

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

*“ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ  
ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΠΡΑΣΙΝΟΥ”*



**Βασιλική Γ. Βαρδούλη**

Μεταπτυχιακή διατριβή που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας ως μερική υποχρέωση για την λήψη του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην κατεύθυνση « Γεωργική Μηχανική – Διαχείριση Φυσικών Πόρων »

**ΝΕΑ ΙΩΝΙΑ 2005**



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

Αριθ. Εισ.: 4933/1  
Ημερ. Εισ.: 20-09-2006  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
628.445 9  
ΒΑΡ

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

*“ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ  
ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΠΡΑΣΙΝΟΥ”*

**Βασιλική Γ. Βαρδούλη**

Εξεταστική επιτροπή

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ.  
Καθηγήτρια Π.Θ.  
Επιβλέπουσα

Κίττας Κων/νος  
Καθηγητής Π.Θ.  
Μέλος

Μαυρομάτης Αθανάσιος  
Λέκτορας Π.Θ.  
Μέλος

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, αποτελεί μέρος ερευνητικού προγράμματος, που ξεκίνησε το Φθινόπωρο του 2001. Εκτελείται από το εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, σε συνεργασία με τον Δήμο Βόλου και την Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Βόλου.

Το θέμα της μεταπτυχιακής διατριβής δόθηκε από την Καθηγήτρια της Γεωπονικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κ. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Αισθάνομαι ιδιαίτερα την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην κ. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, για την αμέριστη συμπαράστασή της κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, καθώς και για την ηθική υποστήριξή της και τις επισημάνσεις της κατά τη σύνταξη της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Ευχαριστώ επίσης, τον Καθηγητή Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, κ. Κ. Κίττα, καθώς και τον Λέκτορα του Εργαστηρίου Γενετικής και Βελτίωσης Φυτών κ. Α. Μαυρομάτη για τις διορθώσεις, τις συμβουλές τους και την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Ευχαριστώ τον κ. Νίκο Τσιρόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή της Γεωπονικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τη βοήθειά και καθοδήγησή του κατά την διεξαγωγή των χημικών πειραμάτων.

Ευχαριστώ το μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π. του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος κ. Νικόλαο Παπανίκο τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Παναγιώτη Βύρλα για τη συμπαράστασή τους και τη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος.

Θα ήθελα τέλος να ευχαριστήσω και τον κ. Ιωάννη Τέντα, ο οποίος ήταν ο μεταπτυχιακός φοιτητής που εγκατέστησε με πολλές δυσκολίες το πείραμα και έδωσε στην ομάδα μας τις σωστές κατευθύνσεις για τη συνέχιση του.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>8</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	
<b>2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>11</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	
<b>3. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Υγρά απόβλητα</b>	<b>12</b>
3.1.1 Γενικά	12
3.1.2 Ιστορική αναδρομή	14
3.1.3 Κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.)	15
3.1.4 Ισχύον νομικό πλαίσιο στον Ευρωπαϊκό χώρο	20
<b>3.2 Επεξεργασία των αποβλήτων</b>	<b>23</b>
3.2.1 Γενικά	23
3.2.2 Μέθοδοι επεξεργασίας	24
<b>3.3 Χρήση των επεξεργασμένων αποβλήτων</b>	<b>31</b>
3.3.1 Ανάγκη χρήσης	31
3.3.2 Χρήση στην άρδευση	33
<b>3.4 Συνέπειες από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των προεξεπεργασμένων υγρών αποβλήτων</b>	<b>33</b>
3.4.1 Γενικά	33
3.4.2 Αλατότητα	33
3.4.3 Ειδική τοξικότητα ιόντων	34
3.4.4 Ταχύτητα διήθησης αρδευτικού νερού	37
3.4.5 Παθογόνοι μικροοργανισμοί	37
3.4.6 Θρεπτικά στοιχεία	37
3.4.7 Διάφορα άλλα εμφανιζόμενα προβλήματα	39
<b>3.5 Επιλογή μεθόδου άρδευσης</b>	<b>39</b>
<b>3.6 Υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση (ΥΣΑ)</b>	<b>42</b>
3.6.1 Γενικά	42
3.6.2 Ιστορική εξέλιξη της ΥΣΑ	42
3.6.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα	43
3.6.4 Πειράματα με χρήση της ΥΣΑ	44

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	
<b>4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Χαρακτηριστικά του πειράματος</b>	<b>49</b>
<b>4.2 Άρδευση</b>	<b>53</b>
4.2.1 Εξατμισόμετρο	57
4.2.2 Πορεία του πειράματος	65
<b>4.3 Είδη φυτών που χρησιμοποιήθηκαν</b>	<b>65</b>
<b>4.4 Υγρά απόβλητα – Νερό άρδευσης</b>	<b>69</b>
<b>4.5 Μετρήσεις</b>	<b>72</b>
4.5.1 Κλιματικά δεδομένα	72
4.5.2 Χλοοτάπητας	72
4.5.3 Κωνοφόρα	73
4.5.4 Εδαφική υγρασία	75
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
<b>5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	
<b>5.1 Κλιματικά δεδομένα</b>	<b>76</b>
<b>5.2 Εξατμισοδιαπνοή</b>	<b>77</b>
<b>5.3 Χλοοτάπητας</b>	<b>78</b>
5.3.1 Βιομάζα	78
5.3.2 Υγρασιακή κατάσταση φυτών	79
5.3.3 Ανάπτυξη φυτών	80
5.3.4 Εκχύλιση χλωροφύλλης σε φύλλα χλοοτάπητα	81
<b>5.4 Κωνοφόρα</b>	<b>82</b>
5.4.1 Ύψος κωνοφόρων	82
5.4.2 Διάμετρος φυτοκόμης	85
5.4.3 Μέτρηση διαμέτρου κυρίως βλαστού	87
5.4.4 Εκχύλιση χλωροφύλλης σε φύλλα κωνοφόρων	89
<b>5.5 Παράμετροι νερού άρδευσης και εδάφους</b>	<b>91</b>
<b>5.6 Εδαφολογική ανάλυση πειραματικού αγρού</b>	<b>92</b>
<b>5.7 Εδαφική υγρασία</b>	<b>95</b>
<b>5.8 Εξοικονόμηση νερού</b>	<b>97</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>99</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>102</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών τα τελευταία χρόνια επέτεινε το πρόβλημα της λειψυδρίας στον πλανήτη. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με τον πολλαπλασιασμό των αναγκών του συνεχώς αυξανόμενου αστικού πληθυσμού, είχε ως αποτέλεσμα τη δραματική αύξηση των υγρών αποβλήτων, με σημαντικούς κινδύνους για τους αποδέκτες, το περιβάλλον και την δημόσια υγεία γενικότερα. Το γεγονός αυτό, 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 και περιαστικών εκτάσεων (πάρκα, αλσύλλια, κ.λ.π.), μετά από κατάλληλη επεξεργασία καθαρισμού.

Η παρούσα εργασία, έγινε το έτος 2003( τα πειράματα) και αποτελεί μέρος έρευνας, που διεξάγει το εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας .

Η έρευνα μελετά την επίδραση της άρδευσης, με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου, στην ανάπτυξη χλοοτάπητα (*Festuca arundinacea*) και καλλωπιστικών κωνοφόρων της οικογένειας *Cupressaceae*, των ειδών *Juniperus chinensis* cv. Strikta, *Thuja orientalis* cv. Compacta Aurea Nana, *Cupressus macrocarpa* cv. Gold Crest, καθώς και στην εξοικονόμηση καθαρού νερού λόγω της χρήσης του λύματος. Το πείραμα διεξάγεται σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Ύδρευσης Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου, που διαθέτει τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας των αποβλήτων.

Το πείραμα είναι εγκατεστημένο σε μία έκταση 200m<sup>2</sup> στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο. Η έκταση αυτή, είναι χωρισμένη σε 4 τμήματα που αποτελούν και τις μεταχειρίσεις του πειράματος (δύο μεταχειρίσεις ανά καλλιέργεια). Η μία μεταχείριση από κάθε καλλιέργεια αρδεύεται με νερό γεώτρησης του αγροκτήματος, ενώ η άλλη με νερό γεώτρησης και επεξεργασμένα απόβλητα. Οι αρδεύσεις με απόβλητα πραγματοποιήθηκαν από το 2<sup>ο</sup> δεκαήμερο του Ιουνίου μέχρι το 1<sup>ο</sup> δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου, με συχνότητα περίπου μια άρδευση ανά εβδομάδα. Δεν χορηγήθηκε λίπανση σε καμία μεταχείριση.

Χρησιμοποιήθηκε αυτοματοποιημένο σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης με πλευρικούς αγωγούς τοποθετημένους σε βάθος 0,15 m για την εφαρμογή του νερού.

Έγιναν χημικές αναλύσεις των επεξεργασμένων αποβλήτων και διαπιστώθηκε μεγάλη συγκέντρωση ιόντων χλωρίου, ενώ τα θρεπτικά στοιχεία βρισκόταν σε μικρές συγκεντρώσεις

Τα χαρακτηριστικά του χλοοτάπητα που μετρήθηκαν ήταν: Χλωρή βιομάζα, ξηρή βιομάζα, χλωροφύλλη, ύψος ακραίου μεριστώματος και τελευταίου φύλλου σε έναν αριθμό βλαστών του χλοοτάπητα. Τα χαρακτηριστικά των κωνοφόρων που μετρήθηκαν ήταν: το ύψος, η διάμετρος φυτοκόμης, η διάμετρος του κυρίου βλαστού σε ύψος 10εκ. από το έδαφος και η χλωροφύλλη μετά από εκχύλιση.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε, ότι, η ανάπτυξη του χλοοτάπητα στα πειραματικά τεμάχια που δέχθηκαν το λύμα, ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τα τεμάχια που δέχθηκαν καθαρό νερό, αλλά όχι στατιστικά σημαντική. Επίσης, στα καλλωπιστικά, ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών στο ύψος δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στα πειραματικά τεμάχια που δέχθηκαν απόβλητα και η διάμετρος της φυτοκόμης δεν παρουσίασε διαφοροποίηση κατά την διάρκεια της περιόδου. Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων οδήγησε σε εξοικονόμηση καθαρού νερού σε ποσοστό περίπου 32%.



## ABSTRACT

The change of climatic conditions the last years, besides the other problems it caused, intensified the problem of water shortage in the planet. Also the proliferation of needs of the continuously increasing urban population, that had as result the dramatic increase of humid waste with important dangers for the recipients, the environment and the public health more generally, led the scientific community to the discovery of solutions, between which is also the investigation of the possibility of re-use of processed humid waste for the irrigation of agricultural and suburban areas (parks, copses, etc), after suitable treatment of cleaning.

The present work constitutes part of research that carries out the laboratory of Agricultural Hydraulic Department of Agronomics of Plant Production and Rural Environment of University of Thessaly and concerns in this 2nd year of the application of research.

The research concerns in the effect of irrigation with processed humid urban waste of city of Volos, in the growth of grass which contained *Festuca arundinacea* and three ornamental conifers of the family of *Cupressaceae*, the types *Juniperus chinensis* cv. Strikta, *Thuja orientalis* cv. Compacta, *Aurea nana*, *Cupressus macrocarpa* cv. Gold Crest. The experiment is carried out in collaboration with the Directorate of Water Supply and Sewerage of the Major Region of Volos, that allocates a third degree system of treatment of wastewaters.

The experiment is installed in an area that extents 200m<sup>2</sup> in the ranch of the University of Thessaly in Velestino. This plot is separated in 4 segments that constitute the treatments of the experiment (two treatments per culture). The two treatments are irrigated with water of a drilling in the ranch and the other two with water of drilling and treated wastewaters.

An automated system of underground drop- irrigation with lateral drivers was placed in the depth of 0,15 m. and was used for the application of water.

The characteristics of the grass that were measured were: wet biomass, dry biomass, chlorophyll, height of apical meristem and last leaf in a number of shoots of grass. The characteristics of conifers that were measured were: the height, the diameter of the foliage, the diameter of the main stem in height of 10cm. from the soil and the chlorophyll with extraction.

In April 2003 was received the experiment from the previous team of work. The irrigations with wastewater took place by the 1st 10day period of June up to the 1st 10day period of September in intervals, approximately an irrigation per week. There was not added any fertilizer in any treatment. After chemical analyses of the treated wastewater it was found out an accumulation of ions of chloride, while the nutritious elements were found in small concentrations.

From the data processing it came out that the growth of grass in the experimental items that accepted the treated wastewater was bigger than in the items that accepted clean water but no statistically important. Also, in ornamental, the rhythm of growth of plants in height was equal or bigger in the experimental items that accepted treated wastewater, but without statistically important difference while the diameter of the foliage did not appear to differentiate during the experimental period. The re-use of the wastewater led to saving of clean water roughly 32%

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τότε που εμφανίστηκε ο άνθρωπος στη γη, η διασφάλιση πόσιμου νερού υπήρξε ο πιο σημαντικός παράγοντας επιβίωσης και ευημερίας του. Τα τελευταία χρόνια όμως, η ζήτηση για νερό αυξάνεται συνεχώς, αφού πέραν του ότι ο πληθυσμός στη γη έχει αυξηθεί σημαντικά, ο άνθρωπος πλέον έχει ανάγκη από πολύ μεγαλύτερη ποσότητα νερού για την κάλυψη των απαιτήσεων της ατομικής και οικιακής του καθαριότητας, καθώς και των λειτουργιών των πόλεων που ζει (100-500 λίτρα/άτομο/ημέρα). Εξάλλου, οι οικονομικές δραστηριότητες (γεωργία, βιομηχανία, ενέργεια, κ.λπ.), καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού και όσο κι αν το διαθέσιμο νερό στον πλανήτη είναι φαινομενικά πάρα πολύ, το σημαντικότερο μέρος του είναι αλμυρό (θάλασσα 98,78%) και δεν προσφέρεται για τις περισσότερες χρήσεις. Στην περίπτωση του γλυκού νερού (1,22%) το μεγαλύτερο ποσοστό (1,95%) είναι παγιδευμένο στα πολικά καλύμματα των πάγων και επομένως, το διαθέσιμο νερό, είναι ένα ασήμαντο ποσοστό του συνολικού (ποτάμια 0,0014%) (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Το χημικώς καθαρό νερό (απεσταγμένο) δεν υπάρχει στη φύση, γιατί είναι ισχυρό διαλυτικό μέσο και εμπλουτίζεται κατά την επαφή του με το περιβάλλον με διάφορες ουσίες, που διαλύονται ή παρασύρονται απ' αυτό. Έτσι, το φυσικό νερό παρουσιάζει ποικιλία ποιοτικών χαρακτηριστικών (φυσικά, χημικά, ραδιολογικά, βιολογικά, μικροβιολογικά) ανάλογα με τις περιεχόμενες ξένες προσμίξεις. Για κάθε χρήση (ύδρευση, άρδευση, διαβίωση ψαριών κλπ.) απαιτείται ορισμένη διακύμανση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, που καθορίζεται συνήθως, από τα πρότυπα ποιότητας (quality standards). Το νερό μετά την χρήση του έχει αλλοιωμένα και σημαντικά υποβαθμισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα ρυπάνσεως και ακαταλληλότητας του τελικού αποδέκτη (θάλασσα, λίμνη, ποτάμι, έδαφος). Με βάση λοιπόν αυτή τη διαπίστωση και με δεδομένα από τη βιβλιογραφία, προκύπτει ότι το 80% του νερού που καταναλώνεται για τις αστικές

και βιομηχανικές δραστηριότητες, δηλαδή περίπου  $700 \times 10^6 \text{m}^3$  (10,7% του συνολικού υδατικού δυναμικού), καταλήγουν στην αποχέτευση ως απόβλητα. Έτσι, γίνεται αντιληπτό, πόσο σοβαρά μπορεί να επηρεαστεί η ποιότητα των αποδεκτών, το περιβάλλον και η δημόσια υγεία, εάν δεν ληφθεί μέριμνα κατάλληλης επεξεργασίας καθαρισμού αυτών των αποβλήτων (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Αυτός λοιπόν, είναι ένας ακόμη παράγων δραματικής μείωσης των διαθέσιμων υδάτινων πόρων, που καθιστά εμφανή την ανάγκη για καλύτερη διαχείρισή τους, συμπεριλαμβανομένων και των υγρών αστικών ή βιομηχανικών αποβλήτων.

Η ορθολογική χρησιμοποίηση των υγρών απόβλητων μπορεί να συνεισφέρει στην αντιμετώπιση της λειψυδρίας και στην προστασία του περιβάλλοντος και να λύσει έτσι πολλά προβλήματα, ιδιαίτερα σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές, όπως αυτές των Μεσογειακών χωρών, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα. Απαραίτητη προϋπόθεση, είναι τα υγρά απόβλητα να έχουν υποστεί μια πρόσθετη επεξεργασία απολύμανσης, ώστε το μικροβιακό τους φορτίο να βρίσκεται στα προβλεπόμενα όρια ασφάλειας.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για γεωργικές εφαρμογές υπερβαίνει το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Στην Ελλάδα, το ποσοστό αυτό ανέρχεται περίπου στο 84%, ποσοστό αρκετά σημαντικό σε σχέση με το 2-3% που διατίθεται για βιομηχανική χρήση και το 13% που διατίθεται για αστική χρήση (Παπαδόπουλος & Παρισόπουλος, 2001). Το οικονομικό όφελος επομένως, από την ευρεία εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για άρδευση, προβλέπεται ότι θα είναι σημαντικό, δεδομένης της λειψυδρίας κατά τους θερινούς μήνες και ιδιαίτερα για καλλιέργειες περιαστικού πρασίνου (χλοοτάπητα, καλλωπιστικών φυτών), οι οποίες αυξήθηκαν σημαντικά τα τελευταία χρόνια.

Επιπλέον, κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, τόσο με συμβατικές μεθόδους όσο και με "Φυσικά Συστήματα", η μικροβιακή διάσπαση του οργανικού ρυπαντικού φορτίου, έχει ως αποτέλεσμα, την παραγωγή ενώσεων ακίνδυνων για τον άνθρωπο και τα φυτά (άζωτο, φώσφορος, κ.λ.π). Οι ενώσεις αυτές, που στην πραγματικότητα είναι θρεπτικές ουσίες για τα φυτά, εμπλουτίζουν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, τόσο των Φυσικών Συστημάτων, όσο και των συμβατικών Μονάδων Βιολογικού Καθαρισμού (ΜΒΚ), τα οποία εάν διοχετευθούν στη θάλασσα προκαλούν το επικίνδυνο φαινόμενο του ευτροφισμού, της υπέρμετρης δηλαδή

ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν. Όταν όμως, το νερό αυτό επαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση, γίνεται ταυτόχρονα υδρολίπανση των καλλιεργειών, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χημικών λιπασμάτων.

Σήμερα αποτελεί κοινή διαπίστωση, ότι η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων, έχει τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Για το λόγο αυτό, βρίσκονται σε εξέλιξη πολυάριθμα έργα άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών με τέτοιες εκροές σε διάφορες χώρες, όπως στις Νοτιοδυτικές περιοχές των ΗΠΑ, την Αυστραλία, την Κύπρο, το Ισραήλ, την Ισπανία, τη Σαουδική Αραβία και άλλες. Σημειώνεται, ότι στο Ισραήλ, το 25% του αρδευτικού νερού προέρχεται από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και το ποσοστό αυτό προβλέπεται να αυξηθεί στο 35% το έτος 2010. Επίσης, είναι γνωστή η χρήση τέτοιων νερών για πυροπροστασία δασικών εκτάσεων που βρίσκονται σε περιοχές γειτονικές αστικών κέντρων. Πέραν όμως αυτών των έργων παραγωγής αρδευτικού νερού και νερού για άλλες χρήσεις, που ενδιαφέρει άμεσα τη χώρα μας, αναφέρεται επίσης, ότι είναι σε εξέλιξη έργα για έμμεση παραγωγή πόσιμου νερού, από επεξεργασμένες εκροές αστικών υγρών αποβλήτων, που δείχνουν το υψηλό επίπεδο της υφιστάμενης τεχνολογίας.

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).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία, έχει ως αντικείμενό της, τη μελέτη της επίδρασης της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και καθαρό νερό, στα χαρακτηριστικά ανάπτυξης του χλοοτάπητα, καθώς και τριών ειδών καλλωπιστικών κωνοφόρων δένδρων, καθώς επίσης και την εύρεσης του ποσοστού της εξοικονόμησης καθαρού νερού λόγω της χρήσης του λύματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο , γίνεται ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, σε 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. Τέλος, αναφέρονται οι μέθοδοι άρδευσης και δίνεται έμφαση στην υπόγεια στάγδην άρδευση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα Υλικά και οι Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Αναλύονται η εγκατάσταση του πειράματος, τα είδη των φυτών που χρησιμοποιήθηκαν, οι μετρήσεις που διεξήχθησαν, η άρδευση με τα απόβλητα και η μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής με το εξατμισόμετρο.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος. Δίνονται τα κλιματικά δεδομένα, η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή, τα αποτελέσματα της ανάπτυξης του χλοοτάπητα, τα αποτελέσματα της ανάπτυξης των κωνοφόρων, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού άρδευσης, η εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού, η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με την μέθοδο T.D.R. και η εξοικονόμηση νερού μέσω της άρδευσης στις μεταχειρίσεις.

Στο τέλος δίνονται τα Συμπεράσματα της εργασίας και η Βιβλιογραφία

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

#### 3.1 Υγρά απόβλητα

##### 3.1.1 Γενικά

Η έλλειψη νερού τα τελευταία χρόνια, έχει οδηγήσει την διεθνή κοινότητα στην προσπάθεια εξεύρεσης νέων πηγών νερού, όπως είναι τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Τα απόβλητα αυτά, στην περίπτωση που αποφεύγεται η διάθεσή τους σε υδάτινους αποδέκτες, μπορούν να αξιοποιηθούν με διάφορους τρόπους, οι σημαντικότεροι των οποίων, είναι η άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων με σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, η χρήση τους στη βιομηχανία και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων (Angelakis et al., 2002).

Αστικά λύματα, είναι τα υγρά απόβλητα που δημιουργούνται κατά τις διαδικασίες καθαριότητας (χώροι υγιεινής, μαγειρεία, πλυντήρια, κλπ.) σε μια κατοικημένη περιοχή (κατοικίες, γραφεία, ιδρύματα, βιομηχανίες, κλπ.). Κύριο συστατικό τους είναι το νερό με ορισμένες ξένες προσμίξεις, που το καθιστούν αρχικά ακατάλληλο για διάφορες χρήσεις και επηρεάζουν δυσμενώς τους διάφορους αποδέκτες (Μαρκαντωνάτος, 1990). Σύμφωνα με τους Πανώρα και Ηλία (1999), τα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούνται κατά 99,9 % από νερό με σχετικά μικρές περιεκτικότητες αιωρούμενων και διαλυμένων οργανικών και ανόργανων στερεών. Η τυπική σύσταση των ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1.

Τα υγρά απόβλητα είναι πραγματικά μια πολύτιμη πηγή από θρεπτικές ουσίες και νερό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα σε καλλιέργειες (Al-Jamal M.S. et al., 2002). Σε πολλές περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για την άρδευση καλλιεργειών, δασών, πάρκων αναψυχής, γηπέδων γκολφ, κ.α. όπως στην περίπτωση των δυτικών Ηνωμένων Πολιτειών, που χρησιμοποιήθηκαν δημοτικά υγρά απόβλητα για το σκοπό αυτό (Sopper and Kardos, 1973; Sopper et al., 1982; Bastian and Ryan, 1986; Luecke and De la Parra, 1994). Διάφοροι ερευνητές, έχουν κάνει μελέτες σχετικά με την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων σε άρδευση φυτειών δασικών δένδρων, που προορίζονται για υλοτομία (Bastian et al., 1982; Cole et al., 1986).

**Πίνακας 3.1** 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. <sub>5</sub> ,(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
Άζωτο ολικό (ως N,(mg/l))	85	40	20	34.0
Οργ.-N(mg/l)	35	15	8	13.0
NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	50	25	12	20.0
NO <sub>2</sub> -N(mg/l)	0	0	0	-
NO <sub>3</sub> -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) <sup>1/2</sup>				3.0-9.0
Σκληρότητα (CaCO <sub>3</sub> )				200-300
Αλκαλικότητα (ως CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50	211
Λίπη-Ελαία (mg/l)	150	100	50	-
Ολικά κολοβακτηρίδια, MPN/100 ml	-	-	-	22*10 <sup>6</sup>
Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης MPN/100 ml	-	-	-	8*10 <sup>6</sup>
Ιοί, PFU/100 ml	-	-	-	3.6

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



### 3.1.2. Ιστορική αναδρομή

Οι πρώτες ενδείξεις για ύπαρξη συστήματος αποχετεύσεως των νερών, ανάγονται στην εποχή των Σουμερίων στην περιοχή της Μεσοποταμίας κατά την 3<sup>η</sup> χιλ/δα π.Χ. Επίσης, στο παλάτι της Κνωσού έχει αποκαλυφθεί σύστημα αποχετεύσεως των βρόχινων και ακαθάρτων νερών (λουτρά), ενώ η "μεγάλη υπόνομος" για τα βρόχινα νερά που εξυπηρετούσε την Ρωμαϊκή Αγορά στην αρχαία Ρώμη, βρίσκεται ακόμη σε λειτουργία (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Από την ρωμαϊκή εποχή μέχρι τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, δεν σημειώθηκε ουσιαστική πρόοδος στα θέματα συλλογής και διάθεσης των ακαθάρτων νερών. Η πρώτη αναγέννηση άρχισε στο Αμβούργο (Γερμανία) το 1842, όταν μετά από μία εκτεταμένη πυρκαγιά που καταστράφηκε το παλαιό τμήμα της πόλεως, σχεδιάστηκε ένα εξαιρετο σύστημα συλλογής ακαθάρτων υδάτων με εφαρμογή πολλών από τις σημερινές αρχές, οι οποίες ατυχώς δεν αναγνωρίστηκαν έγκαιρα. Προοδευτικά πάντως και κάτω από την πίεση θανατηφόρων επιδημιών, άρχισε η κατασκευή δικτύων συλλογής ακαθάρτων νερών και δημιουργήθηκαν τα μικτά συστήματα αποχετεύσεως, δηλαδή συστήματα παράλληλης αποχετεύσεως των βρόχινων και των ακαθάρτων νερών. Τα συγκεκριμένα συστήματα παρουσίασαν μειονεκτήματα, τα οποία τελικά οδήγησαν στην υιοθέτηση του πιο δαπανηρού χωριστικού συστήματος, που αποτελείται από δύο ανεξάρτητα δίκτυα, το ένα εκ των οποίων είναι για τα βρόχινα και το άλλο για τα ακάθαρτα νερά. Η χρησιμοποίηση των αποβλήτων για άρδευση, είχε εφαρμοσθεί από πολύ παλιά (αναφέρεται η χρησιμοποίηση ακαθάρτων νερών για άρδευση στην αρχαία Αθήνα), με βασικό στόχο την αξιοποίηση των υδατικών πόρων και των λιπαντικών συστατικών των λυμάτων (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Παρότι όμως, η συλλογή των βρόχινων και σε ορισμένες περιπτώσεις των ακαθάρτων υδάτων άρχισε πριν από πέντε χιλιετίδες, η επεξεργασία καθαρισμού έχει πρακτικά ζωή ενός περίπου αιώνα.

Η ανάγκη επεξεργασίας καθαρισμού των αποβλήτων έγινε αισθητή μετά την επέκταση των δικτύων υπονόμων και την αποχέτευση σε αυτά των λυμάτων. Στην Αγγλία οι μικροί σχετικά ποταμοί ρυπάνθηκαν και έγιναν εστίες δυσοσμίας και μόλυνσεων. Αρχικά, είχε δοθεί περισσότερη προσοχή στην παρεμπόδιση χρησιμοποίησεως του νερού στη γεωργία και βιομηχανία, παρά σε πιθανούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Τελικά, για να αντιμετωπισθούν οι δυσμενείς

συνθήκες περιβάλλοντος και η έλλειψη αρκετών εκτάσεων για διάθεση των λυμάτων με άρδευση, αναπτύχθηκαν οι μέθοδοι καθαρισμού των αποβλήτων με επιτάχυνση του ρυθμού μέσα σε ευνοϊκό τεχνητό περιβάλλον (Μαρκαντωνάτος, 1990).

### 3.1.3 Κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.)

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, ασχολείται με την κατάρτιση οδηγών για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Το 1989 ο Π.Ο.Υ. ανακοίνωσε τέσσερις βασικές κατηγορίες μέτρων για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (WHO, 1989), οι οποίες συνίστανται στις παρακάτω:

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

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

- 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 εργαλείο για την πρόληψη μετάδοσης ασθενειών, χωρίς στην περίπτωση αυτή, να είναι απαραίτητος ο περιορισμός των καλλιεργειών (απεριόριστη άρδευση).

Στον Πίνακα 3.2 εμφανίζονται τα προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για τη χρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία, σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ.

**Πίνακας 3.2** 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 Οξειδώσης 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

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 3.3 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 3.3** Ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για χρήση λυμάτων στη γεωργία κατά την US EPA.

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
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 (10.000m<sup>3</sup>/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 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. Παρ' όλα 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 3.4.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 3.4, 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. Επιπροσθέτως των πιο πάνω προδιαγραφών, στην περίπτωση που είναι πιθανή η άμεση επαφή των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων με τον άνθρωπο, τίθενται και όρια ως προς τη θολερότητα του νερού, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 NTU. Και αυτό γιατί, αυξημένη θολερότητα παραπέμπει σε αυξημένο αριθμό σωματιδίων, τα οποία επενεργούν ως προστατευτικό κάλυμμα των μικροοργανισμών κατά τις διεργασίες απολύμανσης και κατά συνέπεια, δεν μπορεί να διασφαλισθεί η μικροβιολογική ποιότητα του νερού.

**Πίνακας 3.4** Μικροβιολογικά κριτήρια της πολιτείας της Καλιφόρνιας για χρήση λυμάτων στη γεωργία

<i>Είδος χρήσης</i>	<i>Ολικά κολοβακτηρίδια(TC) ανά 100 ml(5)</i>	<i>Απαιτούμενη επεξεργασία</i>
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 <sup>α</sup> )	< 2,2 (διάμεση τιμή)	Οξειδωση και απολύμανση
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2 <sup>β</sup> )	< 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<sup>α</sup>) Λίμνες για αλιεία, ιστιοπλοΐα και άλλες ψυχαγωγικές χρήσεις που δεν προϋποθέτουν επαφή του νερού με το ανθρώπινο σώμα.
- (2<sup>β</sup>) 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.

### 3.1.4 Ισχύον Νομικό πλαίσιο στον Ευρωπαϊκό χώρο

Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία στερείται νομοθετικών ρυθμίσεων σχετικά με την απαιτούμενη ποιότητα των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Μία γενική αναφορά στο θέμα γίνεται στην οδηγία 91/271 της ΕΕ (άρθρο 12,παρ.1), όπου αναφέρεται ότι: «Τα επεξεργασμένα λύματα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, οπότε είναι σκόπιμο.....». Πολλές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν θεσπίσει τα δικά τους κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Στους Πίνακες 3.5 και 3.6 φαίνονται ενδεικτικά τα κριτήρια κάποιων χωρών. Η Ελλάδα δεν έχει ακόμα θεσπίσει προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Andreakis et al., 2003). Έτσι, θα μπορούσε κάποιος να θεωρήσει, ότι ισχύουν οι προδιαγραφές που έχει εκδόσει ο Π.Ο.Υ., οι οποίες, κατά γενικό κριτήριο, θεωρούνται μη αυστηρές. Πιστεύεται, ότι σύντομα θα καλυφθεί το νομικό κενό είτε με κρατική, είτε με Ευρωπαϊκή πρωτοβουλία (στην περίπτωση που η ΕΕ αποφασίσει να θεσπίσει ενιαία κριτήρια

**Πίνακας 3.5** Εθνικά και τοπικά κριτήρια της Ιταλίας για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία (Barbagalo et al.,2000; Bonomo et al.,1999).

Περιγραφή	Κριτήρια Ποιότητας	
	Μικροβιακή ποιότητα	Άλλες παράμετροι
<b><u>Εθνικά κριτήρια</u></b> - Καλλιέργειες που καταναλώνονται ωμές (απεριόριστη άρδευση) - Βοσκότοποι (Περιορισμένη άρδευση)	2TC/100 ml  20 TC/100 ml	
<b><u>Puglie</u></b> - Απεριόριστη άρδευση - Περιορισμένη άρδευση	2TC/100ml 20TC/100ml	15mg/1BOD5, 40 mg/1COD 10mg/1TSS,0,2 mg/L υπολειμματικό χλώριο,6,5-8,5 pH
<b><u>Emilia Romagna</u></b> - Απεριόριστη άρδευση - Περιορισμένη άρδευση	2TC/100ml 20TC/100ml	
<b><u>Sicilia</u></b> - Περιορισμένη άρδευση - Απαγορεύεται η άρδευση καλλιιεργειών που έρχονται σε απευθείας επαφή με τα επεξεργασμένα λύματα	3000TC/100ml 1000FC/100ml 1αυγό νηματοειδών/l Μη ανιχνεύσιμη σαλμονέλα	40mg/1BOD5 160mg/1COD, 30mg/TSS, 6,5-8,5 pH

**Πίνακας 3.6** Κριτήρια της Κύπρου για αστικά λύματα που θα χρησιμοποιηθούν για άρδευση (Dodou, 2000).

Άρδευση	BOD5 mg/l	SS Mg/l	FC/ 100ml	Εντερικοί σκόληκες /l	Απαιτούμενη επεξεργασία
Απεριόριστη άρδευση(α)	(A)10*	10*	5* 15**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και Τριτοβάθμια και απολύμανση
Χώροι αναψυχής ελεύθερης πρόσβασης. Άρδευση καλλιεργειών για μαγειρεμένα τρόφιμα (β)	(A)10* 15**	10* 15**	50* 100**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και Τριτοβάθμια και απολύμανση
Περιορισμένη άρδευση-χώροι αναψυχής περιορισμένης πρόσβασης	(A)20* 30**	30* 45**	200* 1000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 ημέρες και απολύμανση ή τριτοβάθμια και απολύμανση
Άρδευση καλλιεργειών	(B)	-	200* 1000**		Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης, συνολικός χρόνος ωρίμανσης πάνω από 30 ημέρες ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 ημέρες
Καλλιέργειες για ζωοτροφές	(A)20* 30**	30* 45**	1000* 5000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 ημέρες ή τριτοβάθμια και απολύμανση
Βιομηχανικές καλλιέργειες	(A)50* 70**	-	3000* 10000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και απολύμανση

A Κλασσικές μέθοδοι επεξεργασίας

B Λίμνες σταθεροποίησης

α Εξαίρονται φυλλώδη λαχανικά που τρώγονται ωμά

β Πατάτες, ζαχαρότευτλα και ομοειδή

\* Τιμές που δεν επιτρέπεται να τις υπερβεί πλέον του 80% ανά μήνα

\*\* Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή



Από τις εργασίες αυτές προκύπτει, ότι η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έχει δώσει καλύτερα ή ίδια αποτελέσματα στην απόδοση των καλλιεργειών σε σύγκριση με το καθαρό νερό. Επίσης, δεν έχουν παρατηρηθεί σημαντικές διαφορές στην ποιότητα της παραγωγής μεταξύ της άρδευσης με καθαρό νερό και με επεξεργασμένα απόβλητα.

## 3.2 Επεξεργασία των αποβλήτων

### 3.2.1 Γενικά

Σκοπός της επεξεργασίας καθαρισμού των υγρών αποβλήτων, είναι η επαναφορά του χρησιμοποιούμενου νερού στη φύση ή στο σύστημα παραγωγής με αποδεκτά ποιοτικά χαρακτηριστικά, που θα είναι συμβατά με τις επιθυμητές χρήσεις. Τα χαρακτηριστικά πρέπει να είναι τέτοια ώστε, να προστατεύεται η δημόσια υγεία και τα φυσικά οικοσυστήματα, να διατηρείται η ισορροπία στο περιβάλλον και να μην υποβαθμίζονται οι υδατικοί πόροι του πλανήτη.

Οι υδατικοί πόροι του πλανήτη παρά την φαινομενική τους αφθονία, δεν είναι ανεξάντλητοι μπροστά στον συνεχώς αυξανόμενο ανθρώπινο πληθυσμό και τις πολλαπλασιαζόμενες ανάγκες του. Επομένως, από την πλευρά της υδατικής οικονομίας, προκειμένου να προστατευθεί το υδατικό κεφάλαιο και παράλληλα η δημόσια υγεία και το περιβάλλον γενικότερα, είναι ανάγκη, τα υγρά απόβλητα να υποβληθούν στην απαραίτητη επεξεργασία καθαρισμού, πριν φθάσουν στον τελικό αποδέκτη. Η αποτελεσματική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων γίνεται καθημερινά δυσκολότερη, εξαιτίας των νέων χημικών ουσιών που έχουν παρασκευασθεί από τον άνθρωπο ή των πολύ πυκνών αποβλήτων, σε σύγκριση με τα αστικά λύματα, που παράγονται από ζωοτροφικές και βιομηχανικές μονάδες.

Ως υγρά βιομηχανικά απόβλητα, χαρακτηρίζονται εκείνα που είναι αποτέλεσμα της χρήσης και απόρριψης νερού, το οποίο κατά την παραγωγική διαδικασία έχει εμπλουτισθεί με διάφορα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά σε μικρές ή μεγάλες συγκεντρώσεις. Τα υγρά αυτά απόβλητα, παρουσιάζουν διακυμάνσεις τόσο στο υδραυλικό (ασυνεχή προγράμματα λειτουργίας των εγκαταστάσεων), όσο και στο ρυπαντικό φορτίο, λόγω των περιεχομένων τοξικών ή δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ουσιών, που παρεμποδίζουν την ανάπτυξη του βιολογικού παράγοντα, με συνέπεια τη

δημιουργία καταστάσεων που μπορεί να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία και μείωση του βαθμού απόδοσης του συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Με βάση των παραπάνω, καθίσταται 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.

Στις τεχνικές αυτές δυσκολίες, αντιτίθενται σήμερα η αφύπνιση και το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον της κοινής γνώμης, που δεν δέχεται πια μοιρολατρικά τη ρύπανση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος, αλλά απαιτεί πειστικά και πολλές φορές δυναμικά, τη λήψη αποτελεσματικών μέτρων κατά της ρυπάνσεως.

Ακολουθείται έτσι, 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.

### 3.2.2. Μέθοδοι Επεξεργασίας

Για τον καθαρισμό των αποβλήτων στο παρελθόν, εφαρμόστηκε συνδυασμός των φυσικών δυνάμεων (μονάδες λειτουργίας), που χαρακτηρίζεται ως πρωτοβάθμιος και χημικής ή βιολογικής δράσης (μονάδες επεξεργασίας), που χαρακτηρίζεται ως δευτεροβάθμιος βιολογικός καθαρισμός. Ο πρωτοβάθμιος, αφορά τη χρήση φυσικών λειτουργιών, όπως σχάρισμα, απομάκρυνση άμμου και λίπους και καθίζηση, για να αφαιρεθούν τα χονδροειδή, τα επιπλέοντα και καθιζάνοντα υλικά. Στον δευτεροβάθμιο καθαρισμό, που ακολουθούσε συνήθως τον πρωτοβάθμιο, γίνεται χρήση είτε της χημικής κατακρημνίσεως (κροκύδωση) για την συσσωμάτωση και την απομάκρυνση των λεπτών και κολλοειδών ουσιών (οργανικών και ανόργανων), είτε της βιολογικής δράσεως για την αποικοδόμηση και αφαίρεση των οργανικών κυρίως ουσιών.

Τα τελευταία χρόνια έχει εφαρμοσθεί και η λεγόμενη τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία (tertiary or advanced treatment), που αποβλέπει στην απομάκρυνση κυρίως των παραγόντων ευτροφισμού (άζωτο, φωσφόρος).

#### α) Πρωτοβάθμιος μηχανικός καθαρισμός

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

Η πιο υποτυπώδης προκαταρκτική επεξεργασία είναι η εσχάρωση, η οποία όμως, είναι απαραίτητη για να συγκρατηθούν τα παρασυρόμενα σχετικά μεγάλα υλικά και να προφυλαχθούν οι επόμενες εγκαταστάσεις από μηχανικές εμφράξεις και φθορές. Τα σχαρίσματα στη συνέχεια θάβονται, χωνεύονται καίγονται ή διατίθενται με τα απορρίμματα .

Αφού συγκρατηθούν με την εσχάρωση τα σχετικά μεγάλα υλικά, τα υγρά απόβλητα εισάγονται και εξάγονται από τη δεξαμενή ομοιόμορφα με εγκάρσιο αυλάκι αρκετού μήκους, ώστε να εξασφαλίζεται μικρή ταχύτητα υπερχειλίσεως. Κατά την διέλευση από την μεγάλου όγκου δεξαμενή καθιζήσεως, η ταχύτητα ροής των υγρών αποβλήτων μειώνεται σημαντικά και ελαττώνεται έτσι και η συρτική ικανότητα, με αποτέλεσμα τα βαρύτερα αδιάλυτα οργανικά και ανόργανα στερεά να προλαβαίνουν να καθιζάνουν στον πυθμένα πριν να διέλθουν της δεξαμενής. 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 40 έως 70%, να ελαττώνει τη βιοχημική απαίτηση του οξυγόνου των πρώτων πέντε ημερών (B.O.D.<sub>5</sub>) σε ποσοστό περίπου 35% και τη χημική απαίτηση οξυγόνου (C.O.D.) σε ποσοστό από 35 έως 50%.

Η λάσπη που καθιζάνει στον πυθμένα, περιέχει και ένα μεγάλο ποσοστό του οργανικού αζώτου και του οργανικού φωσφόρου που περιέχεται στα υγρά απόβλητα, καθώς και βαρέα μέταλλα, τα οποία είναι κατά κάποιο τρόπο συνδεδεμένα με τα αιωρούμενα στερεά.

Επειδή η λάσπη έχει σημαντικό οργανικό φορτίο, αν παραμείνει κάποιες ώρες (3-4 το καλοκαίρι), υφίσταται αναερόβια αποικοδόμηση με συνέπεια τη δημιουργία σοβαρών δυσοσμίων. Απαιτείται λοιπόν, η απομάκρυνσή της τουλάχιστον μία φορά στην κάθε βάρδια (3 φορές το 24ωρο) και γι' αυτό το σκοπό, συνήθως, χρησιμοποιείται μηχανικό σάρωθρον. Η λάσπη αυτή, ανοργανοποιείται και αφυδατώνεται πριν από την τελική της διάθεση.

Ταυτόχρονα με τη διαδικασία της καθίζησης των στερεών και βαρέων μετάλλων στον πυθμένα της δεξαμενής, στην επιφάνειά της έχουμε την διαδικασία της επίπλευσης. Η επίπλευση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των λεπτών αιωρούμενων υλικών, των λιπών και ελαίων και γενικά των αποβλήτων που

δημιουργούν αφρό. Η λειτουργία τους συνίσταται στην εισαγωγή λεπτών φυσαλίδων αέρα στα απόβλητα, οι οποίες με τη σειρά τους προσκολλώνται στα αιωρούμενα σωματίδια και βοηθούν έτσι τα μόρια με μεγαλύτερο ειδικό βάρος να ανέβουν από το υγρό της δεξαμενής στην επιφάνεια, ή επισπεύδουν την άνοδο στην επιφάνεια μορίων που έχουν μικρότερο ειδικό βάρος από το υγρό της δεξαμενής.

Ανάλογα με το είδος των αποβλήτων, χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι εισαγωγής των φυσαλίδων του αέρα. Ανεξάρτητα όμως, από τον τρόπο εισαγωγής του αέρα, η απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να βελτιωθεί με τη χρησιμοποίηση χημικών προσθέτων, που αυξάνουν την επιφάνεια ή μεταβάλλουν τη δομή, ώστε να παγιδούνται ή να απορροφώνται εύκολα οι φυσαλίδες αέρα.

Για αυτή την απομάκρυνση των επιπλεόντων υλικών από τη δεξαμενή, το χαρακτηριζόμενο και ως ξάφρισμα (διαδικασία κατά την οποία απομακρύνεται το 65% περίπου των λιπών και ελαίων), χρησιμοποιείται το ίδιο μηχανικό σάρωθρο που χρησιμοποιείται και για την απομάκρυνση της λάσπης από τον πυθμένα της δεξαμενής.

### β) Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Επειδή, συνήθως, οι αποδέκτες (στην περίπτωση μας το έδαφος και τα φυτά) απαιτούν υψηλότερο βαθμό καθαρισμού, την πρωτοβάθμιας επεξεργασία ακολουθεί η δευτεροβάθμια, κατά την οποία απομακρύνονται σε πολύ μεγάλο βαθμό οι πολύ λεπτές και διαλυμένες ουσίες

Στη φάση αυτή του καθαρισμού των λυμάτων, γίνεται είτε χρήση κροκυδωτικών μέσων για τη συσσωμάτωση και απομάκρυνση των λεπτών κολλοειδών ουσιών, είτε υποβοήθεια της δράσης των σαπροφυτικών οργανισμών, οι οποίοι ζουν και αναπτύσσονται στα επιφανειακά νερά και λύματα. Οι σαπροφυτικοί οργανισμοί με τη δράση τους, καθαρίζουν τα λύματα καταστρέφοντας διάφορα μικρόβια και παράλληλα, μετατρέπουν τις ασταθείς οργανικές ουσίες ή και τις ανόργανες, όπως η αμμωνία, σε σταθερές ανόργανες ενώσεις.

Οι οργανικές ουσίες σε συνδυασμό με ορισμένα ανόργανα συστατικά, αποτελούν το θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη των σαπροφυτικών οργανισμών. Μπαίνει σε λειτουργία ένας βιοχημικός μηχανισμός, που από τη μια οδηγεί στη σύνθεση των απαραίτητων ουσιών για την ανάπτυξη του κυττάρου και

.από την άλλη, οδηγεί στην αποσύνθεση των οργανικών ουσιών των λυμάτων, για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας και τη μετατροπή τους έτσι, σε ανόργανα άλατα και αέρια.

Η αποικοδόμηση μπορεί να είναι αερόβια, εφόσον υπάρχει ελεύθερο διαλυμένο οξυγόνο στα λύματα και γίνεται από αερόβιους οργανισμούς ή αναερόβια, όταν υπάρχει έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου.

Τα τελικά προϊόντα στην αναερόβια αποδόμηση είναι δύσοσμα, τοξικά, ερεθιστικά ή ακόμα και εκρηκτικά, σε αντίθεση με τα προϊόντα της αερόβιας, που δεν είναι ούτε ανθυγιεινά, ούτε δύσοσμα

Το στοιχειακό οξυγόνο που χρειάζεται για τη βιοχημική αποδόμηση των οργανικών ουσιών των λυμάτων από αερόβιους οργανισμούς, είναι το γνωστό BOD και αποτελεί μέτρο για την εκτίμηση του πόσο επιβαρημένα είναι τα λύματα με οργανικό φορτίο.

Για την πλήρη αποδόμηση των οργανικών ουσιών στα συνήθη αστικά λύματα και σε θερμοκρασία 20°C (ως γνωστόν ο βαθμός αποικοδομήσεως εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό και από τη θερμοκρασία), απαιτείται χρονικό διάστημα 70-90 ημερών. Ως μέτρο, χρησιμοποιείται το απαιτούμενο οξυγόνο των πρώτων 5 ημερών στους 20°C, το γνωστό ως BOD<sub>5</sub>, που αντιπροσωπεύει τα 2/3 περίπου του συνολικά απαιτούμενου οξυγόνου.

Η ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου κατά τον δευτεροβάθμιο καθαρισμό (σε συνδυασμό με τον πρωτοβάθμιο) είναι περίπου 80-90%.

Οι διαδικασίες αυτές, γίνονται σε ελεγχόμενο περιβάλλον με την είσοδο ενέργειας στο σύστημα, που έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και για το λόγο αυτό, ονομάζονται διαδικασίες υψηλού ρυθμού (high rate processes). Οι διαδικασίες αυτές, χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το εάν οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε αιώρηση μέσα στα απόβλητα (ενεργός ιλύς, λίμνες) ή προσκολλημένοι σε κάποια επιφάνεια (βιολογικά φίλτρα, βιολογικοί δίσκοι).

#### - Συστήματα ενεργού ιλύος

Περιλαμβάνουν: α) δεξαμενή αερισμού, όπου οι οργανισμοί καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες χρησιμοποιώντας οξυγόνο που προστίθεται στα απόβλητα από ειδικές διατάξεις αερισμού και β) δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου οι μικροοργανισμοί καθιζάνουν (δευτεροβάθμια λάσπη). Μέρος αυτής της λάσπης

επανακυκλοφορεί στη δεξαμενή αερισμού, ενώ το υπόλοιπο οδηγείται στη γραμμή επεξεργασίας λάσπης. Η μέθοδος αυτή έχει υψηλή απόδοση και απαιτεί μικρή έκταση, αλλά απαιτεί συστηματική παρακολούθηση από έμπειρο προσωπικό. Είναι όμως σήμερα, η πιο διαδεδομένη μέθοδος, σε παγκόσμια κλίμακα, για μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις. Κατά τη μέθοδο ενεργού υλός, τα λύματα εισάγονται σε έναν αντιδραστήρα, όπου αερόβιοι οργανισμοί διατηρούνται σε αιώρηση. Το περιεχόμενο του αντιδραστήρα αναφέρεται ως μικτό υγρό. Οι αερόβιες συνθήκες στον αντιδραστήρα επιτυγχάνονται με χρήση διαχυτήρων ή μηχανικών αεριστήρων, που δίνουν και την απαραίτητη ενέργεια για ανάδευση. Μετά από ορισμένο χρόνο παραμονής, τόσο των μικροοργανισμών, όσο και του υγρού, το μικτό υγρό οδηγείται στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου γίνεται ο διαχωρισμός των στερεών. Το μεγαλύτερο μέρος της λάσπης ανακυκλώνεται στη δεξαμενή αερισμού, ώστε να διατηρείται σταθερή η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στον αντιδραστήρα, ενώ ένα τμήμα της λάσπης ίσο με την καθαρή παραγωγή της οδηγείται προς κατεργασία.

#### - Σταλάζοντα φίλτρα

Τα σταλάζοντα φίλτρα (trickling filters) ή βιοφίλτρα (biofilters) περιλαμβάνουν: α) Κλίνη με διηθητικό μέσο αδρανές υλικό π.χ. χαλίκια, πάνω στην επιφάνεια του οποίου, είναι προσκολλημένοι οι μικροοργανισμοί που καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες των αποβλήτων, τα οποία ρέουν μέσα στο φίλτρο, χρησιμοποιώντας οξυγόνο από την ατμόσφαιρα. β) Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, για την απομάκρυνση των οργανισμών που αποκολλώνται από την επιφάνεια του διηθητικού μέσου και παρασύρονται από τα απόβλητα. Υπάρχουν διάφορα είδη βιολογικών φίλτρων, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας.

Ανάλογη διαδικασία παρατηρείται και στους βιολογικούς δίσκους, όπου οι μικροοργανισμοί βρίσκονται προσκολλημένοι πάνω σε επίπεδες επιφάνειες (δίσκους) που περιστρέφονται μέσα στη μάζα των αποβλήτων σε ειδικές δεξαμενές (Κούγκολος, 2003).

#### γ) Τριτοβάθμια (tertiary) ή προχωρημένη επεξεργασία (advanced treatment).

Για τη συμπλήρωση της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας και ειδικότερα την ελάττωση του αζώτου και του φωσφόρου, που είναι βασικοί παράγοντες ευτροφισμού, καθώς και για την εκλεκτική απομάκρυνση των τοξικών ή άλλων

ανεπιθύμητων ουσιών, εφαρμόζονται διάφορες πρόσθετες φυσικές, χημικές ή βιολογικές μέθοδοι καθαρισμού, που αποτελούν την προχωρημένη επεξεργασία αποβλήτων, γνωστή ως τριτοβάθμια επεξεργασία (Μαρκαντωνάτος, 1990). Η μέριμνα για την απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου, λαμβάνεται για την αποφυγή φαινομένων ευτροφισμού στους υδάτινους αποδέκτες, ενώ για την άρδευση των καλλιεργειών, η ύπαρξη αυτών των στοιχείων αποτελεί πλεονέκτημα. Μάλιστα τελευταία, η ιδέα της εφαρμογής της αρδεύσεως, ως τριτοβάθμιας επεξεργασίας, κερδίζει έδαφος και εναρμονίζεται με την οικολογική επιδίωξη της επαναφοράς στη γη των θρεπτικών υλικών και του νερού αντί της ρυπάνσεως των διαφόρων αποδεκτών. Πάντως, οι δυνητικοί κίνδυνοι αλλοιώσεως της δομής του εδάφους και ρυπάνσεως ή μολύνσεως τόσο του εδάφους, όσο και των επιφανειακών και υπόγειων νερών σε συνδυασμό με τις απαιτούμενες μεγάλες εκτάσεις γης, θέτουν περιορισμούς και αρκετά αυστηρές προϋποθέσεις, που δεν ευνοούν οικονομικά την ανάπτυξη της μεθόδου σε υγρά κλίματα και μητροπολιτικές αστικές περιοχές.

#### δ) Απολύμανση

Η απολύμανση, είναι συνήθως το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των αποβλήτων και χαρακτηρίζεται ως η εκλεκτική ελάττωση σε ανεκτά επίπεδα των παθογόνων μικροβίων, σε αντίθεση με την αποστείρωση, που σημαίνει καταστροφή κάθε μορφής ζωής.

Η απολύμανση μπορεί να γίνει με χημικά (χλώριο, όζον, βρώμιο, διοξείδιο του χλωρίου κλπ), φυσικά (θερμότητα, ακτινοβολία), μηχανικά και ραδιολογικά μέσα (Μαρκαντωνάτος, 1990) Την πρώτη θέση στα μέσα απολυμάνσεως των αποβλήτων κατέχει το χλώριο και σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται με επιτυχία το όζον (απόσμηση).

Η μικροβιοκτόνος δράση του χλωρίου εξαρτάται από τον χρόνο επαφής, τη συγκέντρωση του χλωρίου, το είδος των μικροοργανισμών, τη θερμοκρασία, το pH και τη σύνθεση των υγρών μέσα στα οποία γίνεται η απολύμανση.

Για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της χλωρίωσης, πρέπει να παρακολουθείται το υπολειμματικό χλώριο. Η χλωρίωση θεωρείται αποτελεσματική, όταν μετά από χρόνο επαφής 30min ανιχνεύεται υπολειμματικό χλώριο τουλάχιστον 0,5 mg/l (Μαρκαντωνάτος, 1990). Η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου στα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για άρδευση με καταιονισμό, πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5mg/l για να μη

δημιουργηθούν εγκαύματα στα φύλλα των φυτών (Bouwer and Idelovitch, 1987). Οι Asano et al., (1985), αναφέρουν ότι για ορισμένες ευαίσθητες καλλιέργειες, το όριο αυτό πρέπει να είναι 0,05 mg/l, ενώ οι Westcott and Ayers (1985), αναφέρουν ότι συγκεντρώσεις μικρότερες από 1mg/l δεν εγκυμονούν κινδύνους για τα φυτά που αρδεύονται με καταιονισμό.

Παράλληλα με τις ωφέλιμες χρήσεις του χλωρίου, έχουν επίσης επισημανθεί ορισμένοι δυνητικοί κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία από διάφορες παρενέργειές του. Το χλώριο αντιδρά με ορισμένες οργανικές ουσίες, με αποτέλεσμα την παραγωγή αλογονοφορμίων, μεταξύ των οποίων το χλωροφόρμιο, που θεωρείται καρκινογόνος ουσία.

### **3.3 Χρήση των επεξεργασμένων αποβλήτων**

#### **3.3.1 Ανάγκη χρήσης**

Η σοβαρή επίδραση των υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον, συνοπτικά συνίσταται στην ποιοτική υποβάθμιση υδατικών πόρων, στη ρύπανση ακτών και θαλασσών, σε μολύνσεις με μεταφορά διαφόρων παθογόνων, στην υποβάθμιση αστικών κυρίως περιοχών και στη δημιουργία αισθητικών και άλλων προβλημάτων. Επιβάλλεται 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:

α) 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.

β) Την εξοικονόμηση πηγών ύδατος, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες χρήσεις.

γ) 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).

Κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση έργων επεξεργασίας - επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, οι χρήσεις που επιδιώκονται καθορίζουν τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας τους και την αξιοπιστία των διεργασιών επεξεργασίας και εκτέλεσής τους. Διεθνώς οι κύριες κατηγορίες



επαναχρησιμοποίησης προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με τη σειρά όγκου του χρησιμοποιούμενου νερού, είναι η γεωργική χρήση κυρίως μέσω της άρδευσης (Πίνακας 3.7), η βιομηχανική χρήση, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και διάφορες άλλες. Μεταξύ αυτών, η άρδευση αντιπροσωπεύει στις μέρες μας, αλλά ασφαλώς και στο προσεχές μέλλον, τον πιο σημαντικό χρήστη νερού και προσφέρει σοβαρές δυνατότητες για απορρόφηση όλο και μεγαλύτερων ποσοτήτων προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Αγγελάκης & Tchobanoglous, 1995).

**Πίνακας 3.7** Χρήσεις προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη γεωργία και δυνατοί περιορισμοί.

	<b>Χρήσεις</b>	<b>Περιορισμοί</b>
1	Άρδευση γεωργικών εκτάσεων α) Αροτριάιες 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.

### 3.3.2. Χρήση στην άρδευση

Γενικά, η άρδευση γεωργικών και άλλων εκτάσεων, αποτελούν την πιο μαζική χρήση νερού, ιδιαίτερα σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Ως παράδειγμα αναφέρεται, ότι στις ΗΠΑ το 1985, χρησιμοποιήθηκαν 190 δισ. m<sup>3</sup> νερού για άρδευση 230 εκατ. στρεμμάτων. Στις ΗΠΑ η άρδευση αντιπροσωπεύει το 34% της συνολικής χρήσης νερού. Η εγκατάσταση πληθυσμών σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές συνδυάστηκε με την ανάπτυξη των αρδεύσεων. 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:

α) αποφεύγεται η υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών,

β) 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

γ) 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).

Στην Αυστραλία, είναι επιτρεπόμενο να ανακυκλωθούν πρωτοβάθμια επεξεργασμένα απόβλητα αποχέτευσης με την εφαρμογή τους στο δάσος που δεν έχει καμία δημόσια πρόσβαση (Steward et al., 1986).

Στις ΗΠΑ, μεμονωμένα κράτη ρυθμίζουν τις άδειες εφαρμογή απόβλητου ύδατος στο έδαφος (Al-Jamal M.S. et al, 2002).

### 3.4 Συνέπειες της άρδευσης από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των προ-επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

#### 3.4.1.Γενικά

Όταν σχεδιάζεται ένα αρδευτικό έργο με χρήση νερού που έχει προέλθει από επεξεργασία υγρών αποβλήτων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, τόσο η φυτική παραγωγή, όσο και οι εδαφικές ιδιότητες. Γενικά, τα προβλήματα που αφορούν τέτοια έργα, είναι τα ίδια με αυτά που ανακύπτουν κατά την άρδευση με κάθε είδους περιθωριακό νερό, όπως είναι τα υφάλμυρα νερά. Υπό τέτοιες συνθήκες, απαιτείται ειδική διαχείριση των έργων, για να αποφεύγονται ανεπιθύμητες επιδράσεις στο έδαφος ή/και στην αρδευόμενη καλλιέργεια (Αγγελάκης, 1987).

Γενικά, δίδεται έμφαση στις επιδράσεις της ποιότητας του αρδευτικού νερού στις καλλιέργειες, στις εδαφικές συνθήκες και σε θέματα διαχείρισης των εκμεταλλεύσεων σε μακροπρόθεσμη βάση. Οι οδηγίες αυτές δεν διαφοροποιούνται ουσιαστικά για άλλα αρδευτικά νερά. Έτσι, από άποψη διαχείρισης, τα προβλήματα που σχετίζονται με την ποιότητα του αρδευτικού νερού, είναι: η αλατότητα, η ειδική τοξικότητα ιόντων, η ταχύτητα διήθησης κ .α.

#### 3.4.2 Αλατότητα

Η πιο σημαντική παράμετρος του αρδευτικού νερού είναι η αλατότητα, η οποία προσδιορίζεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C., dS/m). Για την αποφυγή ζημιών στα φυτά από υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στο έδαφος, η κύρια διαχειριστική πρακτική, είναι να ενισχύεται η κατακόρυφη ροή του εδαφικού νερού. Η διασφάλιση συνθηκών ορθολογικής στράγγισης, επιτρέπει τη συνεχή μεταφορά νερού και αλάτων κάτω από την περιοχή ανάπτυξης ενεργών ριζών. Γι' αυτό, σε συνθήκες άρδευσης με ανακατεμένα υγρά απόβλητα και για μεγάλο χρονικό διάστημα, η ικανοποιητική στράγγιση του εδάφους θεωρείται απαραίτητη.

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).

Γενικά, θεωρείται, ότι κάτω από συνθήκες κανονικής άρδευσης, ένα κλάσμα του νερού διηθείται βαθιά μέσα από τη ζώνη του ριζοστρώματος και απομακρύνει τα άλατα. Υπό αυτή την προϋπόθεση δεν αναμένεται να υπάρξει πρόβλημα αλατότητας για νερά με  $EC_w < 0,7$  dS/m και δεν απαιτείται καμιά άλλη ιδιαίτερη πρακτική διαχείρισης. Για άρδευση με νερά ηλεκτρικής αγωγιμότητας από 0,7-3.0 dS/m πιθανώς να απαιτούνται ειδικές πρακτικές διαχείρισης, ώστε να μην υπάρξει μείωση της παραγωγής. Νερά με ηλεκτρική αγωγιμότητα  $EC_w > 3.0$  dS/m απαιτούν ιδιαίτερα δραστικά μέτρα και προσεκτική διαχείριση για να ελεγχθεί η αλατότητα. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν την επιλογή ανθεκτικών καλλιεργειών στα άλατα, σημαντική αύξηση της έκπλυσης και υψηλή διαθεσιμότητα εδαφικού νερού. Καλλιέργειες ευαίσθητες στα άλατα θα παρουσιάσουν δραστικές μειώσεις στην παραγωγή όταν αρδεύονται με νερά με  $EC_w > 3$  dS/m, ακόμα και κάτω από άριστες συνθήκες διαχείρισης.

### 3.4.3 Ειδική Τοξικότητα Ιόντων

Γενικά, όταν η δυσμενής ανάπτυξη της φυτικής βλάστησης οφείλεται σε ένα ειδικό ιόν και όχι στην οσμωτική επίδραση, τότε αναφέρεται ως «ειδική τοξικότητα αυτού του δεδομένου ιόντος». Στην περίπτωση άρδευσης με αστικά υγρά απόβλητα, η επικρατέστερη συνήθης τοξικότητα είναι αυτή του βορίου. Οι κύριες πηγές βορίου στα υγρά απόβλητα, είναι τα οικιακά απορρυπαντικά και οι ειδικές ουσίες που προέρχονται από βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες. Επίσης, οι συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου αυξάνονται ως αποτέλεσμα των οικιακών χρήσεων του νερού και ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντές νερού. Οι Πανώρας κ.ά (1999), από μελέτη καταλληλότητας για άρδευση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, διαπίστωσαν τον κίνδυνο τοξικότητας από τα στοιχεία B, Na, Cl. Η ανθεκτικότητα σε αυτά τα στοιχεία ποικίλει, ανάλογα με τις κλιματικές και εδαφικές συνθήκες, καθώς και ανάλογα με τις καλλιεργούμενες ποικιλίες των φυτών.

Η ανθεκτικότητα των αγροτικών καλλιεργειών διακρίνεται στις εξής κατηγορίες, ανάλογα με ευαισθησία τους στην επιτρεπόμενη συγκέντρωση του B στο εδαφικό νερό (Maas 1984):

- Πάρα πολύ ευαίσθητες (<0,5mg/l)

- Πολύ ευαίσθητες (0,5-0,75mg/l)
- Ευαίσθητες (0,75-1mg/l)
- Μετρίως ευαίσθητες (1-2mg/l)
- Μετρίως ανθεκτικές (2-4mg/l)
- Ανθεκτικές (4-6mg/l)
- Πολύ ανθεκτικές (6-15mg/l)

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.

Οι (Yoon et al., 2001) μελέτησαν την άρδευση ρυζιού με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στο Πανεπιστήμιο Konkuk της Σεούλ και διαπίστωσαν ότι τα διάφορα ιχνοστοιχεία δεν ήταν ανασταλτικός παράγοντας στην ανάπτυξη των φυτών ακόμα και για συγκεντρώσεις νιτρικών 160 mg/l.

Πίνακας 3.8

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 κοκκινογούλια, 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 ανάρρωση 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.

#### 3.4.4. Ταχύτητα διήθησης αρδευτικού νερού

Μια άλλη έμμεση επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης του νατρίου, είναι ο επηρεασμός των φυσικών συνθηκών του εδάφους (δημιουργία κρούστας, μείωση περατότητας κ.ά.). Όταν πρόκειται για σημαντική μείωση της ταχύτητας διήθησης, τότε καθίσταται προβληματικός και ο εφοδιασμός των φυτών με επαρκή υγρασία και φυσικά η ανάπτυξη και η παραγωγικότητά τους. Επιπλέον, επειδή συστήματα άρδευσης με ανακτώμενα υγρά απόβλητα συνήθως εγκαθίστανται σε εδάφη υποβαθμισμένα ή εδάφη που έχουν προβλήματα περατότητας στα πλαίσια της γενικότερης διαχείρισης τους, πολλές φορές είναι απαραίτητες διορθωτικές επεμβάσεις σ' αυτά (μηχανικά ή με προσθήκη εδαφοβελτιωτικών).

#### 3.4.5 Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Η παρουσία παθογόνων παραγόντων στα απόβλητα που χρησιμοποιούνται για άρδευση εδώδιμων φυτικών ειδών ή χώρων, όπου συχνάζουν πολλά άτομα (πρασινάδα, άλση, γήπεδα τένις κ.λ.π.), όταν αυτή γίνεται με τεχνητή βροχή, δημιουργεί αερολύματα με σταγονίδια, με συνέπεια να θέτει περιορισμούς στην ελεύθερη χρησιμοποίησή τους. Οι παθογόνοι παράγοντες πρέπει να ελαττωθούν πριν από την άρδευση στα επίπεδα που θεωρούνται ασφαλή για την δημόσια υγεία από τις αρμόδιες υγειονομικές αρχές, καθώς επίσης και από τις γεωργικές υπηρεσίες για την αντιμετώπιση των φυτονόσων ή ζωνόσων.

Τα αστικά λύματα πρέπει να έχουν υποβληθεί σε βιολογική επεξεργασία και απολύμανση σε τέτοιο βαθμό, ώστε η απορροή να περιέχει ελάχιστο αριθμό κολοβακτηριοειδών μέχρι 23/100ml, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για άρδευση γηπέδων γκολφ, αλσών, πρανών και βοσκοτόπων γαλακτοφόρων ζώων.

#### 3.4.6 Θρεπτικά στοιχεία

Γενικά, τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχονται στα ανακτώμενα υγρά απόβλητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θρέψη των αρδευόμενων φυτών. Όμως, τα ίδια θρεπτικά στοιχεία υπό ορισμένες συνθήκες, όπως για παράδειγμα όταν βρίσκονται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τις ανάγκες των φυτών, μπορούν να προξενήσουν διάφορα προβλήματα. Τα πιο σημαντικά στοιχεία από άποψη θρέψης των γεωργικών, δασικών και καλλωπιστικών φυτών, είναι το άζωτο και ο φώσφορος

και δευτερευόντως το κάλιο, ο ψευδάργυρος, το βόριο και το θείο. Το πιο ωφέλιμο και πιο πλεονασματικό στοιχείο στα ανακτώμενα υγρά απόβλητα, είναι το άζωτο (N).

Το άζωτο που περιέχεται στις εκροές των υγρών αποβλήτων, οι οποίες προορίζονται για άρδευση, μπορεί να αντικαταστήσει ισοδύναμη ποσότητα εμπορικού αζωτούχου λιπάσματος, κυρίως στην αρχική και ενδιάμεση περίοδο ανάπτυξης των φυτών. Αντίθετα, πλεονασματική εφαρμογή αζώτου στο τέλος της περιόδου των φυτών μπορεί να είναι επιβλαβής για πολλά είδη (δημιουργία υπερβολικής βλάστησης, καθυστέρηση ωρίμανσης, ή ποιοτική υποβάθμιση των παραγόμενων προϊόντων).

Σε τέτοιες περιπτώσεις συνιστάται η αλλαγή, όταν είναι δυνατή, του νερού άρδευσης με άλλο διαθέσιμο νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο ή ανάμειξη του με άλλο αρδευτικό νερό, έτσι ώστε να ελέγχεται η συγκέντρωση του αζώτου. Τα κυριότερα θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά, που περιέχονται συνήθως στα απόβλητα, είναι τα άλατα του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου. Τα υλικά αυτά, αφομοιώνονται από τα φυτά και απομακρύνονται τελικά με τη συγκομιδή κάθε χρόνο ή κάθε καλλιεργητική περίοδο, με ρυθμό που εξαρτάται από το είδος των φυτών και τη γεωργική απόδοση των καλλιεργειών.

Παράλληλα όμως, η μορφή με την οποία διατίθενται τα διάφορα υλικά στο έδαφος, δεν είναι πάντα άμεσα χρησιμοποιήσιμη από τα φυτά ( π.χ. το οργανικό άζωτο πρέπει να γίνει ανόργανο, για να αφομοιωθεί με την μορφή των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) και αμμωνιακών αλάτων ( $\text{NH}_4^+$ )). Η διαδικασία αυτή της ανοργανοποίησης απαιτεί χρόνο, ενώ παράλληλα σημειώνεται απώλεια των θρεπτικών υλικών, είτε κατά τους χειρισμούς, είτε κατά την άρδευση με την επιφανειακή απορροή ή την διείδυση στα βαθύτερα στρώματα.

Τέλος, ο χημισμός των στοιχείων στο έδαφος, επηρεάζει τη διαθεσιμότητά τους. Έτσι, τα διαθέσιμα θρεπτικά υλικά για τα φυτά, είναι συνήθως λιγότερα από τα προστιθέμενα κατά τον πρώτο χρόνο της εφαρμογής (π.χ. ο ρυθμός ανοργανοποίησης του οργανικού αζώτου της πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας λάσπης των αστικών λυμάτων και η μετατροπή σε νιτρικά για χρησιμοποίηση από τα φυτά, είναι 20-30 % τον πρώτο χρόνο, 55% το δεύτερο κ.ο.κ). Επίσης, μέχρι 40% του οργανικού αζώτου των αποβλήτων επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών, είναι διαθέσιμο τον πρώτο χρόνο για τα φυτά. Από τα ζωικά απόβλητα, είναι διαθέσιμα τον πρώτο χρόνο περίπου το 50% του αζώτου, 70-80% του φωσφόρου και 70-90% του καλίου. Ειδικά για το φωσφόρο, που χρησιμοποιείται από τα φυτά σε συγκριτικά



μικρές ποσότητες, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσής του στο έδαφος σε σημαντικά ποσά (3-60 Kg/ha.cm), ιδιαίτερα για τα αργιλώδη εδάφη.

#### 3.4.7 Διάφορα άλλα εμφανιζόμενα προβλήματα

Προβλήματα, όπως αυτά που σχετίζονται με αποφράξεις συστημάτων άρδευσης με καταιονισμό και στάγδην, θεωρούνται συνήθη, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται εκροές πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ή τεχνητών λιμνών σταθεροποίησης. Η βιολογική βλάστηση στους εκτοξευτές, σταλακτήρες, πλευρικές γραμμές και σε άλλα μηχανικά μέρη των δικτύων άρδευσης, προξενεί ανάπτυξη αλγών και αιωρούμενων στερεών. Όπως είναι φυσικό, τα δίκτυα με στάγδην άρδευση είναι πιο επιδεικτικά στις αποφράξεις, ιδιαίτερα στους μηχανισμούς εφαρμογής του αρδευτικού νερού (σταλακτήρες). Αντίθετα όμως, τα συστήματα αυτά θεωρούνται ιδεώδη από άποψη προστασίας της δημόσιας υγείας, επειδή είναι πλήρως κλειστά και περιορίζουν ή ελαχιστοποιούν την καταίωση και την έκθεση στην εφαρμοζόμενη εκροή. Επίσης, προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα που έχουν χλωριωθεί, δεν προξενούν ζημιές στο φύλλωμα των φυτών, όπως στην περίπτωση του καταιονισμού, ιδιαίτερα όταν το υπολειμματικό χλώριο είναι σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 5mg/l (Pettygrove and Asano, 1988).

### 3.5. Επιλογή μεθόδου άρδευσης

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της μεθόδου άρδευσης, είναι η παροχή και η ποιότητα του νερού, το κλίμα, το έδαφος, το είδος της καλλιέργειας, το κόστος της μεθόδου και η ικανότητα του καλλιεργητή να διαχειρίζεται το σύστημα άρδευσης. Στην περίπτωση της άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες, με περισσότερο καθοριστικούς εκείνους που ελαχιστοποιούν τους κινδύνους για 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. Έτσι, ένα ήδη υφιστάμενο σύστημα άρδευσης, καθορίζει τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων, το βαθμό ελέγχου της ανθρώπινης

έκθεσης και την επιλογή των καλλιεργειών. Αντίθετα, οι δυνατότητες για την επιλογή ενός συστήματος άρδευσης, περιορίζονται όταν η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι δεδομένη.

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 άρδευση με κατάκλιση ή λωρίδες, απαιτεί πλήρη κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα. Αυτός ο τρόπος άρδευσης, μολύνει τμήμα της φυλλικής επιφάνειας των φυτών που έρχεται σε επαφή με τα απόβλητα, καθώς και τη συγκομιζόμενη ρίζα. Επίσης, εκθέτει σημαντικά τους καλλιεργητές στα απόβλητα. Επομένως, σε σχέση με τη διαφύλαξη της υγείας οι δύο παραπάνω μέθοδοι, δεν είναι ικανοποιητικές.

Κατά την άρδευση με αυλάκια δεν διαβρέχεται όλη η επιφάνεια του εδάφους, γεγονός που μειώνει τους κινδύνους μόλυνσης των φυτών τα οποία αναπτύσσονται στον αυχένα των αυλακιών. Η μόλυνση των αγροτών είναι μέση έως υψηλή, εξαρτώμενη από τον αυτοματισμό του συστήματος. Αν τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα μεταφέρονται με σωλήνες και διανέμονται στο κάθε αυλάκι χωριστά, ο κίνδυνος για τους χειριστές είναι μηδαμινός. Για να αποφευχθεί το λίμνασμα των επεξεργασμένων αποβλήτων και για την επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης πρέπει να γίνει λεπτομερής τοπογραφική διαμόρφωση του εδάφους (Dedrick et al., 1982; Παπαζαφειρίου, 1984; Χατζηγιαννάκης και Θεοδώρου, 1991; Πανώρας κ.ά., 1993) και να δοθεί η κατάλληλη κλίση.

Η μέθοδος άρδευσης με καταιονισμό μπορεί να μολύνει τις καλλιέργειες και τους αγρότες. Επίσης, παθογόνοι μικροοργανισμοί που περιέχονται σε καταιονιζόμενα απόβλητα, μπορεί να μεταφερθούν με τον άνεμο και να δημιουργήσουν κίνδυνο για την υγεία των κατοίκων των κοντινών περιοχών. Τα συστήματα καταιονισμού επηρεάζονται πιο πολύ από την ποιότητα του νερού σε σχέση με τα επιφανειακά συστήματα άρδευσης, κυρίως λόγω της έμφραξης των ακροφυσίων των καταιονιστήρων, των ενδεχομένων ζημιών των φύλλων και της φυτοτοξικότητας, στις περιπτώσεις που το νερό είναι αλατούχο και περιέχει περίσσεια τοξικών ουσιών. Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα συσσώρευσης ιζήματος στους σωλήνες, στις βάνες, στους αυτοματισμούς και στο σύστημα διανομής του νερού. Γενικά, τα αστικά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, είναι κατάλληλα για διανομή από εκτοξευτήρες, αρκεί να μην είναι πολύ αλατούχα.

Συχνά υιοθετούνται πρόσθετα μέτρα πρόληψης, όπως επεξεργασία με χαλκικό φίλτρα ή φίλτρα σήτας και αύξηση της διαμέτρου των ακροφυσίων (μεγαλύτερα από 5 mm).

Οι μέθοδοι τοπικής άρδευσης (κυρίως στάγδην άρδευση) θεωρούνται ιδανικές για χρήση με απόβλητα, επειδή:

- α) αποτελούν κλειστά συστήματα και δεν εκθέτουν σε κίνδυνο τους αγρότες,
- β) δεν προκαλούν διασπορά των αποβλήτων με τον άνεμο,
- γ) δεν δημιουργούν απορροή αποβλήτων προς γειτονικές περιοχές, όπως συμβαίνει με τις επιφανειακές μεθόδους.

Ωστόσο, η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών στους σταλακτήρες ή στους σωλήνες μεταφοράς του νερού, προκαλούν εμφράξεις όπως επίσης και οι μεγάλες συγκεντρώσεις φυκών και αιωρούμενων στερεών. Η ύπαρξη στερεών τεμαχιδίων στα απόβλητα που δέχθηκαν δευτεροβάθμια επεξεργασία και η ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σταλακτήρες, μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα που ξεπερνώνται με τη χρήση χαλκικού φίλτρου και το συχνό καθάρισμά τους με άφθονο καθαρό νερό. Οι Massoud et al. (1995) έδειξαν ότι η άρδευση των καλλιεργειών με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα μέσω συστήματος σταγόνων, προϋποθέτει την ταυτόχρονη χρήση χαλκικού φίλτρου, 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 εμφράξης των σταλακτών από την καθίζηση του ασβεστίου (Ca).

Κατά την άρδευση με μικροεκτοξευτήρες, μια τεχνική που αναπτύχθηκε για την άρδευση των δενδρωδών καλλιεργειών, αποφεύγεται η ανάγκη χρησιμοποίησης σταλακτών με μικρές οπές, αλλά απαιτείται και προσεκτική εγκατάσταση και χρήση για επιτυχή και ασφαλή εφαρμογή του νερού (Hillel, 1987). Η μέθοδος έχει πολλά πλεονεκτήματα, πρέπει όμως πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη το υψηλό κόστος εγκατάστασης, ο υψηλός βαθμός συντήρησης που απαιτεί, καθώς και οι πιθανοί κίνδυνοι από τον ψεκάσμό των αποβλήτων (Πανώρας κ.ά., 1994).

### 3.6 Υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση (ΥΣΑ)

#### 3.6.1 Γενικά

Η υπόγεια στάγδην άρδευση (ΥΣΑ) χαρακτηρίζεται ως μια σύγχρονη μέθοδος άρδευσης. 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. Είναι η πλέον σύγχρονη μέθοδος άρδευσης, κατά την οποία μικρές ποσότητες νερού εφαρμόζονται στο έδαφος σε τακτά χρονικά διαστήματα μέσα από σταλάκτες, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε αγωγό μεταφοράς που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Μ' αυτή την πρακτική επιτυγχάνεται υψηλή παραγωγικότητα των φυτών με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση νερού και χωρίς τα προβλήματα έκπλυσης ή απορροής.

Η ΥΣΑ είναι μια παραλλαγή της παραδοσιακής άρδευσης με σταγόνα, κατά την οποία οι σταλακτηφόροι σωλήνες θάβονται σε κάποιο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ανάλογα με την καλλιέργεια.

#### 3.6.2. Ιστορική εξέλιξη της Υπόγειας στάγδην άρδευσης

Ιστορικά, η πρώτη παρατήρηση των πλεονεκτημάτων της άρδευσης με μικρές παροχές έγινε το 1860 στη Γερμανία, όταν γεωργοί χρησιμοποιούσαν ένα στραγγιστικό σύστημα από πηλοσωλήνες με ανοικτούς αρμούς για άρδευση και στράγγιση ταυτόχρονα. Το 1930, στην Αυστραλία, οι παραγωγοί έχοντας στη διάθεσή τους πολύ μικρές ποσότητες νερού για άρδευση, κατασκεύασαν ένα σύστημα από γαλβανισμένους σωλήνες διαμέτρου 5cm, στους οποίους άνοιξαν οπές για την έξοδο του νερού, με σκοπό να ποτιστούν φιστικιές. Την ίδια χρονική περίοδο, ένας ισραηλινός μηχανικός, ο Symch Blas (1930), παρατήρησε ότι δίπλα σε μια κάνουλα που είχε διαρροή, η ανάπτυξη των φυτών ήταν μεγαλύτερη. Έτσι, στην αρχή κατασκεύασε ένα υπόγειο σύστημα αγωγών στο οποίο ενσωμάτωσε διόδους νερού αρκετού μήκους τύπου σπινάλ. Η τεχνική αυτή αργότερα βελτιώθηκε από τον ίδιο και από άλλους κατασκευαστές, ιδίως μετά την εμφάνιση των πλαστικών σωλήνων, οπότε η τοποθέτηση των συστημάτων άρδευσης γινόταν στην επιφάνεια του εδάφους με μόνιμα δίκτυα.

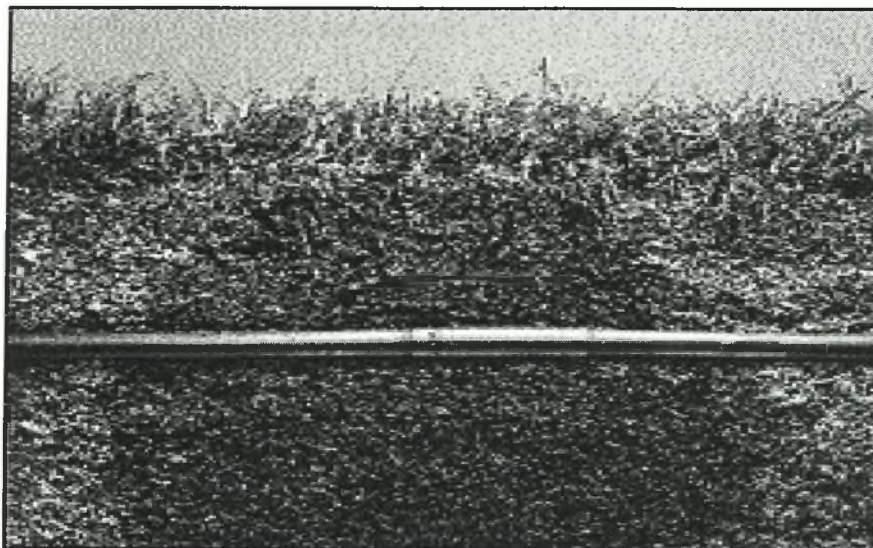
Το 1960, πειραματιστές στο Ισραήλ σημείωσαν θεαματική επιτυχία, όταν εφαρμόσαν τη μέθοδο αυτή στις ερήμους Neger και Arava. Στις περιοχές αυτές, οι αγροί είχαν υποβαθμιστεί με την άρδευση με αυλάκια και τον καταιονισμό. Η κύρια αιτία ήταν, ότι το νερό περιείχε άλατα. Στην στάγδην άρδευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό υψηλότερης αλατότητας από το επιτρεπτό όριο σε άλλες μεθόδους άρδευσης. Οι συνθήκες για την ανάπτυξη της γεωργίας στις ερήμους, ως γνωστό δεν είναι ευνοϊκές, γιατί το νερό είναι γεμάτο άλατα, οι θερμοκρασίες πολύ υψηλές, η σχετική πίεση μικρή, και το έδαφος αμμώδες. Σ' αυτές τις περιπτώσεις όμως, η στάγδην άρδευση έφερε σημαντική βελτίωση στην ανάπτυξη των φυτών και οδήγησε σε αύξηση των αποδόσεων.

Η τεχνολογική ανάπτυξη της στάγδην άρδευσης επιτεύχθηκε με την ανακάλυψη των πλαστικών μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο. Στην αρχή τα δίκτυα τοποθετήθηκαν κάτω από το έδαφος, αλλά δημιουργήθηκε πρόβλημα με την συχνή απόφραξη τους από το ριζικό σύστημα των φυτών και έτσι μετακινήθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους (Smith et al., 1991).

Στα συστήματα της στάγδην άρδευσης, επιφανειακά ή υπόγεια το νερό κινείται κάτω από το έδαφος, δημιουργώντας μια υγρή ζώνη γύρω από το ριζικό σύστημα (Εικόνα 3.1). Το σχήμα και το μέγεθος ποικίλει, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους, το ρυθμό με τον οποίο το φυτό προσλαμβάνει νερό από τις ρίζες του, καθώς και τον αριθμό και τη θέση των σταλακτήρων ανά φυτό. Οι δυνάμεις που ελέγχουν την κίνηση του νερού στο έδαφος, είναι κυρίως οι τριχοειδείς και η βαρύτητα. Οι τριχοειδείς δυνάμεις μειώνονται όσο πιο υγρό είναι το έδαφος, ενώ σε ξηρό έδαφος είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές της βαρύτητας. Η απλή και βασική αυτή έννοια οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ΥΣΑ πρέπει να εφαρμόζεται σε μικρές και διακοπτόμενες δόσεις, οπότε η κίνηση του νερού στο έδαφος γίνεται κυρίως από τις τριχοειδείς δυνάμεις. Με τον τρόπο αυτό, σε εφαρμογή ίσης ποσότητας νερού έχουμε διαβροχή εδάφους με ΥΣΑ 46% μεγαλύτερη από αυτή της επιφανειακής (Ruskin, 2000). Στα συστήματα επιφανειακής άρδευσης και άρδευσης με καταιονισμό, το νερό εφαρμόζεται ανά σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα μεταξύ των αρδεύσεων η εξατμισοδιαπνοή και η απορρόφηση του νερού από τα φυτά να δημιουργεί υδατικό έλλειμμα.

Κατά την άρδευση με σταγόνες, το νερό εφαρμόζεται σε μικρές ποσότητες και υψηλές συχνότητες μόνο σε ένα ορισμένο ποσοστό της επιφάνειας του αγρού. Επίσης άλλα κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύγκριση με τις άλλες

μεθόδους, είναι η συνολική ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού, το ποσοστό που εφαρμόζεται ανά μονάδα διαβρεχόμενης επιφάνειας, το νερό που χρησιμοποιείται από τα φυτά και η απόδοση του αγρού.



Εικόνα 3.1 Υπόγεια στάγδην άρδευση.

### 3.6.3 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης της ΥΣΑ είναι τα εξής :

1. Εξοικονόμηση νερού
2. Έλεγχος συστήματος άρδευσης
3. Διατήρηση μικρών αρνητικών πιέσεων στο έδαφος
4. Πρωΐμηση της παραγωγής
5. Χρήση χαμηλής ποιότητας αρδευτικού νερού
6. Μερική διαβροχή του εδάφους
7. Διατήρηση ξηρού φυλλώματος
8. Εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων
9. Εφαρμογή σε δύσκολα εδάφη
10. Προστασία του περιβάλλοντος
11. Άρδευση μεγαλύτερων εκτάσεων

Μερικά από τα μειονεκτήματα της χρήσης της ΥΣΑ., τα οποία περιόρισαν την διάδοση της είναι:

1. Κόστος εγκατάστασης
2. Εμφράξεις σταλακτήρων
3. Συσσώρευση αλάτων
4. Μηχανικές ζημιές

#### 3.6.4 Πειράματα που έγιναν με ΥΣΑ

Οι Phene et al., (1983), πρότειναν τεχνικές διαχείρισης, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για την αποφυγή των αποφράξεων και να καθιστούν την ΥΣΑ περισσότερο εφαρμόσιμη. Η εμφάνιση των βελτιωμένων πλαστικών υλικών κατέστησε την ΥΣΑ πιο οικονομική και εφαρμόσιμη σε πολλές καλλιέργειες, μεταξύ των οποίων και αυτή του βαμβακιού (Smith et al. 1991).

Οι Devitt και Miller, (1988), μελέτησαν τα αποτελέσματα της διαφορετικής διάταξης των υποεπιφανειακών σταλακτηφόρων αγωγών (61, 91, και 122cm) για άρδευση του είδους *Cynodon dactylon* με αλατούχο νερό (EC = 2.2 dS/m) σε δυο τύπους εδαφών (αμμοπηλώδες και αργιλώδες). Η αντίδραση του φυτού (σχετική απόδοση, πυκνότητα ριζικού συστήματος και θερμοκρασία της φυτοκόμης) κατά την εφαρμογή του νερού ανάμεσα στους σταλακτηφόρους σωλήνες μελετήθηκε ανά 15 μέρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι η αλατότητα ήταν ο κύριος περιοριστικός παράγοντας για την παραγωγικότητα του χλοοτάπητα στο αμμοπηλώδες έδαφος, ενώ στο αργιλώδες έδαφος, ο περιοριστικός παράγοντας, ήταν η διαθεσιμότητα της εδαφικής υγρασίας. Βρέθηκαν γραμμικές σχέσεις ανάμεσα στην αυξημένη αλατότητα στη ζώνη του ριζοστρώματος και τη μειωμένη περιεκτικότητα σε εδαφική υγρασία, ανάλογα με την απόσταση από τους σταλακτηφόρους σωλήνες. Επακόλουθα, η θερμοκρασία της φυτοκόμης αυξήθηκε με την απόσταση από τους σταλακτηφόρους σωλήνες. Οι σχετικές αποδόσεις περιγράφονται καλύτερα από μια παράμετρο που συμπεριλαμβάνει την αλατότητα και την εδαφική υγρασία. Οι αποδόσεις παρέμεναν υψηλές έως ότου επιτεύχθηκε ένα κατώφλι στη σχέση αλατότητας και εδαφικής υγρασίας, ενώ μετά οι αποδόσεις μειώνονταν.

Σε αυτό το πείραμα, μόνο η ισαποχή 61cm των σταλακτηφόρων έδωσε μια αποδεκτή κατανομή νερού, αλάτων και μια αντίδραση του χλοοτάπητα σε σύγκριση με τον μάρτυρα που αρδευόταν επίφανειακά. Τα αποτελέσματα συνιστούν, ότι δεν μπορεί να

μεγιστοποιηθεί η ισαποχή των σταλακτηφόρων για μείωση της επένδυσης, όταν χρησιμοποιείται η ΥΣΑ και εφαρμόζεται αλατούχο νερό. Αντί γι' αυτό, θα πρέπει οι σταλακτηφόροι σωλήνες να τοποθετούνται σε μια απόσταση, όπου η έκπλυση να διατηρεί την ομοιομορφία της εδαφικής υγρασίας και να αποτρέπει την συσσώρευση των αλάτων στο ενεργό ριζόστρωμα.

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 σηψιριζίες 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 σταλακτηφόρων 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 συμπεριλάμβαναν 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 Hanson 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 σταλακτήρα 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 εξετάσεις ομοιομορφίας του συστήματος έδειξαν, ότι διατηρούνταν στην ίδια κατάσταση, όπως και κατά την εγκατάσταση, όταν λαμβανόταν μέριμνα για την αντιμετώπιση της έμφραξης των σταλακτήρων.

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

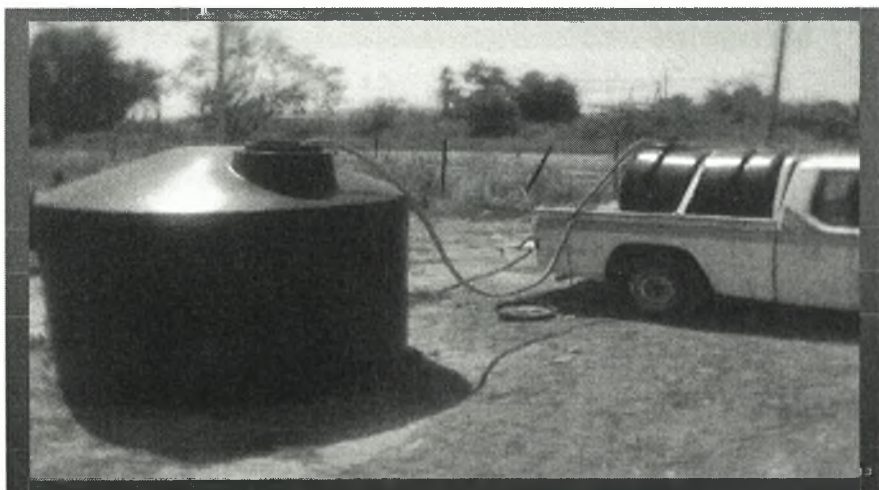
### 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 4.1 Χαρακτηριστικά του πειράματος

Το πείραμα εγκαταστάθηκε το 2001-2002 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που βρίσκεται στην περιοχή του Βελεστίνου και συνεχίστηκε για δεύτερη συνεχόμενη χρονιά το 2003. Η παρούσα διατριβή αναφέρεται στο έτος 2003. Τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του αγροκτήματος είναι: Υψόμετρο 50m, γεωγραφικό πλάτος 39° 45'. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα τυπικό Μεσογειακό κλίμα με ζεστό και ξερό καλοκαίρι και ψυχρό – υγρό χειμώνα. Το έδαφος στην περιοχή που εγκαταστάθηκε το πείραμα χαρακτηρίζεται ως αργιλλοπηλώδες.

Μελετήθηκε η ανάπτυξη χλοοτάπητα (*Festuca arundinacea* cv. Fine Lawn I) και τριών καλλωπιστικών φυτών, του γιουνίπερου (*Juniperus chinensis* var. *Stricta*), της τούγιας (*Thuja orientalis* var. *Compacta aure nana*) και του λεμονοκυπάρισσου (*Cupressus macrocarpa* var. *Gold Crest*). Η έκταση που χρησιμοποιήθηκε για την εγκατάσταση του χλοοτάπητα και των καλλωπιστικών θάμνων, ήταν 200m<sup>2</sup>. Τον Σεπτέμβριο του 2001 έγινε η σπορά του χλοοτάπητα και τον Απρίλιο του 2002 η φύτευση των καλλωπιστικών φυτών από την προηγούμενη ομάδα εργασίας.

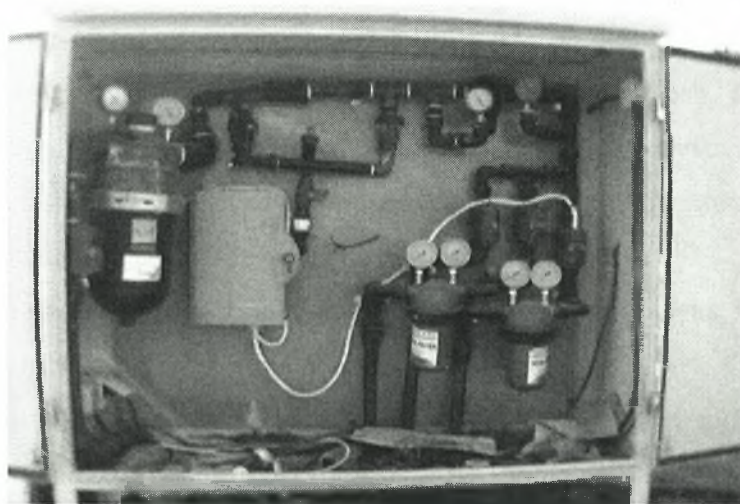
Η προοριζόμενη να δεχτεί τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου και το καθαρό νερό της γεώτρησης, πλαστική δεξαμενή της εταιρίας Σύρμος-Λεβαντής, ήταν κατασκευασμένη από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και η χωρητικότητά της ήταν 5m<sup>3</sup>, (Εικ. 4.1).



Εικόνα 4.1 Δεξαμενή από PVC

Για την πραγματοποίηση του πειράματος επιλέχθηκε το σύστημα της υπόγειας στάγδην άρδευσης, διότι σύμφωνα με τους Bahri and Brissaud, (2002), δεν τίθεται κάποιο όριο όσον αφορά τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, επειδή αυτά δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το κοινό και τους εργαζόμενους στο χώρο.

Για τον έλεγχο της άρδευσης τοποθετήθηκε πίνακας ελέγχου (Εικ. 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 και δύο φίλτρα (Tech-filter) εμποτισμένα με treflan.

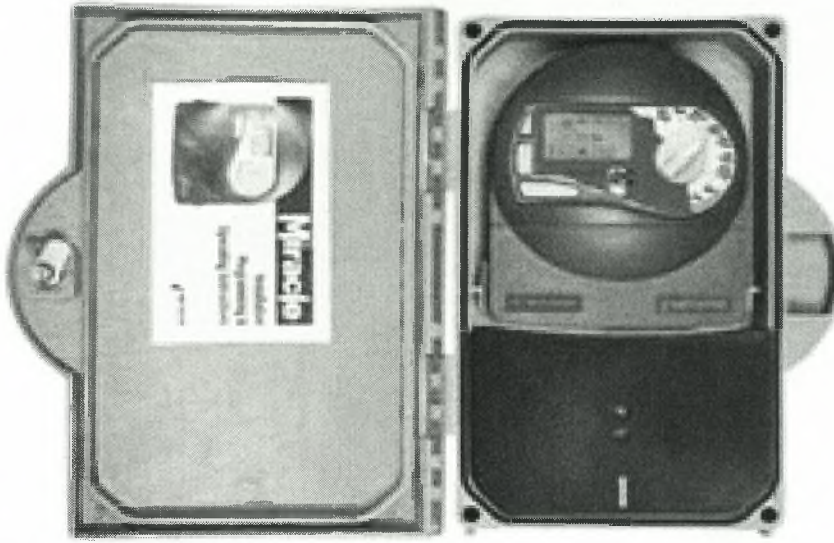


**Εικόνα 4.2** Πίνακας ελέγχου

Η κεντρική ηλεκτροβάννα συνδεόταν μέσω πλαστικού αγωγού με την αντλία και αυτή συνδεόταν με τη δεξαμενή όπου περιείχε το νερό της άρδευσης. Η αντλία ήταν οριζόντια και πολυβάθμια κλειστού τύπου.

Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle DC 6 (Εικ. 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

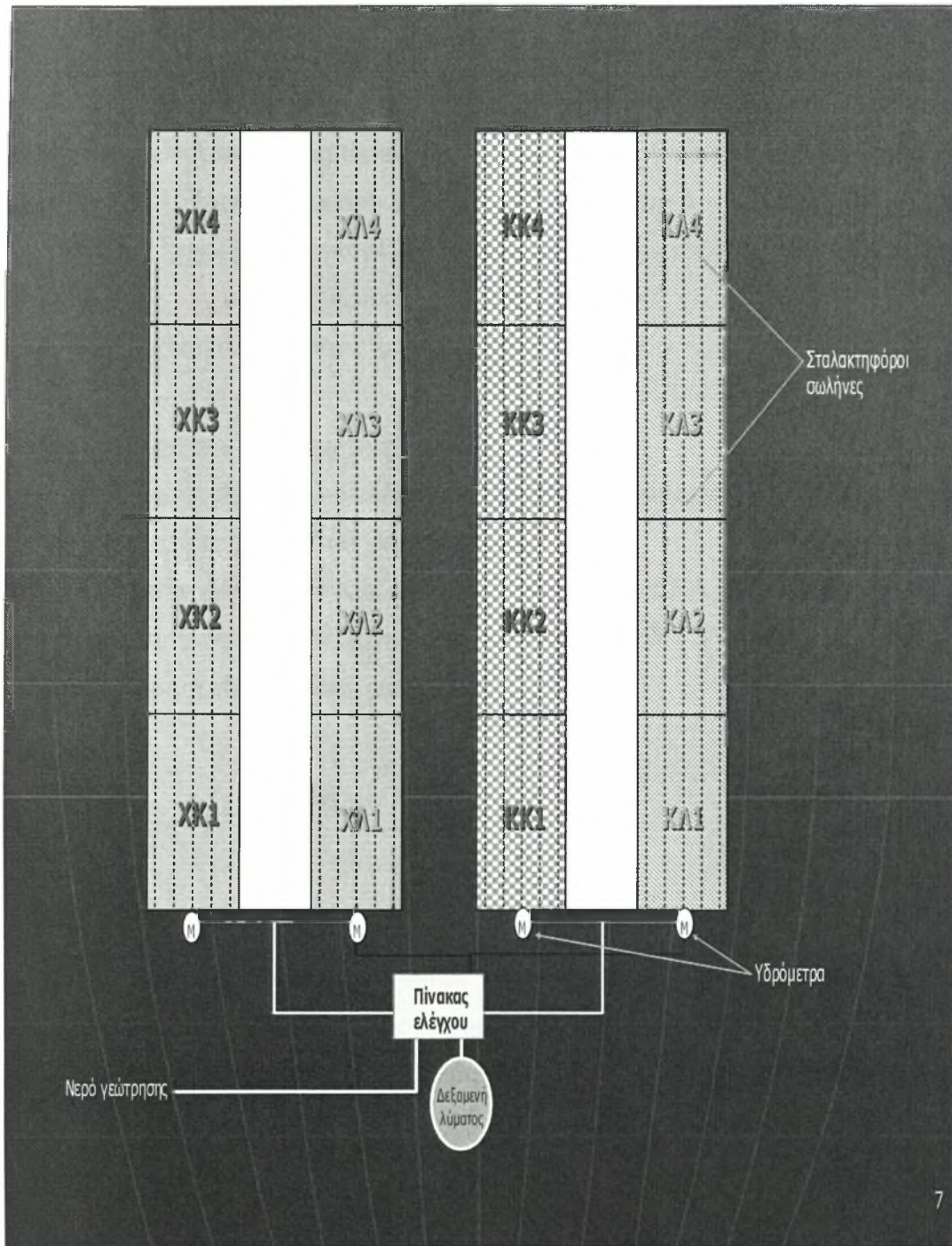
μπαταρία λιθίου 9V, ο πίνακας ελέγχου, το τερματικό τμήμα των καλωδίων και το πλαίσιο στήριξης.



**Εικόνα 4.3** Προγραμματιστής άρδευσης

Το φίλτρο σήτας ήταν της εταιρείας ARKAL, με διάμετρο οπών 120 mesh. Τα φίλτρα εμποτισμένα με treflan είχαν διάμετρο οπών 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 ήταν τύπου Aqua net 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. Οι αγωγοί μεταφοράς τοποθετήθηκαν κατά μήκος και περιμετρικά του αγρού. Ο αγρός χωρίστηκε σε 4 τεμάχια, εκτάσεως 48m<sup>2</sup> περίπου το καθένα (2\*24m) με τρεις διαδρόμους μεταξύ τους, τα οποία αποτέλεσαν τις 4 μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι 2 μεταχειρίσεις αφορούσαν τον χλοοτάπητα και οι άλλες 2 τα καλλωπιστικά φυτά. Κάθε μεταχείριση χωρίστηκε σε τέσσερις επαναλήψεις (Εικ. 4.4).



Εικόνα 4.4 Σχέδιο του πειράματος με το σύστημα άρδευσης.

#### Οι μεταχειρίσεις του γλοοτάπητα

Η 1<sup>η</sup> μεταχείριση του γλοοτάπητα ονομάστηκε ΧΚ (Χλοοτάπητας Καθαρό) και η άρδευση γινόταν με καθαρό νερό, από την γεώτρηση του αγροκτήματος.

Η 2<sup>η</sup> μεταχείριση ονομάστηκε ΧΛ (Χλοοτάπητας Λύμα) και η άρδευση γινόταν περιοδικά με νερό προερχόμενο από το σταθμό βιολογικού καθαρισμού της πόλης του Βόλου και με καθαρό νερό, εξαιτίας της ελαφρά αυξημένης αλατότητας που υπήρχε στα επεξεργασμένα απόβλητα, αλλά κυρίως, της αυξημένης συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου.

Κάθε μεταχείριση είχε τέσσερις επαναλήψεις

#### Οι μεταχειρίσεις των καλλωπιστικών φυτών

Η 1<sup>η</sup> μεταχείριση των καλλωπιστικών φυτών ονομάστηκε ΚΚ (Καλλωπιστικά Καθαρό) και η άρδευση γινόταν με καθαρό νερό.

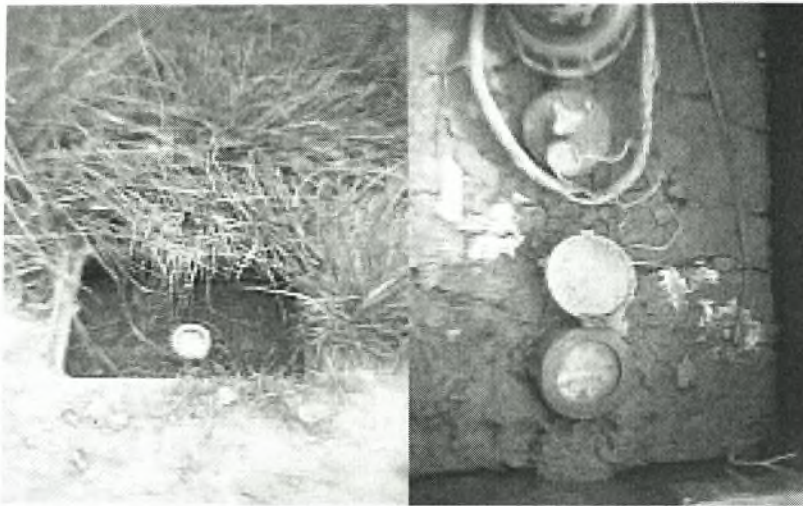
Η 2<sup>η</sup> μεταχείριση των Καλλωπιστικών ονομάστηκε ΚΛ (Καλλωπιστικά Λύμα) και η άρδευση γινόταν με επεξεργασμένο και καθαρό νερό.

Κάθε μεταχείριση είχε τέσσερις επαναλήψεις

## **4.2 ΑΡΔΕΥΣΗ**

Οι αρδεύσεις πραγματοποιήθηκαν το διάστημα 25/5/03-18/10/03. Υπάρχουν δύο τρόποι για τον υπολογισμό της δόσης άρδευσης. Ο πρώτος λαμβάνει υπόψη τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και ο δεύτερος τρόπον την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.

Μπροστά από κάθε τεμάχιο τοποθετήθηκε ένα φρεάτιο που περιείχε έναν υδρομετρητή (Εικ. 4.5), για την καταγραφή του καταναλισκόμενου όγκου νερού. Στα 4 τεμάχια έγινε σύνδεση των αγωγών μεταφοράς με τους υποεπιφανειακούς σταλακτηφόρους σωλήνες. Σε κάθε τεμάχιο χρησιμοποιήθηκαν 6 σταλακτηφόροι σωλήνες. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες ήταν τύπου RAM-Techline Φ17, της εταιρείας Netafim. Είχαν ισαποχή 40cm και ήταν κατασκευασμένοι από PE. Το μήκος τους ήταν 24m. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες έφεραν ενσωματωμένους σταλάκτες, οι οποίοι ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι. Οι σταλάκτες είχαν παροχή 1,6l/h και λειτουργούσαν σε πίεση 0,5-4 atm και ισαποχή 30 cm.



Εικόνα 4.5 Υδρομετρητής

Οι 6 σταλακτηφόροι αγωγοί που βρίσκονταν στις μεταχειρίσεις ΧΚ και ΚΚ συνδέθηκαν με αγωγό μεταφοράς του νερού που τροφοδοτούνταν από δεξαμενή κατασκευασμένη από σκυρόδεμα, χωρητικότητας  $40\text{m}^3$  και ήταν δίπλα στη γεώτρηση του αγροκτήματος. Οι αγωγοί μεταφοράς τοποθετήθηκαν περιμετρικά και κατά μήκος του αγρού. Στο τέλος των αγωγών εφαρμογής είχαν τοποθετηθεί ειδικές βαλβίδες εκτόνωσης της πίεσης, για την αποφυγή έμφραξης του δικτύου ή εμφανίσεως βλαβών.

Στις 25/5/2003 άρχισε η άρδευση στο πειραματικό του χλοοτάπητα και των κωνοφόρων και μέχρι τις 18 Ιουνίου, οι δόσεις άρδευσης υπολογίζονταν με τη μέθοδο που λαμβάνει υπόψη τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (Σακελλαρίου–Μακραντωνάκη, 2003). Για την πραγματοποίηση της άρδευσης, έγινε ο προσδιορισμός των εξής μεγεθών: Υδατοικανότητα (%ξηρού βάρους εδάφους), φαινόμενο ειδικό βάρος ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), βάθος ριζοστρώματος καλλιέργειας (mm), συντελεστής εξάντλησης διαθέσιμης υγρασίας, ποσοστό διαβροχής του εδάφους, συντελεστής εφαρμογής του νερού.

Οι τιμές των μεγεθών αυτών φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4.1



Πίνακας 4.1 Υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΤΙΜΗ
Υδατοϊκανότητα ( $FC$ , % ξ.β.)	21,2
Σημείο Μόνιμης Μάρανσης ( $PWP$ , % ξ.β.)	11,64.
Φαινόμενο Ειδικό Βάρος ( $ASW$ , g/cm <sup>3</sup> )	1,23
Βάθος ριζοστρώματος χλοοτάπητα ( $RD$ , mm)	500
Βάθος ριζοστρώματος κωνοφόρων ( $RD$ , mm)	600
Ποσοστό διαβροχής του εδάφους ( $P$ )	1
Συντελεστής Εξάντλησης Διαθέσιμης Υγρασίας ( $c$ )	0,5
Βαθμός εφαρμογής του νερού ( $n$ )	0,95

Υπολογίσθηκε η Θεωρητική Δόση Άρδευσης ( $I_d$ ) βάση του τύπου:

$$I_d = \frac{(FC - PWP)}{100} \times ASW \times RD \times C \times P \quad (3.1)$$

όπου :

$I_d$  = Θεωρητική Δόση Άρδευσης (mm ή m<sup>3</sup>/στρέμμα)

$FC$  = Υδατοϊκανότητα (% ξηρού βάρους)

$PWP$  = Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (% ξηρού βάρους)

$ASW$  = Φαινόμενο Ειδικό Βάρος

$RD$  = Βάθος Ριζοστρώματος (mm)

$C$  = Συντελεστής Εξάντλησης Διαθέσιμης Υγρασίας

$P$  = Ποσοστό διαβροχής του εδάφους

$n$  = Βαθμός εφαρμογής

Για τον χλοοτάπητα, από τα δεδομένα της βιβλιογραφίας (Allen, 1998), θεωρήθηκαν ως βάθος ριζοστρώματος τα 500mm, ενώ για τα κωνοφόρα τα 600mm.

Αντικαθιστώντας τις τιμές στον τύπο (3.1) προκύπτει για το χλοοτάπητα:

$$I_d = (0,212 - 0,1164) \times 1,23 \times 500 \times 0,5 \times 1 = 29,4 \text{ mm}$$

και για τα κωνοφόρα:

$$I_d = (0,212 - 0,1164) * 1,23 * 600 * 0,5 * 1 = 35,27 \text{ mm}$$

Η πρακτική δόση άρδευσης υπολογίζεται από την σχέση:

$$I_{da} = I_d / n \quad (3.2)$$

Επομένως, η πρακτική δόση άρδευσης για το χλοοτάπητα είναι:

$$I_{da} = 29,4 / 0,95 = 30,9 \text{ mm} \text{ ή } 30,9 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα} \text{ ή } 1,483 \text{ m}^3 \text{ για τα } 48 \text{m}^2 \text{ της επιφάνειας.}$$

και για τα κωνοφόρα είναι:

$$I_{da} = 35,27 / 0,95 = 37,13 \text{ mm} \text{ ή } 37,13 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα} \text{ ή } 1,782 \text{ m}^3 \text{ για την επιφάνεια των } 48 \text{m}^2.$$

Το εύρος άρδευσης (  $I_t$  ) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_t = I_{da} / ET_d \quad (3.3)$$

όπου:

$ET_d$  = η μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.

Η μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή, από δεδομένα προηγούμενων ετών, ελήφθη ως 3,2mm για το μήνα Μάιο και 5mm για το μήνα Ιούνιο.

Για το χλοοτάπητα το εύρος άρδευσης ήταν:

$$I_t = 29,4 / 3,2 = 9 \text{ ημέρες το μήνα Μάιο και}$$

$$I_t = 29,4 / 5 = 6 \text{ ημέρες το μήνα Ιούνιο}$$

Επειδή η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε 2 ημέρες, έγινε αναγωγή της δόσης άρδευσης σε διήμερη βάση. Έτσι, η δόση άρδευσης ήταν 0,330m<sup>3</sup> για τον μήνα Μάιο και 0,490 για το μήνα Ιούνιο.

Για τα κωνοφόρα το εύρος άρδευσης ήταν:

$$I_t = 35,27 / 3,2 = 11 \text{ ημέρες το μήνα Μάιο και}$$

$$I_t = 35,27 / 5 = 7 \text{ ημέρες το μήνα Ιούνιο.}$$

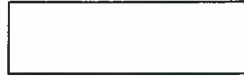
Με την αναγωγή κι εδώ σε διήμερη βάση βρέθηκε ότι η δόση άρδευσης ήταν 0,324m<sup>3</sup> για τον μήνα Μάιο και 0,509 για το μήνα Ιούνιο. Οι δόσεις άρδευσης με τον τρόπο που λαμβάνει υπόψη τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (25/05 – 18/06) δίνονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Δόσεις άρδευσης από 25/05/2003 μέχρι 15/06/2003.

Ημερομηνία Άρδευσης	Δόση λύματος στον χλοοτάπητα (lt/48m <sup>2</sup> )	Δόση καθαρού νερού στον χλοοτάπητα (lt/48m <sup>2</sup> )	Δόση λύματος στα κωνοφόρα (lt/48m <sup>2</sup> )	Δόση καθαρού νερού στα κωνοφόρα (lt/48m <sup>2</sup> )
25/05/03	330	330	324	324
27/05/03	330	330	324	324
29/05/03	330	330	324	324
31/05/03	330	330	324	324
02/06/03	490	490	509	509
05/06/03	490	490	509	509
07/06/03	490	490	509	509
09/06/03	490	490	509	509
11/06/03	490	490	509	509
13/06/03	490	490	509	509
15/06/03	490	490	509	509
Σύνολο νερού	1310	4750	1342	4859

Από τα μέσα Ιουνίου και κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο η άρδευση πραγματοποιήθηκε με βάση την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, που υπολογιζόταν με την βοήθεια του εξατμισιμέτρου τύπου A του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Κάθε μέρα μετριοταν η εξατμηση στο εξατμισόμετρο, η οποία πολλαπλασιαζόμενη με το 0,8 (συντελεστής εξατμισιμέτρου), έδινε την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET<sub>r</sub>). Για να βρεθεί η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών χρησιμοποιήθηκαν οι φυτικοί τους συντελεστές. Για τον χλοοτάπητα ο φυτικός συντελεστής ελήφθη 1,2 και για τα κωνοφόρα 0,85 (Allen et al., 1998). Η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσώπευε και την ημερήσια δόση άρδευσης σε mm, η οποία αναγόταν σε όγκο νερού για την έκταση των 48 m<sup>2</sup> της κάθε μεταχείρισης του πειράματος. Η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε 2 ημέρες περίπου. Η αθροιστική εξατμισοδιαπνοή των 2 ημερών λαμβανόταν υπόψη και γινόταν η εύρεση της δόσης άρδευσης.

Για τον υπολογισμό του χρόνου λειτουργίας του συστήματος άρδευσης, υπολογίσθηκε το ωριαίο ύψος βροχής από τον τύπο:



Όπου:

$I_{dh}$  = ωριαίο ύψος βροχής (mm/hr)

$q$  = παροχή των σταλακτών (l/hr)

$St$  = η ισαποχή των σταλακτών (0,3m)

$Sr$  = η ισαποχή των σταλακτηφόρων (0,4 m)

$St \cdot Sr$  = η διάταξη των σταλακτών ( $m \cdot m = m^2$ )

Το ωριαίο ύψος βροχής βρέθηκε ίσο με :

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

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

#### 4.2.1 Εξατμισόμετρο τύπου A

Για τον υπολογισμό της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του εξατμισιμέτρου τύπου A (Παπαζαφειρίου, 1999) . Αυτό είναι μια κυλινδρική λεκάνη κατασκευασμένη από χονδρή γαλβανισμένη λαμαρίνα διαμέτρου 121cm και βάθους 25,4cm, η οποία τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση, έτσι ώστε, ο πυθμένας της να είναι απολύτως οριζοντιομένος και να απέχει 15cm από την επιφάνεια του εδάφους (Εικ. 4.6). Στη συνέχεια το έδαφος υπερυψώνεται κάτω από την λεκάνη, έτσι ώστε τελικά να απέχει 5cm από τον πυθμένα της. Η λεκάνη πληρούται με νερό έως το ύψος των 5cm κάτω από το χείλος της. Η δε στάθμη του νερού κατά την λειτουργία του οργάνου, δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 7,5 εκ. από το χείλος.



Εικόνα 4.6 Εξατμισόμετρο τύπου Α.

Τα νερό της λεκάνης πρέπει να ανανεώνεται συχνά για να μη θολώνει. Τα τοιχώματα της λεκάνης κάθε χρόνο θα πρέπει να χρωματίζονται με χρώμα αλουμινίου. Οι μετρήσεις της στάθμης του νερού στη λεκάνη έγιναν με σταθμήμετρο με ακίδα.

Η σχέση που δίνει την βασική εξατμισοδιαπνοή (ΕΤ<sub>0</sub>) στη μέθοδο του εξατμισιμέτρου είναι:

$$E_{T0} = K_p * E_{pan} \quad (3.4)$$

όπου:

$E_{pan}$  είναι η μέση εξατίμηση 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 4.3 παρουσιάζονται οι ενδείξεις του εξατμισιμέτρου κατά την αρδευτική περίοδο και στους Πίνακες 4.4 και 4.5 ο υπολογισμός της δόσης και της διάρκειας άρδευσης για το χλοοτάπητα και τα κωνοφόρα αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3 Ενδείξεις εξατμισμέτρου κατά την αρδευτική περίοδο 10/6/03 - 28/9/03 .

Ημέρες	Ημέρες Από 1/1/2003	Πλήρωση Εξατμισομέτρου (mm)	Ημερήσια ένδειξη Εξατμισομέτρου (mm)	Διαφορά Ημέρας Εραν (mm)	Αθροιστική Εξάτμιση (mm)/ημέρα άρδευσης	Βροχή (mm)
10/6/2003	161	39,5	0	8,5	-	-
11/6/2003	162	-	48	8	-	-
12/6/2003	163	-	56	8	-	-
13/6/2003	164	17,5	64	8	-	-
14/6/2003	165	-	25,5	8,5	-	-
15/6/2003	166	-	34	12,5	άρδευση	-
16/6/2003	167	-	46,5	7,5	-	0,5
17/6/2003	168	-	54	9,5	-	-
18/6/2003	169	-	63,5	8,5	25,5	-
19/6/2003	170	-	72	0	-	8,05
20/6/2003	171	15	72	4	-	-
21/6/2003	172	-	19	7,5	-	-
22/6/2003	173	-	26,5	8,5	20	-
23/6/2003	174	-	35	9	-	-
24/6/2003	175	-	44	8	17	-
25/6/2003	176	-	52	4	-	4,28
26/6/2003	177	-	56	8	12	-
27/6/2003	178	-	64	4	-	3
28/6/2003	179	-	68	-3,5	-	5,55
29/6/2003	180	-	64,5	7,5	-	-
30/6/2003	181	-	72	8	16	-
1/7/2003	182	-	80	6	-	-
2/7/2003	183	7	86	9	15	-
3/7/2003	184	-	16	10	-	-
4/7/2003	185	-	26	9	19	-
5/7/2003	186	-	35	16	-	-
6/7/2003	187	-	51	8	24	-
7/7/2003	188	-	59	9	-	-
8/7/2003	189	-	68	8	17	-
9/7/2003	190	20	76	7	-	-
10/7/2003	191	-	27	8	15	-
11/7/2003	192	-	35	8	-	-
12/7/2003	193	-	43	9	17	-
13/7/2003	194	-	52	9	-	-
14/7/2003	195	-	61	4	13	-
15/7/2003	196	-	65	8	-	-
16/7/2003	197	-	73	8	16	-
17/7/2003	198	7	81	12	-	-
18/7/2003	199	-	19	12	24	-
19/7/2003	200	-	31	-11	-	13
20/7/2003	201	-	20	7	-	2,1
Σύνολο					250,5	

Πίνακας 4.3 Ενδείξεις εξατμισμέτρου κατά την αρδευτική περίοδο 10/6/03 - 28/9/03 (συνέχεια).

Ημέρες	Ημέρες Από 1/1/2003	Πλήρωση Εξατμισομέτρου σε mm	Ημερήσια Ένδειξη Εξατμισομέτρου (mm)	Διαφορά Ημέρας Έραυ (mm)	Αθροιστική Εξάτμιση/ Ημέρα άρδευσης (mm)	Βροχή (mm)
21/7/2003	202	-	27	8	-	-
22/7/2003	203	-	35	8	12	-
23/7/2003	204	-	43	8	-	-
24/7/2003	205	-	51	9	17	-
25/7/2003	206	-	60	9	-	-
26/7/2003	207	-	69	10	19	-
27/7/2003	208	-	79	6	-	-
28/7/2003	209	-	85	7	13	-
29/7/2003	210	-	11	7	-	-
30/7/2003	211	-	18	6	13	-
31/7/2003	212	-	24	3	-	2
1/8/2003	213	-	27	1,5	-	2
2/8/2003	214	-	28	3	-	3,27
3/8/2003	215	-	31	6	13,5	-
4/8/2003	216	-	37	7	-	-
5/8/2003	217	-	44	8	15	-
6/8/2003	218	-	52	9	-	-
7/8/2003	219	-	61	8	17	-
8/8/2003	220	-	69	6	-	-
9/8/2003	221	16,5	75	5,5	11,5	-
10/8/2003	222	-	22	7	-	-
11/8/2003	223	-	29	9	16	-
12/8/2003	224	-	38	9	-	-
13/8/2003	225	-	47	7	16	-
14/8/2003	226	7	54	6	-	-
15/8/2003	227	-	13	7	13	-
16/8/2003	228	-	20	8	-	-
17/8/2003	229	-	28	10	18	-
18/8/2003	230	-	38	8	-	-
19/8/2003	231	-	46	7	15	-
20/8/2003	232	-	53	8	-	-
21/8/2003	233	-	61	7	15	-
22/8/2003	234	4	68	7	-	-
23/8/2003	235	-	11	7	14	-
24/8/2003	236	-	18	8	-	-
25/8/2003	237	-	26	8	16	-
26/8/2003	238	-	34	8	-	-
27/8/2003	239	-	42	3	11	-
28/8/2003	240	4	45	6	-	-
29/8/2003	241	-	10	8	14	-
30/8/2003	242	-	18	8	-	-
31/8/2003	243	-	26	6	14	-
Σύνολο					543,5	

Πίνακας 4.3 Ενδείξεις εξατμισμέτρου κατά την αρδευτική περίοδο 10/6/03 - 28/9/03 (συνέχεια).

Ημερ/νία	Ημέρες Από 1/1/2003	Πλήρωση Εξατμισομέτρου σε mm	Ημερήσια Ένδειξη Εξατμισομέτρου (mm)	Διαφορά Ημέρας Έραμ (mm)	Αθροιστική Εξάτμιση/ Ημέρα άρδευσης (mm)	Βροχή (mm)
1/9/2003	244	-	32	7	-	-
2/9/2003	245	7	39	6	13	-
3/9/2003	246	-	13	3	-	2,14
4/9/2003	247	-	16	6	9	-
5/9/2003	248	-	22	5	-	-
6/9/2003	249	-	27	6	11	-
7/9/2003	250	-	33	7	-	-
8/9/2003	251	-	40	2	8	2,1
9/9/2003	252	-	42	4	-	-
10/9/2003	253	-	46	-10	-	12,83
11/9/2003	254	8	36	3	-	-
12/9/2003	255	-	11	6	-	-
13/9/2003	256	-	17	3	-	3,27
14/9/2003	257	-	20	2	8	-
15/9/2003	258	-	22	4	-	-
16/9/2003	259	-	26	4	8	-
17/9/2003	260	-	30	4	-	-
18/9/2003	261	-	34	4	-	-
19/9/2003	262	2	38	5	-	-
20/9/2003	263	-	7	5	10	-
21/9/2003	264	-	12	6	-	-
22/9/2003	265	-	18	5	11	-
23/9/2003	266	-	23	4	-	-
24/9/2003	267	-	27	5	9	-
25/9/2003	268	7	32	4	-	-
26/9/2003	269	-	36	4	-	-
27/9/2003	270	-	40	3	11	-
28/9/2003	271	-	43	-	-	-
Σύνολο					650,5	



Πίνακας 4.4 Υπολογισμός δόσης και διάρκειας άρδευσης για το Χλοοτάπητα

Εξάτμιση E <sub>pan</sub> mm/day	Δόση άρδευσης I <sub>da</sub> =E <sub>pan</sub> *0,8*1,20 (mm) ή (m <sup>3</sup> /στρ)	Δόση άρδευσης (l/48 m <sup>2</sup> )	Ωριαίο ύψος βροχής I <sub>dh</sub> =q/St*S <sub>r</sub> (mm/hr)	Διάρκεια άρδευσης I <sub>t</sub> =I <sub>da</sub> /I <sub>dh</sub> (hr)	Διάρκεια άρδευσης I <sub>t</sub> =I <sub>da</sub> /I <sub>dh</sub> (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

Πίνακας 4.5 Υπολογισμός δόσης και διάρκειας άρδευσης για τα κωνοφόρα.

Εξάτμιση (E, mm/day)	Δόση άρδευσης $I_{da}=E*0,8*0,85$ (mm) ή (m <sup>3</sup> /στρ)	Δόση άρδευσης (l/48 m <sup>2</sup> )	Ωριαίο ύψος βροχής $I_{dh}=q/St*Sr$ (mm/hr) (mm / hr)	Διάρκεια άρδευσης $I_t=I_{da}/I_{dh}$ (hr)	Διάρκεια άρδευσης $I_t=I_{da}/I_{dh}$ (min)
1	0,68	32,64	13,33	0,05	3,061
2	1,36	65,28	13,33	0,10	6,12
3	2,04	97,92	13,33	0,15	9,18
4	2,72	130,56	13,33	0,20	12,24
5	3,4	163,2	13,33	0,26	15,3
6	4,08	195,84	13,33	0,306	18,36
7	4,76	228,48	13,33	0,36	21,4
8	5,44	261,12	13,33	0,41	24,49
9	6,12	293,76	13,33	0,46	27,54
10	6,8	326,4	13,33	0,51	30,61
11	7,48	359,04	13,33	0,56	33,67
12	8,16	391,68	13,33	0,61	36,73
13	8,84	424,32	13,33	0,66	39,79
14	9,52	456,96	13,33	0,71	42,85
15	10,2	489,6	13,33	0,77	45,91
16	10,88	522,24	13,33	0,816	48,97
17	11,56	554,88	13,33	0,87	52,03
18	12,24	587,52	13,33	0,92	55,09
19	12,92	620,16	13,33	0,97	58,15
20	13,6	652,8	13,33	1,02	61,21
21	14,28	685,44	13,33	1,07	64,27
22	14,96	718,08	13,33	1,12	67,33
23	15,64	750,72	13,33	1,17	70,39
24	16,32	783,36	13,33	1,22	73,46
25	17	816	13,33	1,28	76,52
26	17,68	848,64	13,33	1,33	79,58
27	18,36	881,28	13,33	1,38	82,64
28	19,04	913,92	13,33	1,43	85,7
29	19,72	946,56	13,33	1,48	88,76
30	20,4	979,2	13,33	1,53	91,82

**Πίνακας 4.6** Δόσεις άρδευσης από τις 18/06/03

Ημερομηνία	Αθροιστική Εξάτμιση (mm/day)	Δόση άρδευσης (lt/48 m <sup>2</sup> ) /μονάδα εξάτμισης	Δόση λύματος στο χλοοτάπητα (lt/48 m <sup>2</sup> )	Δόση καθαρού νερού στο χλοοτάπητα (lt/48 m <sup>2</sup> )	Δόση Άρδευσης (lt/48 m <sup>2</sup> ) /μονάδα εξάτμισης	Δόση λύματος στα κωνοφόρα (lt/48 m <sup>2</sup> )	Δόση καθαρού νερού στα κωνοφόρα (lt/48 m <sup>2</sup> )
18/6/2003	25,5	46,08	1175,04	1175,04	32,64	832,32	832,32
22/6/2003	20	46,08	921,6	921,6	32,64	652,8	652,8
24/6/2003	17	46,08	783,36	783,36	32,64	554,88	554,88
26/6/2003	12	46,08	552,96	552,96	32,64	391,68	391,68
30/6/2003	16	46,08	737,28	737,28	32,64	522,24	522,24
2/7/2003	15	46,08	691,2	691,2	32,64	489,6	489,6
4/7/2003	19	46,08	875,52	875,52	32,64	620,16	620,16
6/7/2003	24	46,08	1105,92	1105,92	32,64	783,36	783,36
8/7/2003	17	46,08	783,36	783,36	32,64	554,88	554,88
10/7/2003	15	46,08	691,2	691,2	32,64	489,6	489,6
12/7/2003	17	46,08	783,36	783,36	32,64	554,88	554,88
14/7/2003	13	46,08	599,04	599,04	32,64	424,32	424,32
16/7/2003	16	46,08	737,28	737,28	32,64	522,24	522,24
18/7/2003	24	46,08	921,6	921,6	32,64	783,36	783,36
22/7/2003	12	46,08	552,96	552,96	32,64	391,68	391,68
24/7/2003	17	46,08	783,36	783,36	32,64	554,88	554,88
26/7/2003	19	46,08	729,6	729,6	32,64	620,16	620,16
28/7/2003	13	46,08	599,04	599,04	32,64	424,32	424,32
30/7/2003	13	46,08	599,04	599,04	32,64	424,32	424,32
3/8/2003	13,5	46,08	622,08	622,08	32,64	440,64	440,64
5/8/2003	15	46,08	691,2	691,2	32,64	489,6	489,6
7/8/2003	17	46,08	783,36	783,36	32,64	554,88	554,88
9/8/2003	11,5	46,08	529,92	529,92	32,64	375,36	375,36
11/8/2003	16	46,08	737,28	737,28	32,64	522,24	522,24
15/8/2003	13	46,08	599,04	599,04	32,64	424,32	424,32
17/8/2003	18	46,08	829,44	829,44	32,64	587,52	587,52
19/8/2003	15	46,08	691,2	691,2	32,64	489,6	489,6
21/8/2003	15	46,08	691,2	691,2	32,64	489,6	489,6
23/8/2003	14	46,08	645,12	645,12	32,64	456,96	456,96
25/8/2003	16	46,08	737,28	737,28	32,64	522,24	522,24
27/8/2003	11	46,08	506,88	506,88	32,64	359,04	359,04
29/8/2003	14	46,08	645,12	645,12	32,64	456,96	456,96
31/8/2003	14	46,08	645,12	645,12	32,64	456,96	456,96
2/9/2003	13	46,08	599,04	599,04	32,64	424,32	424,32
4/9/2003	9	46,08	414,72	414,72	32,64	293,76	293,76
6/9/2003	11	46,08	506,88	506,88	32,64	359,04	359,04
8/9/2003	9	46,08	414,72	414,72	32,64	293,76	293,76
14/9/2003	8	46,08	368,64	368,64	32,64	261,12	261,12
16/9/2003	8	46,08	368,64	368,64	32,64	261,12	261,12
18/9/2003	8	46,08	368,64	368,64	32,64	261,12	261,12
20/9/2003	18	46,08	691,2	691,2	32,64	587,5	587,5
22/9/2003	11	46,08	506,88	506,88	32,64	359,04	359,04
24/9/2003	9	46,08	414,72	414,72	32,64	293,76	293,76
27/9/2003	11	46,08	506,88	506,88	32,64	359,04	359,04
<b>ΣΥΝΟΛΟ (LT)</b>		-	<b>9608,04 ή 9,608 mm</b>	<b>29137,92 ή 29,137 mm</b>		<b>6936 ή 6,936 mm</b>	<b>20971,18 ή 20,971 mm</b>

Αν προσθέσουμε και τις δόσεις του πίνακα 4.2 προκύπτει συνολικά ότι η ποσότητα καθαρού νερού για τον χλοοτάπητα είναι 33887 lt εκ των οποίων τα 10918 lt ήταν

λύμα και για τα κωνοφόρα 25830 lt εκ των οποίων τα 8278 lt ήταν λύμα, οπότε επιτεύχθηκε εξοικονόμηση περίπου 32%.

#### 4.2.2. Πορεία του πειράματος

Στις 29/5/03 πραγματοποιήθηκε η πρώτη άρδευση των μεταχειρίσεων του πειράματος με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου. Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα προέρχονταν από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού της πόλεως του Βόλου. Η μονάδα εξυπηρετεί τους Δήμους Βόλου, Ν. Ιωνίας, Αισωνίας και τη Βιομηχανική περιοχή του Βόλου, συνολικού πληθυσμού 200.000 κατοίκων. Δέχεται 22.000m<sup>3</sup> 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 N, P, K. Όμως, περιείχαν σε μεγάλη ποσότητα ιόντα χλωρίου, σε συγκεντρώσεις που είναι απαγορευτικές για άρδευση καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό, γινόταν μια άρδευση με απόβλητα στις μεταχειρίσεις ΧΛ και ΚΛ, και ακολουθούσαν δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό της γεώτρησης του αγροκτήματος.

Τα απόβλητα διοχετεύονταν στη μαύρη πλαστική δεξαμενή. Μετά την άρδευση με απόβλητα, η δεξαμενή ξεπλένονταν και γέμιζε με καθαρό νερό από μια άλλη δεξαμενή που περιείχε καθαρό νερό. Οι αρδεύσεις και στις 4 μεταχειρίσεις διενεργήθηκαν μέχρι το τέλος του Σεπτεμβρίου 2003. Δεν πραγματοποιήθηκε λίπανση σε καμία μεταχείριση.

Για την εύρεση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων αποβλήτων, διενεργήθηκαν χημικές αναλύσεις, στις εγκαταστάσεις του Βιολογικού καθαρισμού και στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής. Οι παράμετροι που αναλύθηκαν ήταν: B.O.D.<sub>5</sub>, C.O.D., pH, Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.), Cl<sup>-</sup>, Ολικός P, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S.S. (Αιωρούμενα στερεά), Fe, Cu, Zn. Επίσης, έγιναν αναλύσεις και των παραμέτρων του νερού άρδευσης προερχομένου από τη γεώτρηση του αγροκτήματος.

Στις 9/10/03 έγινε δειγματοληψία εδάφους στις μεταχειρίσεις ΚΓ, ΛΓ, ΚΚ και ΛΚ, με σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων.

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το t-κριτήριο, που είναι το καταλληλότερο κριτήριο για τον έλεγχο δύο μέσων όρων ή

σειράς 2 μέσων όρων. Η συλλογή, η ομαδοποίηση και η ανάλυση των δεδομένων έγιναν με το πρόγραμμα Microsoft Excel.

#### 4.3 Είδη φυτών που χρησιμοποιήθηκαν

A) Χλοοτάπητας: *Είδος Festuca arundinacea* cv. Fine Lawn I

Η *Festuca arundinacea* είναι από τους πιο δημοφιλές χλοοτάπητες στην χώρα. Αυτό οφείλεται στο ότι εγκαθίσταται εύκολα και λίγες μέρες μετά την σπορά δίνει φυτά πράσινου χρώματος, που διαρκεί όσο οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη της, ενώ όταν οι συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές, η *Festuca arundinacea* πέφτει σε λήθαργο και παίρνει καφέ χρώμα.

Η *Festuca arundinacea* είναι μια πολυετής χλόη η οποία αυξάνεται γρήγορα κατά τη διάρκεια της άνοιξης και μειώνει τον ρυθμό αύξησής της κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Λόγω του ότι αυξάνεται την άνοιξη, απαιτείται να κρατηθεί ο χλοοτάπητας χωρίς ζιζάνια, γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται προφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα. Χρειάζεται συχνά άρδευση για να παραμείνει ελκυστικός και πράσινος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι καθιερωμένοι χλοοτάπητες έχουν την τάση να αραιώνουν και να σχηματίζουν συμπαγή μάζα και μπορεί να χρειαστούν περιοδική επασπορά κάθε τρία ή περισσότερα έτη. Οι περισσότερες από τις νέες και ελκυστικότερες ποικιλίες αναφέρονται ως “turf-type” tall fescues. Αυτοί οι χλοοτάπητες έχουν λεπτότερα, λογχοειδή φύλλα, χαμηλότερη αύξηση, σκοτεινότερο πράσινο χρώμα και μεγαλύτερη πυκνότητα απ' ότι οι παλαιότερες ποικιλίες. Προσαρμόζεται σε μεγάλη ποικιλία κλιματικών και εδαφικών συνθηκών. Δημιουργεί ένα πυκνό και σφικτό χλοοτάπητα με το έντονο αδελφωμα το οποίο την χαρακτηρίζει, δεν έχει όμως την ικανότητα να έρπει αλλά αναπτύσσεται κατά τούφες (Θυσάνους). Το ριζικό της όμως σύστημα είναι πλούσιο και βαθύ, βαθύτερο από κάθε άλλο ψυχρόφιλο είδος. Για τον λόγο αυτό, αυτό το είδος παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητα στη μεταβατική (ενδιάμεση) κλιματική ζώνη μεταξύ της ψυχρής υγρής και θερμής υγρής ζώνης. Αντεπεξέρχεται με επιτυχία το stress των υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού, ενώ αντέχει σε θερμοκρασίες έως -10 °C χωρίς εμφανή σημεία ζημιών.

Η αντοχή της σε υψηλές θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη όλων των ψυχρόφιλων ειδών χλόης. Ικανοποιητικός είναι επίσης, ο χρωματισμός που διατηρεί κατά την περίοδο των υψηλών θερμοκρασιών, ενώ αντίθετα ο ρυθμός ανάπτυξης μειώνεται πολύ.

Η αντοχή της σε σκιερά μέρη είναι μέτρια, ενώ είναι ανθεκτική σε καταπόνηση και κυκλοφορία. Αναπτύσσεται καλύτερα σε εδάφη με pH που κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 6,5, αλλά μπορεί να κυμαίνεται και από 4,7-8,7. Χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις και ιδιαίτερα, όπου απαιτείται χλοοτάπητας αντοχής στην κυκλοφορία, σφικτός, πυκνός, με χρώμα που να διατηρείται ικανοποιητικό καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου (παιδικές χαρές, πάρκα, πρανή εθνικών οδών κ.λ.π.). Η βελτιωμένη εντατική συντήρησή του με πλούσιες λιπάνσεις και τακτικό κούρεμα εξουδετερώνει αρκετά την αδρότητα που χαρακτηρίζει την εμφάνιση του φυλλώματος. Δεν αντέχει το τακτικό βαθύ κούρεμα και το άριστο ύψος αναπτύξεως κυμαίνεται μεταξύ 4-5cm. Απαιτεί όμως κούρεμα, γιατί διαφορετικά ξυλοποιείται (καλαμώνει) εύκολα και ανθοφορεί (Σπαντιδάκης,1999). Είναι είδος το οποίο λόγω του αδρού φυλλώματος και της υψηλής αναπτύξής του (τούφες, θύσανοι) δεν μπορεί να αναμιχθεί με άλλα είδη ως μίγμα. Στη χώρα μας δεν έχει πρόβλημα από τις χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά σε οριακές καταστάσεις (κάτω του  $-5^{\circ}\text{C}$ ) κιτρινίζει αρκετά, αλλά δεν κινδυνεύει να καταστραφεί. Πολλές φορές, εκτός από το κίτρινο χρώμα παρουσιάζει και έντονο αραϊώμα (ξήρανση βλαστών-αδελφών) κάτω από συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας. Τον κίτρινο αυτό χρωματισμό αποκτά και όταν φθάσει σε οριακά σημεία υψηλών θερμοκρασιών (Σπαντιδάκης,1999). Πολλοί μάλιστα, την προβάλλουν και ως τη μοναδική λύση για περιπτώσεις χρήσεως ψυχρόφιλου είδους σε θερμές περιοχές, που χαρακτηρίζονται από ξηρασία και υψηλά επίπεδα θερμοκρασιών το καλοκαίρι.

Με την προσπάθεια των βελτιωτών, δημιουργήθηκαν και δοκιμάστηκαν εκατοντάδες ποικιλίες που αποτέλεσαν τον πυρήνα μιας νέας ομάδας ποικιλιών της Tall Fescue Dwarf Type (νάνος τύπος). Τα κύρια χαρακτηριστικά του τύπου αυτού είναι:

- Ελαττωμένη ανάγκη κοπής (λιγότερα κουρέματα), λόγω βραδύτερης ανάπτυξης
- Βαθύτερο πράσινο χρώμα φυλλώματος
- Φύλλωμα με λεπτότερη και απαλότερη υφή
- Λιγότερο ορθοφυή ανάπτυξη και κατά συνέπεια καλύτερη κάλυψη του

εδάφους

Επιπλέον, η ποικιλία Fine Lawn I, έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Είναι μια προχωρημένης γενιάς συνθετική ποικιλία προερχόμενη από 16 κλώνους. Όλοι οι γονικοί κλώνοι που επιλέχθηκαν, βασίστηκαν στην πρώιμη ωρίμανση, στην πυκνότητα, στο ελκυστικό χρώμα, στην συμπεριφορά της ποικιλίας και στην ικανότητα απόδοσης παραγωγής του σπόρου. Η ποικιλία Fine Lawn I, έχει ένα πράσινο χυμώδες χρώμα και ελκυστικά μέσου μεγέθους κωνοειδή φύλλα, που δίνουν τελικά ένα πυκνό τάπητα με μεγάλο αριθμό βλαστών. Η ποικιλία Fine Lawn προσαρμόζεται πολύ καλά στη ζέστη, στην ξηρασία, στη σκιά και στο κρύο, ενώ αντέχει περισσότερο στη συχνή χρήση (πάτημα, κακή μεταχείριση κ.λ.π.). Έχει επίσης, βελτιωμένη αντίσταση στους παρακάτω μύκητες:

*Rhizoctonia solani*, *Puccinia coronata*, *Cercospora spp.*, *Fusarium spp.*, *Ustilago stiliformis*, *Erysiphe graminis*, *Phytophthora spp.*

Μία γενική άποψη του πειραματικού δίδεται στην εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.7 Πειραματικά τεμάχια χλοοτάπητα

B) Κωνοφόρα δένδρα

(i) *Juniperus chinensis* cv.Stricta

Είναι ένα αειθαλές δένδρο, που ανθοφορεί τον Απρίλιο και οι καρποί του ωριμάζουν τον Οκτώβριο. Τα αρωματικά άνθη είναι δίοικα και επικονιάζονται με τον άνεμο. Η εγκατάστασή του επιτυγχάνει στα περισσότερα εδάφη, εάν αυτά είναι καλά αποστραγγιζόμενα, προτιμώντας ένα ουδέτερο ή ελαφρά αλκαλικό έδαφος, ενώ προσαρμόζεται και σε πετρώδη εδάφη. Τα μεταφυτευμένα φυτά είναι ανθεκτικά στην ξηρασία, αντέχοντας σε ζεστές ξηρές τοποθεσίες. Είναι ένα αργά αναπτυσσόμενο και μάλλον μικρής διάρκειας ζωής δέντρο. Παράγει νέα βλάστηση από αρχές Μαΐου έως το τέλος Αυγούστου και μπορεί να αυξηθεί έως 50cm ανά έτος σε ύψος κατά τη νεαρή ηλικία (Αθανασόπουλος,2000,<http://www.com.leedw.ac.uk/cgi-bin/pfaf>).

(ii) *Thuja orientalis* cv.Compacta Aurea Nana

Είναι αειθαλές δένδρο και οι καρποί του ωριμάζουν από τον Σεπτέμβριο έως τον Οκτώβριο. Τα άνθη είναι μόνιμα και επικονιάζονται από τον άνεμο. Προτιμά ένα υγρό πηλώδες έδαφος. Αναπτύσσεται καλύτερα σε ξηρές, ελεύθερα αποστραγγιζόμενες περιοχές συχνά με αλκαλική αντίδραση. Είναι ανθεκτικό στις ξηρές, σκονισμένες περιοχές και στην ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων. Προτιμά τοποθεσίες προστατευμένες από τον ήλιο, ενώ μεταφυτεύεται εύκολα (<http://www.comp.Leeds.ac.uk/cgi-bin/pfaf>).

(iii) *Cupressus macrocarpa* cv.Gold Crest

Είναι αειθαλές δένδρο, και η ανθοφορία του είναι από τον Απρίλιο μέχρι τον Ιούνιο. Τα ευωδιαστά φυτά του είναι μόνιμα (τα ξεχωριστά άνθη είναι είτε αρσενικά είτε θηλυκά, αλλά και τα δύο φύλλα μπορούν να βρεθούν στο ίδιο φυτό) και επικονιάζονται μέσω του ανέμου. Αναπτύσσεται σε καλά στραγγιζόμενα πηλώδη ή τυρφώδη εδάφη. Είναι φυτό ανθεκτικό σε θερμές και ξηρές καταστάσεις, ενώ ανέχεται πτωχά αμμώδη εδάφη, αλλά γίνεται πιο ευπαθές σε εντομολογικές προσβολές μετά από μια διαδοχική σειρά ξηρών περιόδων. Δεν αναπτύσσεται καλά σε πετρώδη εδάφη, αλλά ευδοκιμεί σε ασβεστώδη. Είναι πολύ ανθεκτικό σε παραθαλάσσια έκθεση, αλλά όχι ανθεκτικό στον άνεμο σε αβαθή εδάφη. Τα νεαρά δένδρα χρειάζονται υποστύλωση όταν φυτεύονται σε περιοχές με αντίξοες συνθήκες (<http://www.comp.Leeds.ac.uk/cgi-bin/pfaf>).

Μία γενική άποψη του πειραματικού φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 4.8.





Εικόνα 4.8. Πειραματικά τεμάχια κωνοφόρων

#### 4.4 Υγρά απόβλητα – Νερό άρδευσης

Στα μέσα Ιουνίου, πραγματοποιήθηκε η πρώτη άρδευση των μεταχειρίσεων ΧΛ και ΚΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, προερχόμενα από την μονάδα βιολογικού καθαρισμού που λειτουργεί στο Πεδίον Άρεως στο Βόλο.

Τα απόβλητα υφίστανται τριτοβάθμια επεξεργασία, γεγονός που έχει ως συνέπεια, τη μικρή περιεκτικότητά τους σε διάφορα θρεπτικά στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για τα φυτά, όπως Ν, Ρ, Κ. Η περιεκτικότητα των ιόντων χλωρίου ήταν μεγάλη και για το λόγο αυτό, εφαρμόστηκε η πρακτική άρδευσης, όπου η άρδευση των μεταχειρίσεων ΧΛ και ΧΚ με απόβλητα να ακολουθείται από 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:

$$C_a * Q_a / (Q_a + Q_b) + C_b * Q_b / (Q_a + Q_b) = C_{\text{τελ}} \quad (2.5)$$

όπου:

$C_a$  = η συγκέντρωση χλωρίου ( $Cl^-$ ) της μιας ποιότητας νερού  
(καθαρό 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  
(1 καθαρού νερού)

$Q_b$  = ο όγκος που χρησιμοποιείται στη δεύτερη ποιότητα νερού (1 λύματος)

$C_{τελ}$  = η επιθυμητή τελική συγκέντρωση του αναμεμειγμένου νερού  
(έστω  $500 mg/l Cl^-$ )

Παίρνοντας ως αρχικές τιμές τις εξής:

$$C_a = 22 mg/l Cl^-$$

$$C_b = 1400 mg/l Cl^-$$

Επίσης ισχύει ότι:

$$Q_a + Q_b = 1$$

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

Άρα η εξίσωση (2.5) γίνεται:

$$22 mg/l * Q_a + 1400 mg/l * (1 - Q_a) = 500 mg/l$$

$$1378 * Q_a = 900 mg/l$$

$$Q_a = 0,651$$

$$\text{Άρα: } Q_b = 0,351$$

Επομένως προκύπτει, ότι απαιτούνται δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό και μία με λύμα. Τα απόβλητα διοχετεύονταν στην πλαστική δεξαμενή. Μετά την άρδευση με απόβλητα η δεξαμενή ξεπλένονταν με καθαρό νερό για την αποφυγή ανάπτυξης μυκήτων. Δεν πραγματοποιήθηκε λιπαντική αγωγή σε καμία μεταχείριση.

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, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.6 ήταν: B.O.D.<sub>5</sub>, C.O.D.,  $Cl^-$ , Ολικός P,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$ , 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 4.7), με το οποίο γινόταν η άρδευση, από το εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και ελέγχου Περιβάλλοντος.

**Πίνακας 4.6** 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 <sup>-</sup> (mg/l)	1290	0-700	N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	5.5	0-10	Fe <sup>3+</sup> (mg/l)	0.30	0-20
SS (mg/l)	4.0	0-15	C.O.D. (mg/l)	35	0-40	Cu <sup>2+</sup> (mg/l)	0.01	0-5
P (mg/l)	1.2	0-15	B.O.D. (mg/l)	10	1-15	Zn <sup>2+</sup> (mg/l)	0.05	0-10
N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	0.5	0-30	E.C. (dS/m)	3,3	0-3	pH	7.9	6,5-8.5

**Πίνακας 4.7** 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 <sup>-</sup> (mg/l)	22	0-700	N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	17,9	0-10	Fe <sup>3+</sup> (mg/l)	<1	0-20
SS (mg/l)	-	0-15	C.O.D. (mg/l)	-	0-40	Cu <sup>2+</sup> (mg/l)	<1	0-5
P (mg/l)	0,5	0-15	B.O.D. (mg/l)	-	1-15	Zn <sup>2+</sup> (mg/l)	<1	0-10
N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	<1	0-30	E.C. (dS/m)	0,65	0-3	pH	7,65	6,5-8,5

## 4.5 Μετρήσεις

### 4.5.1 Κλιματικά δεδομένα

Μέσω του αυτοματοποιημένου μετεωρολογικού σταθμού του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, λαμβάνονταν σε ωριαία βάση οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα και της βροχόπτωσης. Οι τιμές καταγράφονταν σε Data Logger και επεξεργάζονταν με το πρόγραμμα Excel.

### 4.5.2 Χλοοτάπητας

#### α) Μέτρηση της βιομάζας

Για να βρεθεί η παραγωγικότητα σε ξηρή και χλωρή βιομάζα των δύο μεταχειρίσεων του χλοοτάπητα, γινόταν κοπή του υπέργειου τμήματός της κάθε 15 ημέρες περίπου, με βενζινοκίνητη μηχανή κοπής, τύπου Raser, ισχύος 3,5Hp(εικ.4.9).



**Εικόνα 4.9 :** Κοπή Χλοοτάπητα με μηχανή κοπής τύπου Razer

Η κοπή γινόταν ξεχωριστά για κάθε πειραματικό τεμάχιο του χλοοτάπητα. Το σύνολο της νωπής μάζας κάθε τεμαχίου τοποθετούνταν σε μια πλαστική μαύρη σακούλα απορριμμάτων, η οποία προηγουμένως ζυγιζόταν για την εύρεση του απόβαρου. Για τη μέτρηση του συνολικού νωπού βάρους των τεμαχίων, χρησιμοποιήθηκε η ζυγαριά 12000 D SCS της εταιρείας Precisa Instruments AG. Η ζυγαριά είχε σαν μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος τα 12000g., ελάχιστο βάρος τα 5g, και σφάλμα ανάγνωσης το 1g. Από τη συνολική μάζα κάθε τεμαχίου, λαμβανόταν ένα δείγμα βάρους 200g και τοποθετούνταν σε μια χάρτινη σακούλα. Για τη μέτρηση του δείγματος, χρησιμοποιήθηκε ζυγός της εταιρείας Adam Equipment. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετούνταν σε ξηραντήριο για 48h σε θερμοκρασία 85°C, για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας και τον προσδιορισμό της ξηρής μάζας του χλοοτάπητα. Το ξηραντήριο ήταν της εταιρείας Jermaks. Μετά την ξήρανση, ζυγιζόνταν στον ζυγό WL 3000 της εταιρείας Adam Equipment. Ο ζυγός είχε μέγιστο αναγραφόμενο βάρος 3000g, με διακριτότητα ανάγνωσης τα 0.01g. Από την αρχική μάζα του δείγματος αφαιρούνται η ξηρή μάζα και υπολογίζονται η (%) περιεχόμενη υγρασία κάθε δείγματος. Κατόπιν, γινόταν αναγωγή της ξηράς ουσίας κάθε δείγματος σε απόδοση kg/στρ. για κάθε πειραματικό τεμάχιο. Έγιναν συνολικά 10 κοπές.

### *β) Μέτρηση χλωροφύλλης με εκχύλιση*

Έγινε ανάλυση των φύλλων με την μέθοδο εκχύλισης με αιθανόλη. Χρησιμοποιήθηκαν νωπά φύλλα από τα πειραματικά τεμάχια, ένα γουδί από πορσελάνη, ένα γουδοχέρι, γυάλινοι δοκιμαστικοί σωλήνες, πιπέτες, ένας γυάλινος ογκομετρικός κύλινδρος 25ml, αιθανόλη καθαρότητας 95%, μια συσκευή φυγοκέντρωσης της Hettich Universal και ένα φασματοφωτόμετρο Spectronic 301 της εταιρείας Milton Roy. Η μάζα του δείγματος, ήταν κατά μέσο όρο 0,2 έως 0,5g. Η μάζα αυτή λειοτριβόταν στο γουδί και με την βοήθεια της αιθανόλης λαμβανόταν το εκχύλισμα. Κατόπιν το εκχύλισμα δεχόταν φυγοκέντρωση 3000 στροφές/min, για 5 λεπτά. Το υπερκείμενο διαυγές διάλυμα διοχετευόταν στο φασματοφωτόμετρο, όπου με την βοήθεια ενός πρότυπου διαλύματος, γινόταν εύρεση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης A και B και του αθροίσματος, σε mg/g νωπής μάζας. Για την εύρεση της ξηρής μάζας των φύλλων, λαμβανόταν ένα δείγμα για προσδιορισμό της υγρασίας.

### *γ) Ύψος τελευταίου φύλλου – ακραίου μεριστώματος*

Για την εκτίμηση του ρυθμού αύξησης του χλοοτάπητα γινόταν μέτρηση του ύψους του ακραίου μεριστώματος σε έναν αριθμό 4 φυτών στο πλέγμα κάθε πειραματικού τεμαχίου. Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν μέχρι τις 18/10/2003.

## 4.5.3 Κωνοφόρα

### *α) Ύψος*

Για τον προσδιορισμό της αύξησης των κωνοφόρων των δύο μεταχειρίσεων, λαμβάνονταν το ύψος από όλα τα φυτά κάθε 15 ημέρες. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 6/6/2003 και η τελευταία στις 20/12/2003

### *β) Διάμετρος φυτοκόμης*

Μετρήθηκε η μεταβολή της διαμέτρου της φυτοκόμης με υποδεκάμετρο σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η κάθε μέτρηση γινόταν στο ύψος που αντιστοιχούσε στη μεγαλύτερη διάμετρο της φυτοκόμης των κωνοφόρων.

### *γ) Διάμετρος κύριου βλαστού*

Μετρήθηκε η μεταβολή της διαμέτρου του κύριου βλαστού των κωνοφόρων σε ύψος 10cm από το έδαφος. Χρησιμοποιήθηκε ένα παχύμετρο της εταιρείας INOX, με κλίμακα ανάγνωσης 0-15cm και διακριτικότητα ανάγνωσης 0,05mm. Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 6/6/2003 και η τελευταία στις 26/9/2003.

#### δ) Εκχύλιση χλωροφύλλης

Τον Μάιο του 2003 ελήφθη δείγμα από όλες τις μεταχειρίσεις των 3 ειδών κωνοφόρων, με σκοπό την εύρεση της περιεκτικότητας της χλωροφύλλης στα φύλλα των κωνοφόρων με τη μέθοδο της εκχύλισης, όπως έγινε και στο χλοοτάπητα. Έγιναν μετρήσεις ανά μήνα περίπου, έως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου

#### 4.5.4 Εδαφική Υγρασία

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 (Торр 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:

- α) συσκευή T.D.R.
- β) το probe (αισθητήρας του οργάνου)
- γ) σετ εργαλείων για την εισαγωγή και εξαγωγή του probe
- δ) φορτιστή για της εσωτερικές μπαταρίες της συσκευής T.D.R.
- ε) καλώδιο σύνδεσης της συσκευής T.D.R. με το probe
- στ) καλώδιο σύνδεσης της συσκευής T.D.R. με τον υπολογιστή

Χρησιμοποιήθηκαν ένας αισθητήρας στην μεταχείριση των κωνοφόρων με λύμα, 2 αισθητήρες στην άρδευση των κωνοφόρων με αποκλειστικά καθαρό νερό, δύο αισθητήρες στον χλοοτάπητα που αρδεύονταν με καθαρό νερό και λύμα και δύο αισθητήρες στον χλοοτάπητα που αρδεύονταν αποκλειστικά με καθαρό νερό.

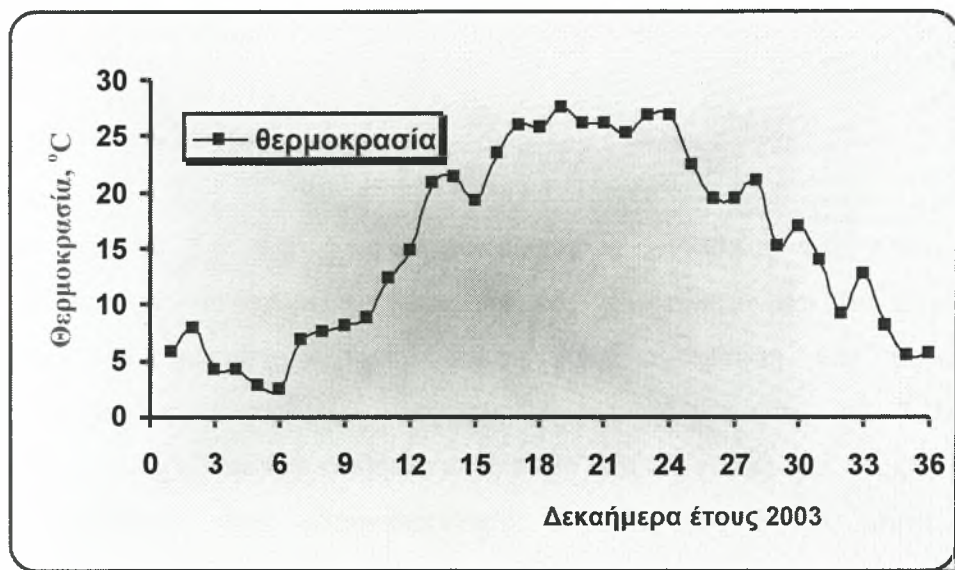
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 5.1 Κλιματικά δεδομένα

##### Μέση θερμοκρασία

Το γράφημα 5.1 μας δίνει την μέση θερμοκρασία ανά μήνα για το έτος 2003, Οι μέσες τιμές θερμοκρασίας ήταν κατά τον μήνα Απρίλιο 12,5°C, το Μάιο 20,4°C, τον Ιούνιο 26,8 °C, τον Ιούλιο 28,2°C, τον Αύγουστο 27,6°C, το Σεπτέμβριο 21,0°C, τον Οκτώβριο 17,3°C, το Νοέμβριο 12 °C και το Δεκέμβριο 6,2 °C. Οι θερμοκρασίες, όπως φαίνεται, ήταν σχετικά χαμηλές ακόμα και κατά τους θερινούς μήνες, κάτι που θεωρείται ιδιαίτερα ευνοϊκό για τις καλλιέργειες, οι οποίες αναπτύσσονται καλύτερα με δροσερό κλίμα.

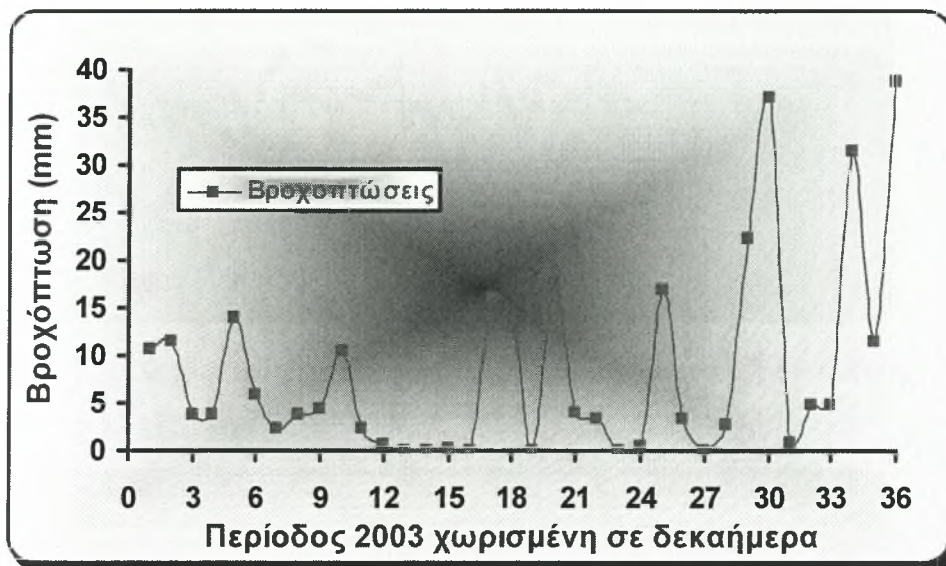


Γράφημα 5.1 Μέση θερμοκρασία της περιοχής του αγροκτήματος για την περίοδο 2003.

##### Μέση βροχόπτωση

Από το Γράφημα 5.2 της μέσης βροχόπτωσης, διαπιστώνουμε ότι, κατά την περίοδο Ιανουαρίου – Δεκεμβρίου 2003, είχαμε συνολική βροχόπτωση 310,6mm

περίπου. Περισσότερο βροχεροί ήταν οι μήνες Ιούνιος, Οκτώβριος και Δεκέμβριος με ποσά βροχόπτωσης 28,9mm, 62,1mm και 81,8mm, αντίστοιχα.



Γράφημα 5.2 Μέση βροχόπτωση της περιοχής του αγροκτήματος για την περίοδο 2003.

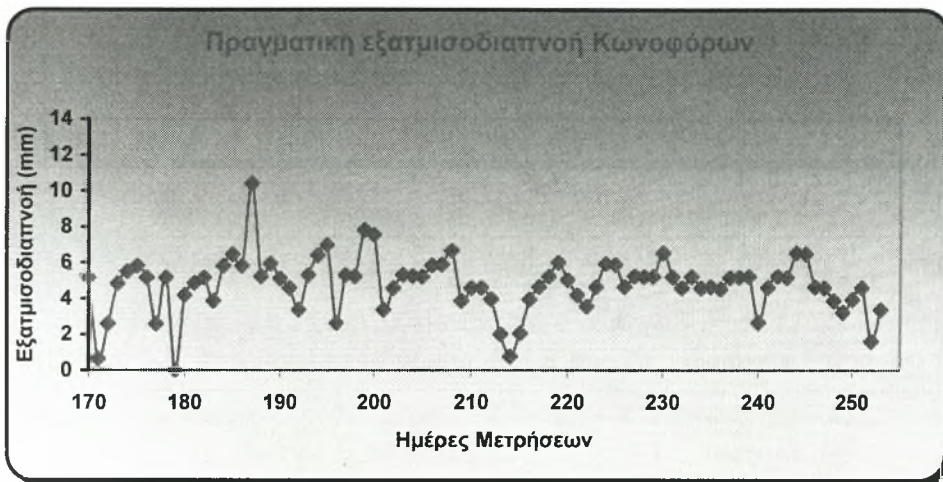
## 5.2 Εξατμισοδιαπνοή

Στα γραφήματα 5.3 και 5.4 παρουσιάζεται η μεταβολή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σε ημερήσια βάση για τον χλοοτάπητα και τα κωνοφόρα, αντίστοιχα. Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή είναι συνάρτηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στην συγκεκριμένη περιοχή μέτρησης. Στις 6 Ιουλίου είχαμε τη μέγιστη εξατμισοδιαπνοή, με τιμή 12,36 mm και γενικά όλο το μήνα Ιούλιο είχαμε υψηλότερες τιμές εξατμισοδιαπνοής από ότι τους άλλους μήνες. Αυτό οφείλεται, στο ότι τον Ιούλιο είχαμε υψηλότερες θερμοκρασίες. Στα επόμενα γραφήματα παρουσιάζονται, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή του χλοοτάπητα και των κωνοφόρων αντίστοιχα, όπως προέκυψαν από τον υπολογισμό τους με χρήση των φυτικών συντελεστών των καλλιεργειών (1,2 για τον χλοοτάπητα και 0,85 για τα κωνοφόρα (Allen et al.,1998)).





Γράφημα 5.3: Διακύμανση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής χλοοτάπητα.



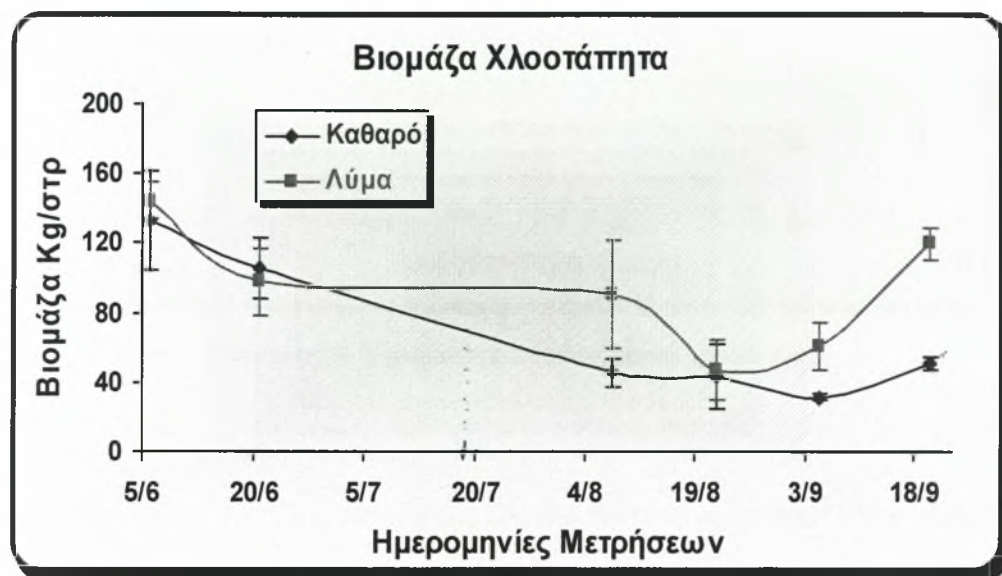
Γράφημα 5.4: Διακύμανση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής κωνοφόρων.

### 5.3 Χλοοτάπητας

#### 5.3.1 Βιομάζα

Από το γράφημα 5.5 φαίνεται, ότι στη συνολική γλωρή βιομάζα σε kg/στρ. ( η μέτρηση της οποίας περιγράφεται στην παράγραφο 4.5.2.α), αρχικά δεν παρουσιάζεται στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (με το νερό της γεώτρησης και με το επεξεργασμένο νερό). Στη συνέχεια, από τις 8/8/2003, παρουσιάζεται αύξηση στη βιομάζα της μεταχείρισης που ποτιζόταν με το λύμα, η οποία σχεδόν είναι διπλάσια από εκείνη που αρδεύτηκε με νερό από τη γεώτρηση (παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές). Η διαφορά αυτή διατηρείται και μέχρι το τέλος, εκτός από μια μικρή πτώση που παρουσιάζεται στις 22/8/2003 και η

τιμή είναι σχεδόν ίση με εκείνη της μεταχείρισης με το νερό της γεώτρησης. Στον πίνακα 5.1 φαίνονται τα αποτελέσματα της Βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων του χλοοτάπητα.



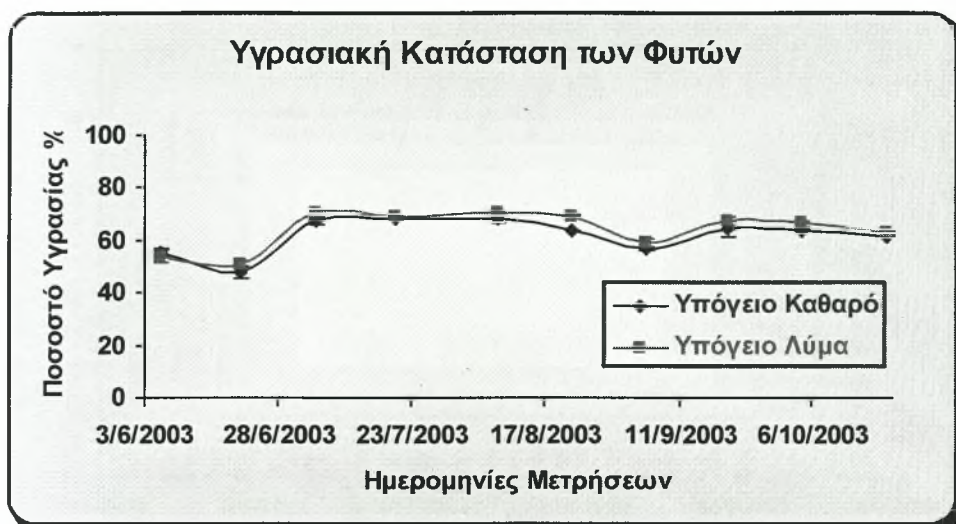
Γράφημα 5.5 Χλωρή βιομάζα χλοοτάπητα

Πίνακας 5.1 Στατιστικά αποτελέσματα χλωρής βιομάζας χλοοτάπητα.

Μεταχείριση	Μέσος όρος (Kg/στρ.)	Τυπική απόκλιση	t-test	Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά ( $\rho=0.05$ )	Σημαντικότητα
Καθαρό Νερό	88,7	19,18709	0,02925347	2,100924	Σ.Σ.Δ.
Λύμα	107,26	15,68128 ( $\rho > 0,1$ )			

### 5.3.2 Υγρασιακή κατάσταση φυτών

Η υγρασιακή κατάσταση των φυτών, η περιεχόμενη δηλαδή υγρασία η οποία μετρήθηκε μετά από ξήρανση δειγμάτων στο φούρνο( παρ. 4.5.2.) κατά τις ημερομηνίες που φαίνονται στο Γράφημα 5.6, ήταν ικανοποιητική και όμοια και για τις δύο μεταχειρίσεις, τόσο για τα αρδευόμενα με νερό της γεώτρησης, όσο και για εκείνα που αρδεύονταν με το επεξεργασμένο νερό.



Γράφημα 5.6 Υγρασιακή κατάσταση φυτών χλοοτάπητα.

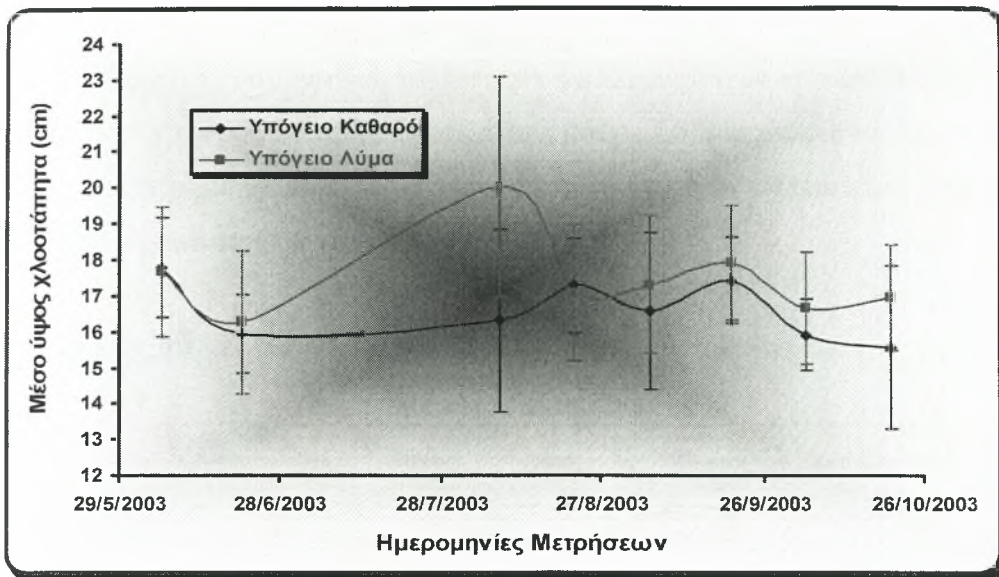
### 5.3.3 Ανάπτυξη φυτών

Ο ρυθμός ανάπτυξης του ύψους του χλοοτάπητα μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα, με κοπή σε ύψος 8cm. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 8 κοπές κατά την περίοδο από 6/6/03 έως 20/10/03. Από τις μετρήσεις δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p=0.05$ ) στην ανάπτυξη του ύψους των δύο μεταχειρίσεων, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.2.

Η ανάπτυξη του χλοοτάπητα παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.7, ως το αθροιστικό ύψος των βλαστών που μετρήθηκε σε κάθε κοπή.

Πίνακας 5.2 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας της ανάπτυξης του μέσου ύψους βλαστών του χλοοτάπητα.

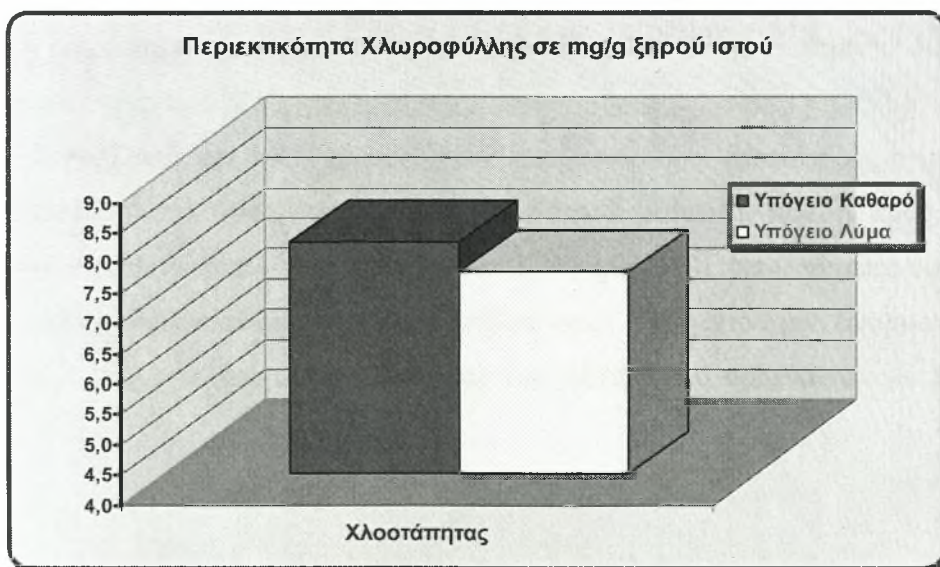
Μεταχείριση	Μέσος όρος (cm)	Τυπική απόκλιση	t-test	Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά ( $p=0.05$ )	Σημαντικότητα
Καθαρό Νερό	16,6	0,811559	0,09978266	2,160368	ΝΣ
Λύμα	17,48281	1,151769			



Γράφημα 5.7 Μέσο ύψος βλαστών του χλοοτάπητα για κάθε μεταχείριση.

#### 5.3.4 Εκχύλιση χλωροφύλλης σε φύλλα χλοοτάπητα

Στο Γράφημα 5.8, απεικονίζεται η μέση περιεκτικότητα των φύλλων του χλοοτάπητα σε χλωροφύλλη A και B. Τα αποτελέσματα αφορούν μετρήσεις, που έγιναν στο εργαστήριο της Χημείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, σύμφωνα με τη μέθοδο που αναφέρεται στην παράγραφο 4.5.1, μετά την εφαρμογή των αποβλήτων στην μεταχείριση του Λύματος.



Γράφημα 5.8 Μέση Περιεκτικότητα των φύλλων χλοοτάπητα σε χλωροφύλλη A και B.

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 5.8, υπερέτρησε η μεταχείριση με καθαρό υπόγειο νερό, με τιμή 7,82mg χλωροφύλλης / g ξηρού ιστού, έναντι 7,34mg χλωροφύλλης / g ξηρού ιστού της μεταχείρισης με λύμα. Η διαφορά αυτή δεν ήταν στατιστικώς σημαντική ( $p=0,05$ ) όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.3.

**Πίνακας 5.3** Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας τιμών εκχείλισης χλωροφύλλης σε φύλλα χλοοτάπητα.

Μεταχείριση	Μέσος όρος εκχείλισης (mg/g)	Τυπική απόκλιση	t-test	Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά ( $p=0.05$ )	Σημαντικότητα
Καθαρό Νερό	7,82	1,95	0,665	2,306	ΝΣ
Λύμα	7,34	1,38			

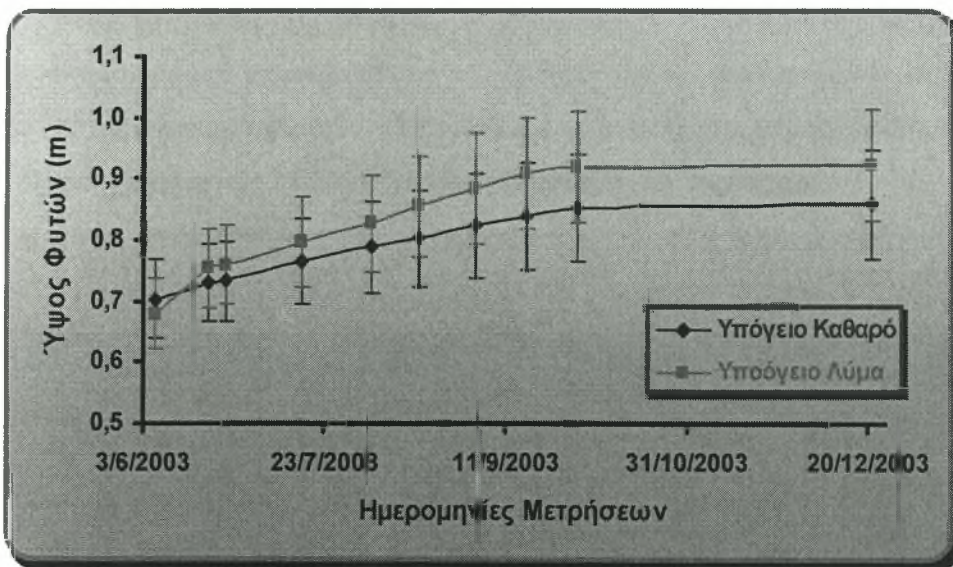
## 5.4 Κωνοφόρα

### 5.4.1 Ύψος κωνοφόρων

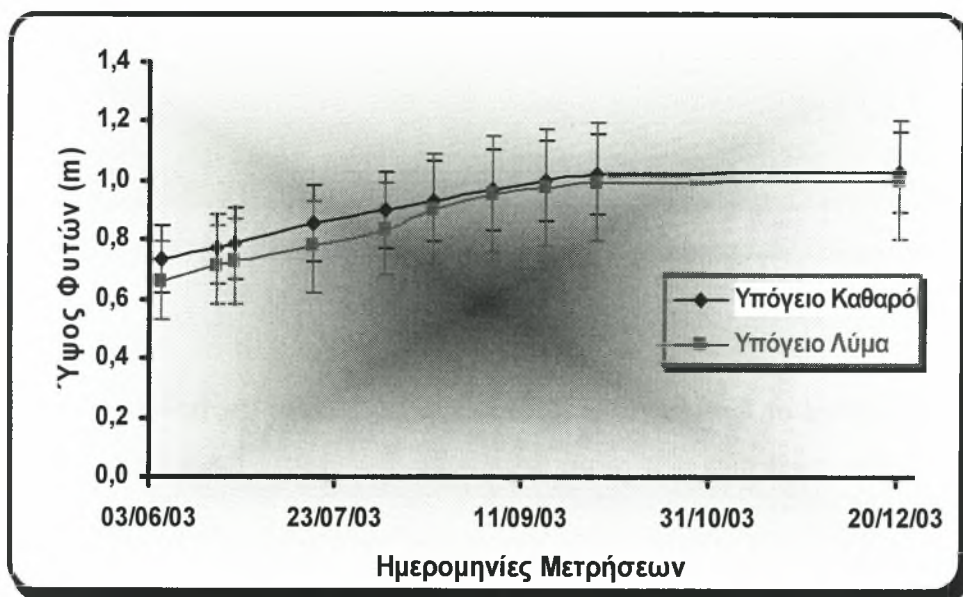
Στα Γραφήματα 5.9, 5.10 και 5.11, που ακολουθούν, παρουσιάζεται η μεταβολή του ύψους των κωνοφόρων για κάθε μεταχείριση.

Στην περίπτωση του *Juniperus* (Γράφημα 5.9), το μέσο ύψος των φυτών της μεταχείρισης ΥΛ, που ήταν μικρότερο του ύψους των φυτών της μεταχείρισης ΥΚ, κατά την έναρξη των αρδεύσεων, κατέληξε μεγαλύτερο με την διαφορά να αυξάνει κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (Ημέρες 147-270), σε επίπεδο όμως, μη στατιστικά σημαντικό.

Στην *Thuja* και τον *Cupressus* δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση στο ύψος, επίσης. Παρ' όλα αυτά φαίνεται, πως η άρδευση με απόβλητα είχε θετική επίδραση στην τούγια (Γράφημα 5.10), όπου το μέσο ύψος των φυτών που αρδεύονταν με λύμα, υστερούσε κατά 7cm πριν την εφαρμογή των αρδεύσεων, αλλά τελικά έφθασε το ύψος των φυτών που αρδεύονταν με καθαρό νερό.



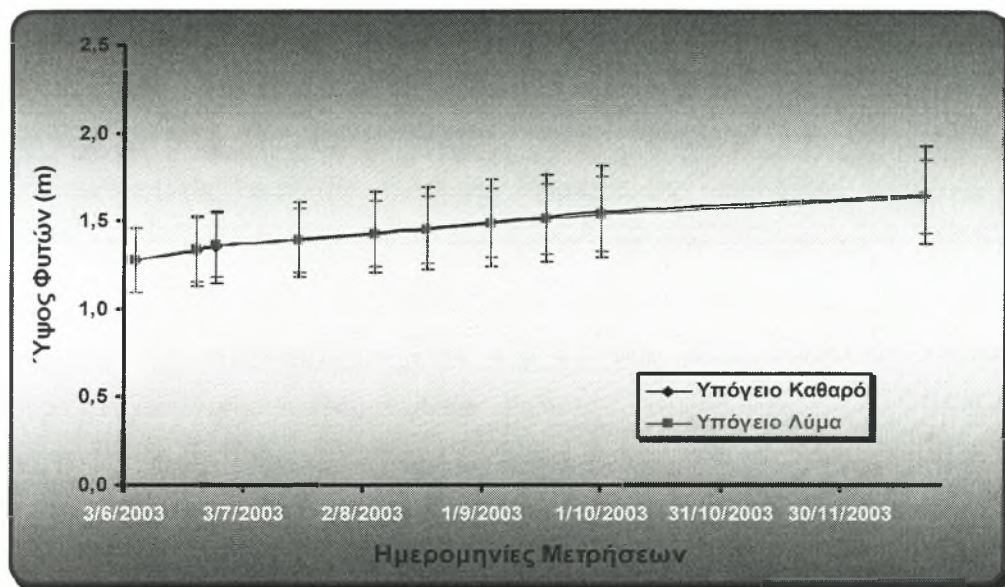
Γράφημα 5.9 Μεταβολή του μέσου ύψος του *Juniperus* για κάθε μεταχείριση.



Γράφημα 5.10 Μεταβολή του μέσου ύψος της για *Thuja* κάθε μεταχείριση.

Στην περίπτωση του *Cupressus* (Γράφημα 5.11), παρατηρείται μια σχεδόν απόλυτη ταύτιση των τιμών του μέσου ύψους των φυτών, καθώς και του ρυθμού αύξησης του ύψους και στις δύο μεταχειρίσεις. Παρατηρείται επίσης, ότι τα φυτά συνεχίζουν να αυξάνονται σε ύψος και μετά το πέρας της εφαρμογής των αρδεύσεων, σε αντίθεση με τον *Juniperus* και την το *Thuja*, όπου μετά το τέλος της αρδευτικής περιόδου, η αύξηση του ύψους των φυτών ήταν ελάχιστη. Η συνεχιζόμενη αύξηση οφείλεται στην αξιοποίηση από τα φυτά του νερού των βροχοπτώσεων που

ακολούθησαν την αρδευτική περίοδο. Η συμπεριφορά του *Cupressus* δείχνει την ευαισθησία του φυτού στην μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και το χλώριο των επεξεργασμένων αποβλήτων. Ο *Cupressus* μπορεί να αποτελέσει φυτό μάρτυρα (control) στην διαδικασία επιλογής φυτών για άρδευση με απόβλητα.



Γράφημα 5.11 Μεταβολή του μέσου ύψους του *Cupressus* για κάθε μεταχείριση.

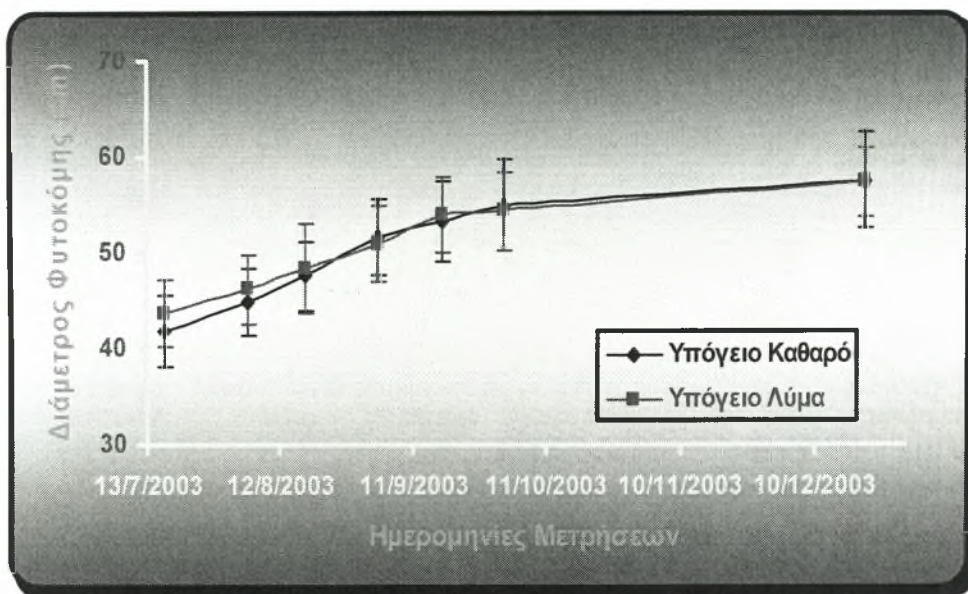
Στον παρακάτω Πίνακα 5.4, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών του ύψους για τα τρία είδη κωνοφόρων.

Πίνακας 5.4 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας τιμών ύψους κωνοφόρων.

	Jyniperus		Thuja		Cupressus	
	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα
Μέση τιμή ύψους (cm)	0,79	0,83	0,9	0,85	1,44	1,44
Τυπική απόκλιση	0,06	0,08	0,108	0,128	0,11	0,11
t-test	0,21		0,397		0,97	
LSD (p=0,05)	2,1		2,1		2,1	
Σημαντικότητα	NS		NS		NS	

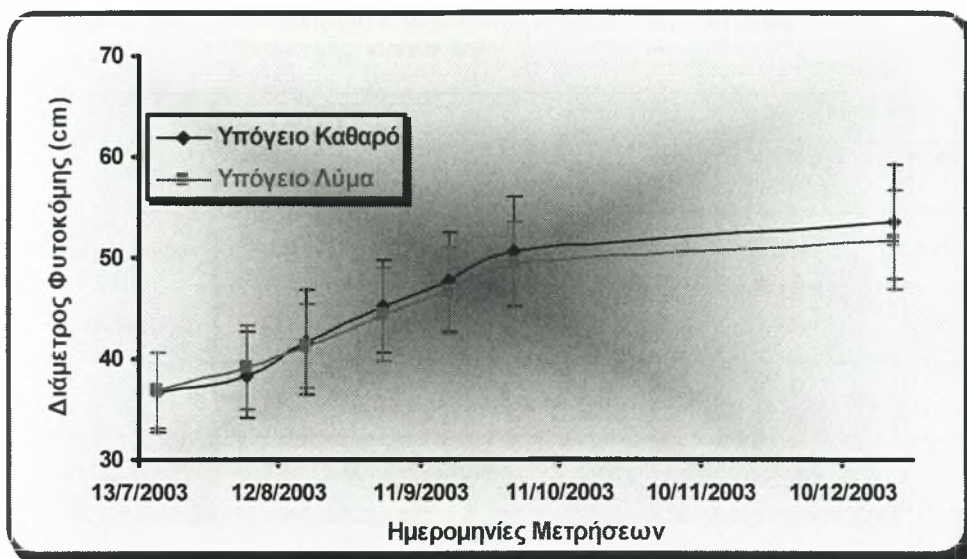
#### 5.4.2 Διάμετρος φυτοκόμης

Ο ρυθμός ανάπτυξης της διαμέτρου της φυτοκόμης των καλλωπιστικών μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 7 μετρήσεις κατά την περίοδο από 17/7/03 έως 21/12/03. Η ανάπτυξη των κωνοφόρων παρουσιάζεται στα γραφήματα 5.12, 4.13 και 4.14 για τον *Juniperus*, την *Thuja* και τον *Cupressus* αντίστοιχα και εκφράζεται με τη μεταβολή της διαμέτρου της φυτοκόμης στο χρόνο για κάθε μεταχείριση. Από τα δεδομένα των μετρήσεων δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p=0.05$ ) στη διάμετρο της φυτοκόμης μεταξύ των μεταχειρίσεων για το *Juniperus* και την *Thuja*. Η διαφοροποίηση της διαμέτρου κατά την διάρκεια της αρδευτικής περιόδου, είναι ελάχιστη και μπορεί να οφείλεται σε σφάλματα κατά την μέτρηση αυτής που μπορεί να έχουν προκύψει από τη δυσκολία στη μέτρηση της φυτοκόμης. Στον *Cupressus* διατηρήθηκε η προυπάρχουσα, από την περίοδο 2003, στατιστικά σημαντική διαφορά στη διάμετρο που ήταν περίπου 10cm.

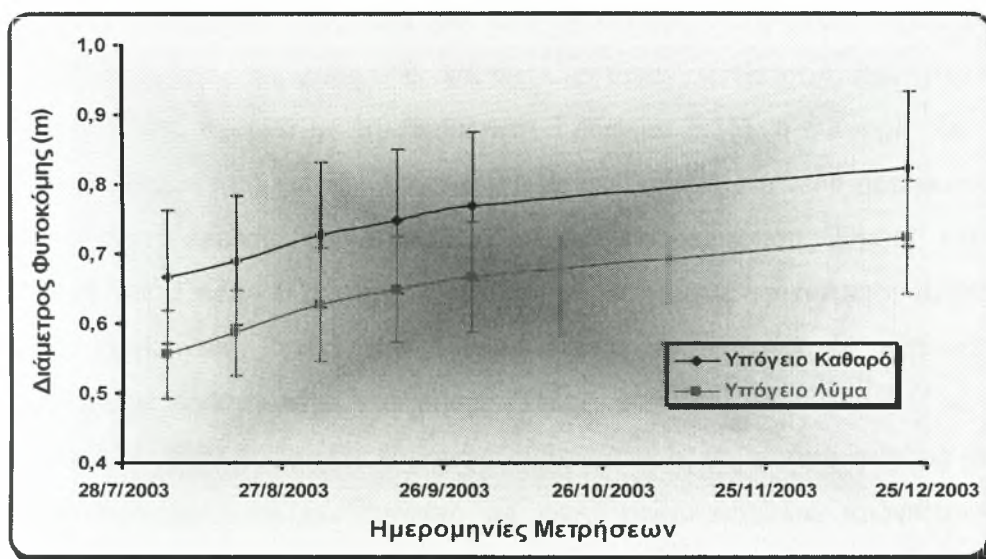


Γράφημα 5.12 Μεταβολή της μέσης διαμέτρου φυτοκόμης του *Juniperus*.





Γράφημα 5.13 Μεταβολή της μέσης διαμέτρου φυτοκόμης της *Thuja* .



Γράφημα 5.14 Μεταβολή της μέσης διαμέτρου φυτοκόμης του *Cupressus* .

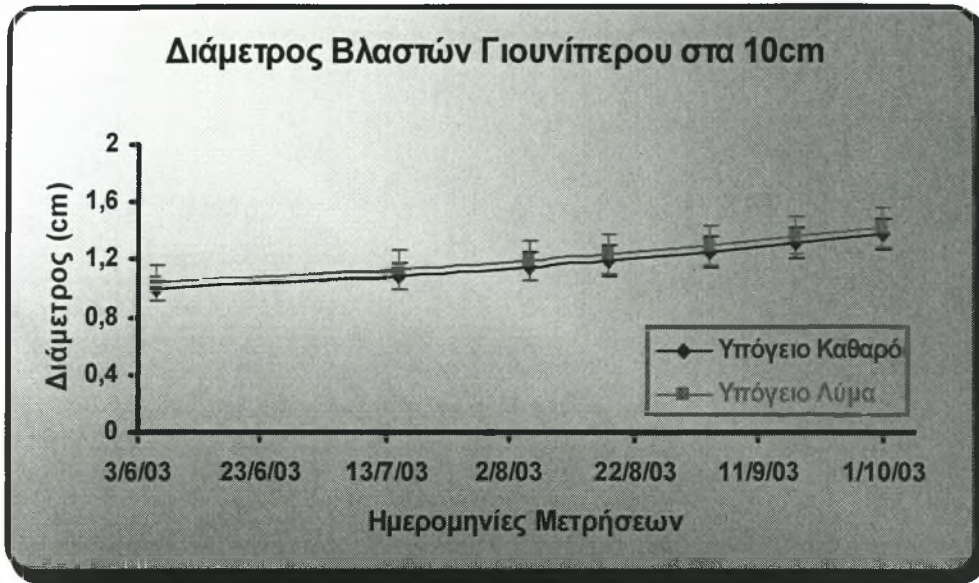
Στον Πίνακα 5.5 που ακολουθεί, δίνονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων της διαμέτρου της φυτοκόμης των κωνοφόρων.

**Πίνακας 5.5** Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας τιμών διαμέτρου Φυτοκόμης κωνοφόρων.

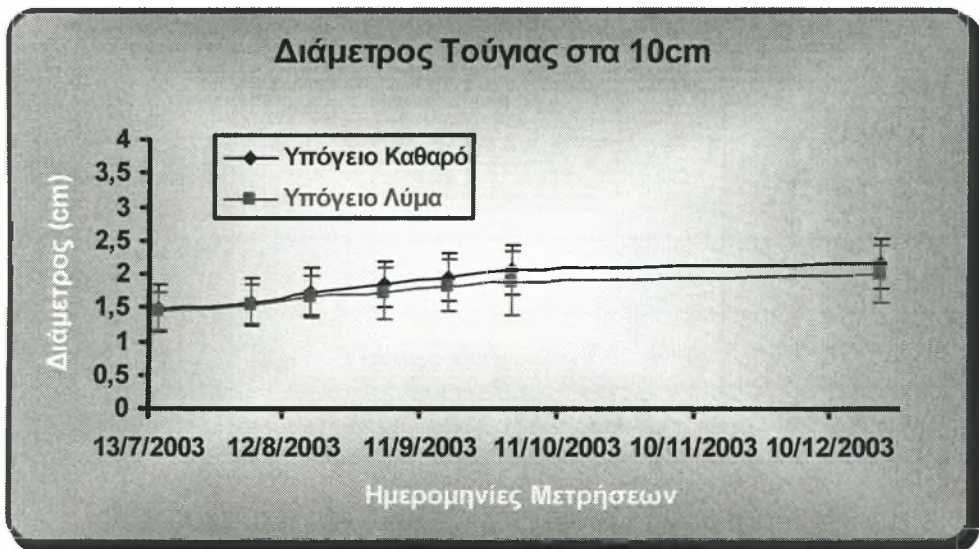
	Juniperus		Thuja		Cupressus	
	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα
Μέση τιμή διαμέτρου (cm)	60,25	60,71	44,8	44,2	0,74	0,63
Τυπική απόκλιση	5,62	4,66	6,22	5,45	0,06	0,06
t-test	0,87		0,84		0,01	
L.S.D.( $p=0,05$ )	2,18		2,1		2,23	
Σημαντικότητα	ΝΣ		ΝΣ		Σ.Σ.Δ.	

#### 5.4.3 Μέτρηση διαμέτρου κυρίου βλαστού σε ύψος 10cm από το έδαφος.

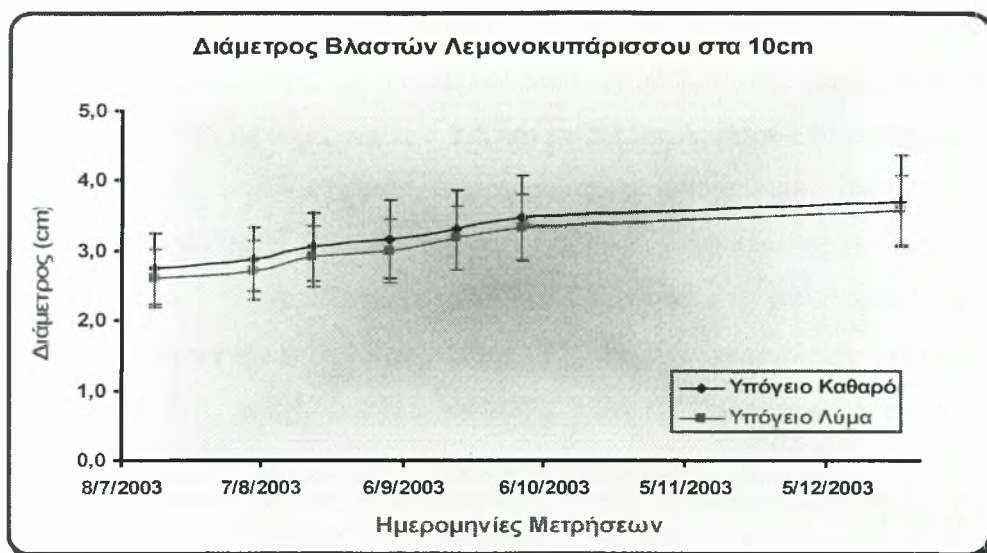
Στα Γραφήματα 5.15, 5.16 και 5.17 παρουσιάζεται η μέση διάμετρος του κυρίου βλαστού του, της *Juniperus* και του *Cupressus*, αντίστοιχα. Στα γραφήματα παρατηρείται ότι, σχετικά με το *Juniperus* (Γράφημα 5.15), η διαφορά δεν είναι στατιστικώς σημαντική, με την αρδευόμενη με επεξεργασμένο νερό μεταχείριση να υπερτερεί έναντι εκείνης, που αρδευόταν με νερό της γεώτρησης. Όμοια, και στην περίπτωση της *Thuja* (Γράφημα 5.16) δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά. Διακρίνεται όμως, μια ελαφρά θετική τάση υπεροχής εκείνων που αρδεύτηκαν με καθαρό νερό γεώτρησης. Τέλος, στην περίπτωση του *Cupressus* (Γράφημα 5.17), η διάμετρος δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (αρδευόμενο με νερό γεώτρησης και αρδευόμενο με επεξεργασμένο νερό).



Γράφημα 4.15 Μέση διάμετρος βλαστών *Juniperus* σε ύψος 10cm από το έδαφος.



Γράφημα 4.16 Μέση διάμετρος βλαστών *Thuja* σε ύψος 10cm από το έδαφος.



Γράφημα 4.17 Μέση διάμετρος βλαστών του *Cupressus* σε ύψος 10cm από το έδαφος.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών των μετρήσεων της διαμέτρου του κύριου βλαστού δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 5.6.

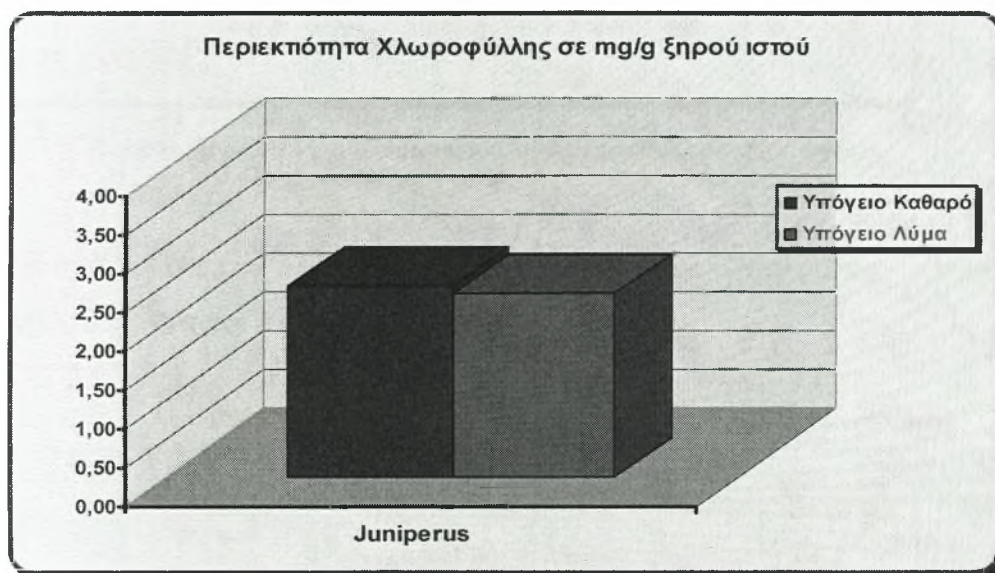
Πίνακας 5.6 Αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του κύριου βλαστού στα κωνοφόρα.

	Juniperus		Thuja		Cupressus	
	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα
Μέση τιμή διαμέτρου στα 10cm, (cm)	1,19	1,23	1,83	1,72	3,18	3,04
Τυπική απόκλιση	0,13	0,13	0,24	0,19	0,34	0,35
t-test	0,53		0,38		0,46	
LSD (p=0,05)	2,1		2,17		2,18	
Σημαντικότητα	NS		NS			

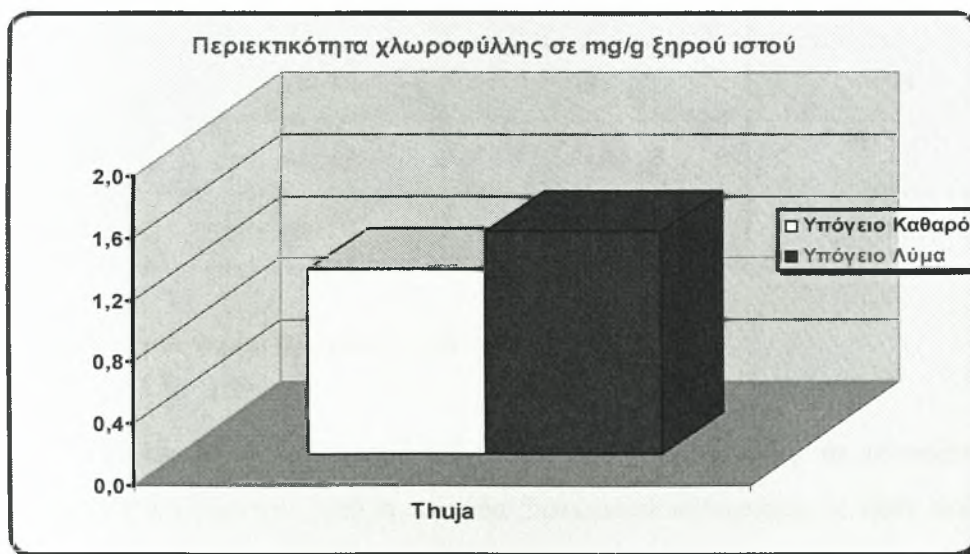
#### 5.4.4. Εκχύλιση γλωροφύλλης σε φύλλα κωνοφόρων

Στα γραφήματα 4.18, 4.19 και 4.20, παρουσιάζεται η μέση περιεκτικότητα σε γλωροφύλλη Α και Β σε mg/g ξηρών φύλλων στα τρία εξεταζόμενα κωνοφόρα. Οι μετρήσεις αναφέρονται στη χρονική στιγμή μετά την εφαρμογή των αποβλήτων στο πείραμα. Από τα αποτελέσματα, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ

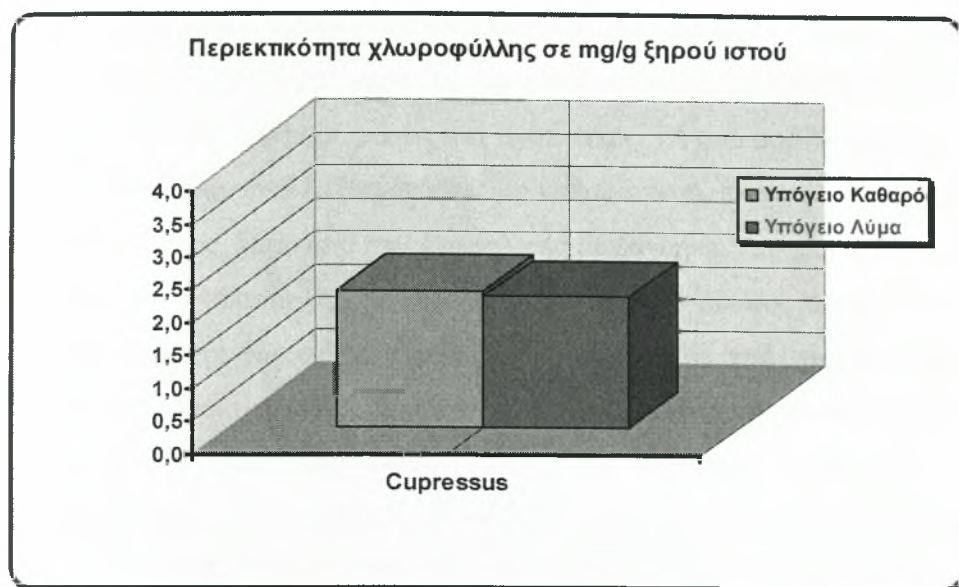
των μεταχειρίσεων του ΥΚ νερού και του ΥΛ και για τα τρία είδη κωνοφόρων. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης παρατηρήθηκαν στο είδος *Juniperus* με 2,31mg/g ιστού στην μεταχείριση του ΥΛ και με 2,25mg/g ιστού στη μεταχείριση του ΥΚ, αντίστοιχα. Στο είδος *Thuja*, υπερέφερε η μεταχείριση του Λύματος με 1,75mg χλωροφύλλης/g ιστού, έναντι 1,63mg χλωροφύλλης/g ιστού στην μεταχείριση του ΥΚ. Αντίθετα, στο είδος *Cupressus*, η μεταχείριση του ΥΚ παρουσίασε συγκέντρωση χλωροφύλλης 2,21mg χλωροφύλλης/g ιστού στην μεταχείριση του ΥΚ, με 2,17 mg χλωροφύλλης /g ιστού στην μεταχείριση του ΥΛ.



Γράφημα 4.18 Μέση περιεκτικότητα των φύλλων του γιουνίπερου (*Juniperus*) σε χλωροφύλλη Α και Β.



Γράφημα 4.19 Μέση περιεκτικότητα των φύλλων της *Thuja* σε χλωροφύλλη Α και Β.



**Γράφημα 4.20** Μέση περιεκτικότητα των φύλλων του *Cupressus* σε χλωροφύλλη Α και Β.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών των μετρήσεων χλωροφύλλης δίνονται στον Πίνακα 5.7.

**Πίνακας 5.7** Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας τιμών χλωροφύλλης κωνοφόρων.

	Juniperus		Thuja		Cupressus	
	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα
Περιεκτικότητα χλωροφύλλης (mg/g)	2459	2361	1196	1441	2079	1988
Τυπική απόκλιση	811	504	497	438	396	670
t-test	0,82		0,43		0,8	
L.S.D.(p=0,05)	2,3		2,3		2,3	
Σημαντικότητα	NS		NS		NS	

### 5.5. Παράμετροι νερού άρδευσης και εδάφους

Οι αναλύσεις του νερού του βιολογικού καθαρισμού ( τα αποτελέσματα των οποίων παραδίδονταν από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού σε κάθε άρδευση με απόβλητα και ο μέσος όρος τους φαίνεται στον πίνακα 4.6), έδειξαν ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) ήταν πλησίον του ορίου καταλληλότητας για άρδευση

καλλιεργειών, και η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου πολύ υψηλή, αφού κυμάνθηκε από 1000 mg/l έως 1650 mg/l, με επιτρεπτά όρια τα 355 mg/l για τις ευαίσθητες καλλιέργειες και 700 mg/l για τις πιο ανθεκτικές (Ayers and Westcot, 1985). Για το λόγο αυτό, έγιναν εναλλάξ αρδεύσεις με καθαρό νερό, ώστε να μειώνεται σημαντικά η επίδρασή τους. Πριν από την έναρξη της διεξαγωγής του πειράματος (2002) έγινε εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού. Το έδαφος ανήκει στην υποομάδα Typic xerochrept της τάξης Inceptisols. Σύμφωνα με την μηχανική ανάλυση που έγινε, είναι αργιλοπηλώδες. Χαρακτηρίζεται ως ελαφρά αλκαλικό σύμφωνα με το pH (Μήτσιος κ.α. 2000). Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι χαμηλή, Ο φώσφορος βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Η τιμή της I.A.K. χαρακτηρίζεται μέση ως υψηλή. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα K, Mg, Na βρίσκονται και αυτά σε υψηλά επίπεδα.

### **5.6 Αποτελέσματα εδαφολογικής ανάλυσης πειραματικού αγρού**

Στους Πίνακες 5.8 και 5.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης πριν και μετά την άρδευση σε πειραματικά τεμάχια του χλοοτάπητα και των κωνοφόρων στις δύο επεμβάσεις, άρδευση με καθαρό νερό και άρδευση με λύμα, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το pH παρέμεινε σχεδόν το ίδιο και σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασε το κρίσιμο σημείο που είναι το 8.5. Από πλευράς ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατηρούμε ότι η τιμές στην άρδευση με απόβλητα του χλοοτάπητα είναι λίγο αυξημένες λόγω της ύπαρξης του χλωρίου, αλλά πολύ μικρότερες του 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  που είναι το όριο ασφαλείας. Το ανταλλάξιμο κατιόν νατρίου παρατηρείται ότι αυξήθηκε στη μεταχείριση με υγρά απόβλητα, αλλά μέσα στα επιτρεπτά όρια. Τα κατιόντα καλίου έχουν ελάχιστες μεταβολές. Η συγκέντρωση ιχνοστοιχείων Fe, Zn, Cu δεν μεταβλήθηκε αισθητά. Ενώ στην αρχή του πειράματος η συγκέντρωση σε  $\text{N03-N}$  ήταν 48 meq/100g, μετά την διετή άρδευση αυτή μειώθηκε περίπου κατά 40 meq/100g τόσο στη μεταχείριση του καθαρού νερού, όσο και των αποβλήτων, επειδή καταναλώθηκε από τα φυτά. Αν και τα απόβλητα είχαν λιγότερα  $\text{N03-N}$  από το νερό της γεώτρησης, δεν υπήρξαν μεγάλες μεταβολές επειδή ο όγκος των αποβλήτων ήταν περίπου το 1/3 του όγκου του καθαρού νερού. Στα υγρά απόβλητα περιέχονταν περισσότερος P με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του P στην μεταχείριση του λύματος. Όπως παρατηρείται στα 0-30 cm το  $\Delta.K.$  έχει συγκέντρωση 6 mg/kg και το  $X.\Lambda.$  3 mg/kg, ενώ στις μεταχειρίσεις του  $K.K.$  και  $K.X.$  οι συγκεντρώσεις είναι 1 mg/kg.

Πίνακας 5.8: Εδαφολογική ανάλυση των μεταχειρίσεων με καθαρό νερό

Παράμετρος	Μεταχείριση με καθαρό νερό								
	0-30 cm			30-60 cm			60-90 cm		
	Πριν την άρδευση	Μετά την άρδευση		Πριν την άρδευση	Μετά την άρδευση		Πριν την άρδευση	Μετά την άρδευση	
Χλοοτάπητας		Κωνοφόρα	Χλοοτάπητας		Κωνοφόρα	Χλοοτάπητας		Κωνοφόρα	
Οργανική Ουσία (%)	1,39	1,17	1,17	1,14	1,24	1,24	1,36	1,04	1,34
pH	7,8	7,9	8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,7	8
CaCO <sub>3</sub> (%)	4,51	2,42	3,52	7,29	3,08	3,08	12,81	4,93	8,76
P (mg/kg)	8	1	1	9	9	5	4	7	5
Ηλ. Αγωγιμότητα (E.C., μS/cm)	300	271	304	300	269	320	300	257	306
Σύνολο διαλυτών αλάτων (%)	0,131	<0,08	<0,16	0,14	<0,11	<0,15	0,14	<0,12	<0,14
I.A.K (meq/100g)	25,8	18,3	18,3	28,6	18,3	17	26,9	18,3	19,1
Na (meq/100g)	0,405	0,27	0,42	0,45	0,17	0,26	0,5	0,3	0,21
K (meq/100g)	0,355	0,19	0,19	0,24	0,15	0,2	0,3	0,18	0,18
Ca (meq/100g)	16,23	-	-	17,93	-	-	16,7	-	-
Mg (meq/100g)	2,81	-	-	3,83	-	-	5,66	-	-
B (meq/100g)	0,5	-	-	0,434	-	-	0,434	-	-
Fe (meq/100g)	4,74	3,54	2,76	6,84	3,2	6	9,5	4,8	6,3
Zn (meq/100g)	11,36	1,08	1,78	1,45	1,9	12,01	3,17	1,9	2,02
Cu (meq/100g)	4,24	3,48	4,98	2,8	3,6	2,4	2,57	3,1	2,9
Mn (meq/100g)	4,62	1,58	2,42	4,58	2,65	4,7	4,91	3,6	4,4
N03-N (meq/100g)	48,05	10,77	9,71	30,06	12,05	15,87	14,3	11,5	9,61
NH4-N (meq/100g)	6,14	1,79	0,58	3,88	1,67	2,25	13,1	1,2	1,2

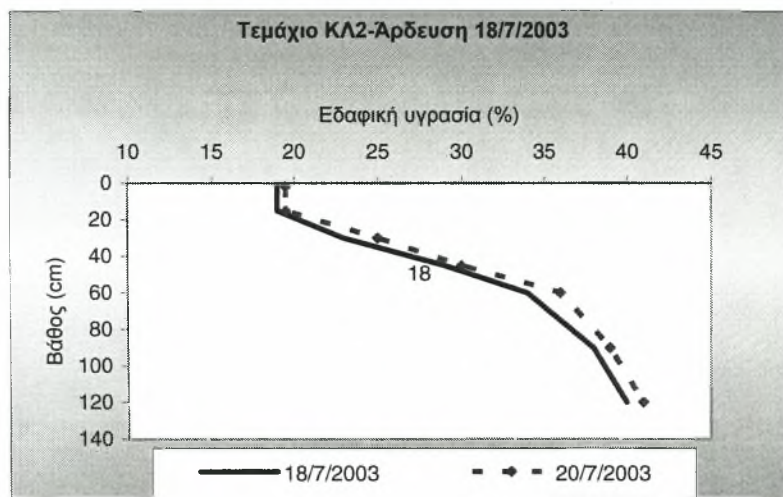


**Πίνακας 5.9:** Εδαφολογική ανάλυση των μεταχειρίσεων με λύμα

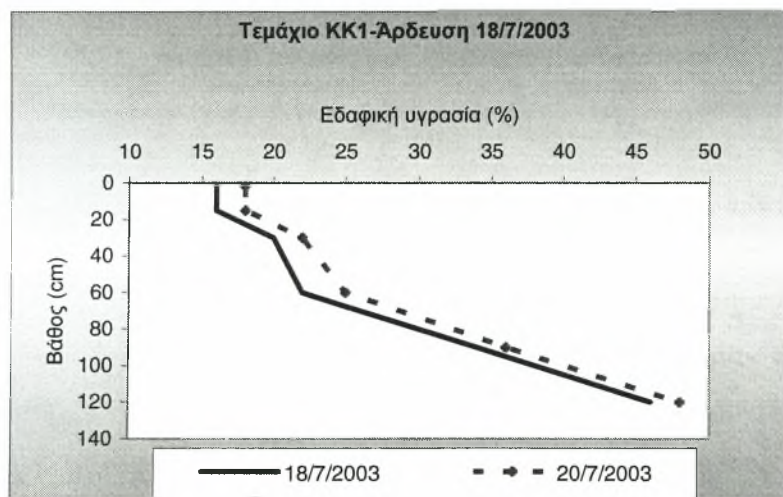
Παράμετρος	Μεταχείριση με λύμα								
	0-30 cm			30-60 cm			60-90 cm		
	Πριν την άρδευση	Μετά την άρδευση		Πριν την άρδευση	Μετά την άρδευση		Πριν την άρδευση	Μετά την άρδευση	
Χλοοτάπητας		Κωνοφόρα	Χλοοτάπητας		Κωνοφόρα	Χλοοτάπητας		Κωνοφόρα	
Οργανική Ουσία (%)	1,4	1,24	1,18	1,17	1,02	1,24	1,36	1,28	1,32
pH	7,9	8	8,3	7,9	7,9	8,2	7,8	7,9	7,8
CaCO <sub>3</sub> (%)	4,55	2,42	3,96	7,36	3,52	3,52	12,2	3,4	3,3
P (mg/kg)	8	3	6	9	5	9	4	5	9
Ηλ. Αγωγιμότητα Ε.Σ., μS/cm)	300	323	339	300	463	579	300	257	306
Σύνολο διαλυτών αλάτων (%)	0,125	<0,11	0,13	0,15	<0,14	<0,14	0,14	<0,11	0,11
I.A.K (meq/100g)	25,8	17,5	18,6	28,1	20,3	19,4	25,8	18,9	17,8
Na (meq/100g)	0,405	1,07	1,83	0,45	0,18	0,18	0,5	0,19	0,22
K (meq/100g)	0,36	0,27	0,19	0,24	0,15	0,15	0,3	0,15	0,26
Ca (meq/100g)	16,23	-	-	17,81	-	-	16	-	-
Mg (meq/100g)	2,81	-	-	3,8	-	-	5,5	-	-
B (meq/100g)	0,5	-	-	0,42	-	-	0,42	-	-
Fe (meq/100g)	4,76	3,26	3	6,7	5,3	7,1	10,2	5,5	8,1
Zn (meq/100g)	11,1	2,02	1,28	1,3	2,04	3,3	3,2	3	4,1
Cu (meq/100g)	4,1	5,22	3,56	2,77	2,6	2,75	2,5	2,45	2,45
Mn (meq/100g)	4,5	1,88	2,26	4,37	4,7	4,46	4,89	4,6	5,7
N03-N (meq/100g)	48,05	14,07	8,93	30,05	13,71	10,59	14,25	0,73	0,75
NH4-N (meq/100g)	6,15	7,13	1,22	3,8	2,64	2	13,6	1,36	3,49

## 5.7 Εδαφική υγρασία

Στα Γραφήματα 5.21α, β και 5.22 α, β παρουσιάζονται τα μέτωπα εδαφικής υγρασίας πριν και μετά την άρδευση, όπως αυτή μετρήθηκε με την συσκευή T.D.R. Διαπιστώθηκε η καλή διύγρυνση του ριζοστρώματος, ανάλογα με την δόση άρδευσης.

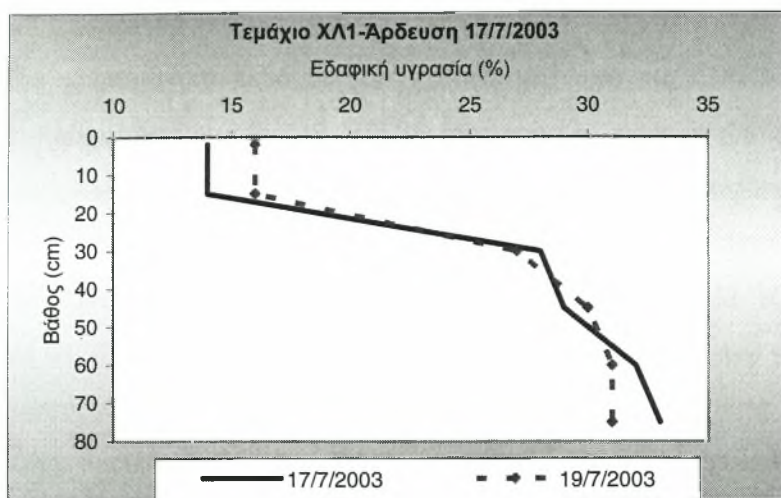


Γράφημα 5.21α

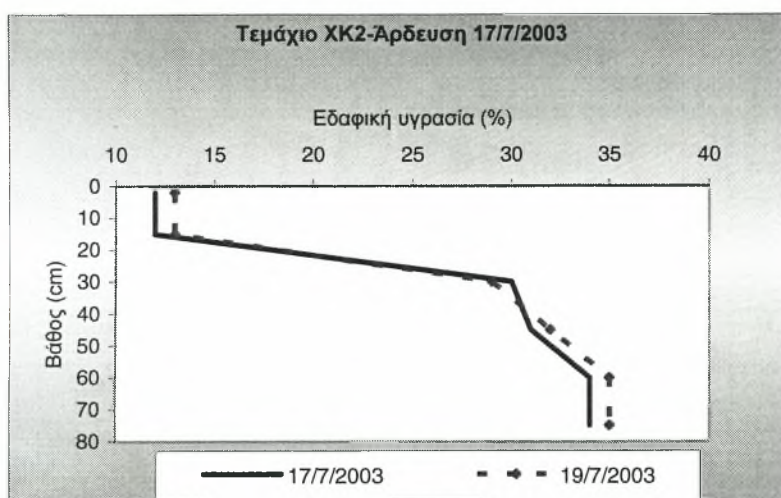


Γράφημα 5.21β

Γραφήματα 5.21α,β: Μέτωπα εδαφικής υγρασίας πριν και μετά την άρδευση των κωνοφόρων.



Γράφημα 5.22α



Γράφημα 5.22β

Γραφήματα 5.22α,β: Μέτωπα εδαφικής υγρασίας πριν και μετά την άρδευση του χλοοτάπητα.

Η μεγαλύτερη αύξηση της εδαφικής υγρασίας σημειώθηκε στο διάστημα 15-45cm. Αυτό ήταν αναμενόμενο, γιατί οι σταλακτήρες ήταν τοποθετημένοι στα 15cm βάθος. Παρατηρήθηκε, ότι στα γραφήματα που αναφέρονται στην εδαφική υγρασία των κωνοφόρων εμφανίζεται μια συνεχόμενη αύξηση της υγρασίας, ανάλογη του βάθους, ενώ αντίθετα στο χλοοτάπητα. παρατηρήθηκε μια αύξηση της υγρασίας έως τα 30cm και μια σταθεροποίησή της από το βάθος των 30cm έως τα 75cm. Επίσης παρατηρείται αύξηση της υγρασίας στα βαθύτερα στρώματα, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ,είτε την ύπαρξη αδιαπέρατου οριζοντα είτε την ύπαρξη στρώσης εδάφους με μικρή υδραυλική αγωγιμότητα(λόγω ύπαρξης υψηλών ποσοστών αργίλου) είτε λόγω της δημιουργίας ασυμπίεστου οριζοντα από τη χρήση των βαρέων μηχανημάτων

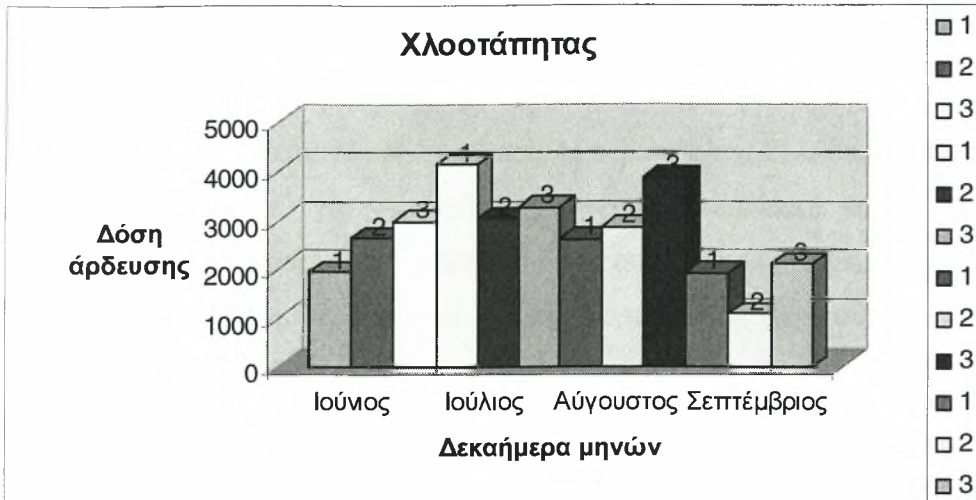
## 5.8 Εξοικονόμηση νερού

Στα πειραματικά τεμάχια του χλοοτάπητα από τις 25/5/2003 μέχρι το τέλος της περιόδου, εφαρμόστηκαν 705,98 mm νερού, εκ των οποίων τα 227,46 mm ήταν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Αντίστοιχα στα κωνοφόρα από τα 538,125 mm νερού που εφαρμόστηκαν τα 172,46 mm ήταν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Προκύπτει επομένως ως συμπέρασμα, ότι υπήρξε μία εξοικονόμηση νερού της τάξεως του 32% περίπου. Στον πίνακα 5.10 καθώς και στα γραφήματα 5.22 και 5.23 παρουσιάζονται οι δόσεις άρδευσης ανά δεκαήμερο. Όπως φαίνεται, η μεγαλύτερη δόση άρδευσης δόθηκε στο πρώτο δεκαήμερο του Ιουλίου με 86,4 mm για τον χλοοτάπητα και 61,2 mm για τα κωνοφόρα.

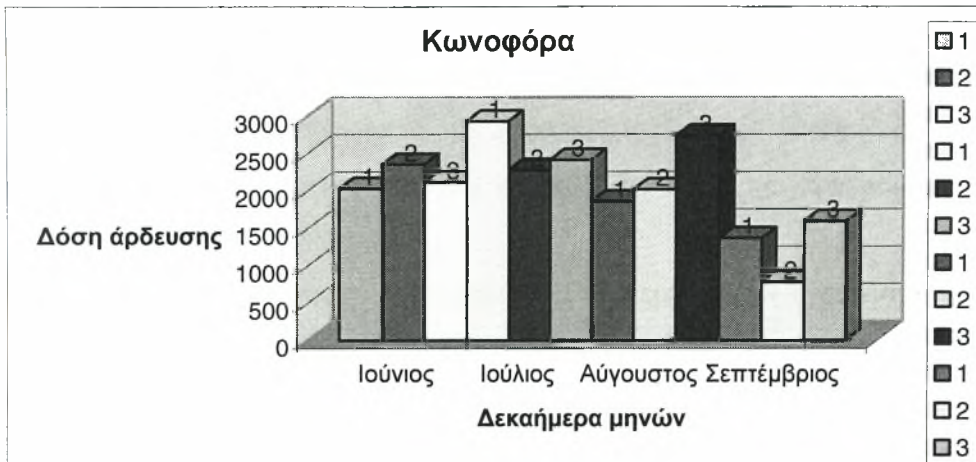
**Πίνακας 5.10:** Δόσεις άρδευσης ανά δεκαήμερο.

	Δόση άρδευσης στον χλοοτάπητα (lt/48m <sup>2</sup> )	Δόση άρδευσης στα κωνοφόρα (lt/48m <sup>2</sup> )
1 <sup>ο</sup> 10ήμερο Ιουνίου	1960	2036
2 <sup>ο</sup> 10ήμερο Ιουνίου	2645,04	2359,32
3 <sup>ο</sup> 10ήμερο Ιουνίου	2995,2	2121,6
1 <sup>ο</sup> 10ήμερο Ιουλίου	4147,2	2937,6
2 <sup>ο</sup> 10ήμερο Ιουλίου	3041,28	2284,8
3 <sup>ο</sup> 10ήμερο Ιουλίου	3264	2415,36
1 <sup>ο</sup> 10ήμερο Αυγούστου	2626,56	1860,48
2 <sup>ο</sup> 10ήμερο Αυγούστου	2856,96	2023,68
3 <sup>ο</sup> 10ήμερο Αυγούστου	3870,72	2741,76
1 <sup>ο</sup> 10ήμερο Σεπτεμβρίου	1935,36	1370,88
2 <sup>ο</sup> 10ήμερο Σεπτεμβρίου	1105,92	783,36
3 <sup>ο</sup> 10ήμερο Σεπτεμβρίου	2119,68	1599,34

Γράφημα 5.22 Δόσεις άρδευσης στις μεταχειρίσεις του χλοοτάπητα ανά 10ήμερο.



Γράφημα 5.23 Δόσεις άρδευσης στις μεταχειρίσεις των κωνοφόρων ανά 10ήμερο.



## Κεφάλαιο 6

### 6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έλλειψη υδατικών πόρων σε πολλές περιοχές της Ελλάδας και επί πλέον το κόστος που απαιτείται για την άρδευση πρασίνου σε αστικά πάρκα και χώρους αναψυχής, οδήγησε στη χρήση άλλων πηγών νερού, όπως είναι για τη συγκεκριμένη έρευνα τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα του βιολογικού καθαρισμού του Δήμου Βόλου.

Από την έρευνα προέκυψε ότι:

Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, με τη χρησιμοποίησή τους για την άρδευση των καλλιεργειών, μπορεί να αποτελέσουν μια ελπιδοφόρα λύση εξοικονόμησης καθαρού νερού για άλλες χρήσεις σε περιοχές, όπου αντιμετωπίζεται έλλειψη νερού.

Τα υγρά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άρδευση χλοοτάπητα και καλλωπιστικών, με άριστα αποτελέσματα ανάπτυξης και με τη χρησιμοποίηση συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης και πρόγραμμα εναλλαγής καθαρού νερού και αποβλήτων.

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 πόλεως του Βόλου ήταν σχετικά πτωχά σε θρεπτικά συστατικά και περιείχαν μεγάλες ποσότητες ιόντων χλωρίου .

Στην περίπτωση του χλοοτάπητα *Festuca arundinacea* παρατηρείται μια εντυπωσιακή παραγωγή βιομάζας στη μεταχείριση με υγρά απόβλητα , σε επίπεδο στατιστικά σημαντικό ,σε σχέση με την παραγωγή βιομάζας στη μεταχείριση με καθαρό νερό του αγροκτήματος . Η ανάπτυξη του ύψους καθώς και το ποσοστό υγρασίας των φυτών δεν παρουσίασε διαφορές στις δύο μεταχειρίσεις

Από τα κωνοφόρα το είδος *Juniperus chinensis* var *Stricta* είναι το μόνο φυτό που σχεδόν όλα του τα χαρακτηριστικά (ύψος,διάμετρος φυτοκόμης , και διάμετρος κύριου βλαστού ) όχι μόνο δεν επηρεάστηκαν αρνητικά από την εφαρμογή των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ,αλλά οι μετρήσεις έδειξαν και μια ελαφρά

υπεροχή των φυτών όπου εφαρμόστηκαν υγρά απόβλητα ,έναντι των αρδευομένων με καθαρό νερό, χωρίς όμως οι διαφορές να είναι στατιστικά σημαντικές.

Στο είδος *Thuja orientalis* var. *Compacta aure nana* , όλα τα χαρακτηριστικά ( ύψος, διάμετρος φυτοκόμης , διάμετρος κύριου βλαστού και χλωροφύλλη) παρουσίασαν μια υπεροχή στα φυτά που αρδεύτηκαν με καθαρό νερό έναντι των φυτών όπου εφαρμόστηκαν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, όμως η στατιστική ανάλυση για πιθανότητα  $p=0,05$  σύμφωνα με το *t*-κριτήριο ,έδειξε ότι η διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική.

Στο είδος *Cupressus macrocarpa* var. *Gold Crest* ,τα αποτελέσματα των έδειξαν μια υστέρηση της αύξησης της διαμέτρου της φυτοκόμης , στα φυτά όπου εφαρμόστηκαν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Η στατιστική ανάλυση για πιθανότητα  $p=0,05$  σύμφωνα με το *t*-κριτήριο ,έδειξε ότι η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική . Στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά οι διαφορές ήταν ελάχιστες(διάμετρος κύριου βλαστού , συγκεντρώσεις χλωροφύλλης) μέχρι και μηδενικές(ύψος).

Τα αποτελέσματα μετρήσεων της χλωροφύλλης έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης υπερερούσαν στη μεταχείριση των υγρών αποβλήτων έναντι της μεταχείρισης με καθαρό νερό, σε επίπεδο όμως όχι στατιστικά σημαντικό για τα είδη *Juniperus* και *Thuja*, ενώ αντίθετα, το είδος *Cupressus*, κατά τη μεταχείριση με υπόγειο καθαρό νερό παρουσίαζε μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωροφύλλης από ότι κατά τη μεταχείριση με υγρά απόβλητα.

Από αυτά τα αποτελέσματα θεωρείται απολύτως συμφέρουσα η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση του χλοοτάπητα και του κωνοφόρου *Juniperus chinensis* var *Stricta* τα οποία φαίνεται ότι είναι ανθεκτικά στα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων αποβλήτων.

Το είδος κωνοφόρου *Thuja orientalis* var. *Compacta aure nana* που φάνηκε ότι δεν διαθέτει την ανθεκτικότητα του *Juniperus* και του χλοοτάπητα. , εν τούτοις δεν παρουσιάζει κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα κατά την άρδυσή της με επεξεργασμένα απόβλητα. Αλλά και η στατιστικά σημαντική διαφορά ανάπτυξης της φυτοκόμης που παρουσίασε η άρδευση του είδους *Cupressus* με επεξεργασμένα απόβλητα, μπορεί να χρησιμεύει για την επιλογή των καταλληλότερων φυτών όταν αποφασίζεται μια τέτοιου είδους καλλιέργεια , όμως δεν αποκλείει και τη χρήση τους, δεδομένου ότι η υστέρηση είναι πολύ μικρή σε σχέση με τη μεγάλη

εξοικονόμηση νερού που επιτυγχάνεται Στην παρούσα μελέτη από τα δεδομένα κατανάλωσης νερού προέκυψε ότι, η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων οδήγησε σε ποσοστό εξοικονόμησης καθαρού νερού 32% περίπου.

Το πείραμα εισέρχεται στο τρίτο έτος διεξαγωγής του με ικανοποιητικά έως τώρα αποτελέσματα. Η πειραματική διαδικασία θα συνεχιστεί και τα επόμενα χρόνια και θα αξιολογηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η συμπεριφορά των φυτών, ούτως ώστε να τεκμηριωθούν καλύτερα τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί έως τώρα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Αγγελάκης, Α. Ν.**, 1987. Η 25<sup>η</sup> Σύνοδος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του FAO για τη Γεωργία και η Χρήση περιθωριακής Ποιότητας Νερών για Άρδευση, Υπουργείο Γεωργίας, Περ/κή Υπηρ. Γεωργίας Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης.
2. **Αγγελάκης, Α. Ν.**, 1989. Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
3. **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
4. **Αγγελάκης, Α. Ν., & Tchobanoglous, G.**, 1995. Υγρά Απόβλητα: Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. Ηράκλειο.
5. **Αθανασόπουλος Α.**, 2000. Καλλωπιστικά κωνοφόρα για την Ελλάδα. Σελ. 173. Εκδόσεις Αγρότυπος. Αθήνα
6. **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
7. **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)
8. **Angelaki, A., Sakellariou-Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C.**, 2002. «Comparison of Green & Ampt and Parlange infiltration equations. Experimental procedure». 5<sup>th</sup> International Conference of EWRA on water resources management in the era of transition. 4-8 September 2002-oral presentation, proceedings, pp172-183. Athens.
9. **Arabatzis, G., Tzimopoulos, C., Sakellariou-Makrantonaki, M., Gianopoulos, S.**, 2001. Estimation of unsaturated flow in layered soil with finite control volume method. *Irrigation and Drainage*, 50:349-358.
10. **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. 2<sup>nd</sup> Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis publishers, Inc., Chelsea, MI.

11. **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.
12. **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.
13. **Ayers R. S. and Westcot, D. W.**, 1985. Water quality for agriculture. F.A.O. Irrigation and drainage paper 29:99-104, Rev 1.
14. **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
15. **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
16. **Bouwer, H. and Idelovitch, E.**, 1987. Quality requirements for irrigation with sewage water. Water reuse for drip irrigation. Journal Irrigation and drainage engineering. ASCE, 113(4):516-535
17. **Dedrick, A. R., Erie, L. J and Clemmens, A. J.**, 1982. Level basin irrigation. In : Advances in irrigation (edited by D. Hillel). Academic Press, N.Y., Vol. 1 :105-145
18. **Hillel, D.**, 1987. The effluent use of water in irrigation. World Bank Technical Paper No 64. The World Bank, Washington D.C.
19. **Kalfountzos, D., Sakellariou – Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C.**, 2002. Study of soil water movement using time domain reflectometry. 17<sup>th</sup> world congress of Soil Science (Proceedings August 14-21, Bangkok, Thailand, Symposium no 4, pp.(42)1-9.
20. **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

21. **Κούγκολος Αθ.**, 2003. Διαχείριση περιβάλλοντος Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος
22. **Μαρκαντωνάτος Γρ.**, 1990. Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων. Επιμέλεια Παν.Γρ. Μαρκαντωνάτος, Β' έκδοση. Αθήνα
23. **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
24. **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 3<sup>rd</sup> International drip/trickle irrigation congress*, November 18-21, Fresno, California USA, pp. 45-50
25. **Πανώρας, Α. Γ., Μαυρουδής 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.
26. **Πανώρας, Α. Γ., Μαυρουδής, Ι. Γ. και Χατζηγιαννάκης Στ. Α.**, 1993. Εφαρμογή της ισοπέδωσης με laser στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. *Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα*, 4 (4):14-19
27. **Πανώρας, Α. Γ., Χατζηαθανασιάδου, Α. Μ., και Τόπη, Χ. Γ.**, 1994. Είδος φθορών και κόστος συντήρησης δικτύων άρδευσης με σταγόνες. *Γεωπονικά*, 35 : 35-40.
28. **Πανώρας Α. και Ηλίας Α.**, 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη- Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη
29. **Panoras A., Evgenides G., Bladenopoulou S., Melidis B., Doitsinis A., Samaras I., Zdragkas A., Matsi T.**, 2001a. Corn irrigation with municipal wastewater. 7<sup>th</sup> International conference on environmental science and technology. Ermoupolis, Syros island, Greece
30. **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
31. **Παπαδόπουλος Α., και Παρισόπουλος Γ.**, 2001. Υγρά απόβλητα που δεν είναι για πέταμα. *Γεωργική Έρευνα*, ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Ιανουάριος- Μάρτιος 2001
32. **Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ.**, 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ 484.

33. Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1999. Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών. Σελ. 347. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη
34. Pettygrove, G. S. and Asano, T., (Eds.), 1988. Irrigation with reclaimed municipal wastewater- A guidance manual. 2<sup>nd</sup> Ed. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
35. Ruskin R., 2000. Subsurface drip irrigation and yields. Geoflow, Inc.
36. Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ., 1996. Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου. Υρδοτεχνικά 6: 62-77.
37. Sakellariou-Makrantonaki, M., 1997. Water drainage in layered soils. Laboratory experiments and numerical simulation. Water Resources Management 11:437-444.
38. Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ., Βαγενάς, Ι., 2003. Υδατοκατανάλωση καλλιεργειών στο Νομό Λάρισας. Υρδοτεχνικά 13: 13-28.
39. Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ., Βαρδούλη, Β., Βύρλας, Μ., 2005. Άρδευση πρασίνου με χρήση υγρών αστικών αποβλήτων. Πρακτικά 4<sup>ο</sup> Εθνικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ) 6-9 Απριλίου, Ξάνθη
40. Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ., Βαρδούλη, Β., Βύρλας, Μ., Κολιού, Α., Παπανίκος, Ν., 2004. Επαναχρησιμοποίηση υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση πρασίνου. Πρακτικά 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου, 7-9 Μαΐου Ορεστιάδα
41. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos D., Vyrlas P., 2001. Irrigation Water Saving and Yield increase with Subsurface Drip Irrigation. Proc. of 7<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology, pp466-473. Ermoupolis, Syros Island, Greece-Sept 2001.
42. 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
43. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., Kapetanios, B., 2002. Water saving using modern irrigation methods. Hydrorama 2002, EYDAP, Athens, Greece.
44. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Τέντας Ι., Κολιού Α., Καλφούντζος Δ., Παπανίκος Ν., 2003. Άρδευση πράσινου με επεξεργασμένα υγρά αστικά

απόβλητα. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη, 29-31 Μαΐου, σελ 265-272

45. **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 21<sup>st</sup> century. IWRA, Madrid, 5-9 October 2003.
46. **Smith R. B., Oster J. D. and Phene C. J.**, 1991. Subsurface drip produced highest net return in westlands area study. California Agriculture 45(2): 8-10
47. **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.
48. **Σπαντιδάκης Ι. Γ.**, 1999. Γράστις. Επιστήμη και τεχνική του χλοοτάπητα. Σελ 284. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα
49. **Τερζίδης, Γ. Α. και Παπαζαφειρίου Ζ. Γ.**, 1997. Γεωργική Υδραυλική. Σελ. 501. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
50. **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
51. **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.
52. **U.S.D.A., Soil conservation service**, 1956. Methods of evaluating irrigation systems. Handbook 82. Government Printing Office, Washington D.C.
53. **Westcot, D. W., and Ayers R. S.**, 1985. Irrigation water criteria. In: Irrigation with reclaimed municipal wastewater – A guidance manual. Third Edition, Pettygrove, G.S., and Asano T. (Eds), Lewis Publishers, In Chelsea, MI.
54. **Χατζηγιαννάκης Στ. και Θεοδώρου, Ν.**, 1991. Η χρήση των ακτινών laser στην ισοπέδωση των χωραφιών. Έκδοση Ι.Ε.Β., σελ. 13. Θεσσαλονίκη.
55. **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



004000074965