12-15mm, στους οποίους, σε συγκεκριμένες θέσεις τοποθετούνται οι σταλακτιήρες μέσω των οποίων το νερό φτάνει στο έδαφος με τη μορφή σταγόνων.

Τέλος η μονάδα ελέγχου περιλαμβάνει κάποια συστήματα που βοηθούν στην ομαλή λειτουργία της άρδευσης. Αποτελείται από τα φίλτρα, την κεντρική ηλεκτροβάνα άρδευσης, τα μανόμετρα ένδειξης πίεσης λειτουργίας των αγωγών, τον προγραμματιστή άρδευσης, το σύστημα Venturi για δυνατότητα υδρολίπανσης και τις ηλεκτροβάνες.

Η ΥΣΑ όπως προαναφέρθηκε έχει πολλά πλεονεκτήματα, τα περισσότερα των οποίων θα μπορούσαν να συνοψιστούν στα εξής:

- ⇒ Εξοικονόμηση νερού
- ⇒ Έλεγχος συστήματος άρδευσης
- ⇒ Διατήρηση μικρών αρνητικών πιέσεων στο έδαφος
- ⇒ Πρωΐμιση της παραγωγής

- ⇒ Χρήση χαμηλής ποιότητας αρδευτικού νερού
- ⇒ Μερική διαβροχή του εδάφους
- ⇒ Διατήρηση ξηρού φυλλώματος
- ⇒ Εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων
- ⇒ Εφαρμογή σε δύσκολα εδάφη
- ⇒ Προστασία του περιβάλλοντος
- ⇒ Άρδευση μεγαλύτερων εκτάσεων
- ⇒ Βελτίωση της ποιότητας της παραγωγής.

Θα περίμενε κανείς τεράστια εξέλιξη της ΥΣΑ με τόσα πολλά πλεονεκτήματα που έχει να επιδείξει. Αυτό δεν έγινε γιατί εκτός από τα πλεονεκτήματα, η ΥΣΑ έχει και κάποια αρνητικά σημεία, τα οποία και στάθηκαν εμπόδιο στην εξέλιξή της:

- ⇒ Κόστος εγκατάστασης
- ⇒ Εμφράξεις σταλακτήρων
- ⇒ Συσσώρευση αλάτων
- ⇒ Μηχανικές ζημιές

3.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΥΣΑ

Ο Solomon, (1993), αναφέρει, ότι με την ΥΣΑ το νερό άρδευσης και τα εκχυόμενα χημικά, όπως τα λιπάσματα, παροχετεύονται κατευθείαν στο ριζόστρωμα των φυτών. Αυτό αποτελεί ιδιαίτερο πλεονέκτημα για θρεπτικά στοιχεία με χαμηλή κινητικότητα στο έδαφος. Στην ΥΣΑ τα επιφανειακά 15-20cm του εδάφους έχουν χαμηλότερη υγρασία όταν οι σταλακτηφόροι σωλήνες βρίσκονται σε βάθος 45cm, με συνέπεια, η εξάτμιση του νερού από το έδαφος να περιορίζεται. Σε ένα σχετικά ξηρό επιφανειακά αγρό επιτρέπεται η διέλευση των μηχανημάτων καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο και αποτρέπεται η ανάπτυξη των ζιζανίων. Επιπλέον, περιορίζονται οι σηψιρριζίες και άλλες ασθένειες του εδάφους που προσβάλλουν τα φυτά και αποφεύγεται η δημιουργία κρούστας στο έδαφος, η οποία εμποδίζει τον αερισμό του και την διείσδυση του νερού της βροχής, προκαλώντας επιφανειακή απορροή. Εκτός αυτών, το υπόγειο αρδευτικό σύστημα δεν είναι εκτεθειμένο στον ήλιο και τις ακραίες καιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το βασικότερο όμως, από όλα τα πλεονεκτήματα είναι η μείωση των εργατικών χεριών, το κόστος των οποίων είναι αρκετά μεγάλο στις ανεπτυγμένες χώρες.

Οι Zoldoske et al., (1995), αναφέρουν την εμπειρία χρησιμοποίησης της ΥΣΑ σε χλοοτάπητα. Η εφαρμογή της ΥΣΑ σε χλοοτάπητα απαιτεί την τοποθέτηση των σταλακτῆρων και των σταλακτηφόρων αγωγών σε στενή απόσταση, ώστε να διατηρείται υγρό το ριζόστρωμα του χλοοτάπητα καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξής του. Οι έρευνες στο C.I.T., δείχνουν ότι ο χλοοτάπητας μπορεί να παραμείνει υγιής χρησιμοποιώντας την ΥΣΑ. Οι τύποι των αρδευτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν συμπεριελάμβαναν ανθεκτικούς σωλήνες άρδευσης, σταλακτηφόρους τύπου ταινίας και πορώδεις σωλήνες. Μερικά από τα προϊόντα εμφάνισαν έμφραξη από τις ρίζες τις πρώτες 60 ημέρες. Οι πορώδεις σωλήνες δεν αντιμετώπισαν πρόβλημα έμφραξης, αλλά παρατηρήθηκε απόκλιση από την ομοιομορφία κατανομής του νερού, ύστερα από αρκετά χρόνια λειτουργίας, εξαιτίας της συσσώρευσης λεπτών σωματιδίων στις διόδους του νερού. Το σύστημα της ΥΣΑ εγκαταστάθηκε πριν από την εγκατάσταση του χλοοτάπητα, σε βάθος 10 cm. Οι σταλακτηφόροι τοποθετήθηκαν σε αποστάσεις 25 έως 60cm. Ο προγραμματισμός της άρδευσης σχεδιάστηκε, ώστε να αντικαθιστά το 150% της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, εξαιτίας του ποσοστού 50% απωλειών σε κάποια συστήματα καταιονισμού.

Οι Shani et al., (1996), σε πειράματα που έκαναν στο Ισραήλ, απέδειξαν ότι η παροχή του σταλάκτη στην υπόγεια άρδευση εξαρτάται από την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους.

Οι CHanson et al., (1997), σε πείραμα σύγκρισης στάγδην άρδευσης, ΥΣΑ και άρδευση με αυλάκια σε καλλιέργεια μαρουλιού, διαπίστωσαν παρόμοια απόδοση της καλλιέργειας όσον αφορά την ΥΣΑ και τα αυλάκια, ενώ η επιφανειακή στάγδην άρδευση έδωσε μικρότερη απόδοση. Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού για τις μεταχειρίσεις της στάγδην άρδευσης κυμάνθηκε από 43 % έως 74 % της ποσότητας που χορηγήθηκε με τη μέθοδο των αυλακιών. Η παραλλακτικότητα στη μάζα των φυτών ήταν ανάλογη της παραλλακτικότητας της εκροής του σταλακτῆρα για τις μεταχειρίσεις της στάγδην, ενώ η παραλλακτικότητα της μάζας στη μέθοδο με αυλάκια δεν επηρεάστηκε από τον τύπο του εδάφους και την υγρασία του. Η μικρότερη παραλλακτικότητα στη μάζα των φυτών παρουσιάστηκε στις μεταχειρίσεις της στάγδην άρδευσης.

Σε μια εργασία ανασκόπησης, οι Ayars et al (1999), παρουσίασαν τα αποτελέσματα μιας 15ετούς έρευνας στην ΥΣΑ. Οι καλλιέργειες, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν, ήταν η τομάτα, το βαμβάκι, το γλυκό καλαμπόκι, η μηδική και το πεπόνι. Τα αποτελέσματα από τις παραπάνω έρευνες, έδειξαν μια εμφανή υπεροχή

της ΥΣΑ, όσον αφορά την απόδοση και την αξιοποίηση του νερού από τα φυτά. Επίσης, η εφαρμογή της άρδευσης σε τακτά χρονικά διαστήματα μείωσε τις απώλειες νερού με βαθιά διήθηση και αύξησε την χρησιμοποίηση του υπόγειου νερού από τα φυτά.

Οι Lamm and O' Brien, (2003), πειραματίστηκαν 5 έτη (1997-2001) σε αγρό του Πανεπιστημίου του Κάνσας, για τον προσδιορισμό του βέλτιστου πληθυσμού φυτών καλαμποκιού σε διάφορες δόσεις άρδευσης. Το καλαμπόκι αρδεύτηκε με 6 διαφορετικές δόσεις άρδευσης (0 έως 6,35mm/ημέρα) σε 4 διαφορετικούς πληθυσμούς (8125, 7320, 6590 και 5830 φυτά/στρέμμα). Οι σταλακτηφόροι τοποθετήθηκαν σε βάθος 45cm με ισαποχή 150cm, ενώ οι σταλάκτες είχαν ισαποχή 30cm. Η ημερήσια εφαρμογή ακόμη και μικρών ποσοτήτων νερού μέσω της ΥΣΑ (2,54mm), είχε σαν αποτέλεσμα το διπλασιασμό της απόδοσης σε σπόρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι η παροχή 4,32mm/ημέρα είναι η καταλληλότερη δόση άρδευσης για τον σχεδιασμό συστημάτων ΥΣΑ σε αυτήν την περιοχή.

Στην Ελλάδα, οι Σακελλαρίου κ.α., (2000, 2001, 2002), σε πείραμα υπόγειας στάγδην άρδευσης σε ζαχαρότευτλα, διαπίστωσαν ότι η εδαφική υγρασία αυξάνει μετά το βάθος των 30cm, σε σχέση με την επιφανειακή στάγδην άρδευση. Βρέθηκε επίσης, ότι εφαρμόζοντας το 80% της δόσης άρδευσης, μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση νερού χωρίς ουσιαστική μείωση της παραγωγής στην υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση. Ακόμη, η υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση έδωσε μεγαλύτερη απόδοση σε ρίζες και ζαχαρικό τίτλο σε σχέση με την επιφανειακή στάγδην άρδευση.

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

Οι Αλεξίου κ.α., (2003), σε πείραμα σύγκρισης της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού, διαπίστωσαν ότι η ομοιομορφία κατανομής του νερού είναι μεγαλύτερη στην υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση, λόγω της μικρότερης ισαποχής των σταλακτηφόρων αγωγών. Επίσης, η εφαρμογή της υποεπιφανειακής στάγδην άρδευσης μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα του νερού κατά 20% σε σύγκριση με την αντίστοιχη επιφανειακή μέθοδο. Ακόμη, η υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση μπορεί να εφαρμοσθεί και σε αργιλώδη εδάφη, τα οποία συνήθως, παρουσιάζουν μικρή υδραυλική αγωγιμότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Μελετήθηκε η ανάπτυξη χλοοτάπητα (*Festuca arundinacea*) κατά την άρδευση του με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα, σε πειραματικό αγρό την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2005. Το πείραμα εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο τον Σεπτέμβριο του 2001. Τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του αγροκτήματος είναι: Υψόμετρο 50m, γεωγραφικό πλάτος 39° 23', γεωγραφικό μήκος 22° 23'. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα τυπικό Μεσογειακό κλίμα με ζεστό και ξηρό καλοκαίρι και ψυχρό – υγρό χειμώνα. Το έδαφος στην περιοχή που εγκαταστάθηκε το πείραμα χαρακτηρίζεται ως αργιλλοπηλώδες.

Για την πραγματοποίηση του πειράματος επιλέχθηκε η μέθοδος της Υποεπιφανειακής Στάγδην Άρδευσης (ΥΣΑ), διότι σύμφωνα με τους Bahri and Brissaud (2002), δεν τίθεται κάποιο όριο όσον αφορά τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, επειδή δεν έρχονται σε άμεση επαφή τα απόβλητα με το κοινό και τους εργαζόμενους στο χώρο.

Τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα της πόλης του Βόλου τοποθετούνταν σε μαύρη κυλινδρική δεξαμενή χωρητικότητας 5m³ (εικόνα 4.1). Η δεξαμενή αυτή ήταν κατασκευασμένη από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), της εταιρείας Σύρμος-Λεβαντής.



Εικόνα 4.1. Δεξαμενή τοποθέτησης υγρών επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων.

Για τον έλεγχο της άρδευσης χρησιμοποιήθηκε πίνακας ελέγχου (εικόνα 4.2) που περιείχε:

- ⇒ την κεντρική ηλεκτροβάννα άρδευσης (Muster Valve)
- ⇒ το φίλτρο σήτας για την κατακράτηση των στερεών συστατικών
- ⇒ τα μανόμετρα ένδειξης πίεσης λειτουργίας των αγωγών
- ⇒ τον προγραμματιστή άρδευσης Miracle 6 DC για να μπορεί να γίνει αυτοματοποιημένη άρδευση
- ⇒ το σύστημα Venturi για δυνατότητα υδρολίπανσης
- ⇒ τέσσερις ηλεκτροβάννες άρδευσης
- ⇒ δύο φίλτρα (Tech-filter) εμποτισμένα με treflan.



Εικόνα 4.2. Πίνακας ελέγχου του αρδευτικού συστήματος.

Η κεντρική ηλεκτροβάννα άρδευσης συνδέονταν μέσω πλαστικού αγωγού με την αντλία και η αντλία συνδέονταν με την δεξαμενή τοποθέτησης των επεξεργασμένων αποβλήτων. Η αντλία ήταν οριζόντια, πολυβάθμια, κλειστού τύπου, ισχύος 3 Hp.

Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle DC 6 (Εικόνα 4.3.), ο οποίος λειτουργεί με μπαταρία είναι κατασκευή της εταιρείας Motorola. Έχει την δυνατότητα να προγραμματίζει άρδευση μέχρι και 6 ηλεκτροβανών, σε 3 διαφορετικά προγράμματα. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται είναι: η οθόνη, τα 3 πλήκτρα

εντολών, μια μπαταρία λιθίου 9V, ο πίνακας ελέγχου, το τερματικό τμήμα των καλωδίων και το πλαίσιο στήριξης.



Εικόνα 4.3. Προγραμματιστής Άρδευσης Miracle DC 6

Το φίλτρο σήτας ήταν της εταιρείας ARKAL, με διάμετρο σπών 120 mesh. Τα φίλτρα εμποτισμένα με treflan είχαν διάμετρο σπών 155 mesh. Το treflan (δ.ο. Trifluralin) είναι ένα ζιζανιοκτόνο της ομάδας των δινιτροανιλινών, που στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησίμευσε ως ριζοαπωθητικό, για την αποφυγή έμφραξης των σταλακτών από τις ρίζες.

Οι ηλεκτροβάνες (εικόνα 4.4) ήταν τύπου Aquanet II, με τάση λειτουργίας 9-40 Volt. Οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με τους αγωγούς μεταφοράς του νερού. Οι αγωγοί ήταν κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο (PE), είχαν διατομή Φ32, με πίεση λειτουργίας 6 Atm.



Εικόνα 4.4. Ηλεκτροβάνες άρδευσης

Οι αγωγοί μεταφοράς τοποθετήθηκαν κατά μήκος και περιμετρικά του αγρού. Ο πειραματικός αγρός χωρίστηκε σε 2 τεμάχια, εκτάσεως 48m² περίπου το καθένα (2x24m) με ένα διάδρομο μεταξύ τους. Τα 2 τεμάχια αποτέλεσαν τις 2 μεταχειρίσεις που αφορούσαν τον χλοοτάπητα. Κάθε μεταχείριση χωρίστηκε σε τέσσερις επαναλήψεις. Μπροστά από κάθε τεμάχιο τοποθετήθηκε ένα φρεάτιο που περιείχε έναν υδρομετρητή (εικόνα 4.5.), για την καταγραφή του καταναλισκόμενου όγκου νερού.



Εικόνα 4.5. Υδρομετρητής

Στα 2 τεμάχια οι αγωγοί μεταφοράς ήταν συνδεδεμένοι με τους υπόγειους σταλακτηφόρους σωλήνες. Σε κάθε τεμάχιο είχαν τοποθετηθεί 6 σταλακτηφόροι σωλήνες. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες ήταν τύπου RAM-Techline Φ17, της εταιρείας Netafim. Είχαν ισαποχή 40 cm και ήταν κατασκευασμένοι από PE. Το μήκος τους ήταν 24 m. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες έφεραν ενσωματωμένους σταλάκτες, οι οποίοι ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι. Οι σταλάκτες είχαν παροχή 1,6 l/h, ισαποχή 30 cm και λειτουργούσαν σε πίεση 0,5-4 Atm. Οι 6 σταλακτηφόροι αγωγοί που βρίσκονταν στη μεταχείριση του χλοοτάπητα, η οποία θα αρδευόταν μόνο με καθαρό νερό, συνδέθηκαν με αγωγό μεταφοράς του νερού που τροφοδοτούνταν από δεξαμενή (εικόνα 4.6.) κατασκευασμένη από σκυρόδεμα, χωρητικότητας 40m³ και ήταν δίπλα στη γεώτρηση του αγροκτήματος.

Στο άκρο κάθε μεταχείρισης είχαν τοποθετηθεί ειδικές βαλβίδες εκτόνωσης της πίεσης και καθαρισμού των σταλακτών, για την αποφυγή έμφραξης του δικτύου ή εμφανίσεως βλαβών.

Εικόνα 4.6. Δεξαμενή νερού γεώτρησης αγροκτήματος Βελεστίου



Μεταχειρίσεις Χλοοτάπητα

Η 1^η μεταχείριση του χλοοτάπητα ονομάστηκε ΧΚ (Χλοοτάπητας Καθαρό) και η άρδευση γινόταν με καθαρό νερό, από την γεώτρηση του αγροκτήματος.

Η 2^η μεταχείριση ονομάστηκε ΧΛ (Χλοοτάπητας Λύμα) και αρδεύονταν περιοδικά με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, σε αναλογία 2 προς 1, εξαιτίας της αυξημένης αλατότητας που υπήρχε στα αστικά απόβλητα.

Κάθε μεταχείριση είχε τέσσερις επαναλήψεις.

Στους πίνακες 4.1. και 4.2. φαίνεται η αυξημένη συγκέντρωση του χλωρίου και των αλάτων στα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα σε σχέση με το καθαρό νερό της γεώτρησης στο Βελεστίνο.

Πίνακας 4.1. Μέσος όρος των τιμών των παραμέτρων των υγρών αποβλήτων.

Παράμετρος	Μ.Ο.	Όρια ασφαλείας	Παράμετρος	Μ.Ο.	Όρια ασφαλείας	Παράμετρος	Μ.Ο.	Όρια ασφαλείας
Cl ⁻ (mg/l)	1290	0-700	N-NO ₃ (mg/l)	5.5	0-10	Fe ³⁺ (mg/l)	0.30	0-20
SS (mg/l)	4.0	0-15	C.O.D. (mg/l)	35	0-40	Cu ²⁺ (mg/l)	0.01	0-5
P (mg/l)	1.2	0-15	B.O.D. (mg/l)	10	1-15	Zn ²⁺ (mg/l)	0.05	0-10
N-NH ₄ (mg/l)	0.5	0-30	E.C. (dS/m)	3,3	0-3	pH	7.9	6,5-8,5

Πίνακας 4.2. Μέσος όρος των τιμών των παραμέτρων του νερού γεώτρησης .

Παράμετρος	Μ.Ο.	Όρια ασφαλείας	Παράμετρος	Μ.Ο.	Όρια ασφαλείας	Παράμετρος	Μ.Ο.	Όρια ασφαλείας
Cl ⁻ (mg/l)	22	0-700	N-NO ₃ (mg/l)	17,9	0-10	Fe ³⁺ (mg/l)	<1	0-20
SS (mg/l)	-	0-15	C.O.D. (mg/l)	-	0-40	Cu ²⁺ (mg/l)	<1	0-5
P (mg/l)	0,5	0-15	B.O.D. (mg/l)	-	1-15	Zn ²⁺ (mg/l)	<1	0-10
N-NH ₄ (mg/l)	<1	0-30	E.C. (dS/m)	0,65	0-3	pH	7,65	6,5-8,5

Οι αρδεύσεις έγιναν κατά την περίοδο από 11 Ιουλίου έως 17 Οκτωβρίου και οι ποσότητες νερού εφαρμόστηκαν για να καλύψουν το 85% της υπολογιζόμενης εξατμισοδιαπνοής, βάση της μεθόδου του εξατμισιμέτρου τύπου Α, λαμβάνοντας υπόψη την εξοικονόμηση νερού λόγω της μηδενικής εξάτμισης (υπόγειο δίκτυο άρδευσης).

4.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.2.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

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

Εκτός από την εξαμισοδιαπνοή, 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, Βροχόπτωση.

4.2.2. ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους έγινε δειγματοληψία εδάφους. Λήφθηκαν 7 δείγματα συνολικά, από τα τεμάχια 1 και 2. Τα δείγματα στο τεμάχιο 1 ήταν 4, σε βάθος 0-30, 30-60, 60-90 και 90-120 cm. Τα υπόλοιπα 3 δείγματα λήφθηκαν στο τεμάχιο 2 και 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, σακουλάκια 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.

Έγινε δειγματοληψία εδάφους, λοιπόν, στις μεταχειρίσεις ΧΚ και ΧΛ, με σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων, μετά το πέρας της περιόδου αρδεύσεως.

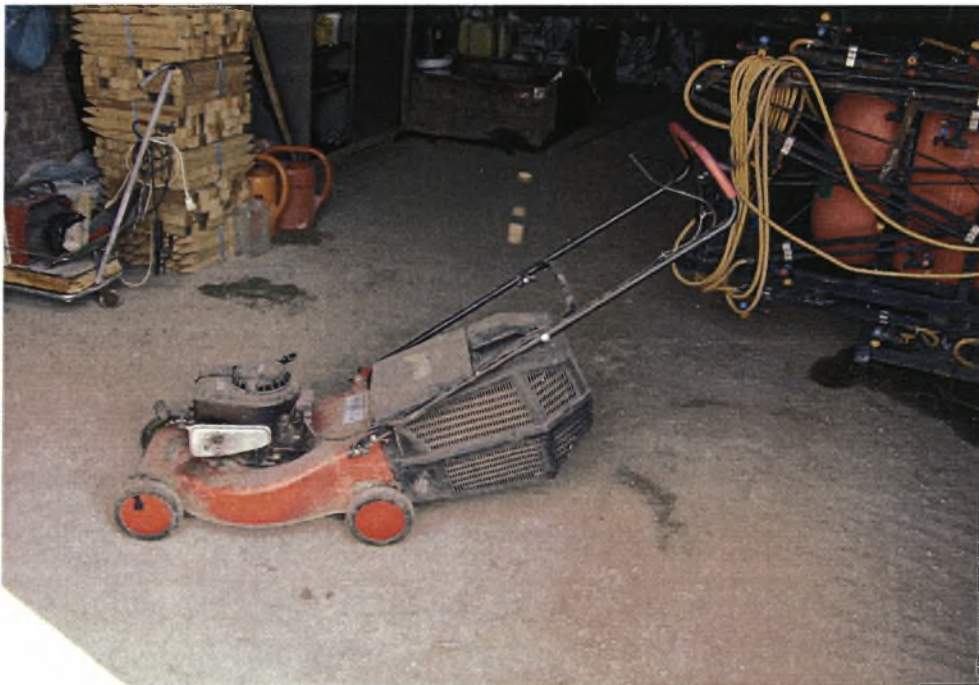
4.2.3. ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ

α) Ξηρή Βιομάζα

Για την εύρεση της παραγωγικότητας σε ξηρή βιομάζα των δυο μεταχειρίσεων του χλοοτάπητα, γινόταν η κοπή του υπέργειου τμήματος του χλοοτάπητα σε διαστήματα περίπου ανά δυο εβδομάδες.

Για το κούρεμα χρησιμοποιήθηκε η βενζινοκίνητη μηχανή κοπής τύπου Raser (εικόνα 4.7.) με ισχύ 3,5 Hp. Η κοπή γινόταν σε κάθε επανάληψη του χλοοτάπητα. Το σύνολο της νωπής μάζας της κάθε επανάληψης τοποθετούνταν σε μια μαύρη σακούλα απορριμμάτων. Για τη μέτρηση του συνολικού νωπού βάρους του χλοοτάπητα, χρησιμοποιήθηκε η ζυγαριά 12000 D SCS της εταιρείας Presica Instruments AG. Η ζυγαριά είχε σαν μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος τα 12000 g., ελάχιστο βάρος τα 5 g., και σφάλμα ανάγνωσης το 1 g.

Εικόνα 4.6. Χλοοκοπτική μηχανή τύπου Raser



Στη συνέχεια ζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας 250 g περίπου από την κάθε επανάληψη, τα οποία ξηραίνονταν σε χάρτινες σακούλες στους 100 °C για 2 ημέρες σε ειδικό φούρνο που διαθέτει το Εργαστήριο της Γεωργικής Υδραυλικής. Μετά την διαδικασία της ξήρανσης το κάθε δείγμα ζυγίζονταν ξανά στον ίδιο ζυγό ακριβείας.

Η ίδια διαδικασία μετρήσεων επαναλαμβάνονταν σε κάθε κοπή του χλοοτάπητα. Συνολικά έγιναν 8 κοπές στις εξής ημερομηνίες: **15/7/2005, 29/7, 12/8, 26/8, 9/9, 23/9, 7/10, 21/10/2005.**

β) Ύψος φύλλου-ακραιού μεριστώματος

Για την παρατήρηση του ρυθμού ανάπτυξης του χλοοτάπητα, μετρήθηκε το ύψος του ακραιού μεριστώματος σε έναν αριθμό 5 φυτών στο πλέγμα της κάθε επανάληψης. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις **15/7/2005**, ενώ οι μετρήσεις επαναλαμβάνονταν κάθε περίπου 2 εβδομάδες.

γ) Χλωροφύλλη με εκχύλιση

Η περιεχόμενη χλωροφύλλη των φύλλων του χλοοτάπητα μετρήθηκε με τη μέθοδο της εκχύλισης με αιθανόλη. Χρησιμοποιήθηκαν νωπά φύλλα από τα πειραματικά τεμάχια, ένα γουδί από πορσελάνη, ένα γουδοχέρι, γυάλινοι δοκιμαστικοί σωλήνες, πιπέτες, ένας γυάλινος ογκομετρικός κύλινδρος 25 ml, αιθανόλη καθαρότητας 96%, μια συσκευή φυγοκέντρησης της Hettich Universal και ένα φασματοφωτόμετρο Spectronic 301 της εταιρείας Milton Roy. Η μάζα που χρειαζόταν ήταν κατά μέσο όρο 0,2 έως 0,5g. Η μάζα αυτή λειοτριβόταν στο γουδί και με τη βοήθεια της αιθανόλης λαμβανόταν το εκχύλισμα. Στη συνέχεια το εκχύλισμα φυγοκεντριζόταν στις 3000 στροφές/λεπτό για 5 λεπτά. Το υπερκείμενο διαυγές διάλυμα διοχετευόταν στο φασματοφωτόμετρο, όπου με τη βοήθεια ενός πρότυπου διαλύματος γινόταν εύρεση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης A, B και του αθροίσματος, σε mg/g νωπής μάζας. Για την εύρεση της ξηρής μάζας των φύλλων λαμβανόταν ένα δείγμα για τον προσδιορισμό της υγρασίας.

Η πρώτη εκχύλιση έγινε στις **30/7/2005**. Οι υπόλοιπες έγιναν τον Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του 2007.

4.2.4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ T.D.R.

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας, τοποθετήθηκαν στο έδαφος αισθητήρες υγρασίας και η μέτρηση έγινε με τη μέθοδο T.D.R. Η μέθοδος αυτή, αποτελεί σήμερα μια από τις πλέον αξιόπιστες και ακριβείς μεθόδους. Η τεχνική βασίζεται στη μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς του υπό μέτρηση εδάφους και κατόπιν τον υπολογισμό της ογκομετρικής περιεκτικότητας σε νερό. Η διηλεκτρική σταθερά του υπό μέτρηση δείγματος επιδρά και καθορίζει την ταχύτητα κίνησης ενός υψηλής συχνότητας σήματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος μέσω κατάλληλου κυματοδηγού (Kalfountzos, D. et al, 2002, Kalfountzos, D. et al, 2003). Η διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, είναι γνωστό, ότι εξαρτάται από το ποσοστό του νερού που περιέχεται σε αυτό (Topp et al., 1980).

Το σύστημα για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R., στην βασική του διαμόρφωση (συσκευή ή όργανο και παρελκόμενα), περιλαμβάνει:

- ⇒ συσκευή T.D.R. με ενσωματωμένο επεξεργαστή μετατροπής και την οθόνη προβολής των ενδείξεων,
- ⇒ το probe (αισθητήρας του οργάνου),
- ⇒ σετ εργαλείων για την εισαγωγή και εξαγωγή του probe,
- ⇒ φορτιστή για της εσωτερικές μπαταρίες της συσκευής T.D.R.,
- ⇒ καλώδιο σύνδεσης της συσκευής T.D.R. με το probe και
- ⇒ καλώδιο σύνδεσης της συσκευής T.D.R. με τον υπολογιστή.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες στον χλοοτάπητα που αρδεύονταν με καθαρό νερό και λύμα και δύο αισθητήρες στον χλοοτάπητα που αρδεύονταν αποκλειστικά με καθαρό νερό. Οι αισθητήρες είχαν ενεργό βάθος 75 cm μέτρησης της εδαφικής υγρασίας. Το ενεργό βάθος διακρινόταν σε 5 διαστήματα μέτρησης και ήταν τα εξής: 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75.

4.3. ΑΡΔΕΥΣΗ

Οι αρδεύσεις πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο από **11 Ιουλίου έως 17 Οκτωβρίου**. Χρησιμοποιούνται δύο τρόποι για τον υπολογισμό της δόσης 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 (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 1993) υπολογίστηκαν τα μεγέθη : Υδατοϊκανότητα (% ξηρού βάρους εδάφους), 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 4.3.

Πίνακας 4.3. Υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
Υδατοϊκανότητα (FC , % ξ.β.)	21,2
Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP , % ξ.β.)	11,64.
Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (ASW , g/cm^3)	1,23
Βάθος ριζοστρώματος χλοοτάπητα (RD , mm)	400
Ποσοστό διαβροχής του εδάφους (P)	1
Συντελεστής Εξάντλησης Διαθέσιμης Υγρασίας (c)	0,5
Βαθμός εφαρμογής του νερού (n)	0,95

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η Θεωρητική Δόση Άρδευσης (I_d) από τον τύπο:

$$I_d = \frac{(FC - PWP)}{100} \times ASW \times RD \times C \times P, \quad (4.1.)$$

Με αντικατάσταση στον τύπο (4.1.) προκύπτει για τον χλοοτάπητα:

$$I_d = (0,212 * 0,1164) * 1,23 * 500 * 0,5 * 1 = \mathbf{23,5mm}$$

Η πρακτική δόση άρδευσης είναι ίση με:

$$I_{da} = \frac{I_d}{n}, \quad (4.2.)$$

Αντικαθιστώντας στον τύπο (4.2.) έχουμε:

$$I_{da} = 23,5 / 0,95 = \mathbf{24,7 \text{ mm}} \text{ ή } \mathbf{24,7 \text{ m}^3/\text{στρ.}} \text{ ή } \mathbf{1,187 \text{ m}^3} \text{ για την επιφάνεια των } 48 \text{ m}^2.$$

Το εύρος άρδευσης (I) ισούται με:

$$I = \frac{I_d}{ET_c}, \quad (4.3.)$$

όπου ET_c η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.

Η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή, από μέσο όρο μετρήσεων προηγούμενων ετών, λήφθηκε ως 3,2 mm για τον μήνα Μάιο και 5 mm για το μήνα Ιούνιο.

Με αντικατάσταση στον τύπο (4.3.) βρέθηκε ότι το εύρος άρδευσης για τον χλοοτάπητα ήταν:

$$I = 23,5 / 3,2 = 8 \text{ ημέρες τον Μάιο και } I = 23,5 / 5 = 5 \text{ ημέρες τον Ιούνιο.}$$

Η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε 2 ημέρες. Γι' αυτό το λόγο έγινε αναγωγή της δόσης άρδευσης σε διήμερη βάση. Προκύπτει τελικά ότι η **δόση άρδευσης ανά δυο ημέρες** είναι:

$$I_d = \mathbf{0,297 \text{ m}^3} \text{ για τον Μάιο,}$$

$$I_d = \mathbf{0,475 \text{ m}^3} \text{ για τον Ιούνιο.}$$

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 εξατμισιμέτρου (0,8), εξαγόταν η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_r). Για την εύρεση της ημερήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, χρησιμοποιήθηκε ο φυτικός συντελεστής της καλλιέργειας. Ο φυτικός συντελεστής ήταν ίσος με 1,2 για το χλοοτάπητα (Allen et all.,1998). Η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσώπευε και την ημερήσια δόση άρδευσης σε mm. Η δόση άρδευσης αναγόταν σε όγκο νερού για τη συγκεκριμένη έκταση που κατελάμβανε κάθε τεμάχιο (48 m^2).

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 σταλακτών από τον τύπο :

$$I_{dh} = \frac{q}{S_t \times S_r}, \quad (4.4.)$$

I_{dh} = ωριαίο ύψος βροχής (mm/hr)

q = παροχή των σταλακτών (l/hr)

S_t = ισαποχή σταλακτών (0,3 m)

S_r = ισαποχή σταλακτηφόρων (0,4 m)

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

Το ωριαίο ύψος βροχής βρέθηκε ίσο με :

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

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

4.3.1. ΕΞΑΤΜΙΣΙΜΕΤΡΟ

Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη μέθοδο του Εξατμισιμέτρου Α τάξεως (Παπαζαφειρίου 1999). Το Εξατμισόμετρο Α Τάξεως (εικόνα 4.8.) 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.

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.



Εικόνα 4.8. Εξατμισόμετρο Α τάξεως

Η σχέση που δίνει την βασική εξατμισοδιαπνοή (ET_0) στη μέθοδο του εξατμισιμέτρου είναι:

$$ET_0 = k_p \times E_{pan}, \quad (4.5.)$$

E_{pan} είναι η μέση εξάτμιση του 24ώρου σε mm/ημέρα και

K_p είναι συντελεστής του εξατμισιμέτρου.

Από δεδομένα προηγούμενων ετών (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ. 1996), ως συντελεστής του εξατμισιμέτρου ελήφθη η τιμή 0,8.

Η βασική εξατμισοδιαπνοή πολλαπλασιάζεται με τον φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας (K_c) για την εύρεση της ημερήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Στον πίνακα 4.4. γίνεται ο υπολογισμός της δόσης και της διάρκειας άρδευσης για το χλοοτάπητα.

Πίνακας 4.4. Υπολογισμός δόσης και διάρκειας άρδευσης για το Χλοοτάπητα.

Εξάτμιση Epan mm/day	Δόση άρδευσης Ida=Epan*0,8*1,20 (mm) ή (m ³ /στρ)	Δόση άρδευσης (l/48 m ²)	Ωριαίο ύψος βροχής Idh=q/St*Sr (mm/hr)	Διάρκεια άρδευσης It=Ida/Idh (hr)	Διάρκεια άρδευσης It=Ida/Idh (min)
1	0,96	46,08	13,33	0,072	4,32
2	1,92	92,26	13,33	0,144	8,64
3	2,88	138,34	13,33	0,216	12,96
4	3,84	184,42	13,33	0,288	17,28
5	4,8	230,4	13,33	0,36	21,6
6	5,76	276,48	13,33	0,43	25,93
7	6,72	322,56	13,33	0,5	30,25
8	7,68	368,64	13,33	0,58	34,57
9	8,64	414,72	13,33	0,65	38,89
10	9,6	460,8	13,33	0,72	43,21
11	10,56	506,88	13,33	0,79	47,53
12	11,52	552,96	13,33	0,86	51,85
13	12,48	599,04	13,33	0,94	56,17
14	13,44	645,12	13,33	1,22	73,46
15	14,4	691,2	13,33	1,08	64,82
16	15,36	737,28	13,33	1,15	69,14
17	16,32	783,36	13,33	1,22	73,46
18	17,28	829,44	13,33	1,296	77,78
19	18,24	875,52	13,33	1,37	82,1
20	19,2	921,6	13,33	1,44	86,42
21	20,16	967,68	13,33	1,51	90,74
22	21,12	1013,76	13,33	1,58	95,06
23	22,08	1059,84	13,33	1,66	99,38
24	23,04	1105,92	13,33	1,73	103,8
25	24	1152	13,33	1,8	108,02
26	24,96	1198,08	13,33	1,87	112,34
27	25,92	1244,16	13,33	1,94	116,6
28	26,88	1290,24	13,33	2,02	120,9
29	27,84	1336,32	13,33	2,09	125,3
30	28,8	1382,4	13,33	2,16	129,6

4.3.2. ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ- ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Η πρώτη άρδευση της μεταχείρισης Χλοοτάπητας Λύμα (ΧΛ) με τα υγρά αστικά απόβλητα έγινε στις 11/7/2005. Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα προερχόταν από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού της πόλης του Βόλου.

Η μονάδα εξυπηρετεί τους Δήμους Βόλου, Ν. Ιωνίας, Αισωνίας και τη Βιομηχανική περιοχή του Βόλου, συνολικού πληθυσμού 200.000 κατοίκων. Δέχεται 22.000 m³ αποβλήτων/ημέρα και διαθέτει τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας. 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 Ν, Ρ, Κ. Όμως, περιείχαν σε μεγάλη ποσότητα ιόντα χλωρίου, σε συγκεντρώσεις που είναι απαγορευτικές για άρδευση καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό, γινόταν μία άρδευση με απόβλητα στις μεταχειρίσεις ΧΛ, και ακολουθούσαν δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό της γεώτρησης του αγροκτήματος.

Η σχέση που δίνεται από τη βιβλιογραφία(Πανώρας και Ηλίας,1999) για την αναλογία των όγκων του νερού είναι η εξής:

$$C_a * Q_a / (Q_a + Q_b) + C_b * Q_b / (Q_a + Q_b) = C_{\text{τελ}}$$

C_a η συγκέντρωση χλωρίου (Cl⁻) της μιας ποιότητας νερού (νερό)

C_b η συγκέντρωση χλωρίου (Cl⁻) της άλλης ποιότητας νερού (Cl⁻mg/l) (λύμα)

Q_a ο όγκος που χρησιμοποιείται στη μια ποιότητα νερού (l καθαρού νερού)

Q_b ο όγκος που χρησιμοποιείται στη δεύτερη ποιότητα νερού (l λύματος)

$C_{\text{τελ}}$ η επιθυμητή τελική συγκέντρωση του αναμειγμένου νερού

(έστω 500 mg/l Cl⁻)

Παίρνοντας ως αρχικές τιμές τις εξής:

$$C_a = 22 \text{ mg/l Cl}^-$$

$$C_b = 1400 \text{ mg/l Cl}^-$$

Επίσης ισχύει ότι:

$$Q_a + Q_b = 1$$

$$\text{Και } C_{\text{τελ}} = 500 \text{ mg/l Cl}^-$$

Άρα η εξίσωση (2.5) γίνεται:

$$22 \text{ mg/l} * Q_a + 1400 \text{ mg/l} * (1 - Q_a) = 500 \text{ mg/l}$$

$$1378 * Q_a = 900 \text{ mg/l}$$

$$Q_a = 0,651 \text{ mg/l}$$

$$\text{Άρα: } Q_b = 0,351 \text{ mg/l}$$

Επομένως προκύπτει, ότι απαιτούνται δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό και μία με λύμα.

Τα απόβλητα διοχετεύονταν στην πλαστική δεξαμενή (εικόνα 4.8.). Μετά την άρδευση με απόβλητα, η δεξαμενή ξεπλένονταν με καθαρό νερό. Οι αρδεύσεις και στις 2 μεταχειρίσεις διενεργήθηκαν μέχρι το τέλος του Σεπτεμβρίου 2005. Δεν πραγματοποιήθηκε λίπανση σε καμία μεταχείριση.

Εικόνα 4.8. Διάθεση των υγρών αστικών αποβλήτων από τη Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. στην πλαστική δεξαμενή.



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 στο Βιολογικό Καθαρισμό (Πίνακας 4.1.) ήταν: B.O.D.₅, C.O.D., Cl⁻, Ολικός P, NH₄-N, NO₃-N, S.S (Αιωρούμενα στερεά), Fe, Cu, Zn. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής ήταν: το PH και η Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C). Επίσης έγιναν αναλύσεις των παραμέτρων του νερού της γεώτρησης του αγροκτήματος (Πίνακας 4.2.), με το οποίο γινόταν η άρδευση, από το εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και ελέγχου Περιβάλλοντος.

4.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε t-test. Η συλλογή, η ομαδοποίηση και η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων έγιναν με το πρόγραμμα Microsoft Excell.

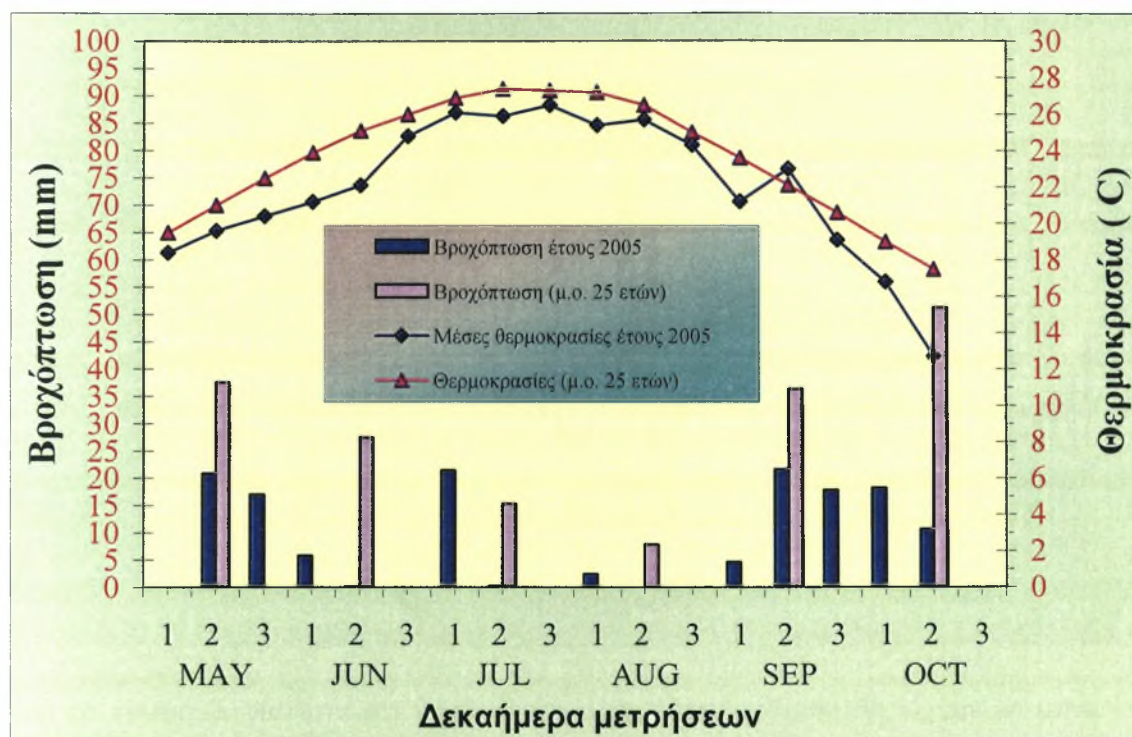
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στο γράφημα 5.1. παρουσιάζονται τα κλιματικά δεδομένα (θερμοκρασία, βροχόπτωση), κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος (2005) και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα μετεωρολογικά στοιχεία των τελευταίων 25 ετών.

Γράφημα 5.1. Μέση ημερήσια Θερμοκρασία αέρα και Βροχόπτωση στο Βελεστίνο κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2005.



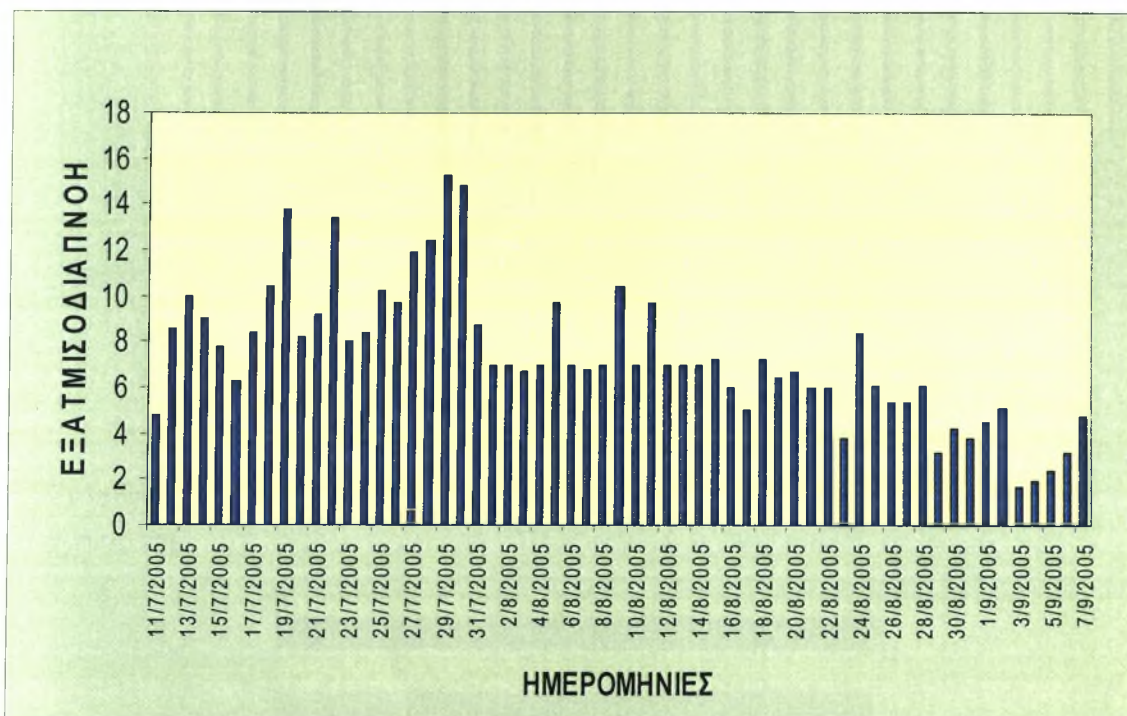
Παρατηρώντας λοιπόν το γράφημα διαπιστώνουμε ότι οι βροχοπτώσεις του καλοκαιριού του 2005 ήταν σαφώς πιο μειωμένες από τον μέσο όρο των προηγούμενων ετών. Επίσης και οι θερμοκρασίες ήταν λίγο πιο μειωμένες σε σύγκριση με τον μέσο όρο των τελευταίων ετών.

Το ότι το καλοκαίρι του 2005 ήταν σχετικά ξηρό δημιούργησε τις κατάλληλες προϋποθέσεις για πειράματα και πιο “αληθινά” αποτελέσματα, καθώς μπορούμε να πούμε ότι τα τελικά αποτελέσματα επηρεάζονται μονάχα από τις επεμβάσεις του καλλιεργητή.

5.2. ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Στο γράφημα 5.2. παρουσιάζονται οι ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής του χλοοτάπητα στο Βελεστίνο κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2005. Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή είναι συνάρτηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στη συγκεκριμένη περιοχή μέτρησης.

Γράφημα 5.1. Ημερήσιες τιμές Εξατμισοδιαπνοής κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

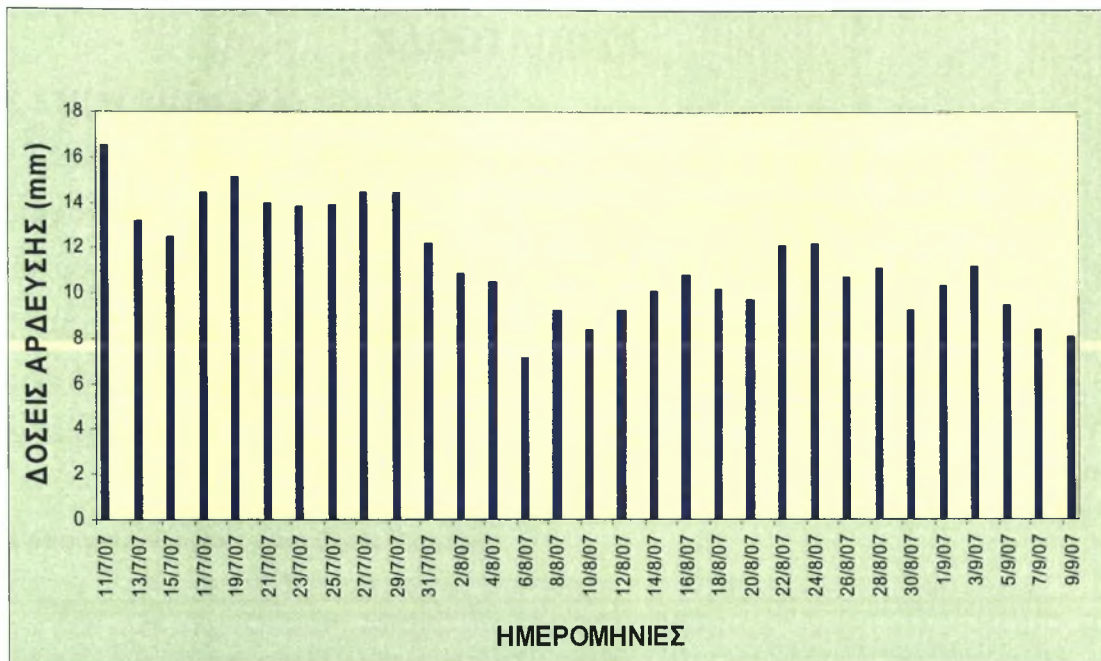


Από το γράφημα φαίνεται ότι υψηλότερες τιμές εξατμισοδιαπνοής είχαμε το μήνα Ιούλιο με μέγιστη τιμή ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής στις 29 Ιουλίου.

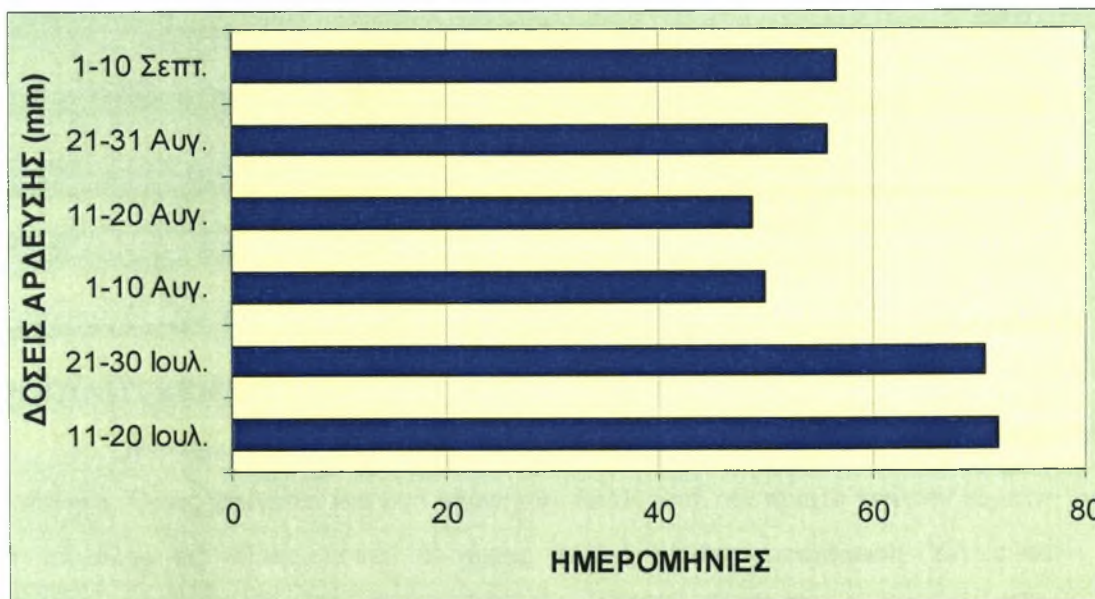
5.3. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

Κατά την αρδευτική περίοδο έγιναν 30 αρδεύσεις για το χλοοτάπητα, όπως φαίνεται και στο γράφημα 5.3., εκ των οποίων οι 10 ήταν με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Συνολικά χορηγήθηκαν 520 mm από τα οποία 175 mm ήταν με υγρά απόβλητα και έτσι υπήρξε μια εξοικονόμηση 33,5 % περίπου. Στο γράφημα 5.4. παρουσιάζονται οι δόσεις άρδευσης ανά δεκαήμερο.

Γράφημα 5.3. Δόσεις άρδευσης κατά την εφαρμογή της άρδευσης του χλοοτάπητα.



Γράφημα 5.3. Δόσεις άρδευσης ανά δεκαήμερο κατά την εφαρμογή της άρδευσης του χλοοτάπητα.

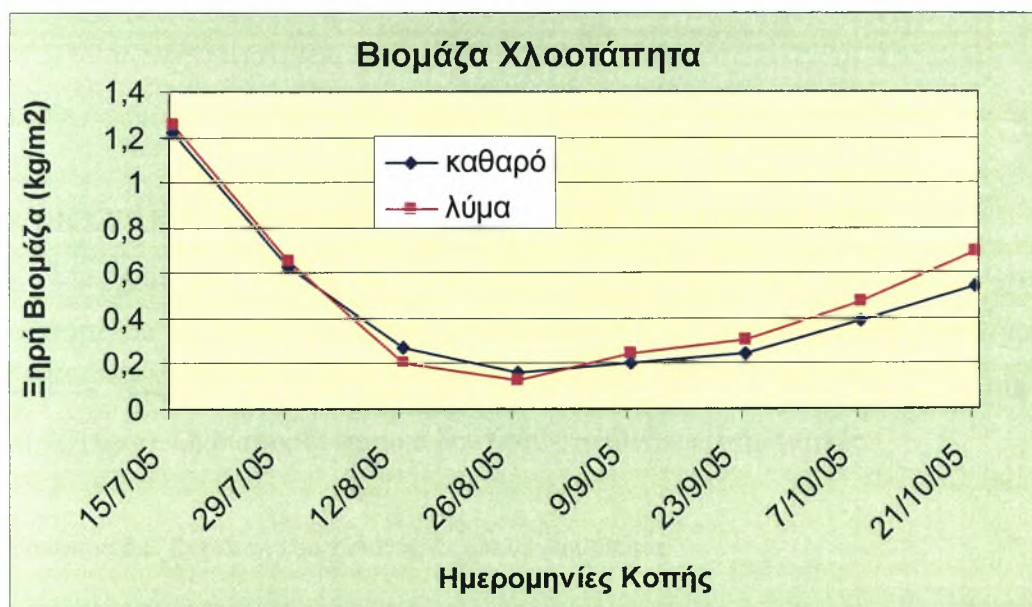


5.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ

5.4.1. ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Στο γράφημα 5.4. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές ξηρής βιομάζας όπως προέκυψαν από τις κοπές που έγιναν στις δυο μεταχειρίσεις στις ημερομηνίες που φαίνονται παρακάτω. Για τη μεταχείριση που ποτιζόταν μόνο με καθαρό νερό (ΥΚ) η μέση τιμή βιομάζας ήταν $0,46 \text{ kg/m}^2$, ενώ για τη μεταχείριση που ποτιζόταν και με λύμα (ΥΛ) ήταν $0,49 \text{ kg/m}^2$. Η διαφορά όμως αυτή δεν αποδείχτηκε στατιστικά σημαντική ($p=0.05$).

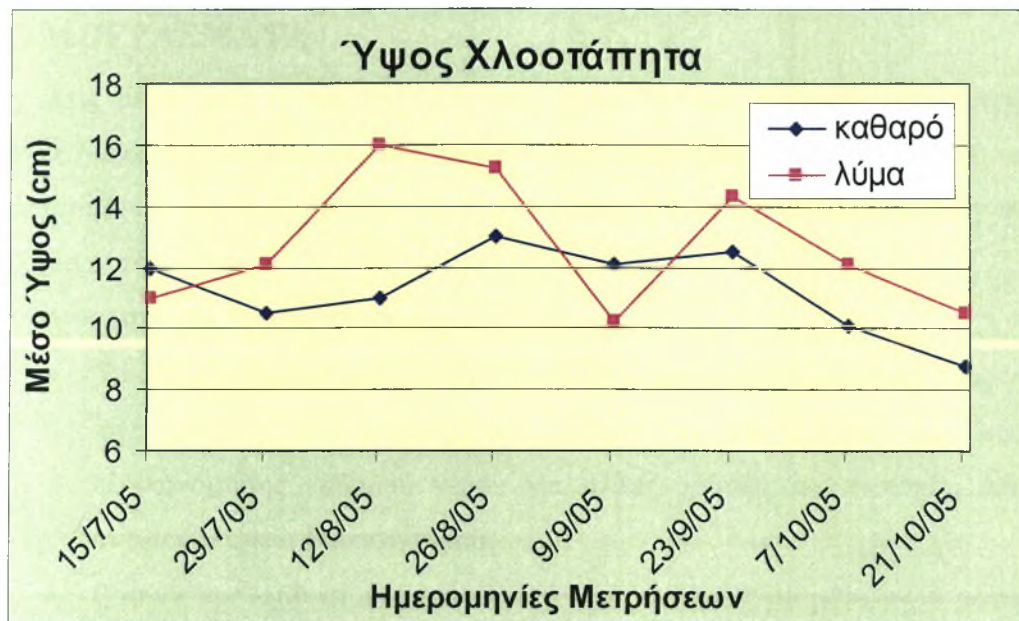
Γράφημα 5.4. Μέσες τιμές Ξηρής Βιομάζας.



5.4.2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΥΤΩΝ

Στο γράφημα 5.5. παρουσιάζεται ο ρυθμός ανάπτυξης του ύψους του χλοοτάπητα. Όπως φαίνεται και στο γράφημα εκτός από την πρώτη και την πέμπτη κοπή σε όλες τις άλλες κοπές το ύψος φύλλων στην μεταχείριση ΥΛ είναι μεγαλύτερο από αυτό στην ΥΚ. Το μέσο ύψος στην ΥΚ ήταν $11,25 \text{ cm}$, ενώ στην ΥΛ ήταν $12,68 \text{ cm}$. Οι διαφορές όμως που βρεθήκαν δεν αποδείχτηκαν στατιστικά σημαντικές.

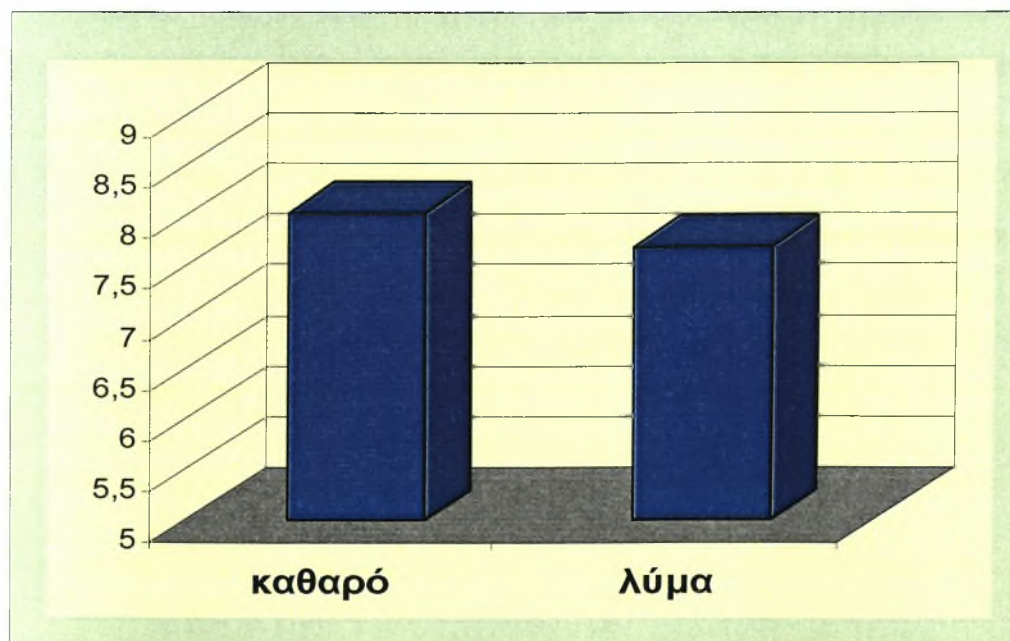
Γράφημα 5.5. Μέσο ύψος βλαστών χλοοτάπητα.



5.4.3. ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ ΣΕ ΦΥΛΛΑ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ

Στο γράφημα 5.6. απεικονίζεται η μέση περιεκτικότητα των φύλλων του χλοοτάπητα σε χλωροφύλλη. Στην μεταχείριση ΥΚ η μέση περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη από ότι στην ΥΛ (8,04 mg/g έναντι 7,7mg/g). Οι διαφορές φυσικά δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές.

Γράφημα 5.6. Εκχύλιση χλωροφύλλης σε φύλλα χλοοτάπητα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στις μέρες μας η ανάγκη εξεύρεσης νέων τρόπων εξοικονόμησης νερού αποτελεί άμεση προτεραιότητα. Η παρούσα μελέτη επιβεβαιώνει ότι η χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων μπορεί να αποτελέσει μια αξιόλογη λύση στο πρόβλημα αυτό.

Αναλυτικά από την έρευνα προέκυψαν τα εξής:

- Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, με τη χρησιμοποίησή τους για την άρδευση των καλλιεργειών, μπορεί να αποτελέσουν μια λύση εξοικονόμησης καθαρού νερού για άλλες χρήσεις σε περιοχές, όπου αντιμετωπίζεται έλλειψη νερού.
- Βασική προϋπόθεση είναι, να ελέγχονται τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα σε σχέση με τις χημικές ιδιότητες και το μικροβιακό φορτίο. Ο έλεγχος των χημικών ιδιοτήτων έχει ως σκοπό την επιλογή της καλλιέργειας, ενώ του μικροβιακού φορτίου την επιλογή της μεθόδου άρδευσης, για την αποφυγή υγειονομικών κινδύνων
- Στην παρούσα εργασία τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλης του Βόλου ήταν σχετικά πτωχά σε θρεπτικά συστατικά, λόγω του ότι είχαν υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία περιείχαν όμως μεγάλες ποσότητες ιόντων χλωρίου. Έτσι οδηγηθήκαμε στην εφαρμογή μιας άρδευσης με υγρά απόβλητα και δύο αρδεύσεων με καθαρό νερό.
- Θετικό στοιχείο από τη χρήση των επεξεργασμένων αποτελεί και η εξοικονόμηση καθαρού νερού, που στη συγκεκριμένη μελέτη έφτασε το 33,5%.
- Η αύξηση του χλοοτάπητα δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές στο τεμάχιο που αρδευόταν με απόβλητα σε σχέση με αυτό που αρδευόταν με καθαρό νερό. Επομένως θεωρείται απολύτως συμφέρουσα η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση του χλοοτάπητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 1

	KATHAPO	LYMA
Mean	1,2250	1,26
Std. Deviation	0,03697	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,01848	
Pearson Correlation	0,837	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-1,894	

ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 2

	KATHAPO	LYMA
Mean	0,6250	0,65
Std. Deviation	0,05951	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,05951	
Pearson Correlation	0,400	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-0,420	

ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 3

	KATHAPO	LYMA
Mean	0,2750	0,2000
Std. Deviation	0,06455	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,03277	
Pearson Correlation	0,316	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	2,324	

ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 4

	KATHAPO	LYMA
Mean	0,1625	0,1300
Std. Deviation	0,04193	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,02097	
Pearson Correlation	-0,524	

Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	1,550	

ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 5

	KATHAPO	LYMA
Mean	0,2025	0,2450
Std. Deviation	0,00500	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,0250	
Pearson Correlation	0,923	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-17,000	

ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 6

	KATHAPO	LYMA
Mean	0,2500	0,3050
Std. Deviation	0,03317	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,01658	
Pearson Correlation	-0,572	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-3,317	

ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 7

	KATHAPO	LYMA
Mean	0,3875	0,4750
Std. Deviation	0,02872	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,01436	
Pearson Correlation	-0,291	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-6,093	

ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 8

	KATHAPO	LYMA
Mean	0,5400	0,6975
Std. Deviation	0,00500	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,00250	
Pearson Correlation	0,956	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-63,000	

ΥΨΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 1

	ΚΑΘΑΡΟ	LYMA
Mean	12,00	11,00
Std. Deviation	1,76068	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,88034	
Pearson Correlation	-0,576	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	1,136	

ΥΨΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 2

	ΚΑΘΑΡΟ	LYMA
Mean	10,50	11,10
Std. Deviation	2,09284	
Observations	4	
Std. Error Mean	1,04642	
Pearson Correlation	-0,402	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-1,529	

ΥΨΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 3

	ΚΑΘΑΡΟ	LYMA
Mean	11,00	16,00
Std. Deviation	0,81650	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,40825	
Pearson Correlation	0,727	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-12,247	

ΥΨΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 4

	ΚΑΘΑΡΟ	LYMA
Mean	13,00	15,20
Std. Deviation	2,12916	
Observations	4	
Std. Error Mean	1,06458	
Pearson Correlation	-0,894	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-2,067	

ΥΨΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 5

	ΚΑΤΗΑΡΟ	LYMA
Mean	12,10	10,2
Std. Deviation	1,14601	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,57300	
Pearson Correlation	-0,913	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	3,316	

ΥΨΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 6

	ΚΑΤΗΑΡΟ	LYMA
Mean	12,50	14,30
Std. Deviation	0,18257	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,09129	
Pearson Correlation	0,999	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-19,718	

ΥΨΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 7

	ΚΑΤΗΑΡΟ	LYMA
Mean	10,60	12,10
Std. Deviation	0,93808	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,46904	
Pearson Correlation	0,530	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-3,198	

ΥΨΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗ 8

	ΚΑΤΗΑΡΟ	LYMA
Mean	8,80	10,50
Std. Deviation	0,63770	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,31885	
Pearson Correlation	0,0004	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	-5,332	

ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ

	ΚΑΤΗΑΡΟ	LYMA
Mean	8,040	7,70
Std. Deviation	0,86004	
Observations	4	
Std. Error Mean	0,43002	
Pearson Correlation	-0,119	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	0,791	

Για τους παραπάνω στατιστικούς πίνακες έγινε χρήση του προγράμματος SPSS 12.0 και συγκεκριμένα της εφαρμογής Paired-Samples T Test.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A) ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. **Αγγελάκης, Α. Ν.**, 1989. Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
2. **Αγγελάκης, Α. Ν.**, 1994. Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων στα πλαίσια ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος. In: Επιστήμες και περιβάλλον στα τέλη του αιώνα: προβλήματα και προοπτικές, Δ. Ρόκος (Ed.), Εναλλακτικές Εκδόσεις, pp. 345-358.
3. **Αγγελάκης, Α. Ν.**, 1995. Φυσικά συστήματα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων. Τεχνικά Χρονικά.
4. **Αγγελάκης, Α.Ν., και Tchobanoglous, G.**, 1995. Υγρά Απόβλητα: Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. Ηράκλειο.
5. **Αγγελάκης Α.**, 2000. Η σημασία ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων. Αγροτική Έρευνα και Τεχνολογία, Τεύχος 1 (14) Ιούλιος-Σεπτέμβριος 2000. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.
6. **Αλεξίου Ι., Καλφούντζος Δ., Κωτσόπουλος Σ., Βύρλας Π. και Καμπέλη Σ.**, 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ. 199-206. 2-5 Απριλίου 2003, Θεσσαλονίκη.
7. **Ανδρεαδάκης, Α. Δ., Ε. Γαβαλάκη, Δ. Μάμας, Κ. Νουτσόπουλος και Α. Τζήμας**, 2003. Πρόταση κατάρτισης Ποιοτικών Ορίων και Προδιαγραφών Επαναχρησιμοποίησης Λυμάτων στην Ελλάδα. Ανάκτηση και Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων. Θεσσαλονίκη.
8. **Βακάλης Π. Σ. και Τσαντήλας Χ. Δ.**, 2002. Επίδραση άρδευσης βαμβακιού και καλαμποκιού με αστικά απόβλητα στο γεωργικό εισόδημα. Αγροτική Έρευνα. Επιστημονική επιθεώρηση του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Αθήνα. 25(1):13-20.
9. **Μαρκαντωνάτος Γρ.**, 1990. Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων. Επιμέλεια Παν. Γρ. Μαρκαντωνάτος, Β' έκδοση. Αθήνα.

10. **Μισοπολινός, Ν.Δ.**, 1991. Προβληματικά εδάφη. Μελέτη, Πρόληψη, Βελτίωση. Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
11. **Παπαδόπουλος, Α., Παρισόπουλος, Γ., Παπαδόπουλος, Φ., Πανώρας, Α., Αγγελάκης, Α., Πατέρας, Δ., Μαλούπα, Ε., Τράκα, Κ., Παπαγιαννοπούλου, Α., Αναγνωστόπουλος, Κ. και Ζδράγκας, Α.**, 1997. Επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων με φυσικά συστήματα και επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση. Αγροτική Έρευνα και Τεχνολογία, Τεύχος 3: 11-14.
12. **Παπαδόπουλος Α., και Παρισόπουλος Γ.**, 2001. Υγρά απόβλητα που δεν είναι για πέταμα. Γεωργική Έρευνα, ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Ιανουάριος- Μάρτιος 2001.
13. **Πανώρας, Α. Γ., Μουρούδης Ι. Γ., Βαξεβάνη Χ. Η. και Χατζηγιαννάκης Σ. Α.**, 1992. Πρόβλεψη του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση των υπόγειων νερών της Β. Ελλάδας. Υδροτεχνικά, 2 (1) : 5-13.
14. **Πανώρας Α. και Ηλίας Α.**, 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη- Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
15. **Πανώρας Α., Καλαφατέλη Δ., Ρέρη Ε.**, 1999. Διερεύνηση της καταλληλότητας για άρδευση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 1- Σειρά 1. Αρ. 1-1999. ΓΕΩΤ.Ε.Ε. Θεσσαλονίκη.
16. **Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ.**, 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ 484.
17. **Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ.**, 1999. Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
18. **Παπαζαφειρίου, Ζ, και Αντωνόπουλος, Β.**, 1991. Υδραυλική Περιβάλλοντος. Έκδοση Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. σελ 484. Θεσσαλονίκη.
19. **Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ.**, 1996. Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου. Υδροτεχνικά 6: 62-77.
20. **Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Πανώρας Α., Μουρούδης Ι., Μανούδης Ν., Πογιαρίδης Θ.**, 1997. Καμπύλες ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στο Ν. Λάρισα. Πρακτικά 2^ο Πανελληνίου Συνεδρίου “Έγχειοβελτιωτικά έργα, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εκμηχάνιση γεωργίας”, ΓΕΩΤ.Ε.Ε. Παράρτημα Κεντρικής Ελλάδας. Λάρισα, 24-27 Απριλίου 1997, σελ. 155-173.

21. **Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος Χ, Καλφούντζος Δ., 1997.**
Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (EYE), Πάτρα, σ. 184-192.
22. **Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ., Βαγενάς, Ι., 2003.** Υδατοκατανάλωση καλλιεργειών στο Νομό Λάρισας. Υδροτεχνικά 13: 13-28.
23. **Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Τέντας Ι., Κολιού Α., Καλφούντζος Δ., Παπανίκος Ν., 2003.** Άρδευση πράσινου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη, 29-31 Μαΐου, σελ 265-272.
24. **Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ., Βαρδούλη, Β., Βύρλας, Μ., Κολιού, Α., Παπανίκος, Ν., 2004.** Επαναχρησιμοποίηση υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση πρασίνου. Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου, 7-9 Μαΐου Ορεστιάδα.
25. **Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ., Βαρδούλη, Β., Βύρλας, Μ., 2005.** Άρδευση πρασίνου με χρήση υγρών αστικών αποβλήτων. Πρακτικά 4^{ου} Εθνικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ) 6-9 Απριλίου, Ξάνθη.
26. **Σπαντιδάκης Ι. Γ., 1999.** Γράστις, Επιστήμη και τεχνική του χλοοτάπητα, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
27. **Τζιμόπουλος, Χ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Στεργιοπούλου, Σ., 2000.** Εκτίμηση οριακών βροχών υστέρησης-Αναλυτική και πειραματική προσέγγιση του προβλήματος. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 117-123. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2000.
28. **Sakellariou-Makrantonaki, M., 1997.** Water drainage in layered soils. Laboratory experiments and numerical simulation. Water Resources Management 11:437-444.
29. **Asano, T., 1991.** Planning and Implementation of water reuse projects, In: wastewater reclamation and reuse by R. Mujeriego and T. Asano (Eds.) IAWPRC, Water Sci. and Techn. Vol 24, no.9, Pergamon Press, NY.

B) ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

30. Al-Jamal, M. S., Sammis, T. W., Mexal, J. G., Picchioni, G. A., Zachritz, W. H., 2002. «A growth-irrigation scheduling model for wastewater use in forest production». *Agricultural Water Management* 56 :57–59).
31. 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.
32. Angelaki, A., Sakellariou-Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C., 2002. «Comparison of Green & Ampt and Parlange infiltration equations. Experimental procedure”. 5th International Conference of EWRA on water resources management in the era of transition. 4-8 September 2002-oral presentation, proceedings, pp172-183. Athens.
33. Angelakis, A. N. and S. V. Spyridakis, Eds., 1996. The Status of Water Resources in Minoan Times-A Preliminary Study. Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region. Heidelberg. Germany. Springer-Verlag.
34. Asano, T., Smith, R. G. and Tsobanoglous, G., 1985. Municipal wastewater: Treatment and reclaimed water characteristics. In: *Irrigation with reclaimed municipal wastewater – A guidance manual*. 2nd Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis publishers, Inc., Chelsea, MI.
35. Asano, T., and Tsobanoglous, G., 1987. Municipal wastewater treatment and effluent utilization for irrigation. Land and Water Development Division, F.A.O., Rome.
36. Asano, T., 1994. Irrigation with treated sewage effluents. In: *Series in agricultural sciences* (K.K.Tanji and B. Yaron, Eds.). Ch. 9., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
37. Ayers, R.S., 1977. Quality of water for irrigation. *Journal irrigation and Drainage Division, A.S.C.E.*, 103 (1) : 135-154.
38. Ayers R.S., and Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. F.A.O. *Irrigation and Drainage Paper* 29: 99-104, Rev. 1.
39. Bahri, A. and Brissaud F., 2002. Guidelines for municipal water reuse in the Mediterranean countries. WHO/Euro Project Office – Mediterranean Action Plan. W.H.O. Regional Office for Europe.

40. **Bucks, D.A, Nakayama, F.S., and Warrick, A.W.,** 1982. Principles, practices and potentialities of trickle (drip) irrigation. In: Advantages of Irrigation, 1:219-298.
41. **English S.D.,** 1985. Filtration and water treatment for micro-irrigation. Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California USA, pp. 50-57.
42. **FAO,** 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture, M.B. Westcot. FAO water report 10. FAO. Rome.
43. **Frank, L. C. and C. P. Rhynus,** 1920. The treatment of Sewage from Single Houses and Small Communities. Public Health Bulletin No. 101. U.P.H. Service. Washington DC, USA.
44. **Frankland, E.,** 1870. River Pollution Commission of Great Britain. First Report. London, UK.
45. **Kalfountzos, D., Sakellariou – Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C.,** 2002. Study of soil water movement using time domain reflectometry. 17th world congress of Soil Science (Proceedings August 14-21, Bangkok, Thailand, Symposium no 4, pp. (42)1-9.
46. **Kalfountzos, D., Sakellariou – Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C., Yannopoulos S.,** 2003. Laboratory Experiments on Water Movement in a Layered Soil Sample Using TDR Method. Proceeding of the Congress of IAHR (International Association of Hydraulic Engineering and Research), August 24-29. Theme B, pp.763-770.
47. **Koski, T. and Skinner, V.** 2003. Lawn Care.
48. **Lamm F.R. and O’ Brien D.M.,** 2003. Economically optimal plant population at various irrigation capacities using subsurface drip irrigation (S.D.I.). <http://www.oznet.ksu.edu/sdi/Reports/2003/PFS2003.pdf> Kansas State University.
49. **Lazarova, V.** 2003. Οδηγίες και Περιορισμοί για την Εφαρμογή Επαναχρησιμοποίησης Νερού στην Ευρώπη. Ανάκτηση και Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων. Θεσσαλονίκη.
50. **Maas, E.V.,** 1984. Salt tolerance of plants. The Handbook of Plant Science in Agriculture. B.R. Christie (ed.), CRC Press. Boca Raton, Florida.
51. **Maas, E.V.,** 1990. Crop salt tolerance. In: Agricultural Salinity Assessment and Management Manual. K.K. Tanji (ed), A.S.C.E., 103:115-134.

52. **Massoud, T. A., Hills, D. J. and Tchobanoglous, G.,** 1995. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *Journal irrigation and drainage engineering, ASCE*, 120 (4):716-731.
53. **Metcalf and Eddy,** 1991. *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse.* 3rd Ed., McGraw-Hill, Inc. N.Y., Ch.13.
54. **Meyer, J.L.,** 1985. Cleaning drip irrigation systems. *Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California,* 1:41-44.
55. **Nakayama F.S., and Bucks D.A.,** 1985. Drip/Trickle Irrigation in action: Temperature effect on calcium carbonate precipitate clogging on trickle emitters. *Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California USA,* pp. 45-50.
56. **Panoras A., Evgenides G., Bladenopoulou S., Melidis B., Doitsinis A., Samaras I., Zdragkas A., Matsi T.,** 2001a. Corn irrigation with municipal wastewater. *7th International conference on environmental science and technology. Ermoupolis, Syros island, Greece.*
57. **Panoras A., Kehagia O., Xanthopoulos F., Doitsinis A., Samaras I.,** 2001b. The reuse of municipal wastewater in cotton irrigation, Inter-regional research network in cotton. F.A.O. – NAGREF. 27 September-1 October 2001, Chania. Greece.
58. **Papadopoulos, A., Parisopoulos, G., Papadopoulos, F., Panoras, A., Angelakis, A., Pateras, D., Maloupa, E., Traka, K., Papayanopoulou, A., Anagnostopoulos, K., and Zdragas, A.,** 1995. Wastewater reclamation with natural systems and reuse for irrigation. Abstract of poster presentation. *2nd International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. International Association of Water Quality, Iraklio, Crete, Greece, 17-20 October,* 3:9-9.
59. **Pettygrove, G. S. and Asano, T., (Eds.),** 1988. *Irrigation with reclaimed municipal wastewater- A guidance manual.* 2nd Ed. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
60. **Sakellariou-Makrantonaki M., and Hajjiannakis, S.,** 1991. Groundwater movement into layered soils. *Adv. In Water Resour. Techn., σελ.* 207-216.
61. **Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos D., Vyrlas P.,** 2001. Irrigation Water Saving and Yield increase with Subsurface Drip Irrigation. *Proc. of 7th*

- International Conference on Environmental Science and Technology, pp466-473. Ermoupolis, Syros Island, Greece-Sept 2001.
62. **Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., Kapetanos, B.,** 2002. Water savind using modern irrigation methods. Hydorrroma 2002, EYDAP, Athens, Greece.
 63. **Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos D., Vyrlas P.,** 2002. Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigation. Global nest: The international Journal, 4(2-3): 85-91.
 64. **Sakellariou – Makrantonaki M., Kalfountzos D., Tentas I., Vyrlas P.,** 2003. Subsurface drip irrigation with treated wastewater. XI World water congress. Water Resources management in the 21st century. IWRA, Madrid, 5-9 October 2003.
 65. **Sakellariou-Makrantonaki M., Tentas I., Koliou A., Kalfountzos D., Vyrlas P.,** 2003. Irrigation of Ornamental Shrombs with treated municipal wastewater. 8th Conference on Environmental Science and Technology, 8th - 10th September 2003, Lemnos Island (poster presentation)
 66. **Shani U., Xue S., Gordin-Katz R. and Warrick A.,** 1996. Soil-limiting from subsurface emitters. I Pressure measurements. J. of Irrigation and Drainage.
 67. **Solomon K.,** 1993. Subsurface drip irrigation: Product selection and performance. In subsurface drip irrigation: Theory, practices and application, eds. Jorgensen, G. S. and K,N,Norum, CATI Publication No: 921001.
 68. **Topp, G. C., Davis J. L., and Annan A. P.,** 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. Water resources research. 16:574-587.
 69. **U.N. Department of Technical Cooperation for Development,** 1985. The use of non-conventional water resources in developing countries. Natural water resources series No 14, United Nations, D.T.C.D., New York.
 70. **U.C.C.C.** 1974. Guidelines for interpretation of water quality for agriculture. Memo report, 13 p.
 71. **U.S.D.A., Soil conservation service,** 1956. Methods of evaluating irrigation systems. Handbook 82. Government Printing Office, Washington D.C.
 72. **US-EPA,** 1992. Guidelines for Water Reuse. EPA manual 625/R-92/004. Washington D.C. van der Merwe, B. and J. Menge (1996). Water reclamation

for Potable Reuse in Windhoek Namibia. Aust Water and Wastewater Assn Water Tach, Sydney, Australia.

73. **U.S.S.L.**, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Handbook 60, Washington D.C.
74. **WHO**, 1989. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture: Report of a WHO Scientific Group. WHO Technical Report Series. WHO. Geneva.
75. **Zoldoske D. F., Genito S., Jorgensen G. S.**, 1995. Subsurface drip irrigation (S.D.I.) on turfgrass: A University Experience. Irrigation Notes, California State University, Fresno, California.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091115