

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

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ :
ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ Ph. D.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ ΤΕΝΤΑ ΙΩΑΝΝΗ

ΘΕΜΑ :
ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ
ΑΡΔΕΥΣΗ

N. ΙΩΝΙΑ 2004

«Επαναχρησιμοποίηση Υγρών Αποβλήτων για Άρδευση»



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

Αριθ. Εισ.: 4242/1
Ημερ. Εισ.: 22-12-2004
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
628.43
TEN

Εξεταστική Επιτροπή

Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Καθηγήτρια Αρδεύσεων-Στραγγίσεων-Υδραυλικής

Παν.Θεσσαλίας, Επιβλέπουσα Μεταπτυχιακής Διατριβής

Π. Λόλας, Καθηγητής Ζιζανιολογίας Παν. Θεσσαλίας

Θ. Γέμτος, Αναπλ. Καθηγητής Γεωργικής Μηχανολογίας Παν. Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	σελ. 1
ABSTRACT	σελ. 4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ. 6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	σελ. 9
1.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	σελ. 9
1.1.1. Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία	σελ. 9
1.1.2. Κριτήρια Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας	σελ. 13
1.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	σελ. 17
1.2.1. Συμβατική επεξεργασία	σελ. 19
1.2.1.1. Προκαταρκτική επεξεργασία	σελ. 19
1.2.1.2. Πρωτοβάθμια επεξεργασία	σελ. 19
1.2.1.3. Δευτεροβάθμια επεξεργασία	σελ. 19
1.2.1.4. Τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία	σελ. 22
1.2.1.5. Απολύμανση	σελ. 22
1.2.1.6. Αποθήκευση	σελ. 24
1.3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	σελ. 24
1.4. ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	σελ. 25
1.5. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	σελ. 27
1.5.1. Αλάτωση του εδάφους	σελ. 27
1.5.2. Δηθητικότητα του εδάφους	σελ. 28
1.5.3. Τοξικότητα ιόντων	σελ. 29
1.5.4. Θρεπτικά στοιχεία	σελ. 36
1.5.5. Διάφορα προβλήματα	σελ. 38
1.6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	σελ. 39
1.6.1 Υπόγεια Στάγδην Άρδευση (Υ.Σ.Α.)	σελ. 40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	σελ.47
2.1. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	σελ. 47
2.1.1. Είδη φυτών που χρησιμοποιήθηκαν	σελ. 56
2.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	σελ. 60
2.2.1. Κλιματικά δεδομένα	σελ. 60
2.2.2. Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού	σελ. 60
2.2.3. Χλοοτάπητας	σελ. 61
2.2.4. Κωνοφόρα	σελ. 62
2.2.5. Μέτρηση της υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R.	σελ. 64

2.3. ΑΡΔΕΥΣΗ	σελ. 65
2.3.1. Εξατμισόμετρο	σελ. 67
2.3.2. Υγρά απόβλητα –Νερό άρδευσης	σελ. 71
2.4. ΆΛΛΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΦΡΟΝΤΙΔΕΣ	σελ. 72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	σελ. 73
3.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	σελ. 73
3.2. ΒΑΣΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ	σελ. 74
3.3. ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ	σελ. 75
3.3.1. Ξηρή Βιομάζα	σελ. 75
3.3.2. Χλωροφύλλη με το χλωροφυλλόμετρο	σελ. 76
3.3.3. Ύψος φύλλου-ακραιοῦ μεριστώματος	σελ. 77
3.3.4. Χλωροφύλλη με εκχύλιση	σελ. 78
3.4. ΚΩΝΟΦΟΡΑ	σελ. 79
3.4.1. Ύψος Κωνοφόρων	σελ. 79
3.4.2. Διάμετρος φυτοκόμης Κωνοφόρων	σελ. 81
3.4.3. Δείκτης L.A.I.	σελ. 82
3.4.4. Μήκος πλάγιου βλαστού	σελ. 84
3.4.5. Μέτρηση διαμέτρου κύριου βλαστού	σελ. 85
3.4.6. Εκχύλιση χλωροφύλλης σε φύλλα κωνοφόρων	σελ. 85
3.5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	σελ. 86
3.6. ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ	σελ. 87
3.7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΥΛΛΟΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΣΤΟΝ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ	σελ. 91
3.8. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ T.D.R.	σελ. 92
3.9. ΔΟΣΕΙΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ-ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΝΕΡΟΥ	σελ. 93
3.10. ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ-ΜΟΝΑΔΕΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ	σελ. 94
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ. 95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ. 97

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Το θέμα της μεταπτυχιακής μου διατριβής δόθηκε από την καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Πρόεδρο του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, κ. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κ. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη για την οργάνωση και παρακολούθηση της διατριβής μου σε ολόκληρη την πορεία της, καθώς επίσης και για την πολύτιμη και ουσιαστική συμβολή της στην επίλυση των θεωρητικών και πειραματικών προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά καιρούς. Επίσης την ευχαριστώ για την ηθική της υποστήριξη και την κριτική που άσκησε πριν την ολοκλήρωση της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Πέτρο Λόλα, Διευθυντή του Εργαστηρίου Ζιζανιολογίας και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Θ. Γέμτο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τη διόρθωση, τις συμβουλές και την εξέταση της διατριβής.

Εκφράζονται ευχαριστίες στο μέλος Ε.Τ.Ε.Π. του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος κ. Νικόλαο Παπανίκο, για τη αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος.

Ευχαριστώ τον κ. Δημήτριο Καλφούντζο, ερευνητή του Ι.Χ.Τ.Ε.Λ., για την βοήθεια σε ορισμένες απαραίτητες εργαστηριακές αναλύσεις.

Ευχαριστώ επίσης τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Παναγιώτη Βύρλα, για τη χρήσιμη υπόδειξη μερικών παρατηρήσεων και συμβουλών.

Ακόμη, ευχαριστώ την υποψήφια διδάκτορα κ. Αναστασία Αγγελάκη για την παροχή πληροφοριών σχετικά με ένα μέρος της θεωρητικής υποδομής του πειράματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. και το προσωπικό της μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού, για τη βοήθειά τους και τη διεξαγωγή χημικών αναλύσεων.

Ευχαριστώ το μέλος Ε.Τ.Ε.Π. του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος κ. Σπυρίδωνα Σουίπα, για την παροχή κλιματικών δεδομένων του αγροκτήματος.

Στους Γεωπόνους κ. Δημήτριο Αντωνιάδη, Νικόλαο Κιούλο και Αντώνιο Πασιούδη εκφράζονται θερμές ευχαριστίες για την πολύτιμη συμβολή τους σε μερικά στάδια πραγματοποίησης της μεταπτυχιακής διατριβής.

Ευχαριστώ τη γραμματεία του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για την εξυπηρέτησή της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, όταν αποφεύγεται η διάθεσή τους σε υδάτινους αποδέκτες, μπορούν να αξιοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Σημαντικότεροι αυτών είναι : η άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων με οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων και η χρήση αυτών στη βιομηχανία.

Η άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων, γιατί : α) αποφεύγεται η υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών β) επιτυγχάνεται η φυσική τροφοδοσία του εδάφους και των φυτών με θρεπτικά στοιχεία και γ) τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούν έναν επιπλέον υδάτινο πόρο σε περιοχές όπου υπάρχει πρόβλημα λειψυδρίας.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου στην ανάπτυξη χλοοτάπητα με *Festuca arundinacea* και τριών καλλωπιστικών κωνοφόρων της οικογένειας *Cupressaceae*, των ειδών *Juniperus chinensis* cv. *Stricta*, *Thuja orientalis* cv. *Compacta Aurea Nana*, *Cupressus macrocarpa* cv. *Gold Crest*. Το πείραμα έγινε σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Ύδρευσης Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου και τη μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού Βόλου, που διαθέτει τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας των αποβλήτων.

Το πείραμα εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Η συνολική έκταση που χρησιμοποιήθηκε ήταν 200 m². Η παραπάνω έκταση χωρίστηκε σε 4 τμήματα, που αργότερα αποτέλεσαν αντίστοιχες μεταχειρίσεις. Οι δυο μεταχειρίσεις αρδεύονταν μόνο με καθαρό νερό του αγροκτήματος και οι άλλες δύο με καθαρό νερό και επεξεργασμένα απόβλητα.

Χρησιμοποιήθηκε η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση γιατί δεν τίθεται κάποιο όριο μικροβιολογικών χαρακτηριστικών του αρδευτικού νερού από τον Βιολογικό Καθαρισμό σύμφωνα με τους Bahri and Brissaud (2002). Προηγουμένως είχε γίνει εκχωμάτωση του αγρού σε βάθος 15 cm και τοποθέτηση του αρδευτικού συστήματος. Επίσης, τοποθετήθηκε και ένα προσωρινό σύστημα άρδευσης (καταιονισμός) για την εγκατάσταση του χλοοτάπητα. Η σπορά του χλοοτάπητα έγινε τον Οκτώβριο του 2001. Έγιναν προφυτρωτικές αρδεύσεις μέχρι τα μέσα Νοεμβρίου 2001. Τα χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν στον χλοοτάπητα ήταν : Ξηρή βιομάζα, χλωροφύλλη (με το χλωροφυλλόμετρο SPAD και με εκχύλιση), ύψος μεριστώματος και φύλλου.

Τον Οκτώβριο του 2001, έγινε επίσης η μεταφύτευση των ειδών *Viola tricolor* (Πανσές), *Laurus nobilis* (Δάφνη Απολλώνιος) και του *Pittosporum tobira* (Αγγελική). Εξαιτίας του ότι ακολούθησε ένα διάστημα με εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες (παγετός), τα καλλωπιστικά φυτά καταστράφηκαν. Αυτό το γεγονός είχε σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση του πειράματος, για την εύρεση κατάλληλων ειδών για μεταφύτευση. Από τις εγγενείς δυσχέρειες του πειράματος, αποκτήθηκε σημαντική πείρα για την εκτέλεση παρόμοιων ερευνητικών θεμάτων.

Τον Απρίλιο του 2002 έγινε η μεταφύτευση των κωνοφόρων ειδών από φυτώριο, στη θέση των κατεστραμμένων καλλωπιστικών. Μετρήθηκε το ύψος, η διάμετρος φυτοκόμης, ο δείκτης L.A.I., το μήκος ενός πλάγιου βλαστού, η διάμετρος του κύριου βλαστού, η χλωροφύλλη με εκχύλιση.

Οι αρδεύσεις με απόβλητα πραγματοποιήθηκαν από το 3^ο δεκαήμερο Μαΐου έως 3^ο δεκαήμερο Σεπτεμβρίου. Δεν χορηγήθηκε λίπανση σε καμία μεταχείριση.

Έγιναν χημικές αναλύσεις των επεξεργασμένων αποβλήτων και διαπιστώθηκε μεγάλη συγκέντρωση ιόντων χλωρίου, ενώ τα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονταν σε μικρές συγκεντρώσεις, ιδιαίτερα το N.

Από τις μετρήσεις της ξηρής βιομάζας του χλοοτάπητα, δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην απόδοση των 2 μεταχειρίσεων. Επίσης, κατά τη μέτρηση της χλωροφύλλης με το όργανο SPAD, οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων του καθαρού νερού και του λύματος, δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ($p=0,05$). Τα αποτελέσματα της εκχύλισης χλωροφύλλης ήταν σε συμφωνία με τις μετρήσεις του χλωροφυλλόμετρου, αφού η μεταχείριση του καθαρού νερού υπερτερούσε της μεταχείρισης του λύματος, μη στατιστικά σημαντικά ($p=0,05$).

Οι μετρήσεις του ύψους των κωνοφόρων έδειξαν ότι η μεταχείριση του καθαρού νερού απέδωσε σε μεγαλύτερη αύξηση του ύψους των κωνοφόρων και για τα 3 είδη. Η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική ($p=0,05$) μόνο στο είδος *Thuja*. Από τη μέτρηση της μεταβολής της διαμέτρου της φυτοκόμης, διαπιστώθηκε ότι η μεταχείριση του καθαρού νερού υπερτερούσε έναντι της μεταχείρισης του λύματος και στις 3 καλλιέργειες. Η υπεροχή αυτή ήταν στατιστικά σημαντική ($p=0,01$) στο είδος *Cupressus*. Οι μετρήσεις του δείκτη L.A.I. έδειξαν ότι μόνο στο είδος *Cupressus macrocarpa* cv. Gold Crest υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά υπέρ της μεταχείρισης του καθαρού νερού, για το επίπεδο $p=0,05$. Από τις μετρήσεις της αύξησης του μήκους του πλάγιου βλαστού των κωνοφόρων διαπιστώθηκε ότι οι δυο μεταχειρίσεις δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά για το επίπεδο $p = 0,05$.

Επίσης, η μέση αύξηση της διαμέτρου του κύριου βλαστού δεν διέφερε στις δυο μεταχειρίσεις, για τα τρία είδη κωνοφόρων.

Τα αποτελέσματα της φυλλοδιαγνωστικής του χλοοτάπητα και του εδάφους, έδειξαν ότι δεν είχαμε κάποια σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης των χημικών στοιχείων από τα απόβλητα.

ABSTRACT

The treated municipal wastewater, when its disposal at water recipients is avoided, can be utilized by many ways. The most important of them are : Irrigation of agricultural and urban areas, with economical and environmental benefits, the enrichment of underground waters and the use of it in the industry.

The irrigation of agricultural and urban areas is the most appropriate way of reuse, because i) the degradation of water resources is avoided ii) the soil and the plants are feeded with nutrients iii) the wastewater represents an additional water resource in areas with drought.

In this work, the effect of irrigation with treated wastewater in turf with *Festuca arundinacea* and three conifers of Cupressaceae' family was investigated. The experiment was carried out in collaboration with the biological treatment plant of Volos, which had tertiary system of treatment.

The experiment was located at the University's farm at Velestino. The whole area that was used, was 200 m². This area was divided into 4 parts that constituted respective treatments. Two of them were irrigated with only fresh water from the farm, and the other two were irrigated with wastewater and fresh water.

The system of irrigation that was used, was the SubSurface Drip Irrigation (S.S.D.I.) because there are no limits to the microbiological characteristics of the irrigated water from the Biological treatment (Bahri and Brissaud, 2002). Earlier, the field area had been excavated at a depth of 15 cm for the installation of the irrigation system. For the establishment of the turf, a temporary system of irrigation (sprinklers) was installed. The seeding of the turf was done on October of 2001. The pre-establishment irrigation was done until the middle of November of 2001.

The characteristics from the turf that were measured were : The dry biomass, the chlorophyll (with the extraction method and with the chlorophyllometer SPAD), the height of the meristem and the height of the longest leaf of the turf.

In October of 2001, there have been the transplanting of the ornamental species *Viola tricolor*, *Laurus nobilis*, *Pittosporum tobira*. The ornamental shrubs were destroyed because of the frost that dominated at the winter period. The experiment was delayed due to the necessity of changing the ornamental species with other plants. Significant expert was acquired by the experiment' difficulties.

The transplanting of the conifers was done on April of 2002. The species that were used were : *Juniperus chinensis* cv. *Stricta*, *Thuja orientalis* cv. *Compacta Aurea Nana*, *Cupressus macrocarpa* cv. *Gold Crest*. The conifers characteristics that measured were : the height of the plants, the diameter of the plants' canopy, the LAI index, the length of a lateral shoot, the diameter of the stem and the chlorophyll with the extraction method.

The irrigation was done from the 3rd decade of May until the 3rd decade of September of 2002. No treatment took any fertilizer.

Chemical analyses of the treated wastewater were done. The Chlorine was detected at a big concentration in wastewater. The other nutrients were detected at small concentration, specially the nitrogen (N).

From the measurements of the dry biomass of the turf, it was found that no significant differences between the 2 treatments were observed. Also, the means of the 2 treatments didn't differ significant as regard to the chlorophyll content ($p=0,05$). The results from the extraction were in agreement with the measures from the chlorophyllometer.

The measure of height in the 3 conifers showed that the treatment with the fresh water had better results than the treatment of the wastewater, but it was significant only in the case of the species *Thuja* ($p=0,05$). From the measurements in plants' diameter, it was conducted that the treatment which was irrigated with freshwater, gave better results compared to the treatment of wastewater. From the 3 species, only the species *Cupressus* gave statistically significant difference ($p=0,01$). The L.A.I. index was bigger in the 3 conifers that were irrigated with the wastewater but it was statistically different only in the species *Cupressus*. The measurements of the lateral shoot of the conifers showed that the two treatments didn't differ to the $p=0,05$ level. Also, there have not been observed any difference between the treatment of the freshwater and the wastewater as regard to the increase of the diameter of the stem.

From the analyses in the plants leaves and on the soil, there was no significant addition of toxic elements.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής πληθυσμιακή αύξηση, η ρύπανση και η συνεχής υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών, η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων (μεγάλη κατανάλωση νερού από τον κλάδο της γεωργίας) και οι περιοδικές ξηρασίες, έχουν καταστήσει αναγκαία τη διερεύνηση και ανάπτυξη νέων πηγών νερού. Στις αναπτυγμένες, βιομηχανικές χώρες αυξάνονται και εντείνονται τα προβλήματα, που σχετίζονται με τη διασφάλιση της υδατοτροφοδοσίας και της διάθεσης των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Αντίθετα, στις αναπτυσσόμενες χώρες και ιδιαίτερα σε αυτές με ξηρικά και ημιξηρικά χαρακτηριστικά, υπάρχει η ανάγκη διαθέσιμης τεχνολογίας προσιτού κόστους, για αύξηση των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού και παράλληλη προστασία των φυσικών πόρων και γενικά του περιβάλλοντος (Αγγελάκης, 2000).

Η πολύ σοβαρή επίδραση των υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον, που πολύ συνοπτικά συνίσταται στην ποιοτική υποβάθμιση του νερού, στη ρύπανση ακτών και θαλασσών και στη δημιουργία αισθητικών και άλλων προβλημάτων, έχει επιβάλλει τη λήψη δραστικών διαχειριστικών μέτρων. Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων στοχεύει :

- Στον περιορισμό μέχρι και πλήρους εξάλειψης της ρυπαντικής επίδρασης των αποβλήτων, έτσι που οι ανεπιθύμητες επιδράσεις τους στο περιβάλλον να περιορίζονται ή να εξαλείφονται εντελώς,
- Στην εξοικονόμηση πηγών νερού, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες χρήσεις και
- Σε οικονομικό όφελος με τον εφοδιασμό με νερό και θρεπτικά στοιχεία φυτών ή δένδρων, κατάλληλων για αγροτική εκμετάλλευση ή ανάπτυξη χώρων πρασίνου και αναψυχής.

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

- Ανάπτυξη νέων υδατικών πόρων,
- Προστασία υπαρχόντων υδατικών πόρων, κυρίως σε παράκτιες περιοχές, όπου παρατηρείται διείσδυση αλμυρού νερού σε υπόγειους υδροφορείς,
- Μείωση του κόστους νερού,
- Ανάπτυξη πολιτικής υδατικών πόρων με έμφαση τη διατήρηση πηγών και του φυσικού περιβάλλοντος
- Αξιοπιστία της υδατοπρομήθειας, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές, και

- Ανάπτυξη πολιτικής υδατικών πόρων με έμφαση τη διατήρηση πόρων και φυσικού περιβάλλοντος (Αγγελάκης, 2000).

Σήμερα είναι ευρύτατα παραδεκτό ότι οι εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούν ένα πολύ προσιτό, κυρίως οικονομικά, υδατικό πόρο, ιδιαίτερα κατάλληλο για γεωργική χρήση. Σε εξέλιξη βρίσκονται πολυάριθμα έργα άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών με τέτοιες εκροές σε διάφορες χώρες, όπως στις Νοτιοδυτικές πολιτείες των Η.Π.Α., 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 κυρίως 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 ότι είναι σε εξέλιξη έργα ακόμη για έμμεση παραγωγή πόσιμου νερού, από επεξεργασμένες εκροές αστικών υγρών αποβλήτων, που δείχνουν το υψηλό επίπεδο της υφιστάμενης τεχνογνωσίας. Μερικά τέτοια έργα είναι τα παρακάτω :

Στην πόλη Windhoek, μια πολύ ξηρική πόλη της Ν. Αφρικής, ανακτώνται και επαναχρησιμοποιούνται έμμεσα επεξεργασμένες εκροές αστικών υγρών αποβλήτων για κάλυψη μέχρι και 50 % των συνολικών υδροδοτικών αναγκών της πόλης αυτής, στη διάρκεια των κρίσιμων και ελλειμματικών περιόδων. Το έργο αυτό λειτουργεί επιτυχώς από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 και μέχρι σήμερα τα αποτελέσματα των μελετών δεν δείχνουν δυσμενείς επιδράσεις στη δημόσια υγεία.

Στην επαρχία Clauton της πολιτείας Georgia των Η.Π.Α., λειτουργεί έργο εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα με εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας από τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Οι εκροές εφαρμόζονταν με τη μέθοδο της βραχείας εφαρμογής σε δασική έκταση (10.000 στρ.) και παροχή 53.500 m³ ημερησίως. Ο εμπλουτισμένος υπόγειος υδροφορέας (Pates Greek) χρησιμοποιείται για την υδροδότηση της επαρχίας Clauton.

Στην κοιλάδα του ποταμού Salt στο Φοίνικα της πολιτείας της Αριζόνας, εφαρμόζεται με τη μέθοδο της ταχείας διήθησης (1.000.000 m³ κάθε χρόνο) χλωριωμένη εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας με ενεργό ιλύ, σε συνολική έκταση 160 στρ. και βάθος υδροφόρου ορίζοντα 17 m. Οι ανακτώμενες εκροές πληρούν τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης του σχετικού νόμου της Καλιφόρνιας που θεωρείται ο αυστηρότερος από τους υφιστάμενους σήμερα παγκοσμίως.

Στο San Diego της Καλιφόρνιας, ανακτώνται εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας 113.600 m³ ημερησίως, με φίλτραυση, UV απολύμανση, αντίστροφη όσμωση και στη συνέχεια

διατίθενται στον ταμιευτήρα από τον οποίο υδροδοτείται η πόλη. Διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, ουδεμία επίδραση στη δημόσια υγεία έχουν δείξει. Επίσης, σε ολόκληρη την πολιτεία της Καλιφόρνιας χρησιμοποιούνται σήμερα περισσότερα από $500 \cdot 10^6$ m^3 /έτος.

Τέλος, αναφέρεται ότι σε πολλές άλλες αναπτυγμένες περιοχές του κόσμου επαναχρησιμοποιούνται σημαντικές ποσότητες τέτοιων νερών, όπως στην Ιαπωνία (με ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις υπερδιπλάσιες των δικών μας) $206 m^3$ το 1998 και η επικρατούσα τάση είναι να ξεπεράσουν τα $500 \cdot 10^6 m^3$ τα προσεχή έτη.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η επίδραση της Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου και με καθαρό νερό, σε χλοοτάπητα και σε τρία είδη καλλωπιστικών δένδρων.

Το κεφάλαιο 1 περιλαμβάνει την Ανασκόπηση της Βιβλιογραφίας σχετικά με τα υγρά απόβλητα. Γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων, στις μεθόδους επεξεργασίας, στην ποιότητα των υγρών αποβλήτων, στην άρδευση καλλιεργειών με υγρά απόβλητα, στις συνέπειες της άρδευσης με υγρά απόβλητα. Επίσης αναλύονται οι μέθοδοι άρδευσης και ιδιαιτέρως η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση.

Στο κεφάλαιο 2 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 κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος. Δίνονται τα κλιματικά δεδομένα, η ημερήσια βασική εξατμισοδιαπνοή, τα αποτελέσματα της ανάπτυξης του χλοοτάπητα, τα αποτελέσματα της ανάπτυξης των κωνοφόρων, οι παράμετροι του νερού άρδευσης, η εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού, η φυλλοδιαγνωστική ανάλυση στον χλοοτάπητα, η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. και οι δόσεις άρδευσης στις μεταχειρίσεις.

Στο τέλος δίνονται τα Συμπεράσματα της εργασίας και η Βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1.1. Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

Τα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούνται κατά 99,9 % από νερό με σχετικά μικρές περιεκτικότητες αιωρούμενων και διαλυμένων οργανικών και ανόργανων ουσιών (Πανώρας και Ηλίας, 1999). Η τυπική σύσταση των υγρών αποβλήτων δίνεται στον Πίνακα 1.1.

Μεταξύ των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα απόβλητα είναι οι υδρογονάνθρακες, οι λιγνίνες, τα λίπη, οι εστέρες, τα απορρυπαντικά, οι πρωτεΐνες και τα προϊόντα αποσύνθεσής τους, όπως και σε κάποιες περιπτώσεις ποικίλα φυσικά και συνθετικά οργανικά προϊόντα βιοτεχνικής και οικιακής δραστηριότητας. Όσον αφορά τις ανόργανες ουσίες των αποβλήτων δεν αποκλείεται η παρουσία τοξικών στοιχείων, όπως αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, χαλκός, μόλυβδος, υδράργυρος, ψευδάργυρος. Η συγκέντρωση των στοιχείων αυτών πρέπει να ερευνάται με προσοχή, για να αποφεύγεται η δημιουργία προβλημάτων στα φυτά και στους ανθρώπους. Τα συστατικά των αποβλήτων που πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά, όταν αυτά πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς, δίνονται στους Πίνακες 1.2 και 1.3.

1.1.1. Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία

Επειδή ο κύριος όγκος των αστικών υγρών αποβλήτων αποτελείται από οικιακές εκροές, οι μικροοργανισμοί και τα παράσιτα που βρίσκονται στα ανθρώπινα εκκρίματα υπάρχουν και στα απόβλητα, με συνέπεια την πιθανή διάδοση διαφόρων μολυσματικών ασθενειών. Ο αριθμός των παθογενών οργανισμών στα αστικά υγρά απόβλητα έχει μειωθεί δραστικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες, εξαιτίας της βελτίωσης των συνθηκών υγιεινής και του ελέγχου των ασθενειών με αντιβιοτικά. Βέβαια, οι παθογενείς οργανισμοί που ήταν υπεύθυνοι για τις επιδημίες του παρελθόντος είναι ακόμη παρόντες στα αστικά απόβλητα.

Τα προβλήματα υγείας που είναι δυνατό να προκληθούν από τη χρήση ανεπεξέργαστων ή μερικώς επεξεργασμένων αποβλήτων έχουν μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό από τους Feachem et al. (1980), Mara and Cairncross (1989).

Πίνακας 1.1 Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων

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

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

Καθώς οι κίνδυνοι από τη χρήση των αποβλήτων για την ανθρώπινη υγεία είναι υπαρκτοί, τα ποιοτικά κριτήρια και οι οδηγίες αξιολόγησης της καταλληλότητας των υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς έχουν σαν κύριο στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας. Πολλές χώρες σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές, όπου κατά κύριο λόγο εφαρμόζεται η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων, έχουν θεσπίσει κριτήρια μικροβιακής ποιότητας για να εξασφαλίσουν τη χωρίς κινδύνους χρήση των υγρών αποβλήτων.

Πίνακας 1.2 Συστατικά των υγρών αστικών αποβλήτων που πρέπει να ελέγχονται

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

Πηγή : Pettygrove and Asano (1985).

Πίνακας 1.3 Εργαστηριακές αναλύσεις για την εκτίμηση της ποιότητας των αρδευτικών νερών.

Παράμετρος του νερού	Σύμβολο	Μονάδες	Συνήθεις τιμές στο αρδευτικό νερό	Ενδεικτικές τιμές στο νερό της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού της Θεσσαλονίκης (1997)
Φυσικές Ιδιότητες				
Περιεχόμενα άλατα				
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	EC _w	mmhos/cm ή dS/m ^a	0-3	1,7
Ολικά διαλυμένα στερεά	T.D.S.	mg/L	0-2000	
Θερμοκρασία	T	°C		
Χρώμα-Θολότητα		NTU/JTU ^β		
Σκληρότητα		mg/L eq. CaCO ₃ /L		
Ιζήματα		g/L		
Χημικές Ιδιότητες				
Κατιόντα και ανιόντα				
Ασβέστιο	Ca ⁺⁺	mg/L	0-400	96,0
Μαγνήσιο	Mg ⁺⁺	mg/L	0-60	32,4
Νάτριο	Na ⁺	mg/L	0-900	186,3
Ανθρακικά	CO ₃ ⁻	mg/L	0-3	0,0
Όξινα ανθρακικά	HCO ₃ ⁻	mg/L	0-600	622,2
Χλωριούχα	Cl ⁻	mg/L	0-1100	278,0
Θειικά	SO ₄ ⁻	mg/L	0-1000	
Διάφορα				
Βόριο	B	mg/L	0-2	
Οξύτητα/Αλκαλικότητα			6,5-8,5	7,98
% προσρόφησης Na	SAR	(me/L) ^{1/2}	0-15	4,2
Ιχνοστοιχεία		mg/L		
Βαρέα μέταλλα		mg/L		
Κάδμιο	Cd	mg/L		<0,01
Χαλκός	Cu	mg/L		<0,03
Σίδηρος	Fe	mg/L		0,16
Μόλυβδος	Pb	mg/L		<0,01
Μαγγάνιο	Mn	mg/L		<0,05
Νικέλιο	Ni	mg/L		<0,02
Ψευδάργυρος	Zn	mg/L		0,11
Θρεπτικά				
Νιτρικό N	NO ₃ -N	mg/L	0-10	1,96
Αμμωνιακό N	NH ₄ -N	mg/L		31,5
Φωσφορικός P	PO ₄ -P	mg/L	0-2	3,52
Κάλιο	K	mg/L	0-2	19,5

Πηγή : Ayers and Westcot (1985), Kandiah (1990).

^a dS/m = deciSiemen/m = mmho/cm

^β NTU/JTU = Nephelometric Turbidity Units/Jackson Turbidity Units

Τα επιδημιολογικά δεδομένα που αφορούν στις επιπτώσεις της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων στην ανθρώπινη υγεία, όταν αυτά χρησιμοποιούνται για άρδευση καλλιεργειών, δεν είναι αρκετά για να στηρίξουν με βεβαιότητα και ακρίβεια τα ποιοτικά όρια για την ασφαλή τους χρήση. Υπάρχουν ωστόσο ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες που αναφέρουν αύξηση περιστατικών συγκεκριμένων μολύνσεων που έχουν σχέση με

την άρδευση καλλιεργειών με απόβλητα (Blum and Feachem 1985, Shuval et al. 1985, Strauss and Blumenthal 1989). Τα αστικά απόβλητα εκτός από την περίπτωση κατά την οποία είναι πλήρως επεξεργασμένα, περιέχουν μεγάλη ποικιλία παθογενών οργανισμών και για το λόγο αυτό πρέπει η επεξεργασία, η μεταφορά και η χρησιμοποίησή τους να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή.

Περιορισμένος αριθμός χωρών και πολιτειών των Η.Π.Α. έχουν θεσπίσει κανονισμούς επαναχρησιμοποίησης των αστικών αποβλήτων ανά χρήση. Αυτή τη δεκαετία με την τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων, παρατηρείται μια έντονη δραστηριότητα ανάπτυξης και θέσπισης τέτοιων κριτηρίων. Επίσης, σε άλλες χώρες εκσυγχρονίζονται και αναπροσαρμόζονται οι ισχύοντες κανονισμοί. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ασφαλή χρήση των αποβλήτων από τους Έλληνες αγρότες είναι η σύνταξη κριτηρίων μικροβιακής ποιότητας. Μέχρι τότε όμως μπορούν να υιοθετηθούν κριτήρια άλλων χωρών που επί σειρά ετών χρησιμοποιούν τα απόβλητα στην άρδευση των καλλιεργειών.

1.1.2. Κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας

Το 1989 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας εξέδωσε την Τεχνική Αναφορά Νο 778 (W.H.O., 1989) τα μικροβιακά κριτήρια της οποίας καθώς και ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας για την επίτευξη των συνιστώμενων ορίων δίνονται στον Πίνακα 1.4 (W.H.O., 1989).

Όσον αφορά στα κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης, για χωρίς περιορισμούς άρδευση καλλιεργειών θεωρείται ότι η συγκέντρωση των 1000/100 mL είναι τεχνολογικά εφικτή. Επίσης, στις περιπτώσεις όπου η μόνη εκτιθέμενη ομάδα είναι οι καλλιεργητές δεν τίθεται όριο μικροβιακού φορτίου, καθώς δεν υπάρχουν αποδείξεις για τον κίνδυνο που διατρέχουν αυτοί από τα βακτήρια. Ανεξάρτητα όμως από τη χρήση του νερού κάποια μείωση του βακτηριακού φορτίου είναι επιθυμητή. Η φυσική θανάτωση των παθογενών εξαιτίας της δράσης της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας, της αφυδάτωσης και των φυσικών τους καταστροφών κατά την εφαρμογή των αποβλήτων στα φυτά και το έδαφος μπορεί να επιφέρουν επιπλέον μείωση του φορτίου παθογενών κατά 90-99 % μερικές ημέρες μετά την εφαρμογή του νερού.

Η επιτρεπόμενη συγκέντρωση βακτηρίων εντερικής προέλευσης του Πίνακα 1.4 βρίσκεται μέσα στα όρια που αποδέχονται πολλές χώρες για τα νερά των ποταμών που χρησιμοποιούνται για χωρίς περιορισμούς άρδευση, δίχως να παρατηρηθούν συνέπειες.

Πίνακας 1.4 Βιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων, που συνιστώνται για άρδευση από τον W.H.O.^a

Κατηγορία	Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματώδεις ^b (αριθ. μέσος αρ. αυγών/L) ^γ	Κολοβακτηρίδια Εντερικής προέλευσης	Επεξεργασία των αστικών αποβλήτων, που αναμένεται να δώσει την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα
A	Άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται νωπές, γήπεδα αθλοπαιδιών και πάρκων αναψυχής ^δ	Αγρότες Καταναλωτές κοινό	≤ 1	≤ 1000	Μια σειρά δεξαμεμών σταθεροποίησης σχεδιασμένων για να πετυχαίνουν την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα, ή ισοδύναμη μεταχείριση.
B	Άρδευση δημητριακών, βιομηχανικών φυτών, βοσκών και δένδρων ^ε	Αγρότες	≤ 1	Δε συνιστάται κάποιο όριο	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης για 8-10 ημέρες, ή ισοδύναμη απομάκρυνση ελμίνθων και κολοβακτηριδίων εντερικής προέλευσης.
Γ	Τοπική άρδευση καλλιεργειών της κατηγορίας B, όταν δε συμβαίνει έκθεση αγροτών και κοινού	Καμία	Δεν τίθεται όριο	Δεν τίθεται όριο	Προεπεξεργασία όπως απαιτείται από το σύστημα άρδευσης, αλλά όχι λιγότερο από πρωτοβάθμια καθίζηση.

Πηγή : W.H.O. (1989).

^a Σε ειδικές περιπτώσεις τοπικοί επιδημιολόγοι, κοινωνικοπολιτικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι οδηγίες να προσαρμόζονται κατάλληλα.

^b Είδη *Ascaris* και *Trichuris* και νηματοσκώληκες.

^γ Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου.

^δ Μία πιο αυστηρή οδηγία (≤200 κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης ανά 100 mL) είναι κατάλληλη για κοινόχρηστες επιφάνειες πρασίνου, όπου το κοινό έρχεται σε άμεση επαφή με την αρδευόμενη επιφάνεια.

^ε Στην περίπτωση των οπωροφόρων δένδρων, τα φρούτα των οποίων καταναλώνονται αμέσως μετά την κοπή, η τελευταία άρδευση πρέπει να γίνεται δύο εβδομάδες πριν τη συγκομιδή και δεν πρέπει να συλλέγονται φρούτα από το έδαφος. Άρδευση με καταιονισμό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται.

Οι οδηγίες του Πίνακα 1.3 του πρέπει να ερμηνεύονται και να τροποποιούνται ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιπτώσεις όπου ευαίσθητες σε μολύνσεις ομάδες πληθυσμού έρχονται σε επαφή με απόβλητα. Αντίθετα, σε άλλες περιπτώσεις επιτρέπεται μεγαλύτερη ελαστικότητα. Έτσι, σε περιοχές όπου οι ελμινθικές μολύνσεις δεν είναι ενδημικές, η επιδίωξη απομάκρυνσής τους κατά 99 % δεν είναι απαραίτητη. Επίσης, εδάδιμα προϊόντα όπως τομάτες που προορίζονται για κονσερβοποίηση, φυστίκια που πρόκειται να ψηθούν πριν καταναλωθούν ή γήπεδα που δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για

αρκετές εβδομάδες μετά την άρδευσή τους με απόβλητα, μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν ανήκουν στην κατηγορία Β του Πίνακα 1.4.

Τα βιολογικά κριτήρια που έχουν θεσπιστεί από τις αρμόδιες Υγειονομικές αρχές των κρατών και των οργανισμών έλαβαν υπόψη τους μόνο την ανθρώπινη υγεία και όχι τα αγρονομικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το έδαφος και το φυτό ή την αισθητική του χώρου. Τα βακτηριακά κριτήρια για το αρδευτικό νερό είναι αμφιλεγόμενο θέμα. Έτσι, ενώ τα κριτήρια του W.H.O. για άρδευση χωρίς περιορισμούς είναι λιγότερα από 200/100 mL κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης, άλλα κριτήρια σε διάφορα μέρη του κόσμου είναι πιο αυστηρά.

Επίσης, τα ιολογικά κριτήρια απασχολούν όλο και περισσότερο τη διεθνή κοινότητα, καθώς είναι γνωστά τα προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη μιας παγκόσμιας αποδεκτής μεθόδου προσδιορισμού των ιών, την ύπαρξη μεγάλου αριθμού ειδών ιών και την έλλειψη οργανισμού δείκτη για τους ιούς.

Κατά τη θέσπιση κριτηρίων για τη μικροβιακή ποιότητα των αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση καλλιεργειών γίνεται μια προσπάθεια συμβιβασμού του θεωρητικά επιθυμητού και ασφαλούς για τη δημόσια υγεία με εκείνο που είναι πρακτικά εφικτό. Όρια πολύ αυστηρά θα μπορούσαν να αποκλείσουν τη χρήση του νερού αυτού, με αποτέλεσμα την απώλεια μιας πολύτιμης πηγής νερού.

Δυστυχώς, υπάρχουν κάποιοι κίνδυνοι υγείας που συνδέονται με τη χρήση των αποβλήτων στην άρδευση. Στην πράξη όμως, οι κίνδυνοι ίσως δεν είναι τόσο σοβαροί, όσο δείχνουν οι επιδημιολογικές έρευνες. Αυτή η θέση δεν αναφέρεται βέβαια στις κραυγαλέες παραβιάσεις βασικών κανόνων υγείας, όπως η άρδευση λαχανικών που καταναλώνονται νωπά με ανεπεξέργαστα ή ανεπαρκώς επεξεργασμένα αστικά απόβλητα (Bouwer and Idelovitch, 1987).

Ο Ali (1987) συνιστά δευτέρου βαθμού επεξεργασία (ή άλλη διαδικασία αντίστοιχου βαθμού επεξεργασίας) και χλωρίωση. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τρόπο ιδιαίτερα οικονομικό στις χώρες της Μεσογείου, όπου οι κλιματικές συνθήκες και η σχετικά μικρή αξία της γης ευνοούν τη δημιουργία δεξαμενών σταθεροποίησης, συστήματος που επιτυγχάνει υψηλά ποιοτικά κριτήρια και έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης (Pettygrove and Asano, 1985).

Πίνακας 1.5 Συνιστώμενες οδηγίες για επαναχρησιμοποίηση νερού στην περιοχή της Μεσογείου.

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

Πηγή : Bahri and Brissaud (2002).

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

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

^γ SS : Αιωρούμενα στερεά.

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

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

^σ Δεξαμενές σταθεροποίησης.

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

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

1.2. Μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων

Τα αστικά ή βιομηχανικά υγρά απόβλητα πριν από τη διάθεσή τους πρέπει να υποστούν κάποια επεξεργασία για να αποφευχθούν πιθανοί κίνδυνοι για το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες με σκοπό τη μείωση του οργανικού φορτίου, των αιωρούμενων στερεών και των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο επιθυμητός βαθμός επεξεργασίας εξαρτάται από τον τελικό χρήστη ή αποδέκτη των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (άρδευση, βιομηχανία, εκβολή σε τουριστικές παραλιακές ζώνες κ.λ.π.). Η βέλτιστη εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι αυτή που παράγει την επιθυμητή ποιότητα νερού, με λογικό κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης. Τα στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι τα εξής:

A. Η διαθεσιμότητα και το κόστος γης στη θέση που πρόκειται να εγκατασταθεί η μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

B. Η διαθεσιμότητα των κεφαλαίων για την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση του συστήματος.

Γ. Οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας και το κόστος τους.

Δ. Η χρήση για την οποία προορίζονται τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, η οποία καθορίζει το βαθμό και το είδος της επεξεργασίας που πρέπει να επιτυγχάνεται στην εγκατάσταση.

E. Ο πληθυσμός της κοινότητας από την οποία προέρχονται τα απόβλητα και η σχεδιαζόμενη μελλοντική επέκτασή της.

ΣΤ. Οι επικρατούσες κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Z. Το οικονομικό, κοινωνικό, μορφωτικό επίπεδο καθώς και η νομοθεσία της περιοχής για την οποία σχεδιάζεται επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων.

Ο όγκος των παραγόμενων υγρών αποβλήτων εξαρτάται από τον πληθυσμό της κοινότητας και τη μέση κατά κεφαλή κατανάλωση νερού, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα του νερού, το επίπεδο ζωής, τις κοινωνικές και πολιτισμικές συνθήκες κ.λ.π.

Στον Πίνακα 1.6 δίνονται ενδεικτικές τιμές κατανάλωσης νερού ανά κάτοικο σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Πίνακας 1.6 Ενδεικτικές τιμές κατανάλωσης νερού ανά κάτοικο σε διάφορες χώρες του κόσμου

Χώρα	Κατανάλωση νερού ανά κάτοικο L/ημέρα
Ιταλία	150-350
Καναδάς και Η.Π.Α.	400-500
Ιαπωνία	300-500
Ελβετία	500
Σαουδική Αραβία	300
Ιορδανία	60-100

Πηγή : Degremont (1979), Rowe et al. (1987)

Η μείωση του οργανικού φορτίου, το οποίο συχνά εκφράζεται με την τιμή της βιοχημικής απαίτησης οξυγόνου (B.O.D.), των αιωρούμενων στερεών (S.S.) και των παθογόνων μικροοργανισμών αποτελούν τα βασικά κριτήρια επιλογής του κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς ή να αποβληθούν σε υδάτινους αποδέκτες ελαχιστοποιώντας τη ρύπανση ή μόλυνση του περιβάλλοντος. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η συμβατική πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι αποτελεσματικές ως προς τη μείωση του οργανικού φορτίου και την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, ενώ δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές ως προς την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών. Αντίθετα, η παραμονή-επεξεργασία σε δεξαμενές σταθεροποίησης, όπου φύκια (algae), βακτήρια και ηλιακό φως εξυγιαίνουν με φυσικό τρόπο τα υγρά απόβλητα, είναι περισσότερο αποτελεσματική ως προς την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών, ενώ μειώνει δραστικά και το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά, εφόσον το σύστημα είναι σχεδιασμένο σωστά. Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων.

1.2.1. Συμβατική επεξεργασία

Η συμβατική επεξεργασία (*conventional process*) φυσικές και βιολογικές διεργασίες με ταυτόχρονη προσθήκη ενέργειας και χημικών ουσιών, με σκοπό την απομάκρυνση των στερεών και του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων. Κατά κανόνα η επεξεργασία γίνεται σε επιλεγμένες τοποθεσίες κοντά στα αστικά κέντρα τα οποία εξυπηρετεί. Οι μονάδες επεξεργασίας αυτού του τύπου καταλαμβάνουν περιορισμένη έκταση σε σχέση με τον όγκο των υγρών αποβλήτων που επεξεργάζονται και μπορεί να περιλαμβάνουν το σύνολο ή ορισμένα από τα στάδια που αναφέρονται στη συνέχεια.

1.2.1.1. Προκαταρκτική επεξεργασία

Η προκαταρκτική επεξεργασία (*preliminary treatment* ή *pretreatment*) περιλαμβάνει διεργασίες απομάκρυνσης των χονδρόκοκκων στερεών και άλλων υλικών μεγάλου μεγέθους που συνήθως βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Η απομάκρυνση αυτή είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των υπόλοιπων διεργασιών και περιλαμβάνει εσχάρωση και απλή καθίζηση.

1.2.1.2. Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία (*primary treatment*) συνίσταται στην απομάκρυνση των καθιζανόντων οργανικών και ανόργανων στερεών με κάποια διαδικασία καθίζησης (κάποιες φορές και με την προσθήκη κροκιδωτικών ουσιών), καθώς και στην απομάκρυνση των επιπλεόντων συστατικών με ξάφρισμα των υγρών αποβλήτων. Περίπου το 25 με 50 % της αρχικής βιοχημικής απαίτησης οξυγόνου (B.O.D.), το 35 με 50 % της χημικής απαίτησης οξυγόνου (C.O.D.), το 50 με 70 % των ολικών αιωρούμενων στερεών και το 65 % των ελαίων και λιπών, απομακρύνονται κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, ενώ μένουν ανέπαφα τα διαλυμένα και τα κολλοειδή. Επίσης, ένα μέρος του οργανικού αζώτου, του οργανικού φωσφόρου και των βαρέων μετάλλων, τα οποία είναι κατά κάποιο τρόπο συνδεδεμένα με τα αιωρούμενα στερεά, απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα κατά τη διαδικασία της πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Σε αρκετές χώρες η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι η ελάχιστη που απαιτείται πριν τα υγρά απόβλητα διατεθούν για αρδευτικούς σκοπούς. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, όταν τα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται για άρδευση καλλιεργειών, τα φυτικά μέρη των οποίων δεν χρησιμοποιούνται ως τροφή από τον άνθρωπο, ή για άρδευση οπωρώνων, αμπελώνων καθώς και καλλιεργειών που υπόκεινται σε επεξεργασία πριν καταναλωθούν.

Οι δεξαμενές της πρωτοβάθμιας καθίζησης ή διαυγαστές (*primary sedimentation tanks* ή *clarifiers*) μπορεί να είναι κυκλικές ή ορθογώνιες, με βάθος 3 έως 5 m και οι χρόνοι παραμονής των αποβλήτων σε αυτές είναι 2 έως 3 ώρες. Τα καθιζάνοντα στερεά απομακρύνονται από τον πυθμένα των δεξαμενών με ειδικές ξύστρες και μεταφέρονται με άντληση στις μονάδες επεξεργασίας της λάσπης.

1.2.1.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία (*secondary treatment*) εφαρμόζεται με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση των χαρακτηριστικών του νερού που εκβάλλεται από την πρωτοβάθμια επεξεργασία, μειώνοντας ακόμη περισσότερο το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά. Στις περισσότερες περιπτώσεις η δευτεροβάθμια επεξεργασία ακολουθεί την πρωτοβάθμια και

περιλαμβάνει την απομάκρυνση της βιοδιασπώμενης, διαλυμένης και κολλοειδούς οργανικής ύλης με τη χρήση αερόβιων μικροοργανισμών, κατά κύριο λόγο βακτηρίων, που μεταβολίζουν την οργανική ουσία των υγρών αποβλήτων. Αποτέλεσμα της δράσης των μικροοργανισμών είναι η παραγωγή ανόργανων ουσιών όπως CO₂, NH₃ και H₂O. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας οι μικροοργανισμοί διαχωρίζονται από τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα με δευτεροβάθμια καθίζηση (secondary sedimentation) για να παραχθούν διαυγή, δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

Οι διαδικασίες αυτές γίνονται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, συνήθως με την είσοδο ενέργειας στο σύστημα (αερισμός, ύπαρξη μικροοργανισμών, θερμοκρασία κλπ), με αποτέλεσμα την ταχεία αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και για το λόγο αυτό ονομάζονται και διαδικασίες υψηλού ρυθμού (*high rate processes*). Οι πιο συνηθισμένες υψηλού ρυθμού βιολογικές διαδικασίες είναι αυτές που γίνονται με την ενεργό ιλύ, τα σταλάζοντα φίλτρα ή βιοφίλτρα και με τις περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες. Σε περιπτώσεις αποβλήτων με πολύ υψηλό οργανικό φορτίο υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν δυο από αυτές τις διαδικασίες σε σειρά.

-Ενεργός ιλύς

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ενεργός ιλύς (*activated sludge*) για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, ο αντιδραστήρας διασποράς και πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών αποτελείται από αεριζόμενες δεξαμενές (*aeration tanks*) που περιέχουν ένα αιώρημα υγρών αποβλήτων και μικροοργανισμών. Το περιεχόμενο των δεξαμενών αερισμού αναδεύεται ισχυρά, λειτουργία που προσφέρει τόσο ανάμειξη όσο και εμπλουτισμό του βιολογικού αιωρήματος αέρα, αλλά απαιτεί σημαντική εισροή ενέργειας στο σύστημα. Η παροχή οξυγόνου γίνεται είτε με ειδικούς βυθισμένους διαχύτες αέρα, είτε με ισχυρή ανατάραξη της επιφάνειας του αιωρήματος.

Κατά τη διαδικασία αυτή οι μικροοργανισμοί πολλαπλασιάζονται με ταχείς ρυθμούς, καθώς οι συνθήκες είναι ιδανικές (διαθεσιμότητα οργανικής ύλης και οξυγόνου). Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις δεξαμενές κυμαίνεται από 3 έως 8 ώρες, μπορεί όμως να είναι και μεγαλύτερος για απόβλητα με υψηλές τιμές βιοχημικής ζήτησης οξυγόνου. Στο τέλος της διαδικασίας οι μικροοργανισμοί διαχωρίζονται από την υγρή φάση με δευτεροβάθμια καθίζηση, οπότε προκύπτουν διαυγασμένα, δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Ένα μέρος της βιολογικής λάσπης ανακυκλώνεται στη δεξαμενή αερισμού για να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα ο αριθμός των μικροοργανισμών. Η υπόλοιπη λάσπη διοχετεύεται σε ειδικές δεξαμενές για περαιτέρω επεξεργασία. Υπάρχουν κάποιες παραλλαγές της βασικής επεξεργασίας με

ενεργό ιλύ, όπως π.χ. τα κανάλια αερισμού (*oxidation ditches*), αλλά οι αρχές λειτουργίας τους είναι οι ίδιες.

-Σταλάζοντα φίλτρα

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

-Περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες

Οι περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες (*rotating biological contactors*) έχουν και αυτές μια σταθερά σχηματισμένη βιολογική στρώση, παρόμοια με τα βιοφίλτρα καθώς οι μικροοργανισμοί προσκολλώνται στο υλικό στήριξης. Στην περίπτωση αυτή το υλικό στήριξης είναι δίσκοι που περιστρέφονται αργά και βυθίζονται μερικώς στα ρέοντα απόβλητα κάποιου αντιδραστήρα. Το οξυγόνο που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί προσλαμβάνεται είτε από τον αέρα κατά το χρόνο που οι δίσκοι δεν είναι πλήρως βυθισμένοι στα απόβλητα, είτε από τα ίδια τα υγρά απόβλητα όταν οι δίσκοι είναι βυθισμένοι σε αυτά. Ο εμπλουτισμός των υγρών αποβλήτων σε οξυγόνο επιτυγχάνεται με την ανατάραξη που προκαλεί η περιστροφή των δίσκων. Τα κομμάτια λάσπης που απορρίπτονται από τους δίσκους, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού των μικροοργανισμών, διαχωρίζονται από τα απόβλητα με τον ίδιο τρόπο όπως και στις περιπτώσεις της ενεργού ιλύος και των σταλαζόντων φίλτρων.

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

αποτελεσματικές ως προς τη μείωση του φωσφόρου, του αζώτου, των μη βιοδιασπώμενων οργανικών ουσιών και των διαλυμένων μετάλλων.

1.2.1.4 Τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία

Η τριτοβάθμια (*tertiary treatment*) ή προχωρημένη επεξεργασία (*advanced treatment*) των υγρών αποβλήτων εφαρμόζεται για την απομάκρυνση συγκεκριμένων συστατικών που δεν μπορούν να απομακρυνθούν με τις συνήθεις διαδικασίες επεξεργασίας όπως : α) άζωτο και φώσφορος, β) μη διασπώμενες οργανικές ουσίες, γ) απολυμαντικά, απορρυπαντικά αποσκληρυντικά νερού, δ) βαρέα μέταλλα, ε) διαλυμένα στερεά, αλλά επίσης και για περαιτέρω μείωση του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών. Η ταχεία διήθηση από φίλτρα άμμου έχει εφαρμοσθεί σε αρκετές περιπτώσεις κυρίως για επιπλέον απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και των θρεπτικών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα καθώς και για τη μείωση της βιοχημικής απαίτησης οξυγόνου.

Οι προχωρημένες τεχνικές που εφαρμόζονται για την απομάκρυνση αυτών των συστατικών ακολουθούν κατά κανόνα τη δευτεροβάθμια επεξεργασία και για το λόγο αυτό αναφέρονται και ως τριτοβάθμια επεξεργασία. Υπάρχουν κάποιες προσαρμοσμένες διαδικασίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων με ενεργό ιλύ (δευτεροβάθμια επεξεργασία), οι οποίες εφαρμόζονται για την απομάκρυνση του αζώτου και φωσφόρου και συνίστανται στη χρήση χημικών ή στην προσθήκη μιας σειράς αερόβιων και αναερόβιων βιολογικών διεργασιών. Πρέπει να τονιστεί ότι το άζωτο και ο φώσφορος απομακρύνονται για να μειωθούν οι κίνδυνοι ευτροφισμού στους υδάτινους αποδέκτες, όπου πιθανώς καταλήγουν τα υγρά απόβλητα, ενώ στην περίπτωση που αυτά χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς, η ύπαρξη αυτών των στοιχείων αποτελεί κατά κανόνα πλεονέκτημα.

1.2.1.5 Απολύμανση

Η απολύμανση (*disinfection*) είναι συνήθως το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, όπως είναι η έγχυση αερίου χλωρίου, υποχλωριώδους νατρίου (ή ασβεστίου), όζοντος, ή με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας. Επειδή η χρήση του χλωρίου δημιουργεί ανησυχίες που σχετίζονται με το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων, οι υπόλοιποι τρόποι απολύμανσης αρχίζουν να συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον των ερευνητών, χωρίς όμως να βρίσκουν μέχρι στιγμής μεγάλη εφαρμογή στην πράξη.

Οι δόσεις του χλωρίου, που απαιτούνται για την απολύμανση των επεξεργασμένων αποβλήτων, κυμαίνονται συνήθως από 5 έως 15 mg/L. Οι δεξαμενές ή τα κανάλια χλωρίωσης

σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται χρόνος επαφής περίπου 15-30 min (Asano, 1994). Ωστόσο, ο χρόνος επαφής που απαιτείται για να επιτευχθεί η υψηλή μικροβιακή ποιότητα που χρειάζεται σε ορισμένες χρήσεις (άρδευση ορισμένων καλλιεργειών, άρδευση κοινόχρηστων χώρων πρασίνου κ.λ.π.) μπορεί να φθάσει τα 120 min. Η αποτελεσματικότητα της χλωρίωσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού, το pH, το χρόνο επαφής, το βαθμό ανάμειξης, την παρουσία ουσιών που εμποδίζουν τη δράση του χλωρίου, τη συγκέντρωση του χλωρίου, την περιεχόμενη οργανική ύλη καθώς και από τη φύση και τη συγκέντρωση των μικροοργανισμών που πρέπει να καταστραφούν. Ο έλεγχος του βαθμού αποτελεσματικότητας της απολύμανσης βασίζεται στη συγκέντρωση των ολικών ή εντερικής προέλευσης βακτηρίων που παραμένουν στα υγρά απόβλητα μετά το τέλος της χλωρίωσης. Ο αριθμός τους εκφράζεται συνήθως ως ο πιο πιθανός αριθμός ανά 100 mL (MPN/100 ml). Στην πράξη η ποσότητα του χλωρίου που προστίθεται υπολογίζεται εμπειρικά από το επίπεδο του υπολειμματικού χλωρίου και από την επιθυμητή ποιότητα των απολυμασμένων υγρών αποβλήτων. Η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου στα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για άρδευση με καταιονισμό πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5 mg/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 Westcot and Ayers (1985) αναφέρουν ότι συγκεντρώσεις μικρότερες από 1 mg/L δεν εγκυμονούν κανένα κίνδυνο για τα φυτά που αρδεύονται με καταιονισμό. Η χλωρίωση χρησιμοποιείται για τη μείωση του αριθμού των βακτηρίων των υγρών αποβλήτων που παράγονται από τις συμβατικές μονάδες επεξεργασίας. Ωστόσο, είναι εξαιρετικά δύσκολο και δαπανηρό να επιτευχθεί υψηλό, ομοιόμορφο και προβλέψιμο επίπεδο απολύμανσης των υγρών αποβλήτων, ενώ σε κάθε περίπτωση η χλωρίωση αφήνει ανέπαφα τα αυγά των ελμίνθων. Γενικά, τα βακτήρια είναι λιγότερο ανθεκτικά στη χλωρίωση από τους ιούς, οι οποίοι με τη σειρά τους είναι λιγότερο ανθεκτικοί από τα παράσιτα.

Κατά τη χρήση του υποχλωριώδους νατρίου ή ασβεστίου απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του τρόπου διαχείρισης και του εξοπλισμού των εγκαταστάσεων, επειδή οι υποχλωριώδεις διαλύσεις έχουν περιορισμένο χρόνο δράσης και είναι διαβρωτικές. Το κόστος των εγκαταστάσεων είναι μικρότερο από εκείνο του χλωρίου αλλά το κόστος λειτουργίας τους είναι μεγαλύτερο.

Η οζόνωση είναι μια τεχνική που εξασφαλίζει ικανοποιητική απολύμανση των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων έναντι των βακτηρίων και των ιών, με την προϋπόθεση ότι η δόση έγχυσης είναι τόση ώστε να εξασφαλίζεται συνεχώς ποσότητα υπολειμματικού O_3 της τάξης του 0,2-0,5 mg/L. Έτσι, προτείνονται δόσεις έγχυσης 6-17 mg/L και χρόνοι επαφής

10-25 min ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων S.S., B.O.D., C.O.D. και το επιθυμητό επίπεδο μείωσης των κολοβακτηριδίων εντερικής προέλευσης (Office International de L' Eau, 1992). Η μικροβιοκτόνος δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας οφείλεται στην καταστροφική δράση που ασκεί στο RNA και στο DNA των κυττάρων με αποτέλεσμα τη στείρωση των μικροοργανισμών (Snider et al. 1991). Η εφαρμογή της μεθόδου στην πράξη είναι περιορισμένη παρόλο που η τεχνολογία αυτή δοκιμάστηκε επιτυχώς σε αρκετές εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

1.2.1.6 Αποθήκευση

Η αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (*effluent storage*), παρόλο που θεωρείται ως στάδιο επεξεργασίας, αποτελεί ένα σημαντικό ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ της εγκατάστασης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και της χρήσης τους για αρδευτικούς σκοπούς (Asano and Tsobanoglous, 1987). Η αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι σημαντική για τους εξής λόγους :

A. Επιτυγχάνεται εξισορρόπηση στη διακύμανση της ροής κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης του νερού όταν η ζήτηση είναι μειωμένη, όπως κατά την περίοδο του χειμώνα.

B. Ικανοποιούνται οι ανάγκες άρδευσης κατά την περίοδο αιχμής, όταν η ζήτηση ξεπερνά τη μέση παραγόμενη παροχή αποβλήτων από τη μονάδα επεξεργασίας.

Γ. Μειώνονται τα προβλήματα που προκύπτουν από τις δυσλειτουργίες της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων καθώς και από πιθανή αδυναμία να χρησιμοποιηθεί το νερό στην άρδευση (βλάβη δικτύου κ.λ.π.). Με την αποθήκευση και ανάμειξη του νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα, ανάλογα με την αποθηκευτικότητα της δεξαμενής, αποφεύγεται η παροχέτευση μη κατάλληλου ποιοτικά νερού στο δίκτυο άρδευσης.

Δ. Επιτυγχάνεται μια επιπλέον επεξεργασία των υγρών αποβλήτων καθώς η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου, τα αιωρούμενα στερεά, το άζωτο και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί μειώνονται κατά το χρόνο αποθήκευσης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

1.3. Αξιολόγηση της ποιότητας των υγρών αστικών αποβλήτων

Πολλές ποιοτικές κατατάξεις του νερού άρδευσης έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς (U.S.S.L. 1954, Doneen 1954, Christiansen et al. 1977, Ayers and Westcot 1985). Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση των καλλιεργειών εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, την αντοχή των

καλλιεργειών στην αλατότητα και στην τοξική δράση ορισμένων στοιχείων καθώς και τις πρακτικές διαχείρισης.

Σε ότι αφορά την εκτίμηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για την άρδευση των καλλιεργειών, συνιστάται η χρήση της ποιοτικής κατάταξης των Ayers and Westcot (1985), η οποία είναι η πλέον περιεκτική και πρόσφατη. Οι Ayers and Westcot (1985) κατέταξαν το νερό άρδευσης σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τα προβλήματα που είναι δυνατό να προκύψουν όπως, αλάτωση του εδάφους, μείωση της διηθητικότητας του εδάφους, τοξικές επιδράσεις στα φυτά και διάφοροι άλλοι κίνδυνοι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.7.

1.4. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα

Το ερώτημα το οποίο τίθεται είναι "αν μπορούν και με ποιες προϋποθέσεις" να χρησιμοποιηθούν για άρδευση τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα ενός οικισμού. Για να απαντηθεί το παραπάνω ερώτημα πρέπει να γίνει αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών, χημικών ή βιολογικών, των αποβλήτων. Με βάση τις πληροφορίες αυτές θα προταθεί ο σωστός τρόπος διαχείρισης των αποβλήτων, οι κατάλληλες καλλιέργειες και άλλα πιθανά μέτρα που θα συμβάλλουν στην αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων στο σύστημα : έδαφος -φυτό-αρδευτικό σύστημα - αγρότης-κοινό.

Οι εργαστηριακές αναλύσεις που είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση των αστικών αποβλήτων δίνονται στον Πίνακα 1.3. Στον ίδιο Πίνακα δίνεται το σύνθηες εύρος ορισμένων παραμέτρων στα νερά άρδευσης και κάποιες ενδεικτικές τιμές των ιδίων παραμέτρων για τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της μονάδας βιολογικού καθαρισμού της Θεσσαλονίκης (Μ.Β.Κ.Θ.). Τα επεξεργασμένα απόβλητα της Μ.Β.Κ.Θ. χλωριώνονται στην έξοδό τους από την εγκατάσταση επεξεργασίας και είναι απαλλαγμένα, σε σημαντικό βαθμό, από παθογενείς οργανισμούς. Σε ότι αφορά τις βιολογικές παραμέτρους, έγινε αναφορά σε προηγούμενη ενότητα. Πολλές φορές, εκτός από τις αναλύσεις που αναφέρονται στον Πίνακα 1.3, απαιτούνται και συμπληρωματικές αναλύσεις που περιλαμβάνουν επιπλέον πληροφορίες για το άζωτο, το υπολειμματικό χλώριο και τα ιχνοστοιχεία, για την εκτίμηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση (Pettygrove and Asano, 1985). Η ανάλυση για τα θρεπτικά στοιχεία συνιστάται να γίνεται τουλάχιστον σε ετήσια βάση.

Πίνακας 1.7 Κριτήρια ποιοτικής κατάταξης του αρδευτικού νερού.

Ενδεχόμενο πρόβλημα από το νερό άρδευσης	Μονάδες	Βαθμός περιορισμού στη χρήση		
		Κανένας	Μικρός έως μέτριος	Μεγάλος
Αλατότητα (Επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού στα φυτά)				
EC _w , 25 °C	dS/m	<0,7	0,7-3,0	>3,0
T.D.S.	mg/L	<450	450-2000	>2000
Διηθητικότητα (Επηρεάζει το ρυθμό διήθησης του νερού στο έδαφος. Εκτιμάται από το συνδυασμό των SAR και EC _w) ^α				
SAR = 0-3 και EC _w		>0,7	0,7-0,2	<0,2
3-6				<0,3
6-12				<0,5
12-20				<1,3
20-40				<2,9
Τοξικότητα ιόντων (Επηρεάζει τις αποδόσεις των ευαίσθητων φυτών)				
Νάτριο (Na)^{β,γ}				
Επιφανειακή άρδευση	me/L	<4	4-10	>10
	SAR ή adj. SAR	<3	3-9	>9
Καταιονισμός	me/L	<3	>3	
	mg/L	<69	>69	
Χλώριο (Cl)^{β,γ}				
Επιφανειακή άρδευση	me/L	<4	4-10	>10
	mg/L	<142	142-355	>355
Καταιονισμός	me/L	<3	>3	
	mg/L	<106	>106	
Βόριο (B)	mg/L	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Διάφορες επιδράσεις (Αφορούν κυρίως ευπαθή φυτά)				
Άζωτο (Ολικό-N)^δ	mg/L	<5	5-30	>30
Όξινα ανθρακικά (HCO₃) (Μόνο για τον καταιονισμό)	me/L	<1,5	1,5-8,5	>8,5
	mg/L	<90	90-520	>520
Υπολειμματικό χλώριο	mg/L	<1	1-5	>5
pH	Σύνηθες εύρος 6,5-8,5			

Πηγή : U.C.C.C. (1974), Ayers (1977), Ayers and Westcot (1985), Pettygrove and Asano (1985), Pescod (1992).

^α Για τα απόβλητα, συνιστάται η χρήση του adj. SAR αντί του SAR, για να επιτυγχάνεται μία πιο σωστή εκτίμηση του ασβεστίου του εδαφικού νερού μετά την άρδευση.

^β Οι περισσότερες δενδρώδεις καλλιέργειες και τα ξυλώδη διακοσμητικά φυτά είναι ευαίσθητα στο νάτριο και το χλώριο. Οι περισσότερες ετήσιες καλλιέργειες δεν είναι ευαίσθητες.

^γ Όταν η άρδευση γίνεται με καταιονισμό σε χαμηλή σχετική υγρασία (<30 %) και οι συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου είναι μεγαλύτερες από 70 και 100 mg/L αντίστοιχα, προκαλείται μεγάλη απορρόφηση αυτών από τα φύλλα των φυτών, με αποτέλεσμα τα ευαίσθητα φυτά να υφίστανται σημαντικές βλάβες.

^δ Στο ολικό άζωτο πρέπει να συμπεριλαμβάνεται το νιτρικό, το αμμωνιακό και το οργανικό άζωτο. Παρόλο που οι μορφές του αζώτου στα απόβλητα ποικίλουν, τα φυτά ανταποκρίνονται στο ολικό άζωτο.

1.5. Συνέπειες της άρδευσης με υγρά αστικά απόβλητα

1.5.1. Αλάτωση του εδάφους

Η αλατότητα, μετρούμενη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού άρδευσης, αφού συνδέεται άμεσα με τα πιθανά προβλήματα που προκαλεί η συνολική συγκέντρωση των αλάτων του νερού στο έδαφος και τα φυτά.

Τα άλατα συσσωρεύονται στο έδαφος με την εφαρμογή του αρδευτικού νερού και τα προβλήματα παρουσιάζονται όταν αυτά φθάσουν σε συγκεντρώσεις που είναι βλαπτικές για το έδαφος ή και τα φυτά. Ο ρυθμός συσσώρευσης των αλάτων στο έδαφος εξαρτάται από το ποσό και το ρυθμό αποθήκευσης αυτών στο έδαφος με το αρδευτικό νερό και από το ρυθμό απομάκρυνσής τους με έκπλυση.

Για την εφαρμογή της έκπλυσης είναι απαραίτητο να υπάρχει καλή έως άριστη στράγγιση, ώστε να είναι δυνατή η συνεχής ροή του νερού από τη ζώνη του ριζοστρώματος προς τα κάτω (Μισοπολινός 1991, Παπαζαφειρίου και Αντωνόπουλος 1991).

Γενικά, θεωρείται ότι κάτω από συνθήκες κανονικής άρδευσης ένα κλάσμα του νερού διηθείται βαθιά μέσα από τη ζώνη του ριζοστρώματος και απομακρύνει τα άλατα. Αυτό το κλάσμα λέγεται "κλάσμα έκπλυσης" και για τη σύνταξη του Πίνακα 1.7 θεωρείται ότι έχει μια μέση τιμή της τάξης του 15 %.(Ayers and Westcot, 1985).

Ο τύπος που δίνει το επιπλέον ποσό του νερού που χρειάζεται για την έκπλυση των αλάτων παρέχεται από τη σχέση 1.1 (Παπαζαφειρίου 1984, Τερζίδης και Παπαζαφειρίου 1997):

$$LR = \frac{EC_w}{3EC_{50}} \quad (1.1)$$

Όπου

LR = Συντελεστής έκπλυσης

EC_w= Ηλεκτρική αγωγιμότητα αρδευτικού νερού

3EC₅₀= Ηλεκτρική αγωγιμότητα εκχυλίσματος κορεσμού του εδάφους σε dS/m που αντιστοιχεί σε απόδοση 50 % (Maas and Hoffman 1977, Maas 1990).

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 (U.C.C.C. 1974, Ayers 1977, Ayers and Tanji 1981, Ayers and Westcot 1985, Westcot and Ayers 1985).

Από σχετικές εργασίες, αναφέρεται ότι (Mujeriego et al. 1996) η άρδευση των γρασιδιών με επεξεργασμένα απόβλητα από το έτος 1989 έδωσε αρχικά υψηλές τιμές SAR και EC, οι οποίες μειώθηκαν στα επιτρεπτά όρια κατά την περίοδο παρατήρησης. Οι τιμές της EC σταθεροποιήθηκαν μεταξύ 1,2 και 1,5 dS/m μετά από 4 χρόνια άρδευσης. Σε πείραμα άρδευσης ζαχαροτεύτλων (Πανώρας κ.α. 1998, 1999), δεν διαπιστώθηκε κάποια σημαντική μεταβολή στην αλατότητα του εδάφους. Επίσης, σε πείραμα άρδευσης βαμβακιού (Panoras et al., 2001) δεν παρατηρήθηκε επιβάρυνση του εδάφους όσον αφορά την αλατότητα από την άρδευση με απόβλητα. Οι Yoon et al. (2001) παρατήρησαν μια μικρή συσσώρευση αλάτων σε ορυζώνα που αρδεύτηκε με απόβλητα, χωρίς να υπάρξει αρνητική επίπτωση στην απόδοση της καλλιέργειας.

1.5.2. Διηθητικότητα του εδάφους

Η διηθητικότητα είναι ένα φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο το διαθέσιμο νερό στην επιφάνεια του εδάφους διαπερνά την εδαφική στρώση. Η πλήρης γνώση του φαινομένου είναι πολύ σημαντική και χρήσιμη, ειδικά σε προβλήματα που αφορούν το περιβάλλον, όπως η άρδευση, η στράγγιση και η υδρολογία (Angelaki et al 2002).

Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων νατρίου στο αρδευτικό νερό, εκτός από τα φυτά, μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς και την εδαφική δομή με αποτέλεσμα να δημιουργείται εδαφική κρούστα η οποία αφ' ενός μεν δυσκολεύει το φύτρωμα των σπόρων και τη διείσδυση του νερού στο έδαφος, αφ' ετέρου δε ευνοεί την έλλειψη επαρκούς αερισμού και το λίμνασμα νερού στον αγρό. Εάν η διηθητικότητα μειωθεί δραστικά, μπορεί να καταστεί αδύνατη η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού για την καλή ανάπτυξη των φυτών (Μισοπολινός, 1985).

Τα προβλήματα διηθητικότητας αφορούν συνήθως ένα μικρό βάθος του επιφανειακού εδάφους και σχετίζονται κυρίως με υψηλή περιεκτικότητα νατρίου ή πολύ χαμηλή περιεκτικότητα ασβεστίου στη ζώνη αυτή ή στο εφαρμοζόμενο νερό. Τα προβλήματα έλλειψης ασβεστίου δημιουργούνται από την άρδευση με νερά που έχουν μικρή αλατότητα, τα οποία διαλύουν και ξεπλένουν το ασβέστιο του εδάφους ή με νερά πολύ υψηλής περιεκτικότητας σε νάτριο, που προκαλούν μεγάλη συσσώρευση νατρίου σε σχέση με το ασβέστιο. Νερά με υψηλή αλατότητα αυξάνουν τη διηθητικότητα και μερικώς αντισταθμίζουν τα προβλήματα που προκαλεί το αυξημένο SAR, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.6. Για δεδομένο SAR, η διηθητικότητα αυξάνεται όσο αυξάνει η αλατότητα του νερού άρδευσης και μειώνεται όσο μειώνεται η αλατότητα. Για το λόγο αυτό το SAR και η EC_w πρέπει να λαμβάνονται υπόψη συνδυασμένα για την εκτίμηση και αντιμετώπιση των προβλημάτων διηθητικότητας (Μισοπολινός, 1991).

Κατά κανόνα τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν πολλά άλατα και άφθονο ασβέστιο, οπότε δεν αναμένεται διάλυση και έκπλυση του ασβεστίου του επιφανειακού εδάφους. Επειδή όμως τα νερά αυτά ενδέχεται να είναι πλούσια και σε νάτριο, η πιθανή υψηλή τιμή του SAR πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στα προγράμματα επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων (Μισοπολινός 1985, Misopolinos and Ambas 1989).

Υπάρχουν ειδικές πρακτικές διαχείρισης του συστήματος έδαφος-νερό άρδευσης για το ξεπέρασμα των προβλημάτων περατότητας και την επιτυχή χρησιμοποίηση νερών με αυξημένο SAR, με την προϋπόθεση ότι αυτές οι πρακτικές εφαρμόζονται συνεχώς, ώστε να μην προκληθεί καταστροφή της εδαφικής δομής (Misopolinos 1985). Τέτοιες πρακτικές διαχείρισης θα αυξήσουν την περατότητα και θα μειώσουν την ένταση των δευτερογενών προβλημάτων που σχετίζονται με το μακροχρόνιο λίμανσμα του νερού στην επιφάνεια του εδάφους (π.χ. το πρόβλημα των κουνουπιών).

Οι Friedel et al. (2000) μελέτησαν την επίδραση της μακροχρόνιας άρδευσης με απόβλητα στις εδαφικές λειτουργίες, 2 τύπων εδαφών. Οι εδαφικές λειτουργίες δεν επηρεάστηκαν, εξαιτίας της μικρής περιεκτικότητας των αποβλήτων σε βαρέα μέταλλα. Επίσης, οι Γαλάνης κ.α. (2000) παρατήρησαν βελτίωση της κίνησης και κατανομής νερού και εδαφικού διαλύματος, σε έδαφος που αρδεύτηκε με επεξεργασμένα αστικά λύματα.

1.5.3. Τοξικότητα ιόντων

Ορισμένα ιόντα που προσλαμβάνονται από τα φυτά, ακόμη και όταν βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα, ασκούν τοξική δράση σε αυτά με αποτέλεσμα την

πρόκληση ζημιών στο φυτό και τη μείωση της παραγωγής. Τα προβλήματα τοξικότητας των ιόντων παρουσιάζονται συχνά μαζί με τα προβλήματα αλατότητας, κάνοντας τα προβλήματα αυτά πιο πολύπλοκα, παρόλο που μερικές φορές φαινόμενα τοξικότητας εμφανίζονται και σε χαμηλές τιμές αλατότητας. Τα ιόντα στα οποία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την άρδευση με απόβλητα είναι το νάτριο, το χλώριο και το βόριο (U.C.C.C. 1974, Ayers 1977, Ayers and Tanji 1981, Ayers and Westcot 1985, Westcot and Ayers 1985, Maas 1990, Μισοπολινός 1991).

Η συνηθέστερη τοξικότητα από τη χρήση αστικών αποβλήτων στη γεωργία προέρχεται από το βόριο. Πηγή του βορίου είναι συνήθως τα οικιακά απορρυπαντικά και ορισμένες εκροές από βιομηχανίες. Το χλώριο και το νάτριο, επίσης αυξάνονται κατά την οικιακή χρήση του νερού, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντικά του νερού. Οι καλλιέργειες δεν παρουσιάζουν την ίδια ανθεκτικότητα στα διάφορα τοξικά ιόντα. Πληροφορίες σχετικά με την ανθεκτικότητα των καλλιεργειών στο βόριο, το χλώριο και το νάτριο δίνονται στους Πίνακες 1.8, 1.9 και 1.10 (Maas 1984, Maas 1990).

Σε ορισμένες ευαίσθητες καλλιέργειες είναι δύσκολο να περιοριστεί η τοξική δράση ορισμένων ιόντων και στις περιπτώσεις αυτές μοναδική λύση είναι η αλλαγή της καλλιέργειας, του νερού άρδευσης ή του τρόπου εφαρμογής του νερού στον αγρό. Για παράδειγμα, στην άρδευση με καταιονισμό το νάτριο ή και το χλώριο απορροφώνται απευθείας από τη φυλλική επιφάνεια και προκαλούν ζημιές στα φυτά, ιδιαίτερα όταν η άρδευση εφαρμόζεται σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών, ισχυρών ανέμων και χαμηλής σχετικής υγρασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνιστάται άρδευση κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε αποφεύγονται οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες και η χαμηλή σχετική υγρασία (Παπαζαφειρίου και Αντωνόπουλος 1991). Τέτοιες τοξικότητες συμβαίνουν σε συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου μικρότερες από αυτές που προκαλούν τοξικότητα κατά την επιφανειακή άρδευση.

Εκτός από τα προαναφερθέντα ιόντα, υπάρχουν και άλλα που οι συνήθεις συγκεντρώσεις τους είναι μικρότερες από 100 $\mu\text{g/L}$ (ιχνοστοιχεία, Πίνακας 1.11). Μερικά από αυτά μπορεί να είναι πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη των φυτών σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, αλλά γίνονται τοξικά με την αύξηση των συγκεντρώσεων.

Η ύπαρξη ιχνοστοιχείων στα αστικά υγρά απόβλητα σχετίζεται με την προέλευση των νερών και τις δραστηριότητες της αστικής περιοχής από την οποία προέρχονται τα απόβλητα. Η χρήση των ιχνοστοιχείων είναι ευρέως διαδεδομένη στη βιομηχανία και τη μεταποίηση καταναλωτικών αγαθών. Επίσης, η παλαίωση και η σταδιακή διάβρωση των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης συνεισφέρει στην παρουσία ιχνοστοιχείων στα υγρά απόβλητα. Για τους

λόγους αυτούς, ακόμη και μικρές ποσότητες ιχνοστοιχείων βρίσκονται πάντοτε στα αστικά υγρά απόβλητα.

Πίνακας 1.8 Ανθεκτικότητα αγροτικών καλλιεργειών στο βόριο^α

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

Πηγή : Maas (1984).

^α Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στο εδαφικό νερό χωρίς να παρατηρείται μείωση της παραγωγής. Η ανθεκτικότητα στο βόριο ποικίλει ανάλογα με τις κλιματικές και εδαφικές συνθήκες καθώς επίσης και με τις καλλιεργούμενες ποικιλίες των φυτών. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βορίου στο αρδευτικό νερό είναι περίπου ίσες ή λίγο μικρότερες από εκείνες του εδαφικού νερού.

Πίνακας 1.9 Ανθεκτικότητα διαφόρων καλλιεργειών στο χλώριο

Καλλιέργεια	Όριο συγκέντρωσης Cl ⁻ (mol/m ³ νερού)	Μείωση απόδοσης % ανά mol/m ³ Cl ⁻
Φράουλα	10	3.3
Φασόλι	10	1.9
Κρεμμύδι	10	1.6
Καρότο	10	1.4
Μαρούλι	10	1.3
Γογγύλι	10	0.9
Ραπανάκι	10	1.3
Ρύζι (paddy) (a)	30 (b)	1.2 (b)
Πιπεριά	15	1.4
Τριφύλλι (red)	15	1.2
Τριφύλλι (ladino)	15	1.2
Καλαμπόκι	15	1.2
Λινάρι	15	1.2
Πατάτα	15	1.2
Γλυκοπατάτα	15	1.1
Φασόλι (Broadbean)	15	1.0
Λάχανο	15	1.0
Αλεπονουρά	15	1.0
Σέλινο	15	0.6
Τριφύλλι (Berseem)	15	0.6
Δακτυλίδα	15	0.6
Ζαχαροκάλαμο	15	0.6
Τριφύλλι (Trefoil big)	20	1.9
Εράγριος (Lovegrass)	20	0.8
Σπανάκι	20	0.8
Μηδική	20	0.7
Σεσμπάνια (Sesbania) (a)	20	0.7
Αγγούρι	25	1.3
Τομάτα	25	1.0
Μπρόκολα	25	0.9
Κολοκύθι (Squash scallop)	30	1.6
Βίκος (Vetch common)	30	1.1
Αγριόβριζα (Wildrye, beardless)	30	0.6
Sudangrass	30	0.4
Παντζάρι (a)	40	0.9
Φεστούκα (Fescue tall)	40	0.5
Κολοκύθι (Squash, zucchini)	45	0.9
Φάλαρη	45	0.8
Μπιζέλι (Cowpea)	50	1.2
Τριφύλλι (Narrow-leaf birdsfoot)	50	1.0
Ήρα πολυετής (Ryegrass perennial)	55	0.8
Σκληρό Σιτάρι	55	0.5
Κριθάρι για ζωοτροφή (a)	60	0.7
Σιτάρι (a)	60	0.7
Σόργο	70	1.6
Αγριάδα	70	0.6
Ζαχαρότευτλα (a)	70	0.6
Βαμβάκι	75	0.5
Κριθάρι (a)	80	0.5

Πηγή : Maas (1990).

^a Καλλιέργειες λιγότερο ανθεκτικές κατά το φυτόμα των σπόρων

^b Αναφέρεται σε συνθήκες κορεσμού του εδάφους με νερό

Πίνακας 1.10 Ανθεκτικότητα ορισμένων φυτών σε ζημιές της φυλλικής επιφάνειας κατά την εφαρμογή άρδευσης με καταιονισμό, ανάλογα με τη συγκέντρωση Na ή Cl στο νερό άρδευσης^α

Συγκεντρώσεις Na ⁺ ή Cl ⁻ σε me/L ^β			
<5	5-10	10-20	>20
Αμυγδαλιά	Αμπέλι	Μηδική	Κουνουπίδι
Βερυκοκιά	Πιπεριά	Κριθάρι	Βαμβάκι
Εσπεριδοειδή	Πατάτα	Καλαμπόκι	Ζαχαρότευτλα
Δαμασκηλιά	Ντομάτα	Αγγούρι	Ηλιάνθος
		Κάρδαμος	
		Σουσάμι	
		Σόργο	

Πηγή : Maas (1984).

^α Ευαισθησία βασισμένη στην απευθείας απορρόφηση αλάτων από τα φύλλα.

^β Οι βλάβες των φύλλων επηρεάζονται από τις καλλιεργητικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι τιμές του Πίνακα δίνονται ενδεικτικά και αφορούν άρδευση με καταιονισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Κάποιες από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων δέχονται και βιομηχανικές εκροές, με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας των ιχνοστοιχείων στα απόβλητα αυτά.

Νερά που προέρχονται από κοινότητες μικρού και μέσου μεγέθους, κατά κανόνα δεν είναι επιβαρημένα με μεγάλες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, καθώς οι περιοχές αυτές δεν είναι ιδιαίτερα βιομηχανοποιημένες. Εξάλλου, τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από τέτοιες περιοχές, είναι αυτά που κατά κύριο λόγο προσφέρονται για επαναχρησιμοποίηση, τόσο λόγω της σύστασής τους όσο και λόγω της μικρής απόστασης από την καλλιεργήσιμη γη, γεγονός που καθιστά τη μεταφορά των αποβλήτων οικονομικά συμφέρουσα.

Παρόλο που οι συμβατικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων δεν είναι σχεδιασμένες για την απομάκρυνση των ιχνοστοιχείων, μέρος αυτών προσροφάται στα οργανικά και ανόργανα στερεά και απομακρύνεται με τις διαδικασίες της καθίζησης των αιωρούμενων στερεών. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα ανεπεξέργαστα απόβλητα μειώνονται κατά 70 έως 90 % μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Οι συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις των κυριότερων ιχνοστοιχείων για νερά που χρησιμοποιούνται συνεχώς στην άρδευση του ίδιου αγρού δίνονται στον Πίνακα 1.11 (U.S.E.P.A. 1973, Ayers and Westcot 1985, Westcot and Ayers 1985).

Σε πείραμα άρδευσης ζαχαρότευτλων με απόβλητα των Πανώρα κ.α. (1998) δεν παρατηρήθηκε επιβάρυνση του εδάφους και των φυτικών ιστών από τα διάφορα ιχνοστοιχεία.

Επίσης, οι Πανώρας κ.α. (1999) από μελέτη καταλληλότητας για άρδευση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, διαπίστωσαν τον κίνδυνο τοξικότητας από τα στοιχεία Na, Cl, B.

Ο Βουρδουμπάς (2000), ανέφερε ότι δεν υπήρξε επιβάρυνση του εδάφους με βαρέα μέταλλα κατά την άρδευση φυτών Ευκαλύπτου, Λεύκας και Πλατάνου με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

Οι Friedel et al. (2000) διαπίστωσαν ότι τα βαρέα μέταλλα που περιέχονταν στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα υπήρχαν σε μικρές ποσότητες και δεν επηρέασαν τις εδαφικές λειτουργίες.

Οι Vedry et al. (2001) παρατήρησαν ότι λαχανικά που καλλιεργούνταν με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα συγκρατούσαν βαρέα μέταλλα, ωστόσο η συγκέντρωσή τους ήταν κάτω του επιτρεπόμενου ορίου. Κάποια είδη λαχανικών συγκρατούσαν ένα συγκεκριμένο είδος μετάλλου.

Οι Yoon et al. (2001) μελέτησαν την άρδευση ρυζιού με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στο Πανεπιστήμιο Konkuk της Σεούλ. Τα διάφορα ιχνοστοιχεία δεν ήταν ανασταλτικός παράγοντας της ανάπτυξης του φυτού, ακόμα και με συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων ίση με 160 mg l⁻¹.

Οι Luo et al. (2003) διερεύνησαν την άρδευση ρυζιού με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα που περιείχαν σημαντικές ποσότητες χαλκού. Η απόδοση των φυτών επηρεάστηκε αρκετά, εξαιτίας της τοξικότητας χαλκού.

Οι Σακελλαρίου κ.α. (2003) σε πείραμα άρδευσης χλοοτάπητα με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου, διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου ήταν αρκετά υψηλή (1460 mg/L) στα απόβλητα. Εντούτοις, η απόδοση του χλοοτάπητα δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τα τεμάχια που αρδεύονταν με καθαρό νερό. Οι τιμές των υπόλοιπων ιχνοστοιχείων ήταν εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

Οι Sakellariou et al. (2003 a,b) σε πείραμα άρδευσης κωνοφόρων ειδών της οικογένειας *Cupressaceae* με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και καθαρό νερό παρατήρησαν ότι δεν υπήρξε συσσώρευση τοξικών στοιχείων στο έδαφος και τα φυτά. Τα μετρούμενα χαρακτηριστικά (ύψος, διάμετρος φυτοκόμης) δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά στις 2 μεταχειρίσεις.

Πίνακας 1.11 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 φθάσει τα 0.1 mg/L). Σε ουδέτερα και νατριωμένα εδάφη καθίσταται αδρανές.
Cr (Χρώμιο)	1.0	Θεωρείται, όχι πάντα, βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη των φυτών. Εξαιτίας της περιορισμένης γνώσης πάνω στην φυτοτοξικότητα, συνιστώνται συντηρητικές συγκεντρώσεις.
Cu (Χαλκός)	5.0	Είναι τοξικό σε αρκετά φυτά, όταν οι συγκεντρώσεις του στο θρεπτικό διάλυμα κυμαίνονται από 0.1 έως 1.0 mg/L.
F (Φθόριο)	15.0	Αδρανοποιείται σε ουδέτερα και νατριωμένα εδάφη.
Fe (Σίδηρος)	20.0	Σε αεριζόμενα εδάφη δεν είναι τοξικό για τα φυτά. Μπορεί όμως να συμβάλλει στην οξίνιση των εδαφών και να μειώσει τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου και του μολυβδενίου που είναι σημαντικά στοιχεία για τα φυτά. Άρδευση με καταιονισμό δημιουργεί αποθέσεις σε φυτά, εξοπλισμό και κτίσματα.
Mn (Μαγγάνιο)	10.0	Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από μερικά δέκατα έως μερικά mg/L, αλλά συνήθως μόνο σε όξινα εδάφη.
Mo (Μολυβδένιο)	0.05	Μη τοξικό για τα φυτά, όταν βρίσκεται σε κανονικές συγκεντρώσεις στο έδαφος και στο νερό. Μπορεί να είναι τοξικό για τα ζώα, όταν βοσκήσουν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου μολυβδενίου.
Ni (Νικέλιο)	2.0	Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από 0.5 έως 1.0 mg/L. Μειωμένη τοξικότητα σε ουδέτερα ή αλκαλικά pH.
Pb (Μόλυβδος)	5.0	Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ανάσχεση της αύξησης των φυτικών κυττάρων.
Se (Σελήνιο)	0.02	Τοξικό στα φυτά, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις, όπως 0.025 mg/L. Επίσης, είναι τοξικό στα ζώα που βόσκουν σε εδάφη με σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις εφαρμοζόμενου σεληνίου. Αντίθετα, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις είναι απαραίτητο στα ζώα.
Sn (Κασσίτερος)	-	Δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά. Συγκεκριμένα επίπεδα ανεκτικότητας άγνωστα.
Zn (Ψευδάργυρος)	10.0	Τοξικό σε πολλά φυτά σε μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Η τοξικότητά του μειώνεται όταν το pH >6 και τα εδάφη είναι καλής δομής ή οργανικά.

Πηγή : U.S. E.P.A. (1973), Ayers and Westcot (1985), Westcot and Ayers (1988).

1.5.4. Θρεπτικά στοιχεία

Τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχονται στα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούν ένα βασικό πλεονέκτημα της άρδευσης με τέτοιο νερό, καθώς μειώνουν την ανάγκη προσθήκης χημικών λιπασμάτων. Ωστόσο, περίσσεια θρεπτικών στοιχείων στα απόβλητα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε ορισμένες καλλιέργειες. Τα θρεπτικά στοιχεία που συνήθως υπάρχουν στα αστικά απόβλητα περιλαμβάνουν άζωτο, φώσφορο και περιστασιακά κάλιο, ψευδάργυρο, βόριο και θείο.

Η συνολική ποσότητα αζώτου που περιέχεται σε αστικά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, κατά κανόνα κυμαίνεται από 20 έως 60 mg/L, ενώ τόσο η συγκέντρωση του αζώτου όσο και οι μορφές με τις οποίες βρίσκεται στα απόβλητα (αμμωνιακό, νιτρικό και οργανικό) εξαρτώνται από το βαθμό και το είδος της επεξεργασίας που έχουν υποστεί. Σε κάθε άρδευση μαζί με το νερό εφαρμόζεται και άζωτο που λιπαίνει τα φυτά. Αυτός ο τρόπος λίπανσης, ενώ ευνοεί τα φυτά στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής τους, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο στάδιο της ωριμότητας των φυτών, όπου η περίσσεια αζώτου είναι δυνατό να προκαλέσει έντονη βλάστηση, καθυστέρηση στην ωρίμανση του καρπού και υποβάθμιση της ποιότητάς του. Στις περιπτώσεις που το άζωτο που δίνεται με τα απόβλητα είναι λιγότερο από αυτό που χρειάζεται η καλλιέργεια, απαιτείται συμπληρωματική αζωτούχος λίπανση.

Επίσης, ακόμα και στις περιπτώσεις κατά τις οποίες στα απόβλητα περιέχεται αρκετό άζωτο για την κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας, πιθανώς να απαιτείται, αρχικά τουλάχιστον, βασική ανόργανος αζωτούχος λίπανση, ιδιαίτερα όταν οι προφυτρωτικές αρδεύσεις γίνουν με νερό από συμβατικές πηγές.

Ο φώσφορος είναι επίσης απαραίτητος για όλα τα φυτά. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στα απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία κυμαίνεται από 6 έως 15 mg/L (15-35 mg/L P_2O_5), εκτός από τις περιπτώσεις όπου γίνεται ειδική επεξεργασία για την απομάκρυνσή του.

Η άρδευση με απόβλητα αυξάνει σταδιακά τα επίπεδα φωσφόρου στο έδαφος, μειώνοντας την ανάγκη για μελλοντική συμπληρωματική εφαρμογή φωσφορούχου λίπανσης. Περίσσεια φωσφόρου γενικά δεν αποτελεί πρόβλημα, ωστόσο είναι χρήσιμο να παρακολουθείται η παρουσία του στα απόβλητα και στο έδαφος.

Το κάλιο στα απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία κυμαίνεται από 10 έως 30 mg/L (12-36 mg/L K_2 , Pescod 1992).

Σχεδόν όλα τα νερά που προέρχονται από απόβλητα περιέχουν αρκετό ψευδάργυρο για να διορθωθούν οι ελλείψεις του εδάφους σε διάστημα 1 έως 3 έτη. Θεωρώντας ένα ετήσιο ύψος βροχής ίσο με 1200 mm και τη συγκέντρωση του Zn να κυμαίνεται από 0,15 έως 0,45 mg/L, έχουμε ετήσια εισροή στο έδαφος 0,18 έως 0,54 kg/στρέμμα (Page and Chang, 1985). Η ύπαρξη του ψευδαργύρου θεωρείται ευεργετική για εδάφη με ανεπαρκείς συγκεντρώσεις στο στοιχείο αυτό, αλλά η μέγιστη τιμή συγκέντρωσής του στο νερό άρδευσης δεν πρέπει να υπερβαίνεται (2 mg/L).

Σε μέρη όπου το ετήσιο ύψος βροχής είναι υψηλό μπορεί να υπάρξει έλλειψη θείου, που προκαλεί μειωμένη παραγωγή στις καλλιέργειες. Στα απόβλητα υπάρχει κατά κανόνα επαρκές θείο, ώστε να διορθώνονται οι ελλείψεις του στο έδαφος.

Τα απόβλητα περιέχουν επαρκείς ποσότητες βορίου, ώστε να διορθώνουν ελλείψεις του στοιχείου αυτού στο έδαφος. Μεγαλύτερη προσοχή πρέπει να δίνεται σε πιθανή περίσσεια βορίου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητες και μειωμένη παραγωγή.

Οι Hayes et al. (1990) βρήκαν ότι η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε καλλιέργεια χλοοτάπητα επέδρασε σε αύξηση της συγκέντρωσης των NO_3^- και του P στο έδαφος.

Οι Mujeriego et al. (1996) ανέφεραν ότι υπήρξε σποραδικές κηλίδες χλώρωσης σε γήπεδα γκολφ που αρδεύονταν με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα που περιείχαν μικρές ποσότητες σιδήρου. Ωστόσο, υπήρξε μια εξοικονόμηση λιπασμάτων από τα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία που υπήρχαν στα απόβλητα.

Οι Vasquez-Montiel et al. (1996) διεξήγαγαν πείραμα άρδευσης καλαμποκιού με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Τα απόβλητα περιείχαν υψηλές ποσότητες N με νιτρική μορφή και P. Δεν παρατηρήθηκε συσσώρευση P στο έδαφος, ενώ προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου υπήρξε συσσώρευση νιτρικών στο έδαφος.

Οι Maloura et al. (1999) διαπίστωσαν ότι η υδρολίπανση φυτών τομάτας και ζέρμπερας με απόβλητα έδωσε χειρότερα αποτελέσματα από ότι η υδρολίπανση με θρεπτικά στοιχεία. Οι Γαλάνης κ.α. (2000) δεν παρατήρησαν σημαντική διαφορά στην αποθήκευση των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος που αρδεύτηκε με απόβλητα, σε σύγκριση με το έδαφος που αρδεύτηκε με καθαρό νερό.

Οι Friedel et al. (2000) ανέφεραν ότι ο ολικός οργανικός άνθρακας αυξήθηκε σε εδάφη που αρδεύονταν με επεξεργασμένα απόβλητα για 25, 65 και 80 χρόνια.

Οι Panoras et al. (2001) σε μελέτη άρδευσης καλαμποκιού με απόβλητα και καθαρό νερό, διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στα φυτά και το έδαφος ήταν χαμηλή. Παρ' όλα αυτά, οι αποδόσεις των φυτών δεν διέφεραν σημαντικά.

Επίσης, οι Panoras et al. (2001) σε πείραμα άρδευσης βαμβακιού με επεξεργασμένα απόβλητα, ανέφεραν ότι η απόδοση του βαμβακιού αυξήθηκε κατά την άρδευση με τα απόβλητα σε σχέση με το καθαρό νερό.

Οι Βακάλης και Τσαντήλας (2002) μελέτησαν την άρδευση καλαμποκιού και βαμβακιού με απόβλητα και καθαρό νερό. Για το καλαμπόκι, η άρδευση με απόβλητα και η χορήγηση πλήρους ανόργανης λίπανσης αύξησε την απόδοση σε σχέση με την άρδευση με καθαρό νερό και ανόργανη λίπανση.

Οι Σακελλαρίου κ.α. (2003) σε πείραμα άρδευσης χλοοτάπητα με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα που προέρχονταν από τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας και με καθαρό νερό, παρατήρησαν ότι οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων ήταν χαμηλές (κυρίως N και P). Η απόδοση του χλοοτάπητα ήταν η ίδια στατιστικά και για τις 2 μεταχειρίσεις, όπως και η περιεκτικότητα της χλωροφύλλης στους ιστούς των φύλλων.

1.5.5. Διάφορα προβλήματα

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

Άλλο πιθανό πρόβλημα, το οποίο είναι και το πιο συχνά παρατηρούμενο, είναι η έμφραξη συστημάτων που αρδεύονται με καταιονισμό ή σταγόνες. Η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών στις οπές εξόδου των εκτοξευτήρων και των σταλακτήρων ή στους σωλήνες μεταφοράς του νερού προκαλούν εμφράξεις όπως επίσης και οι μεγάλες συγκεντρώσεις φυκών (algae) και αιωρούμενων στερεών (English 1985, Nakayama and Bucks 1985, Hilman and Dunn 1989).

Εάν τα επίπεδα υπολειμματικού χλωρίου παραμένουν υψηλά κατά το χρόνο εφαρμογής του νερού προκαλούνται ζημιές στα φυτά, εφ' όσον χρησιμοποιούνται συστήματα καταιονισμού. Υπολειμματικό χλώριο (Cl_2) λιγότερο από 1 mg/L δεν επηρεάζει το φύλλωμα των φυτών. Όταν όμως υπερβαίνει τα 5 mg/L μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές στα φυτά (Asano et al. 1985).

Από εργασίες, αναφέρεται ότι σε πείραμα άρδευσης καλαμποκιού με απόβλητα, η νιτροποίηση της αμμωνίας προκάλεσε μια μικρή μείωση της τιμής του pH, η οποία εξομαλύνθηκε κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου.

Οι Parayiannopoulou et al. (1998) σε πείραμα μελέτης των χαρακτηριστικών 3 τύπων σταλακτήρων ύστερα από άρδευση με καθαρό νερό και απόβλητα, διαπίστωσαν την καλή λειτουργία των σταλακτήρων και με τα 2 ποιότητες νερών άρδευσης.

Οι Al-Lahham et al. (2003) σε πείραμα άρδευσης τομάτας με απόβλητα και καθαρό νερό επισήμαναν ότι το pH των καρπών της τομάτας που αρδεύτηκαν με απόβλητα δεν μεταβλήθηκε, ενώ παρατηρήθηκε μια μικρή συσσώρευση μικροβιακού φορτίου στην επιδερμίδα των καρπών.

1.6. Επιλογή μεθόδου άρδευσης

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την άρδευση των καλλιεργειών διακρίνονται σε συμβατικές, όπως είναι η επιφανειακή άρδευση (κατάκλυση, λωρίδες, αυλάκια), σε καταιονισμό (τεχνητή βροχή), σε στάγδην άρδευση και πιο πρόσφατα σε υπόγεια στάγδην άρδευση.

Η άρδευση με κατάκλυση ή λωρίδες απαιτεί πλήρη κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα. Αυτός ο τρόπος άρδευσης μολύνει τμήμα της φυλλικής επιφάνειας των λαχανικών που έρχεται σε επαφή με τα απόβλητα καθώς και τη συγκομιζόμενη ρίζα. Επίσης, εκθέτει σημαντικά τους καλλιεργητές στα απόβλητα.

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 αυλακίων. Η μόλυνση όμως των αγροτών είναι μέση έως υψηλή.

Η μέθοδος άρδευσης με καταιονισμό είναι πιο αποδοτική όσον αφορά στη χρήση του νερού, επειδή μπορεί να επιτευχθεί ομοιομορφία στην εφαρμογή του. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος άρδευσης 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. Για να αποφευχθούν οι υπερβολικές απώλειες και να επιτευχθεί ομοιομορφία κατανομής του νερού στον αγρό, είναι καλό να γίνεται μια πρόχειρη ισοπέδωση του εδάφους (Χατζηγιαννάκης και Θεοδώρου 1991, Πανώρας κ.α 1993). 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, όταν το νερό είναι αλατούχο και περιέχει περίσσεια τοξικών ουσιών. Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα συσσώρευσης ιζήματος στους σωλήνες, τις βάνες, τους 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 σίτας και αύξηση της διαμέτρου των ακροφυσίων (μεγαλύτερα από 5 mm).

Οι μέθοδοι τοπικής άρδευσης (κυρίως Στάγδην άρδευση) θεωρούνται ιδανικές για χρήση με απόβλητα, επειδή : 1) αποτελούν κλειστά συστήματα και δεν εκθέτουν σε κίνδυνο τους αγρότες, 2) δεν προκαλούν διασπορά των αποβλήτων με τον άνεμο, όπως υπάρχει πιθανότητα να συμβεί με τον καταιονισμό και 3) δε 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 εμφραξης των σταλακτάρων από την καθίζηση του Ca.

Κατά την άρδευση με μικροεκτοξευτήρες, μια τεχνική που αναπτύχθηκε για την άρδευση των δενδρωδών καλλιεργειών, αποφεύγεται η ανάγκη χρησιμοποίησης σταλακτάρων με μικρές οπές, αλλά απαιτεί 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 (Πανώρας κ.ά. 1994) καθώς και οι πιθανοί κίνδυνοι από τον ψεκάσμο των αποβλήτων.

1.6.1. Η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση (Υ.Σ.Α.).

Η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση (Υ.Σ.Α.) είναι η συχνή εφαρμογή μικρών ποσοτήτων νερού στο έδαφος διαμέσου σταλακτών που είναι τοποθετημένοι σε αγωγό μεταφοράς που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση επιτρέπει την υψηλή παραγωγή των φυτών χωρίς προβλήματα έκπλυσης ή απορροής.

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

- Δυνατότητα εφαρμογής νερού βιολογικού καθαρισμού με μικροβιακό φορτίο
- Αυξημένη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού
- Μείωση της έκπλυσης του νερού στη ζώνη του ριζοστρώματος
- Μείωση της απορροής από το άκρο του χωραφιού
- Μείωση της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους
- Αυξημένη ομοιομορφία κατανομής του νερού στο χωράφι
- Μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας
- Μείωση της υγρασιακής καταπόνησης των φυτών εξαιτίας των συχνών αρδεύσεων

Η υπόγεια άρδευση είναι μια παραλλαγή της παραδοσιακής άρδευσης με σταγόνα, όπου οι σταλακτηφόροι αγωγοί θάβονται σε κάποιο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανάλογα με την καλλιέργεια. Η υπόγεια άρδευση είναι πιθανόν η παλαιότερη μοντέρνα μέθοδος άρδευσης. Σε έκθεση του Ινστιτούτου Εγγείων Βελτιώσεων (1977), αναφέρεται ότι η πρώτη παρατήρηση των πλεονεκτημάτων της έγινε το 1980 στη Γερμανία, όταν οι γεωργοί χρησιμοποίησαν ένα στραγγιστικό σύστημα από πηλοσωλήνες με ανοικτούς αρμούς για άρδευση και στράγγιση ταυτόχρονα. Η απόδοση των καλλιεργειών στην περιοχή αυξήθηκε σημαντικά. Ο Phene (1983,1993) αναφέρει ότι το 1913 ο House στις ΗΠΑ πότισε μηλιές, μηδική και δημητριακά με υπόγειους πορώδεις σωλήνες και διαπίστωσε ότι η μέθοδος ήταν δαπανηρή για συνήθεις καλλιέργειες, γι' αυτό και συνιστάται μόνο για εντατικές καλλιέργειες. Σύμφωνα με τον Phene, ο Korneff το 1926 πρότεινε την εφαρμογή ενός κλειστού αυτόματου υπόγειου συστήματος άρδευσης από πορώδεις σωλήνες συνδεδεμένους δια μέσου ενός πολλαπλού διανομέα με δεξαμενή νερού υπό καθεστώς χαμηλού κενού. Η κίνηση του νερού προς το έδαφος γινόταν λόγω διαφοράς δυναμικού. Οι Bordas και Mathien το 1930-31 εφαρμόσαν την μέθοδο Korneff και διαπίστωσαν αύξηση της παραγωγής και σημαντική εξοικονόμηση νερού και λιπάσματος (Phene et al. 1983, 1993). Παρ' όλα αυτά μερικά προβλήματα περιόρισαν την διάδοση της Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης. Οι Goldberg et al., σύμφωνα με τους Phene et al. (1993) εξέθεσαν τα εξής προβλήματα.

- ◆ Ο έλεγχος του υπόγειου συστήματος είναι δύσκολος.
- ◆ Η απόφραξη των σταλακτήρων από τις ρίζες και άλλα φερτά υλικά οδηγεί στην κακή λειτουργία του συστήματος
- ◆ Το υπόγειο σύστημα είναι δύσκολο να συντηρηθεί και να επιδιορθωθεί.

Οι Phene et al. (1983) πρότειναν τεχνικές διαχείρισης οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για την αποφυγή των αποφράξεων και οι οποίες καθιστούν την

Υπόγεια Στάγδην Άρδευση περισσότερο εφαρμόσιμη. Η εμφάνιση των βελτιωμένων πλαστικών υλικών κατέστησε την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση πιο οικονομική και εφαρμόσιμη σε πολλές καλλιέργειες μεταξύ των οποίων και αυτή του βαμβακιού (Smith et al. 1991).

Οι Devitt and Miller (1988) μελέτησαν τα αποτελέσματα της διαφορετικής διάταξης των υπόγειων σταλακτηφόρων αγωγών (61, 91 και 122 εκ.) για άρδευση του είδους *Cynodon dactylon* με αλατούχο νερό (EC = 2.2 dS/m) σε δύο εδάφη (αμμωπηλώδες 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 ημέρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αλατότητα ήταν ο κύριος περιοριστικός παράγοντας για την παραγωγικότητα του χλοοτάπητα στο αμμωπηλώδες 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 περιγράφονταν καλύτερα από μια παράμετρο που συμπεριελάμβανε την αλατότητα και την εδαφική υγρασία. Οι αποδόσεις παρέμεναν υψηλές έως ότου επιτευχθεί ένα κατώφλι στη σχέση αλατότητας και εδαφικής υγρασίας, μετά οι αποδόσεις μειώνονταν. Σε αυτό το πείραμα, μόνο η ισαποχή 61 εκ. των σταλακτηφόρων έδωσε μια αποδεκτή κατανομή νερού, αλάτων και μια αντίδραση του χλοοτάπητα, σε σύγκριση με το μάρτυρα που αρδευόταν επιφανειακά. Από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι δεν μπορεί να μεγιστοποιηθεί η ισαποχή των σταλακτηφόρων για μείωση της επένδυσης από τους σταλακτηφόρους, όταν χρησιμοποιείται η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση και αλατούχο νερό. Αντί για αυτό, θα πρέπει οι σταλακτηφόροι σωλήνες να τοποθετούνται σε μια απόσταση, όπου η έκπλυση να διατηρεί την ομοιομορφία της εδαφικής υγρασίας και τη μη συσσώρευση των αλάτων στο ενεργό ριζόστρωμα.

Ο Solomon (1993) αναφέρει ότι με την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση 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 Υπόγεια Στάγδην Άρδευση τα επιφανειακά 15-20 cm του εδάφους έχουν χαμηλότερη υγρασία όταν οι σταλακτηφόροι σωλήνες βρίσκονται σε βάθος 45 cm, με συνέπεια η εξάτμιση του νερού από το έδαφος να περιορίζεται. Σε ένα σχετικά ξηρό επιφανειακά χωράφι 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 εδάφους 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 Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης σε χλοοτάπητα. Η εφαρμογή της Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης σε χλοοτάπητα απαιτεί την τοποθέτηση των σταλακτήρων 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 Center of Irrigation Technology (California, Η.Π.Α.) δείχνουν ότι ο χλοοτάπητας μπορεί να παραμείνει υγιής χρησιμοποιώντας την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση. Οι τύποι των αρδευτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν συμπεριελάμβαναν ανθεκτικούς σωλήνες άρδευσης, σταλακτηφόρους τύπου ταινίας και πορώδεις σωλήνες. Μερικά από τα προϊόντα, εμφάνισαν έμφραξη από τις ρίζες τις πρώτες 60 ημέρες. Οι πορώδεις σωλήνες δεν αντιμετώπισαν πρόβλημα έμφραξης, αλλά παρατηρήθηκε απόκλιση από την ομοιομορφία κατανομής του νερού, ύστερα από αρκετά χρόνια λειτουργίας, εξαιτίας της συσσώρευσης λεπτών σωματιδίων στις διόδους του νερού. Το σύστημα της Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης εγκαταστάθηκε πριν από την εγκατάσταση του χλοοτάπητα, σε ένα βάθος 10 εκ. Οι σταλακτηφόροι τοποθετήθηκαν σε αποστάσεις 25 έως 60 εκ. Ο προγραμματισμός της άρδευσης σχεδιάστηκε ώστε να αντικαθιστά το 150 % της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, εξαιτίας 50 % απωλειών σε διάφορα 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 επιφανειακής στάγδην άρδευσης, Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης και άρδευσης με αυλάκια σε καλλιέργεια μαρουλιού, διαπίστωσαν παρόμοια απόδοση της καλλιέργειας όσον αφορά την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση 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 Υπόγεια Στάγδην Άρδευση. 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 Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης 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, εάν είχε ληφθεί μέριμνα για την αντιμετώπιση της έμφραξης των σταλακτιήρων.

Ο Ruskin (2000) αναφέρει ότι 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 Υπόγεια Στάγδην Άρδευση πρέπει να εφαρμόζεται με μικρές διακοπτόμενες δόσεις, οπότε η κίνηση του νερού στο έδαφος γίνεται κυρίως από τις τριχοειδείς δυνάμεις. Με αυτό τον τρόπο, σε εφαρμογή ίσης ποσότητας νερού έχουμε διαβροχή εδάφους με την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση 46% μεγαλύτερη από αυτή της επιφανειακής στάγδην άρδευσης.

Οι Σακελλαρίου κ.α. (2000) σε πείραμα άρδευσης καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων έδειξαν ότι κατά την υπόγεια άρδευση με σταλακτηφόρους σωλήνες οι τιμές της υγρασίας είναι μεγαλύτερες όσο αυξάνει το βάθος του εδάφους, σε σχέση με τις αντίστοιχες κατά την επιφανειακή στάγδην άρδευση. Αυτό βοηθάει στην μεγαλύτερη πρόσληψη νερού από το ριζικό σύστημα. Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι εφαρμόζοντας το 80 % της δόσης άρδευσης μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση νερού χωρίς ουσιαστική μείωση της παραγωγής στην υπόγεια άρδευση.

Οι Sakellariou et al. (2001) σε πείραμα σύγκρισης επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης, σε 2 επίπεδα δόσης άρδευσης, σε ζαχαρότευτλα διαπίστωσαν ότι η παραλλακτικότητα της απόδοσης σε βάρος ριζών ήταν μικρή στα τεμάχια της Υ.Σ.Α. αλλά η περιεκτικότητα των ριζών σε ζαχαρικό τίτλο διέφερε σημαντικά. Στα τεμάχια της επιφανειακής άρδευσης, ο ζαχαρικός τίτλος δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά εντός των τεμαχίων και η απόδοση σε βάρος ριζών διέφερε σημαντικά. Ακόμη, τα ζαχαρότευτλα απέδιδαν περισσότερο σε ζαχαρικό τίτλο όταν αρδεύονταν με το 100 % της δόσης άρδευσης και σε βάρος ριζών όταν αρδεύονταν με το 80 % της δόσης άρδευσης.

Οι Sakellariou et al. (2002) σε πείραμα σύγκρισης της επιφανειακής στάγδην άρδευσης και της υπόγειας στάγδην άρδευσης, διαπίστωσαν ότι η περιεχόμενη υγρασία στα τεμάχια

εδάφους που αρδεύονται με Υ.Σ.Α. αυξάνει με το βάθος. Η υγρασία στα τεμάχια που αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση ήταν υψηλή στο βάθος 0-30 εκ., μειώθηκε στο βάθος 30-60 εκ. και παρέμεινε σταθερή στο βάθος κάτω των 60 εκ. Όσον αφορά την απόδοση, η υπόγεια άρδευση υπερτερεί της επιφανειακής σε βάρος ριζών και ζαχαρικό τίτλο.

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 6,35 mm/ημέρα) και 4 διαφορετικούς πληθυσμούς (8125, 7320, 6590 και 5830 φυτά/στρέμμα). Οι σταλακτηφόροι τοποθετήθηκαν σε βάθος 45 εκ, με ισαποχή 150 εκ., ενώ οι σταλάκτες είχαν ισαποχή 30 εκατοστά. Η ημερήσια εφαρμογή ακόμη και μικρών ποσοτήτων νερού μέσω της Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης (2,54 mm) είχε σαν αποτέλεσμα το διπλασιασμό της απόδοσης σε σπόρο του καλαμποκιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παροχή 4,32 mm/ημέρα είναι η καταλληλότερη δόση άρδευσης για τον σχεδιασμό συστημάτων Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης σε αυτήν την περιοχή.

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

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

Οι Σακελλαρίου κ.α. (2003) χρησιμοποίησαν την Υ.Σ.Α. για άρδευση χλοοτάπητα με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα της πόλεως του Βόλου. Επιλέχθηκε η Υ.Σ.Α. γιατί δεν τίθεται όριο μικροβιολογικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων για άρδευση με χρησιμοποίηση της υπόγειας σταγόνας.

Επίσης, οι Sakellariou et al. (2003a,b) σε πείραμα άρδευσης καλλωπιστικών κωνοφόρων δένδρων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα και με μέθοδο την Υ.Σ.Α. διαπίστωσαν την καλή διύγρανση του ριζοστρώματος κατά τη διάρκεια των αρδεύσεων με τη μέθοδο T.D.R. Η

μεγαλύτερη αύξηση της εδαφικής υγρασίας παρατηρήθηκε στα βάθη 15-30 και 30-45 cm, όπου τα φυτά αναπτύσσουν τον κύριο όγκο ριζών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2-ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Εγκατάσταση του πειράματος

Το πείραμα εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο). Τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του αγροκτήματος είναι : Υψόμετρο 50 m, Γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ}23'$, γεωγραφικό μήκος $22^{\circ}45'$. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα τυπικό Μεσογειακό κλίμα με ζεστό και ξηρό καλοκαίρι και ψυχρό-υγρό χειμώνα. Το έδαφος στην περιοχή που εγκαταστάθηκε το πείραμα χαρακτηρίζεται ως αργιλλοπηλώδες.

Ο αγρός που χρησιμοποιήθηκε περιείχε υπολείμματα από καλλιέργεια σόργου. Το τελευταίο δεκαήμερο του Αυγούστου 2001 έγινε η καταστροφή των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας με κάψιμο και ενσωμάτωση.

Για την πραγματοποίηση του πειράματος, επιλέχθηκε η υπόγεια στάγδην άρδευση ως μέθοδος άρδευσης, διότι σύμφωνα με τους Bahri and Brissaud (2002) δεν τίθεται κάποιο όριο όσον αφορά τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων (Πίνακες 1.4, 1.5), επειδή δεν έρχονται σε άμεση επαφή τα απόβλητα με το κοινό και τους εργαζόμενους στο χώρο.

Στις 12/9/2001 έγινε η εκσκαφή του αγρού με τη βοήθεια εκσκαφέα σε βάθος 15 εκατοστών και ισοπέδωση του αγρού (Εικόνα 2.1). Η έκταση όπου έγινε η εκσκαφή ήταν 200 m^2 περίπου με διαστάσεις $8 \times 25 \text{ m}$. Το χώμα τοποθετήθηκε πρόχειρα σε παρακείμενη έκταση. Την επόμενη ημέρα (13/9/2002) έγινε ελαφρά κατεργασία του εδάφους με περιστροφικό καλλιεργητή (φρέζα), τύπου Terra Rotavator TM 186. Στις 14/9/2002 έγινε σβάρνισμα του χωραφιού με τσουγκράνες.

Στις 18/9/2001 έγινε τοποθέτηση πλαστικής κυλινδρικής δεξαμενής (Εικόνα 2.2), προοριζόμενης να δεχθεί τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα της πόλεως του Βόλου και το καθαρό νερό της γεώτρησης. Η δεξαμενή ήταν κατασκευασμένη από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), με χωρητικότητα 5 m^3 , της εταιρείας Σύρμος-Λεβαντής.

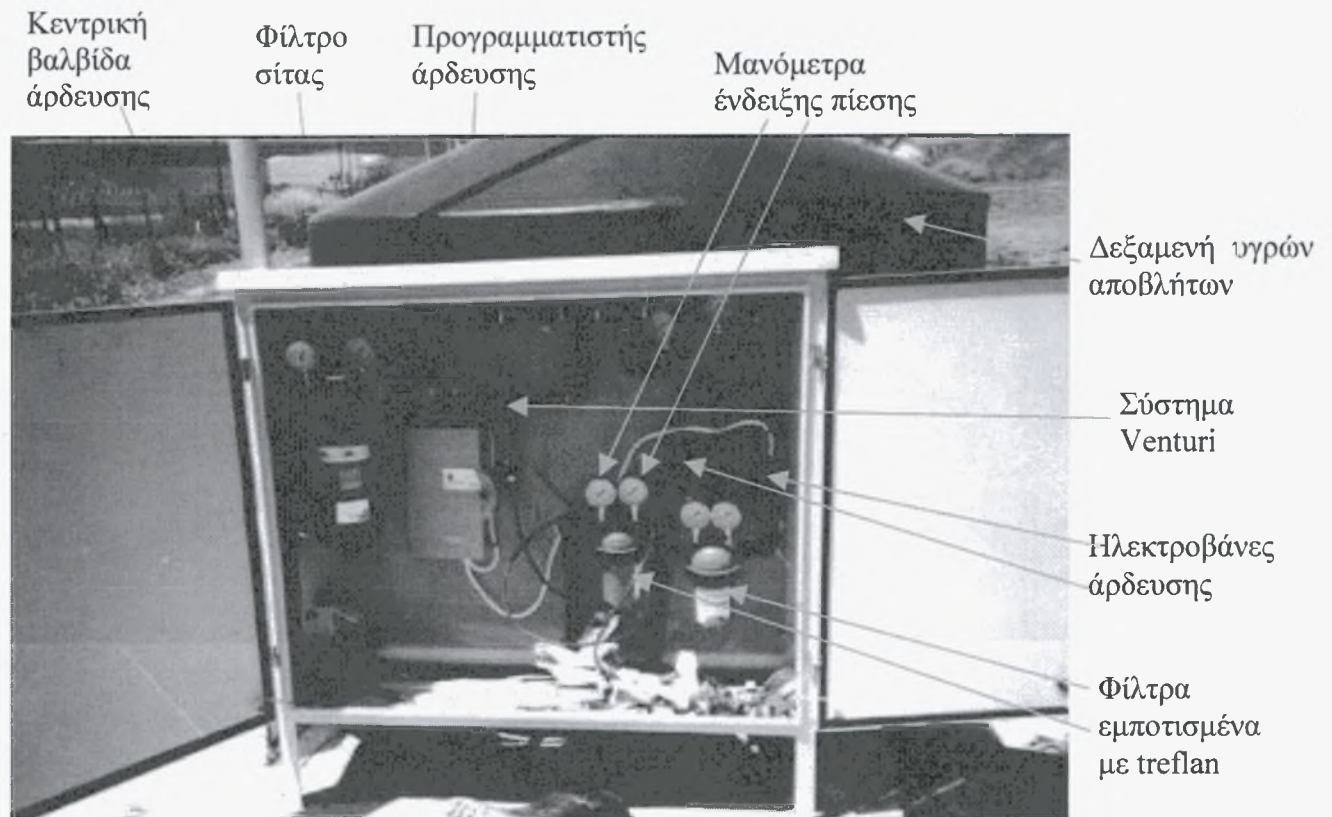
Κατόπιν έγινε η τοποθέτηση του πίνακα ελέγχου (Εικόνα 2.3). Ο πίνακας ελέγχου περιείχε την κεντρική ηλεκτροβάνα άρδευσης (Muster Valve), το φίλτρο σίτας για την κατακράτηση των στερεών συστατικών, τα μανόμετρα ένδειξης πίεσης λειτουργίας των αγωγών, τον προγραμματιστή άρδευσης Miracle 6 DC για τη διενέργεια της αυτοματοποιημένης άρδευσης, σύστημα Venturi για δυνατότητα υδρολίπανσης, 4 ηλεκτροβάνες άρδευσης και 2 φίλτρα (Tech-filter) εμποτισμένα με treflan.



Εικόνα 2.1 Εγκατάσταση του πειράματος.



Εικόνα 2.2 Τοποθέτηση της πλαστικής δεξαμενής



Εικόνα 2.3 Ο πίνακας ελέγχου άρδευσης

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

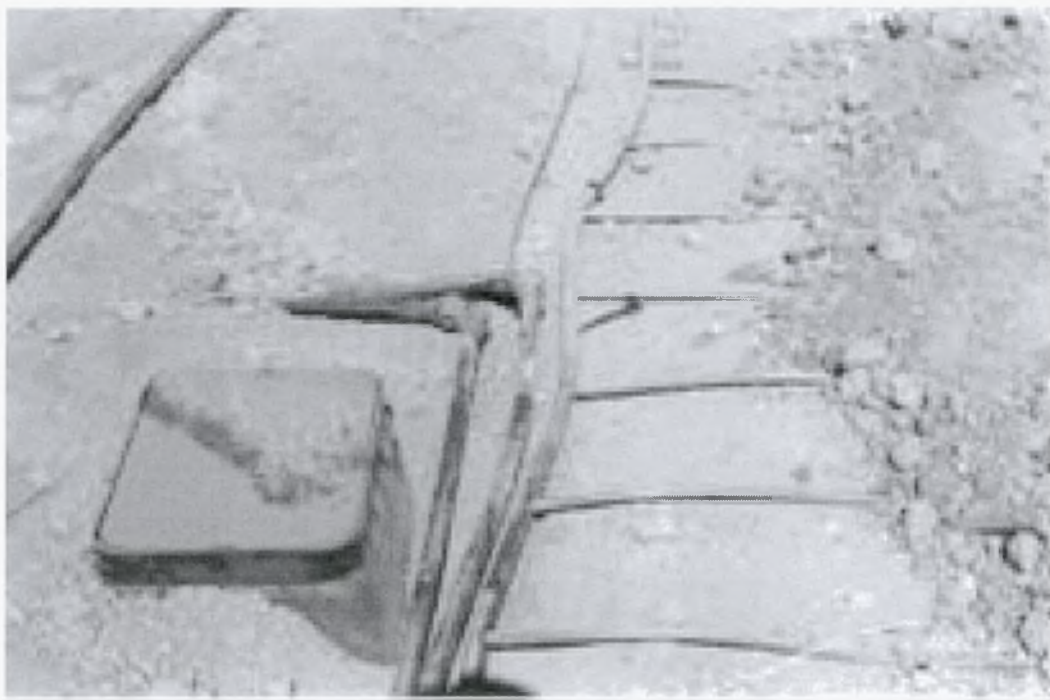
Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle DC 6, που λειτουργεί με μπαταρία, είναι κατασκευής της εταιρείας Motorola. Έχει τη δυνατότητα προγραμματισμού άρδευσης μέχρι και 6 ηλεκτροβανών, σε 3 διαφορετικά προγράμματα. Ο προγραμματιστής αποτελείται από τα εξής : Την οθόνη, τα τρία πλήκτρα εντολών, μια μπαταρία λιθίου 9 V, το άνοιγμα για τα καλώδια, τον πίνακα ελέγχου, το τερματικό τμήμα των καλωδίων και το πλαίσιο στήριξης.

Το φίλτρο σίτας 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 στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησίμευσε ως ριζοαπωθητικό, για την αποφυγή έμφραξης των σταλακτών από την είσοδο των ριζών.

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

Οι αγωγοί μεταφοράς τοποθετήθηκαν κατά μήκος και περιμετρικά του αγρού. Ο αγρός χωρίστηκε σε 4 τεμάχια, εκτάσεως 48 m² περίπου το καθένα (2*24 m), με 3 διαδρόμους μεταξύ τους (2*24 m ο καθένας). Τα 2 τεμάχια αποτέλεσαν μεταχειρίσεις του χλοοτάπητα και τα άλλα 2 μεταχειρίσεις προοριζόμενες για καλλωπιστικά φυτά. Μπροστά από κάθε τεμάχιο τοποθετήθηκε ένα φρεάτιο που περιείχε έναν υδρομετρητή, για την καταγραφή του καταναλισκόμενου όγκου νερού.

Στα 4 τεμάχια έγινε σύνδεση των αγωγών μεταφοράς με τους υπόγειους σταλακτηφόρους σωλήνες (Εικόνα 2.4). Σε κάθε τεμάχιο τοποθετήθηκαν 6 σταλακτηφόροι σωλήνες. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες ήταν τύπου RAM-Techline Φ17, της εταιρείας Netafim. Είχαν ισαποχή 40 cm και ήταν κατασκευασμένοι από PE. Το μήκος τους ήταν 24 m. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες έφεραν ενσωματωμένους σταλάκτες, οι οποίοι ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι. Οι σταλάκτες είχαν παροχή 1,6 L/h, ισαποχή 30 cm και λειτουργούσαν σε πίεση 0,5-4 Atm.



Εικόνα 2.4 Σύνδεση των αγωγών μεταφοράς με τους σταλακτηφόρους

Στο άκρο κάθε μεταχείρισης είχαν τοποθετηθεί ειδικές βαλβίδες εκτόνωσης της πίεσης και καθαρισμού των σταλακτών, για την αποφυγή έμφραξης του δικτύου ή εμφάνισης βλαβών (Εικόνα 2.5).

Ακολούθησε η επιχωμάτωση του αγρού της παραπάνω έκτασης, την **4/10/2001** με το χώμα που είχε τοποθετηθεί πρόχειρα σε παρακείμενη έκταση από την εκχωμάτωση (Εικόνα 2.6). Η επιχωμάτωση έγινε με τη βοήθεια μεγάλων εκσκαφών. Τοποθετήθηκε ένα προσωρινό σύστημα άρδευσης (καταιονισμός) που αποτελούνταν από 5+5 εκτοξευτήρες (pop-up) στο τεμάχιο όπου προοριζόνταν να σπαρεί ο χλοοτάπητας. Οι εκτοξευτήρες είχαν ισαποχή 5,80 m μεταξύ τους. Οι 6 από τους 10 συνολικά εκτοξευτήρες, είχαν τόξο διαβροχής 180°, πίεση λειτουργίας 1,7 Atm, ακτίνα διαβροχής 5,2 m και παροχή 0,51 m³/h ο καθένας τους. Οι υπόλοιποι 4, οι οποίοι τοποθετήθηκαν στα άκρα του τεμαχίου, είχαν τόξο διαβροχής 90°, πίεση λειτουργίας 1,7 Atm, ακτίνα διαβροχής 5,2 m και παροχή 0,26 m³/h. Η εγκατάσταση έγινε για την παροχή νερού για το φύτευμα του χλοοτάπητα.

Στις **5/10/2001** έγινε η σπορά του χλοοτάπητα τις πρωινές ώρες (8.30 πμ). Χρησιμοποιήθηκε το είδος *Festuca arundinacea* cv. Fine Lawn I. Η σπορά πραγματοποιήθηκε χειρωνακτικά (Εικόνα 2.7). Η συνιστώμενη ποσότητα σπόρου για την συγκεκριμένη ποικιλία ήταν 60 g/m². Η βλαστικότητα της *Festuca* ήταν 73 %. Για την έκταση των 200 m² χρησιμοποιήθηκαν 12 kg σπόρου. Κατόπιν έγινε τσουγκράνισμα του αγρού για την κάλυψη του σπόρου από το έδαφος. Ακολούθησε η ισοπέδωση του αγρού με κύλινδρο ελκόμενο από γεωργικό ελκυστήρα του αγροκτήματος.

Στις **10/10/2001** έγινε η μεταφύτευση στον πειραματικό αγρό από έτοιμα γλαστράκια, των ειδών Δάφνη Απολλώνιος (*Laurus nobilis*), Αγγελική (*Pittosporum tobira*), Πανσές (*Viola tricolor*). Χρησιμοποιήθηκαν 48 φυτά από κάθε είδος, 24 στη 1^η μεταχείριση και 24 στη 2^η μεταχείριση.

Μετά το πέρας αυτών των εργασιών, έγινε η πρώτη άρδευση στα 2 τεμάχια του χλοοτάπητα για το φύτευμα της καλλιέργειας. Η άρδευση πραγματοποιήθηκε από δεξαμενή εκ σκυροδέματος τοποθετημένη σε άλλο σημείο του αγροκτήματος, που διαμέσου ενός αγωγού μεταφοράς από PE, διατομής Φ 32 τροφοδοτούσε την πλαστική δεξαμενή του πειράματος.

Η *Festuca* φύτευσε στις **11/10/2001** (2.8). Οι αρδεύσεις για το φύτευμα του χλοοτάπητα συνεχίστηκαν έως τις **15/11/2001**. Συνολικά χορηγήθηκαν 55 mm νερού.

Στις **19/11/2001** έγινε ο διαχωρισμός των μεταχειρίσεων σε 4 επαναλήψεις (Εικόνα 2.9), εμβαδού 2*6 m η καθεμία. Κάθε τεμάχιο αποτέλεσε και μια μεταχείριση. Η 1^η μεταχείριση του χλοοτάπητα ονομάστηκε ΧΚ (Χλοοτάπητας Καθαρό) και η 2^η ΧΛ (Χλοοτάπητας Λύμα). Οι μεταχειρίσεις για τα καλλωπιστικά ήταν οι ΚΚ (Καλλωπιστικά Καθαρό) και ΚΛ (Καλλωπιστικά Λύμα, Σχήμα 2.1.).

Οι 6 σταλακτηφόροι αγωγοί που βρίσκονταν στις μεταχειρίσεις ΧΚ και ΚΚ συνδέθηκαν με αγωγό μεταφοράς του νερού (ΡΕ, Φ32) ο οποίος τροφοδοτούνταν από δεξαμενή χωρητικότητας 40 m³ κατασκευασμένη από σκυρόδεμα, που ήταν δίπλα στη γεώτρηση του αγροκτήματος.



Εικόνα 2.5 Έλεγχος λειτουργίας του αρδευτικού συστήματος



Εικόνα 2.6 Επιχωμάτωση και ισοπέδωση του πειραματικού αγρού



Εικόνα 2.7 Σπορά του χλοοτάπητα χειρωνακτικά



Εικόνα 2.8 Η ανάπτυξη του χλοοτάπητα στο αρχικό στάδιο

Την 1/2/2002 έγινε η τοποθέτηση 8 συρμάτινων πλαισίων, διαστάσεων 7×7 cm σε κάθε ένα από τα πειραματικά τεμάχια του χλοοτάπητα, με σκοπό τη λήψη παρατηρήσεων.

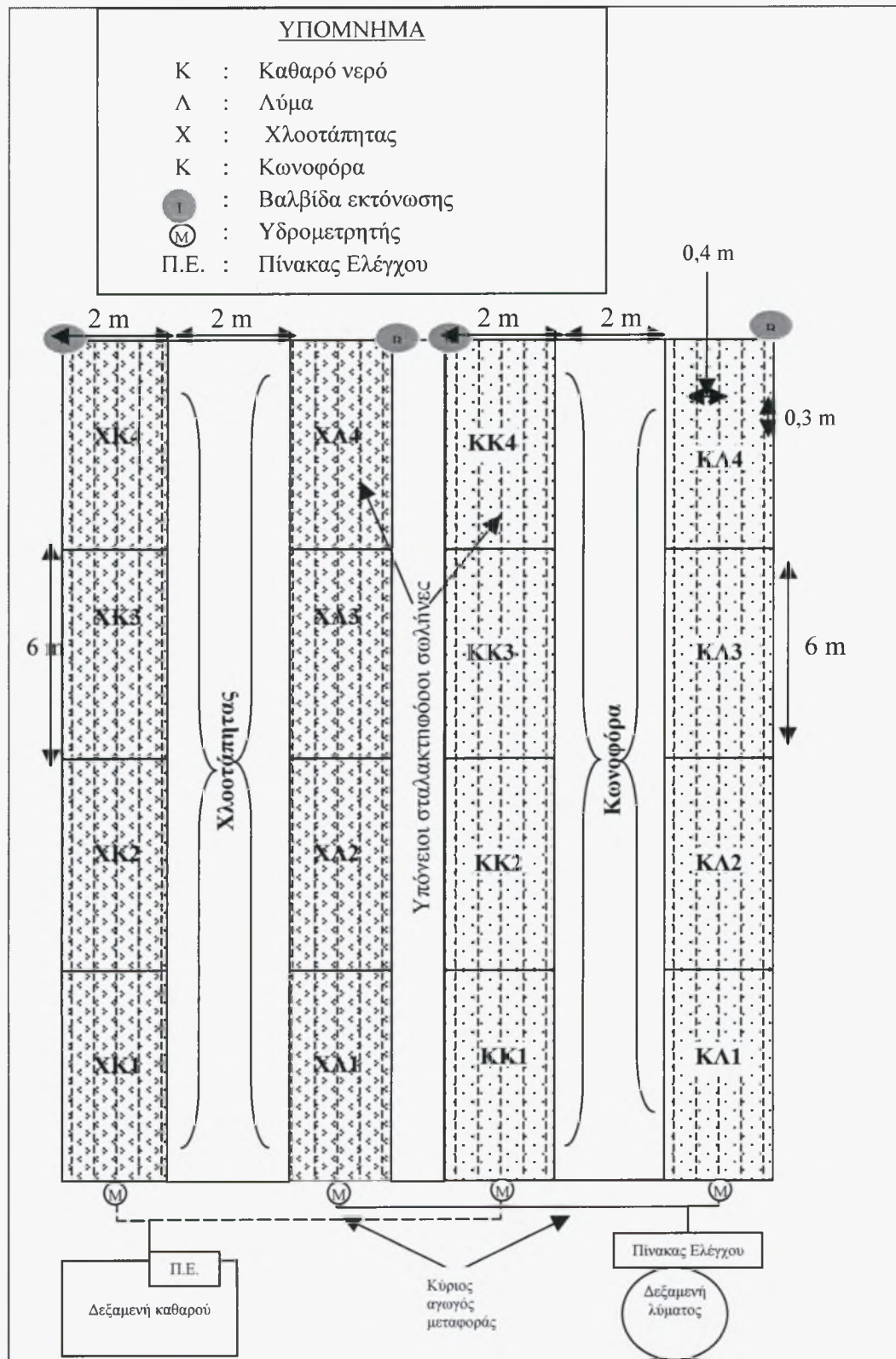
Στις 10/4/2002 έγινε η εκρίζωση των φυτών της Δάφνης, του Πανσέ και της Αγγελικής, επειδή τα φυτά δεν αναπτύσσονταν και βρίσκονταν σε κακή κατάσταση. Η κύρια αιτία για την κακή κατάσταση των φυτών ήταν ο παγετός και οι χαμηλές θερμοκρασίες που επικράτησαν κατά το τέλος του έτους 2001. Στη θέση τους μεταφυτεύθηκαν τα είδη *Juniperus chinensis* cv. *Stricta*, *Thuja orientalis* cv. *Compacta Aurea Nana* και *Cupressus macrocarpa* cv. *Gold Crest* (Εικόνες 2.10, 2.14).



Εικόνα 2.9 Οριοθέτηση των πειραματικών τεμαχίων του χλοοτάπητα



Εικόνα 2.10 Μεταφύτευση των κωνοφόρων δένδρων



2.1.1. Είδη φυτών που χρησιμοποιήθηκαν

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

Το είδος *Festuca arundinacea* είναι το κυριότερο ψυχρόφιλο είδος που καλλιεργείται με πολύ μεγάλη επιτυχία στην Ελλάδα από τη δεκαετία του 1970 (Σπαντιδάκης, 1999). Προσαρμόζεται σε μεγάλη ποικιλία κλιματικών και εδαφικών συνθηκών.

Δημιουργεί ένα πυκνό και σφικτό χλοοτάπητα με το έντονο αδέλωμα το οποίο την χαρακτηρίζει δεν έχει όμως την ικανότητα να έρπει αλλά αναπτύσσεται κατά τούφες (θύσανους). Το ριζικό της όμως σύστημα είναι πλούσιο και βαθύ, βαθύτερο από κάθε άλλο ψυχρόφιλο είδος.

Για το λόγο 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 ικανοποιητικότερη από την αντίστοιχη όλων των ψυχρόφιλων ειδών χλόης. Ικανοποιητικός είναι επίσης και ο χρωματισμός που διατηρεί κατά την περίοδο των υψηλών θερμοκρασιών ενώ αντιθέτως ο ρυθμός αναπτύξεως μειώνεται πολύ. Η αντοχή της σε σκιερά μέρη είναι μέτρια ενώ είναι ανθεκτική σε καταπόνηση και κυκλοφορία. Αναπτύσσεται καλύτερα σε εδάφη κυμαινόμενου pH μεταξύ 5,5 και 6,5 αλλά τα όρια αυξάνονται και μέχρι 4,7-8,7. Παρουσιάζει επίσης αντοχή σε αλκαλικά και αλατούχα εδάφη σε σχέση με τα υπόλοιπα ψυχρόφιλα είδη. Χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις και ιδιαίτερα όπου απαιτείται χλοοτάπητας αντοχής στην κυκλοφορία, πυκνός, σφικτός, με χρώμα που να διατηρείται ικανοποιητικό καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου (παιδικές χαρές πάρκα, πρανή εθνικών οδών κ.λ.π.). Η βελτιωμένη εντατική συντήρηση 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 4-5 εκατοστών. Απαιτεί όμως κούρεμα γιατί διαφορετικά ξυλοποιείται (καλαμώνει) εύκολα και ανθοφορεί (Σπαντιδάκης, 1999).

Είναι είδος το οποίο λόγω του αδρού φυλλώματος, της υψηλής αναπτύξεως αλλά και του τρόπου αναπτύξεως (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 °C) κιτρινίζει αρκετά αλλά δεν κινδυνεύει να καταστραφεί. Πολλές φορές εκτός από το κίτρινο χρώμα παρουσιάζει και έντονο αραίωμα (ξήρανση βλαστών-αδελφών από

χαμηλή θερμοκρασία). 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.

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, στη συμπεριφορά της ποικιλίας και στην ικανότητα απόδοσης παραγωγής του σπόρου. Η Fine Lawn I έχει ένα πράσινο χυμώδες χρώμα και ελκυστικά, μέσου μεγέθους κωνοειδή φύλλα που δίνουν τελικά έναν πυκνό τάπητα με μεγάλο αριθμό βλαστών. Η Fine Lawn προσαρμόζεται πολύ καλά στη ζέστη, στην ξηρασία, στη σκιά και στο κρύο. Ακόμη, η Fine Lawn αντέχει περισσότερο στη συχνή χρήση (πάτημα, κακή μεταχείριση κλπ.). Η Fine Lawn έχει βελτιωμένη αντίσταση στους παρακάτω μύκητες : *Rhizoctonia solani*, *Puccinia coronata*, *Cercospora spp.*, *Fusarium spp.*, *Ustilago stiiformis*, *Erysiphe graminis*, *Phytophthora spp.*

B) Κωνοφόρα δένδρα

i. *Juniperus chinensis cv. Stricta*

Είναι ένα αειθαλές δένδρο (Εικόνα 2.11) που αναπτύσσεται σε 15*3 m με χαμηλή ανάπτυξη. Διατηρεί το φύλλωμά του όλο το χρόνο, ανθοφορεί τον Απρίλιο και οι καρποί ωριμάζουν τον Οκτώβριο. Τα αρωματικά άνθη είναι δίοικα και επικονιάζονται με τον άνεμο. Επιτυγχάνει στα περισσότερα εδάφη εάν αυτά είναι καλά αποστραγγιζόμενα, προτιμώντας ένα ουδέτερο ή ελαφρά αλκαλικό έδαφος. Επιτυγχάνει σε πετρώδη εδάφη. Τα μεταφυτευμένα φυτά είναι ανθεκτικά στην ξηρασία, αντέχοντας σε ζεστές ξηρές τοποθεσίες. Είναι ένα αργά αναπτυσσόμενο και μάλλον μικρής διάρκειας ζωής δένδρο. Παράγει νέα βλάστηση από αρχές

Μαΐου έως το τέλος Αυγούστου και μπορεί να αυξηθεί έως 50 cm το έτος όσον αφορά το ύψος σε νεαρά ηλικία (Αθανασόπουλος, 2000, <http://www.comp.leeds.ac.uk/cgi-bin/pfaf>).



Εικόνα 2.11 Το είδος *Juniperus chinensis* cv. *Stricta*

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

Είναι αειθαλές δένδρο (Εικόνα 2.12) που αναπτύσσεται σε 15*5 m με χαμηλό ρυθμό. Διατηρεί το φύλλωμά του όλο το χρόνο, και οι καρποί ωριμάζουν από το Σεπτέμβριο έως τον Οκτώβριο. Τα άνθη είναι μόνοικα και επικονιάζονται από τον άνεμο. Προτιμά ένα υγρό πηλώδες έδαφος. Αναπτύσσεται καλύτερα σε ξηρές, ελεύθερα αποστραγγιζόμενες περιοχές, συχνά με αλκαλική αντίδραση. Είναι ανθεκτικό σε ξηρές, σκονισμένες περιοχές και στην ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων. Προτιμά τοποθεσίες προστατευμένες από τον ήλιο. Μεταφυτεύεται εύκολα.



Εικόνα 2.12 Το είδος *Thuja orientalis* cv. *Compacta Aurea Nana*

iii. *Cupressus macrocarpa* cv. *Gold Crest*

Είναι ένα αειθαλές δένδρο (Εικόνα 2.13) που αναπτύσσεται σε διαστάσεις 25*25 μέτρων με ένα γρήγορο ρυθμό. Έχει το φύλλωμά του όλο το χρόνο και η ανθοφορία του είναι από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο. Τα ευωδιαστά άνθη είναι μόνοικα (τα ξεχωριστά άνθη είναι είτε αρσενικά είτε θηλυκά, αλλά και τα δύο φύλα μπορούν να βρεθούν στο ίδιο φυτό) και επικονιάζονται μέσω του ανέμου. Αναπτύσσεται σε καλά στραγγιζόμενα πηλώδη ή τυρφώδη εδάφη. Πολύ ανθεκτικό σε θερμές ξηρές καταστάσεις. Ανέχεται τα πτωχά αμμώδη εδάφη αλλά τότε είναι πιο ευπαθές σε εντομολογικές προσβολές σε διαδοχική σειρά ξηρών περιόδων. Απαιτεί μια ηλιόλουστη

τοποθεσία. Δεν αναπτύσσεται καλά σε πετρώδη εδάφη αλλά ευδοκιμεί σε ασβεστώδη εδάφη. Είναι πολύ ανθεκτικό σε παραθαλάσσια έκθεση αλλά όχι ανθεκτικό στον άνεμο σε αβαθή εδάφη. Τα νεαρά δένδρα χρειάζονται υποστήλωση όταν φυτεύονται σε περιοχές με αντίξοες συνθήκες.



Εικόνα 2.13 Το είδος *Cupressus macrocarpa* cv. Gold Crest



Εικόνα 2.14 Η ανάπτυξη των κωνοφόρων δένδρων κατά την αρδευτική περίοδο

2.2 Μετρήσεις

2.2.1 Κλιματικά δεδομένα

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

Εκτός από την εξαμηνιαία εξαμηνιαία, καταγράφονταν σε ημερήσια βάση και τα κλιματικά δεδομένα, από αυτοματοποιημένο μετεωρολογικό σταθμό, που ήταν εγκατεστημένος στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου. Οι παράμετροι που λαμβάνονταν ήταν : Θερμοκρασία, Σχετική Υγρασία, Βροχόπτωση, Ταχύτητα ανέμου.

2.2.2 Εδαφολογική ανάλυση

Στις 11/10/2001 έγινε δειγματοληψία εδάφους για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Λήφθηκαν 7 δείγματα συνολικά, από τα τεμάχια 1 και 2. Τα δείγματα στο τεμάχιο 1 ήταν 4, σε βάθος 0-30, 30-60, 60-90 και 90-120 cm. Τα υπόλοιπα 3 δείγματα λήφθηκαν στο τεμάχιο 2 και στα βάθη 0-30, 30-60, 60-90 cm.

Χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά : δειγματολήπτης εδάφους ολλανδικού τύπου, πρόχειρη πλαστική σακούλα ανακίνησης του εδάφους για τεμαχισμό των βάλων, σακουλάκια δειγματοληψίας, χάρτινες αυτοκόλλητες ετικέτες αναγραφής των στοιχείων των δειγμάτων.

Τα δείγματα στάλθηκαν στο I.X.T.E.Λ. και οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν οι : Μηχανική ανάλυση, Οργανική Ουσία, pH (1:1), CaCO₃, P, Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.), Ολικά Διαλυτά Άλατα (T.D.S.), Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων, K, Na, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Cu, Mn, NO₃-N, NH₄-N.

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

2.2.3 Χλοοτάπητας

α) Ξηρή βιομάζα

Για την εύρεση της παραγωγικότητας σε ξηρή βιομάζα των 2 μεταχειρίσεων του χλοοτάπητα, γινόταν η κοπή του υπέργειου τμήματος του χλοοτάπητα σε διαστήματα περίπου ανά 2 εβδομάδες.

Την 1/3/2002 έγινε η πρώτη κοπή του χλοοτάπητα, για την εύρεση της νωπής μάζας των τεμαχίων της κάθε μεταχείρισης ξεχωριστά. Χρησιμοποιήθηκε η βενζινοκίνητη μηχανή κοπής του χλοοτάπητα τύπου Raser. Ο κινητήρας της μηχανής ήταν τύπου Master της εταιρείας Briggs and Stratton, με ισχύ 3,5 Hp. Η κοπή γινόταν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο του χλοοτάπητα.

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 12100 g., ελάχιστο βάρος τα 5 g., και σφάλμα ανάγνωσης το 1 g. Οι κοπές επαναλαμβάνονταν ανά 2 εβδομάδες περίπου, ανάλογα και με την ανάπτυξη του χλοοτάπητα. Έγιναν συνολικά 16 κοπές, τις ημερομηνίες 1/3/2002, 21/3, 10/4, 24/4, 8/5, 22/5, 22/6, 6/7, 20/7, 3/8, 17/8, 31/8, 14/9, 2/10, 23/10 και 16/11/2002.

β) Χλωροφύλλη με χλωροφυλλόμετρο

Στις 23/2/2002 πραγματοποιήθηκε μέτρηση των φύλλων του χλοοτάπητα με το όργανο SPAD 502 της εταιρείας Minolta, για την εκτίμηση της περιεχόμενης χλωροφύλλης. Οι τιμές που μετρώνται από το όργανο αντιστοιχούν στο ποσό της χλωροφύλλης που υπάρχει στο φύλλο ενός φυτού. Οι τιμές υπολογίζονται βάση της ποσότητας του φωτός που εκπέμπεται από το φύλλο σε 2 μήκη κύματος. Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο έως Νοέμβριο του 2002 και συγκεκριμένα τις ημερομηνίες 10/4, 24/4, 26/7, 30/7, 10/8, 10/9, 20/9, 28/9, 9/10, 16/10, 12/11 και 25/11/2002. Χρησιμοποιήθηκε το όργανο του Εργαστηρίου Ζιζανιολογίας για τις 3 πρώτες μετρήσεις και οι υπόλοιπες με το όργανο του Εργαστηρίου Γενετικής Βελτίωσης Φυτών.

γ) Ύψος φύλλου-ακραιοῦ μεριστώματος

Για την παρατήρηση του ρυθμού ανάπτυξης του χλοοτάπητα, μετρούνταν δειγματοληπτικά ένας αριθμός βλαστών από κάθε επανάληψη, όσον αφορά το ύψος του μεγαλύτερου φύλλου και του ακραιοῦ μεριστώματος. Οι μετρήσεις έγιναν εντός των συρμάτινων πλαισίων που είχαν τοποθετηθεί σε κάθε μεταχείριση. Χρησιμοποιήθηκε ένα υποδεκάμετρο, ενώ οι παρατηρήσεις καταγράφονταν για επεξεργασία σε στατιστικό πρόγραμμα. Στις 20/2/2002 έγινε η πρώτη

μέτρηση του ύψους του μεγαλύτερου φύλλου σε έναν αριθμό 5 φυτών χλοοτάπητα σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν έως το Σεπτέμβριο του 2002, περίπου ανά 2 εβδομάδες. Στις 24/4/2002 μετρήθηκε το ύψος του ακραίου μεριστώματος σε έναν αριθμό 5 φυτών στο πλέγμα κάθε πειραματικού τεμαχίου του χλοοτάπητα. Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν τις ημερομηνίες 8/5, 22/5, 22/6, 3/7, 19/7, 20/7, 29/7, 3/8, 10/8, 16/8, 17/8, 31/8, 14/9, 28/9, 30/9, 22/10, 23/10 και 16/11/2002.

δ) Χλωροφύλλη με εκχύλιση

Η περιεχόμενη χλωροφύλλη των φύλλων του χλοοτάπητα μετρήθηκε και με τη μέθοδο εκχύλισης με αιθανόλη. Για την εύρεση της ξηρής μάζας των φύλλων λαμβάνονταν ένα δείγμα για προσδιορισμό της υγρασίας. Η πρώτη εκχύλιση έγινε την 30/4/2002. Οι υπόλοιπες έγιναν τον Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του 2002.

ε) Φυλλοδιαγνωστική

Πάρθηκε δείγμα από τη βιομάζα του χλοοτάπητα της πρώτης και της τελευταίας κοπής, με σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των διαφόρων θρεπτικών στοιχείων. Για την πρώτη ανάλυση πάρθηκε ένα γενικό δείγμα, που αντιστοιχούσε στο μέσο όρο των συγκεντρώσεων των στοιχείων και των δυο μεταχειρίσεων. Η δεύτερη ανάλυση, στο τέλος, πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για τις δυο μεταχειρίσεις. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας.

Επίσης, (9/10/2002) έγινε δειγματοληψία από φύλλα του χλοοτάπητα, για προσδιορισμό της συγκέντρωσης διαφόρων θρεπτικών στοιχείων στους ιστούς μετά το τέλος της αρδευτικής περιόδου.

2.2.4 Κωνοφόρα

α) Ύψος

Για την εύρεση της αύξησης των κωνοφόρων των 2 μεταχειρίσεων, λαμβάνονταν το ύψος από όλα τα φυτά σε χρονικά διαστήματα περίπου ανά 2 εβδομάδες. Η πρώτη μέτρηση λήφθηκε στις 10/4/2002 ενώ η τελευταία στις 16/11/2002.

β) Διάμετρος φυτοκόμης

Μετρήθηκε η μεταβολή της διαμέτρου της φυτοκόμης των κωνοφόρων ανά 2 εβδομάδες. Οι μετρήσεις διενεργήθηκαν την περίοδο 10/4/2002-16/11/2002.

γ) Δείκτης L.A.I.

Στις **26/7/2002** πραγματοποιήθηκε μέτρηση του δείκτη L.A.I. στα 3 είδη των κωνοφόρων. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε η συσκευή SunScan της εταιρείας Delta-T Devices. Η συσκευή είναι φορητή για τη μέτρηση των επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας στο τμήμα της ενεργού φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (P.A.R.) στην φυτοκόμη των φυτών. Με αυτή τη συσκευή μπορεί να γίνει μέτρηση της ανάσχεσης της ηλιακής ακτινοβολίας από την φυτοκόμη και να γίνει εκτίμηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας της φυτοκόμης. Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε με το όργανο του Εργαστηρίου Ζιζανιολογίας και οι υπόλοιπες με το όργανο του Ι.Χ.Τ.Ε.Α. Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν στις **2/8, 9/8, 20/9, 27/9** και **16/11/2002**.



Εικόνα 2.13 Μέτρηση του δείκτη L.A.I.

δ) Μήκος πλάγιου βλαστού

Μετρήθηκε το μήκος ενός συγκεκριμένου πλάγιου βλαστού σε κάθε ξεχωριστό φυτό. Ο βλαστός σημειώθηκε με κάποιον δείκτη. Οι μετρήσεις έγιναν την περίοδο **1/8/2002-16/11/2002**.

ε) Διάμετρος κύριου βλαστού

Για τη μέτρηση της διαμέτρου του κύριου βλαστού των κωνοφόρων χρησιμοποιήθηκε ένα παχύμετρο της εταιρείας INOX, με κλίμακα ανάγνωσης 0-15 cm και διακριτικότητα ανάγνωσης 0,05 mm. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις **8/7/2002** και στις **9/4/2003**.

στ) Εκχύλιση χλωροφύλλης

Στις 30/4/2002 πάρθηκε δείγματα από όλες τις μεταχειρίσεις των 3 ειδών κωνοφόρων, με σκοπό την εύρεση της περιεκτικότητας της χλωροφύλλης στα φύλλα των κωνοφόρων. Έγιναν μετρήσεις ανά μήνα περίπου, έως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου.

Την ίδια ημέρα πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες παρατηρήσεις σε παραμέτρους των κωνοφόρων. Οι παράμετροι ήταν : Ύψος φυτών, διάμετρος φυτοκόμης κωνοφόρων. Οι παρατηρήσεις επαναλαμβάνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα (περίπου 15ήμερα) έως τις **16/11/2002**. Επίσης έγιναν μετρήσεις του μήκους ενός πλάγιου βλαστού σε κάθε κωνοφόρο και της διαμέτρου του κύριου βλαστού σε ύψος 10 cm από το έδαφος. Οι μετρήσεις του πλάγιου βλαστού και της διαμέτρου του κύριου βλαστού έγιναν τον Ιούλιο του 2002 και στο τέλος της περιόδου. Για τη μέτρηση του ύψους των φυτών, διαμέτρου φυτοκόμης και του μήκους του πλάγιου βλαστού, χρησιμοποιήθηκε ένα υποδεκάμετρο.

2.2.5. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R.

Η μέθοδος της T.D.R. για την μέτρηση της ογκομετρικής περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό, αποτελεί σήμερα μια από τις πλέον αξιόπιστες και ακριβείς μεθόδους. Αρκετές εργασίες έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. (Τζιμόπουλος κ.α. 1983, Σακελλαρίου κ.α. 1997, Σακελλαρίου κ.α. 1998, Τζιμόπουλος κ.α. 2000, Ντιούδης κ.α. 2000, Καλφούντζος κ.α. 2000, Sakellariou et al. 2001, Sakellariou et al. 2002, κ.α.).

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. Η διηλεκτρική σταθερά του εδάφους είναι γνωστό ότι εξαρτάται από το ποσοστό του νερού που περιέχεται σε αυτό (Torpp et al., 1980).

Τοποθετήθηκαν συνολικά 12 αισθητήρες σε αντίστοιχα πειραματικά τεμάχια. Οι 8 τοποθετήθηκαν στα πειραματικά τεμάχια του χλοοτάπητα, ενώ οι υπόλοιποι 4 στα τεμάχια ΚΚ1, ΚΚ2, ΚΚ3 και ΚΛ1 των καλλωπιστικών. Στις **14/3/2002** έγινε η τοποθέτηση αισθητήρων στα πειραματικά τεμάχια.

2.3. Άρδευση

Οι αρδεύσεις πραγματοποιήθηκαν το διάστημα 20/5/2002-28/9/2002. Υπάρχουν 2 τρόποι για τον υπολογισμό της δόσης άρδευσης. Ο πρώτος τρόπος λαμβάνει υπόψη του τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και ο δεύτερος τρόπος αφορά την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.

Σύμφωνα με τον 1^ο τρόπο (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 1993) υπολογίστηκαν τα μεγέθη : Υδατοϊκανότητα (% ξηρού βάρους εδάφους), Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (% ξ.β. εδάφους), Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (g/cm^3), Βάθος ριζοστρώματος καλλιέργειας (mm), Συντελεστής εξάντλησης διαθέσιμης υγρασίας, Ποσοστό διαβροχής του εδάφους, Συντελεστής εφαρμογής του νερού. Τα δεδομένα των παραπάνω μεγεθών απεικονίζονται στον Πίνακα 2.1

Πίνακας 2.1 Φυσικές Ιδιότητες του Εδάφους

Παράμετρος	Τιμή
Υδατοϊκανότητα (FC, % ξηρού βάρους)	21,2
Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP, % ξηρού βάρους)	11,64
Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (ASW, g/cm^3)	1,23
Βάθος ριζοστρώματος χλοοτάπητα (RD, mm)	500
Βάθος ριζοστρώματος κωνοφόρων (RD, mm)	350
Συντελεστής Εξάντλησης Διαθέσιμης Υγρασίας (C)	0,5
Ποσοστό διαβροχής του εδάφους (P)	1
Βαθμός εφαρμογής του νερού	0,95

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

$$I_d = \frac{(FC - PWP)}{100} \times ASW \times RD \times C \times P \quad (2.1)$$

Με αντικατάσταση στον τύπο (2.1) προκύπτει για τον χλοοτάπητα :

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

Για τα κωνοφόρα η θεωρητική δόση άρδευσης είναι :

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

Η πρακτική δόση άρδευσης ισούται με :

$$I_{da} = \frac{I_d}{n} \quad (2.2)$$

Η πρακτική δόση άρδευσης του χλοοτάπητα είναι :

$$I_{da} = 29,4/0,95 = 30,9 \text{ mm ή } 30,9 \text{ m}^3/\text{στρ. ή } 1,483 \text{ m}^3 \text{ για την επιφάνεια των } 48 \text{ m}^2$$

Η αντίστοιχη πρακτική δόση άρδευσης των κωνοφόρων είναι :

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

Το εύρος άρδευσης (I) ισούται με :

$$I = \frac{I_d}{ET_c} \quad (2.3)$$

όπου ET_c η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.

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

Το εύρος άρδευσης για τον χλοοτάπητα ήταν :

$$I = 29,4/3,2 = 9 \text{ ημέρες τον Μάιο και } I = 29,4/5 = 6 \text{ ημέρες τον Ιούνιο.}$$

Επειδή η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε 2 ημέρες, έγινε αναγωγή της δόσης άρδευσης σε διήμερη βάση. Έτσι, η δόση άρδευσης ήταν $0,330 \text{ m}^3$ ανά 2 ημέρες για τον Μάιο και $0,490 \text{ m}^3$ ανά 2 ημέρες για τον Ιούνιο.

Το εύρος άρδευσης των κωνοφόρων ήταν :

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

Η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε 2 ημέρες, όπως και στον χλοοτάπητα. Γι αυτό το λόγο έγινε πάλι αναγωγή της δόσης άρδευσης σε διήμερη βάση. Η δόση άρδευσης ήταν $0,350 \text{ m}^3$ ανά 2 ημέρες για τον Μάιο και $0,520 \text{ m}^3$ ανά 2 ημέρες για τον μήνα Ιούνιο.

Τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο η άρδευση πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου μέτρησης της εξατμισοδιαπνοής. Λαμβανόταν σε ημερήσια βάση η μέτρηση της εξατμίσης από Εξατμισόμετρο τύπου A που είχε εγκατασταθεί στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου. Με τη χρησιμοποίηση του συντελεστή του εξατμισομέτρου (0,8), εξαγόταν η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_r). Για την εύρεση της ημερήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών, χρησιμοποιήθηκαν οι φυτικοί συντελεστές των καλλιεργειών. Ο φυτικός συντελεστής ήταν ίσος με 1 για τον χλοοτάπητα και 0,85 για τα κωνοφόρα. Η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσώπευε και την ημερήσια δόση άρδευσης σε mm. Η δόση άρδευσης αναγόταν σε όγκο νερού για τη συγκεκριμένη έκταση που κατελάμβανε κάθε τεμάχιο (48 m^2).

Η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε 2 ημέρες. Η αθροιστική εξατμισοδιαπνοή των 2 ημερών λαμβάνονταν υπόψη και γινόταν η εύρεση της δόσης άρδευσης.

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

$$I_{dh} = \frac{q}{S_t \times S_r} \quad (2.4)$$

Όπου

I_{dh} = ωριαίο ύψος βροχής (mm/hr)

q = παροχή των σταλακτών (L/hr)

S_t = ισαποχή σταλακτών (0,3 m)

S_r = ισαποχή σταλακτηφόρων (0,4 m)

$S_t \times S_r$ = η διάταξη των σταλακτών (m*m=m²)

Το ωριαίο ύψος βροχής βρέθηκε ίσο με :

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

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

2.3.1. Εξατμισόμετρο

Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη μέθοδο του Εξατμισιμέτρου Α τάξεως (Παπαζαφειρίου 1999). Το Εξατμισόμετρο Α Τάξεως είναι μια κυλινδρική λεκάνη κατασκευασμένη από χοντρή γαλβανισμένη λαμαρίνα με διάμετρο 121 cm και βάθος 25,4 cm που τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση ώστε ο πυθμένας της να είναι απόλυτα οριζοντιωμένος και να απέχει 15 cm από την επιφάνεια του εδάφους (Εικόνα 2.14). Στη συνέχεια το έδαφος υπερυψώνεται κάτω από τη λεκάνη έτσι που τελικά να απέχει 5 cm από τον πυθμένα της. Η λεκάνη γεμίζεται με νερό μέχρι 5 cm κάτω από το πάνω χείλος της, η δε στάθμη του νερού κατά τη λειτουργία του οργάνου δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 7,5 cm από το χείλος αυτό.

Το νερό της λεκάνης πρέπει να ανανεώνεται συχνά για να μη θολώνει. Τα τοιχώματα της λεκάνης κάθε χρόνο θα πρέπει να χρωματίζονται με χρώμα αλουμινίου. Η εύρεση της πτώσης της στάθμης γινόταν μέσω ενός γυάλινου ογκομετρικού σωλήνα (Εικόνα 2.15).

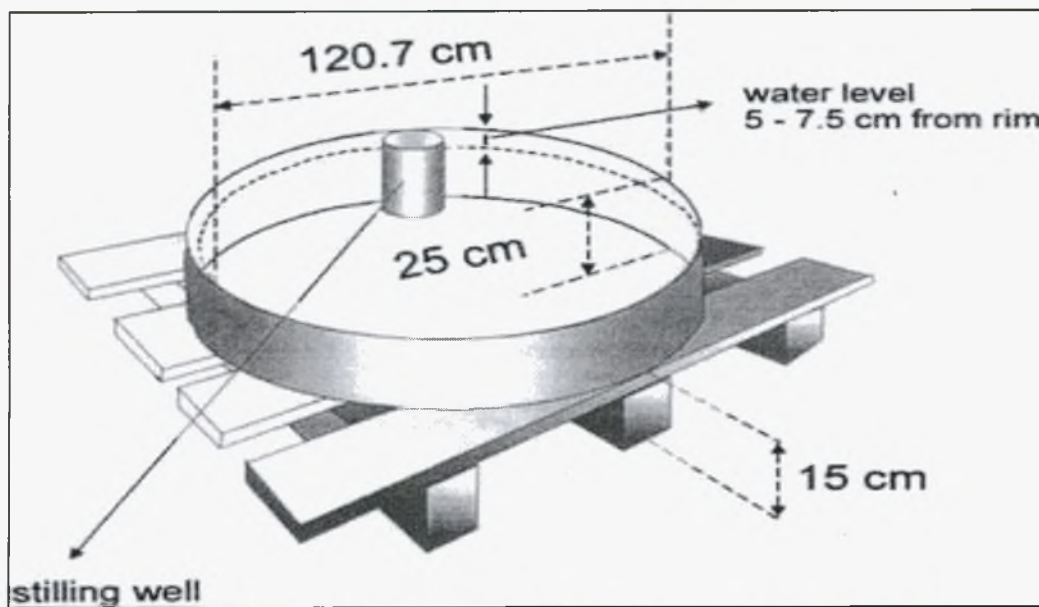
Ο ογκομετρικός σωλήνας ήταν κατασκευής της εταιρείας Fortuna (Γερμανία). Είχε μήκος 28,5 cm και διάμετρο 1,2 cm. Είχε χωρητικότητα 50 mL, με διακριτότητα 0,1 mL. Ο κύλινδρος ήταν κατασκευασμένος σύμφωνα με τα πρότυπα DIN AS με σφάλμα ανάγνωσης 0,05 mL.

Η σχέση που δίνει τη βασική εξατμισοδιαπνοή στη μέθοδο του εξατμισιμέτρου είναι : $ET_T = K_p \cdot E_{pan}$. Όπου E_{pan} είναι η μέση εξάτμιση του 24ώρου από το εξατμισόμετρο σε mm/ημέρα και

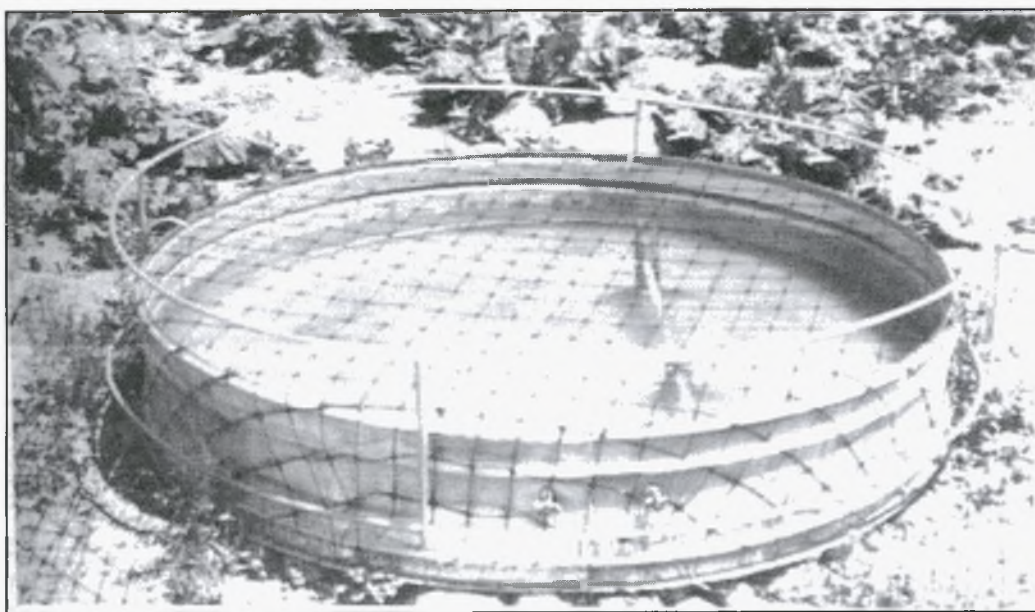
K_p είναι ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου. Από δεδομένα προηγούμενων ετών, ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου λήφθηκε ίσος με 0,8.

Η βασική εξατμισοδιαπνοή πολλαπλασιάζονταν με τον φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας, για την εύρεση της ημερήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Για τον χλοοτάπητα ο φυτικός συντελεστής λήφθηκε 1 και για τα κωνοφόρα 0,85 (Allen et al., 1998).

Στους Πίνακες 2.2 και 2.3 δίδεται η ημερήσια διάρκεια άρδευσης για τον χλοοτάπητα και τα κωνοφόρα.



Εικόνα 2.14 Διαγραμματική απεικόνιση του εξατμισιμέτρου



Εικόνα 2.15 Φωτογραφία του εξατμισιμέτρου που χρησιμοποιήθηκε

Πίνακας 2.2 Υπολογισμός της ημερήσιας διάρκειας άρδευσης για τον
Χλοοτάπητα

Εξάτμιση (E, mm/day)	Δόση άρδευσης $I_{da} = E \cdot 0,8 \cdot 1$ (mm) ή (m ³ /στρ.)	Δόση άρδευσης (L/48 m ²)	Ωριαίο ύψος βροχής $I_{dh} = q/St \cdot Sr$ (mm/hr)	Διάρκεια άρδευσης $I_t = I_{da}/I_{dh}$ (hr)	Διάρκεια άρδευσης $I_t = I_{da}/I_{dh}$ (min)
1	0,8	38,4	13,33	0,06	3,6
2	1,6	76,8	13,33	0,12	7,2
3	2,4	115,2	13,33	0,18	10,8
4	3,2	153,6	13,33	0,24	14,4
5	4,0	192	13,33	0,30	18
6	4,8	230,4	13,33	0,36	21,6
7	5,6	268,8	13,33	0,42	25,2
8	6,4	307,2	13,33	0,48	28,8
9	7,2	345,6	13,33	0,54	32,4
10	8,0	384	13,33	0,60	36
11	8,8	422,4	13,33	0,66	39,6
12	9,6	460,8	13,33	0,72	43,2
13	10,4	499,2	13,33	0,78	46,8
14	11,2	537,6	13,33	0,84	50,4
15	12	576	13,33	0,9	54
16	12,8	614,4	13,33	0,96	57,6
17	13,6	652,8	13,33	1,02	61,2
18	14,4	691,2	13,33	1,08	64,8
19	15,2	729,6	13,33	1,14	68,4
20	16	768	13,33	1,2	72
21	16,8	806,4	13,33	1,26	75,6
22	17,6	844,8	13,33	1,32	79,2
23	18,4	883,2	13,33	1,38	82,8
24	19,2	921,6	13,33	1,44	86,4
25	20	960	13,33	1,5	90
26	20,8	998,4	13,33	1,56	93,6
27	21,6	1036,8	13,33	1,62	97,2
28	22,4	1075,2	13,33	1,68	100,8
29	23,2	1113,6	13,33	1,74	104,4
30	24	1152	13,33	1,8	108

Πίνακας 2.3 Υπολογισμός της ημερήσιας διάρκειας άρδευσης για τα κωνοφόρα

Εξάτμιση (E, mm/day)	Δόση άρδευσης I_{da} $= E*0,8*0,85$ (mm) ή ($m^3/στρ.$)	Δόση άρδευσης ($L/48 m^2$)	Ωριαίο ύψος βροχής $I_{dh} = q/St*Sr$ (mm/hr)	Διάρκεια άρδευσης $I_t = I_{da}/I_{dh}$ (hr)	Διάρκεια άρδευσης $I_t = I_{da}/I_{dh}$ (min)
1	0,68	32,64	13,33	0,05	3,61
2	1,36	65,28	13,33	0,10	6,1
3	2,04	97,92	13,33	0,15	9,2
4	2,72	130,56	13,33	0,20	12,2
5	3,4	163,2	13,33	0,26	15,3
6	4,08	195,84	13,33	0,31	18,4
7	4,76	228,48	13,33	0,36	21,4
8	5,44	261,12	13,33	0,41	24,5
9	6,12	293,76	13,33	0,46	27,5
10	6,8	326,4	13,33	0,51	30,6
11	7,48	359,04	13,33	0,56	33,7
12	8,16	391,68	13,33	0,61	36,7
13	8,84	424,32	13,33	0,66	39,8
14	9,52	456,96	13,33	0,71	42,9
15	10,2	489,6	13,33	0,77	45,9
16	10,88	522,24	13,33	0,82	49,0
17	11,56	554,88	13,33	0,87	52,0
18	12,24	587,52	13,33	0,92	55,1
19	12,92	620,16	13,33	0,97	58,2
20	13,6	652,8	13,33	1,02	61,2
21	14,28	685,44	13,33	1,07	64,3
22	14,96	718,08	13,33	1,12	67,3
23	15,64	750,72	13,33	1,17	70,4
24	16,32	783,36	13,33	1,22	73,5
25	17	816	13,33	1,28	76,5
26	17,68	848,64	13,33	1,33	79,6
27	18,36	881,28	13,33	1,38	82,6
28	19,04	913,92	13,33	1,43	85,7
29	19,72	946,56	13,33	1,48	88,8
30	20,4	979,2	13,33	1,53	91,8

2.3.2. Υγρά απόβλητα-Νερό άρδευσης

Στις 24/5/2002 πραγματοποιήθηκε η πρώτη άρδευση των μεταχειρίσεων ΧΛ και ΚΛ 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 22.000 m³ αποβλήτων/ημέρα και διαθέτει τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας. Τα απόβλητα δέχονταν τριτοβάθμια επεξεργασία και ως εκ τούτου, δεν περιείχαν σε μεγάλες ποσότητες τα διάφορα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τα φυτά, όπως Ν, Ρ, Κ. Όμως, περιείχαν σε μεγάλη ποσότητα ιόντα χλωρίου, σε συγκεντρώσεις που είναι απαγορευτικές για άρδευση καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό, γινόταν μία άρδευση με απόβλητα στις μεταχειρίσεις ΧΛ και ΚΛ, και ακολουθούσαν δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό της γεώτρησης του αγροκτήματος.

Η σχέση που δίνει την αναλογία των όγκων νερού είναι η εξής (Πανώρας και Ηλίας, 1999) :

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

Όπου

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

C_b = η συγκέντρωση χλωρίου της δεύτερης ποιότητας νερού (Cl⁻, mg/L) (λύμα)

Q_a = ο όγκος που χρησιμοποιείται στη μια ποιότητα νερού (L)

Q_b = ο όγκος που χρησιμοποιείται στη δεύτερη ποιότητα νερού (L)

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

Παίρνοντας ως αρχικές τιμές τις

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

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

Επίσης ότι

$$Q_a + Q_b = 1 \text{ L}$$

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

Πρόέκυψε ότι

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

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

$$Q_a = 0,65 \text{ L}$$

Επομένως 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. Οι αρδεύσεις και στις 4 μεταχειρίσεις διενεργήθηκαν μέχρι το τέλος του Σεπτεμβρίου 2002. Δεν πραγματοποιήθηκε λίπανση 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 στον Βιολογικό καθαρισμό ήταν : B.O.D.₅, C.O.D., Cl⁻, Ολικός P, NH₄-N, NO₃-N, S.S. (Αιωρούμενα στερεά), Fe, Cu, Zn. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής ήταν : pH και Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.). Επίσης, έγιναν αναλύσεις και των παραμέτρων του νερού άρδευσης προερχομένου από τη γεώτρηση του αγροκτήματος (Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος).

2.4 . Άλλες καλλιεργητικές φροντίδες

Όσον αφορά την εμφάνιση εχθρών και ασθενειών, δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική προσβολή στα καλλωπιστικά κωνοφόρα. Ο χλοοτάπητας παρουσίασε μια αναστολή της ανάπτυξής του, στα μέσα Ιουνίου έως μέσα Ιουλίου εξαιτίας του ότι είναι ψυχρόφιλο είδος και ευνοείται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική προσβολή στον χλοοτάπητα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Στις **28/1/2003** πραγματοποιήθηκε ένας ψεκασμός στον χλοοτάπητα με το μυκητοκτόνο Bayleton 25 WP (*triadimefon*) για την καταπολέμηση της σκωρίασης (*Puccinia spp.*)

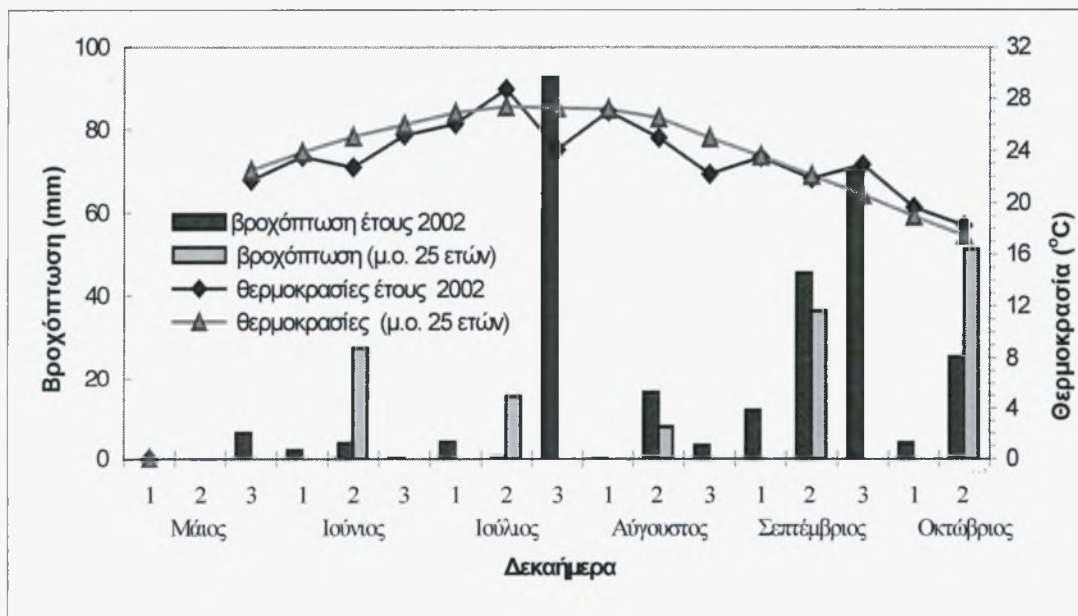
Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το t-κριτήριο, που είναι το καταλληλότερο κριτήριο για τον έλεγχο δύο μέσων όρων ή σειράς 2 μέσων όρων. Στον χλοοτάπητα έγινε η σύγκριση ανά ημερομηνία μέτρησης και συνολικά. Για τα κωνοφόρα, πάρθηκαν οι απόλυτες τιμές αύξησης των μεγεθών, επειδή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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Κλιματικά δεδομένα

Από το ομβροθερμικό διάγραμμα του έτους 2002 και των προηγούμενων ετών, (Σχήμα. 3.1) διαπιστώθηκε ότι το θέρος του 2002 ήταν εξαιρετικά υγρό και με ηπιότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα προηγούμενα έτη. Συγκεκριμένα, την περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου 2002 είχαμε βροχόπτωση 250 mm περίπου, ενώ η βροχόπτωση της αντίστοιχης περιόδου των προηγούμενων ετών ήταν 138 mm περίπου. Ειδικότερα, ιδιαίτερα βροχεροί ήταν οι μήνες Ιούλιος και Σεπτέμβριος, με 97 και 127 mm βροχής περίπου, έναντι 15 και 36 mm βροχής των αντίστοιχων μηνών των προηγούμενων ετών. Οι θερμοκρασίες των δεκαημέρων (3^ο Μαΐου-2^ο Σεπτεμβρίου) ήταν χαμηλότερες για το έτος 2002 σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Εξάιρεση μόνο ήταν το 2^ο δεκαήμερο Ιουλίου 2002, με 28,7 °C έναντι 27,4 °C του αντίστοιχου δεκαημέρου των προηγούμενων ετών.

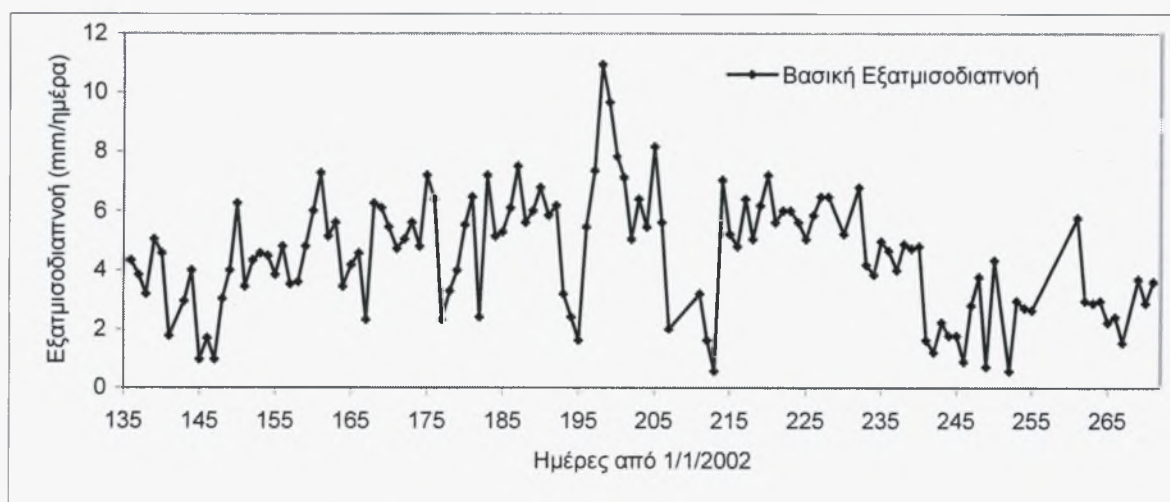
Η περίοδος αυτή θεωρείται ότι ευνόησε τον χλοοτάπητα, γιατί το συγκεκριμένο είδος του χλοοτάπητα αναπτύσσεται καλύτερα με δροσερό κλίμα. Τα καλλωπιστικά κωνοφόρα θεωρείται ότι είχαν μια τυπική περίοδο αναπτύξεως, και δεν ευνοήθηκαν ή ζημιώθηκαν ιδιαίτερα.



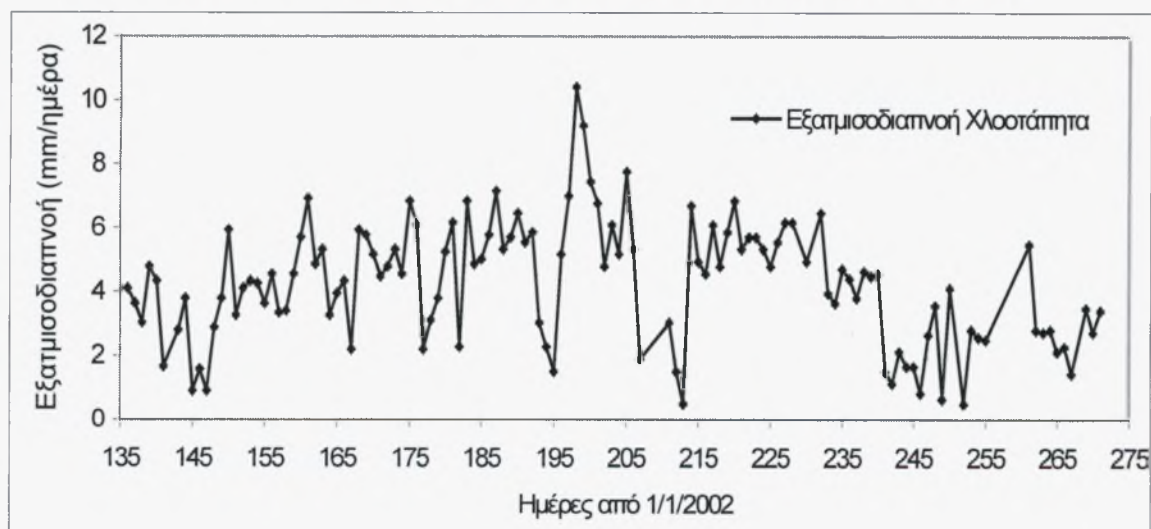
Σχήμα 3.1 Ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής του αγροκτήματος για την περίοδο 2002 και των προηγούμενων 25 ετών.

3.2 Εξατμισοδιαπνοή

Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται η μεταβολή της βασικής εξατμισοδιαπνοής σε ημερήσια βάση. Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή είναι συνάρτηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στη συγκεκριμένη περιοχή μέτρησης. Η διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζει ένα μέγιστο κατά το 2^ο δεκαήμερο του Ιουλίου, χρονική περίοδο κατά την οποία σημειώθηκαν και οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες του καλοκαιριού.



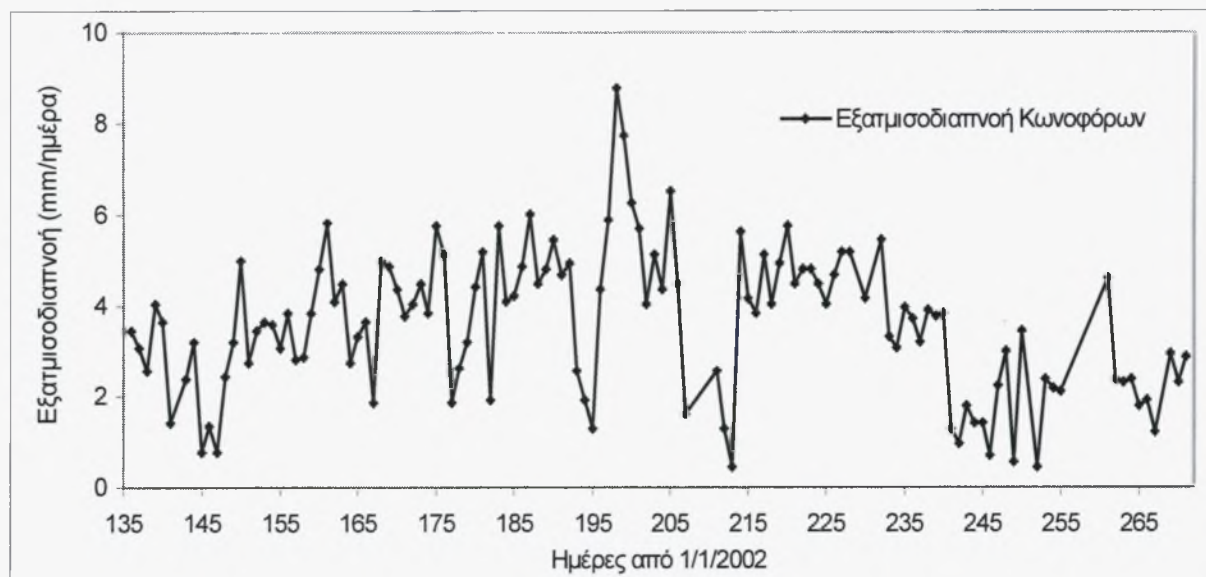
Σχήμα 3.2 Διακύμανση της Ημερήσιας Βασικής Εξατμισοδιαπνοής.



Σχήμα 3.3 Διακύμανση της Ημερήσιας Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής του Χλοοτάπητα.

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

Οι τιμές της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του χλοοτάπητα και των κωνοφόρων παρατίθενται στα Σχήματα 3.3 και 3.4.



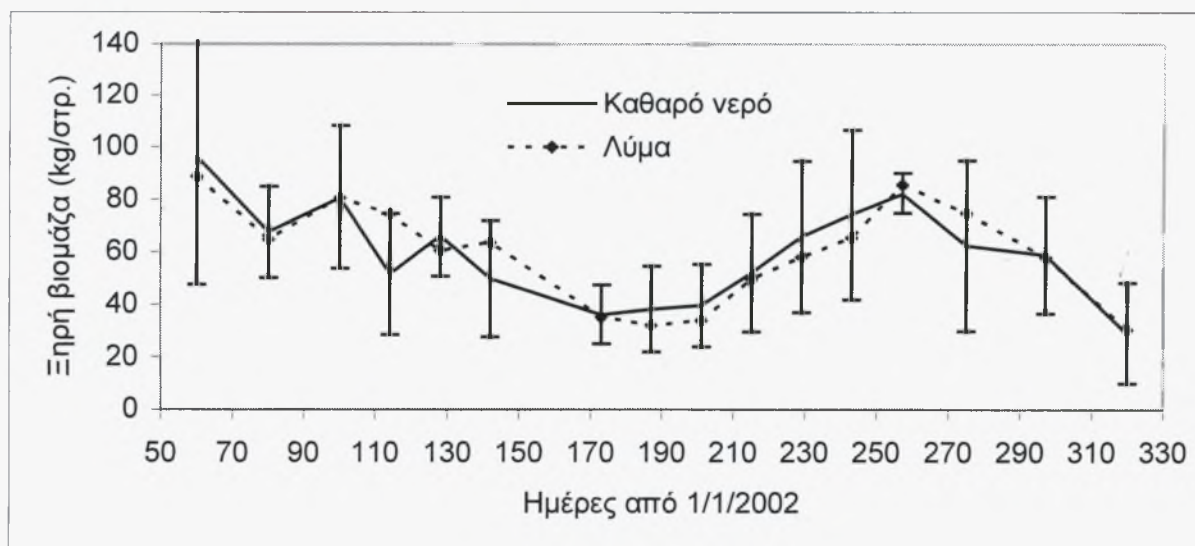
Σχήμα 3.4 Διακύμανση της Ημερήσιας Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής των Κωνοφόρων.

3.3. Χλοοτάπητας

3.3.1. Ξηρή βιομάζα

Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται η διακύμανση της απόδοσης σε kg ξηρής βιομάζας/στρ. του χλοοτάπητα. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αναπτύξεως, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην απόδοση βιομάζας των δυο μεταχειρίσεων, συγκρινόμενες ανά ζεύγος τιμών.

Οι μεγαλύτερες αποδόσεις επιτεύχθηκαν στην κοπή της 14/9/2002, με 92,4 kg/στρ. για τη μεταχείριση του λύματος και 82,8 kg/στρ. για τη μεταχείριση του καθαρού νερού. Όσον αφορά την αθροιστική απόδοση, για το διάστημα 8/5/2002 έως 16/11/2002, η μεταχείριση του καθαρού νερού έδωσε 654,2 kg/στρ. (μ.ο. κοπής 54,5 kg/στρ.) και η μεταχείριση του λύματος έδωσε 646,8 kg/στρ. (μ.ο. κοπής 53,9 kg/στρ.).



Σχήμα 3.5 Διακύμανση της απόδοσης σε ξηρή βιομάζα του χλοοτάπητα. Οι κάθετες ράβδοι αναφέρονται σε $LSD_{p=0,05}$.

Ωστόσο, από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων ($p=0,05$).

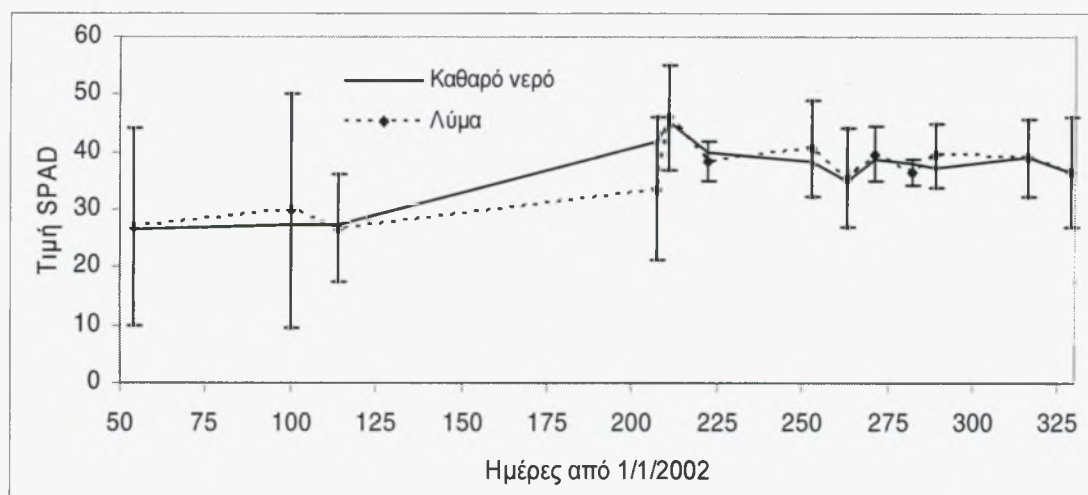
Παρατηρούμε μια μείωση της απόδοσης του χλοοτάπητα κατά το μήνα Ιούνιο, που οφείλεται πιθανόν στην εμφάνιση κακουχίας του χλοοτάπητα λόγω θερμοκρασιών της περιόδου αυτής. Επίσης, παρατηρούμε την άνοδο της απόδοσης σε ξηρή βιομάζα μετά το τέλος Ιουλίου, που πιθανώς οφείλεται στις υψηλές βροχοπτώσεις της περιόδου αυτής.

3.3.2. Χλωροφύλλη με το χλωροφυλλόμετρο

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, δεν διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές του χλωροφυλλόμετρου μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων στο επίπεδο 0,05 ανά ημερομηνία παρατήρησης (Σχήμα 3.6).

Οι μεγαλύτερες τιμές του χλωροφυλλόμετρου παρατηρήθηκαν στις 30/7/02, με τιμή 46,0 για τη μεταχείριση του λύματος και 45,3 για τη μεταχείριση με καθαρό νερό. Οι μικρότερες τιμές παρατηρήθηκαν στις 23/2/2002 με 26,5 για τη μεταχείριση του καθαρού νερού και στις 24/4/2002 με 26,7 για τη μεταχείριση του λύματος.

Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στο τέλος Ιουλίου, μετά και από τη βροχόπτωση, ενώ οι μικρότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου.



Σχήμα 3.6 Διακύμανση της τιμής του χλωροφυλλόμετρου κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι κάθετες ράβδοι αναφέρονται σε $LSD_{0.05}$.

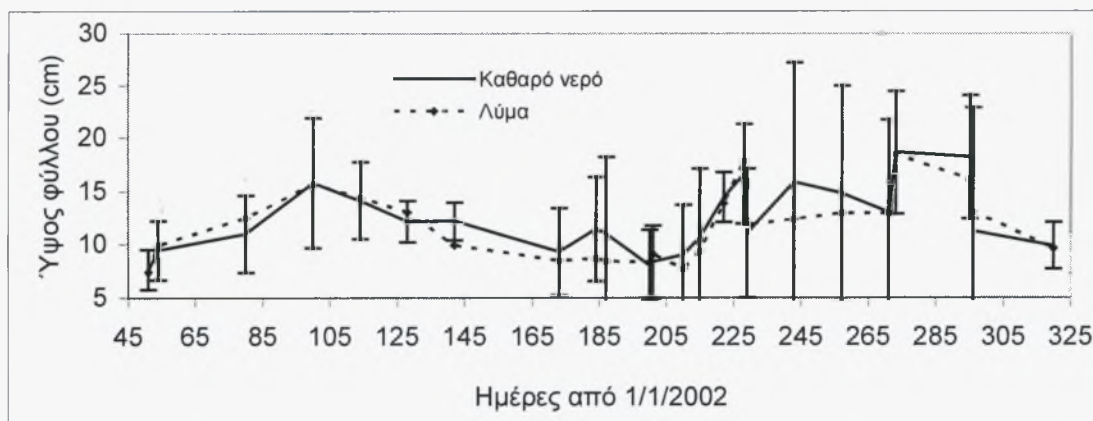
Η μέση τιμή των μετρήσεων του χλωροφυλλόμετρου μετά την εφαρμογή των αποβλήτων ήταν 39,0 για τη μεταχείριση με καθαρό νερό και 38,5 για τη μεταχείριση με λύμα, χωρίς να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων στο επίπεδο $p_{0.05}$.

3.3.3. Ύψος φύλλου-ακραιού μεριστώματος χλοοτάπητα.

Από τις μετρήσεις που έγιναν, δεν διαπιστώθηκε κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά στο ύψος των φύλλων του χλοοτάπητα, μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων (Σχήμα 3.7). Επίσης, ο γενικός μέσος όρος του ύψους των φύλλων στη μεταχείριση του καθαρού νερού ήταν 12,3 cm, ενώ στη μεταχείριση του λύματος ήταν 11,8 cm.

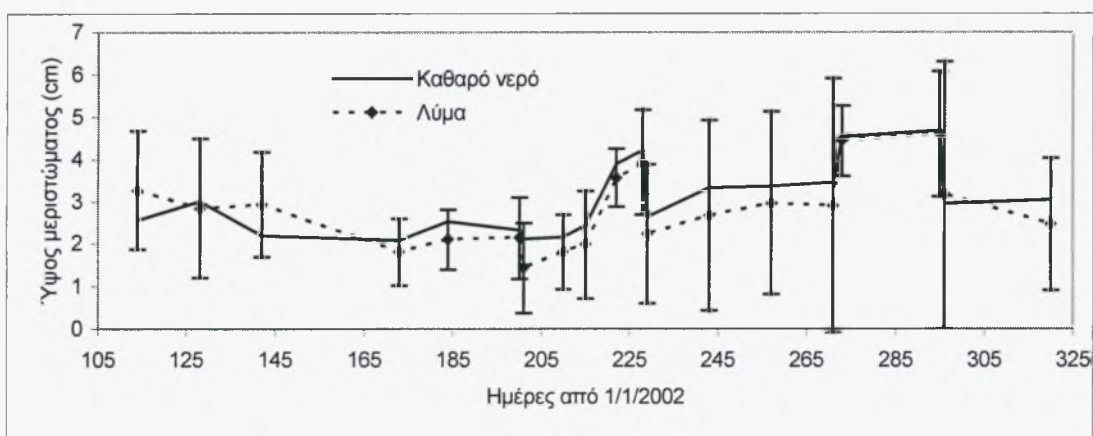
Η διαφορά αυτή αποδείχθηκε ότι δεν ήταν στατιστικά σημαντική ($p = 0,05$). Οι τιμές του ύψους του χλοοτάπητα ήταν συνάρτηση της περιόδου αναπτύξεως και της ημερομηνίας κοπής της βιομάζας του χλοοτάπητα.

Έτσι, οι μεγαλύτερες τιμές του ύψους των φύλλων του χλοοτάπητα παρατηρήθηκαν προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (18,7 και 18,4 cm αντίστοιχα για τις μεταχειρίσεις με καθαρό νερό και λύμα) όπου οι κοπές πραγματοποιήθηκαν σε αραιότερα χρονικά διαστήματα από τις προηγούμενες.



Σχήμα 3.7 Διακύμανση του ύψους φύλλων χλοοτάπητα. Οι κάθετες ράβδοι αναφέρονται σε $LSD_{p=0,05}$.

Οι μετρήσεις του ύψους του ακραίου μεριστώματος σε έναν αριθμό βλαστών, έδειξαν ότι δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p=0,05$) μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (Σχήμα 3.8). Συνολικά, επίσης δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων (μ.ο. 3,0 για τη μεταχείριση με καθαρό νερό και 2,8 για τη μεταχείριση με λύμα). Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου με 4,67 cm για τη μεταχείριση του καθαρού νερού και 4,6 cm για τη μεταχείριση του λύματος.



Σχήμα 3.8 Διακύμανση του ύψους ακραίου μεριστώματος στον χλοοτάπητα. Οι κάθετες ράβδοι αναφέρονται σε $LSD_{p=0,05}$.

3.3.4. Χλωροφύλλη με εκχύλιση

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκχύλισης χλωροφύλλης (A και B) που έγιναν σε φύλλα χλοοτάπητα των 2 μεταχειρίσεων. Τα αποτελέσματα αφορούν μετρήσεις που έγιναν μετά την εφαρμογή των αποβλήτων στην μεταχείριση του λύματος. Υπερέτρησε η μεταχείριση του καθαρού νερού με 7,64 mg χλωροφύλλης/g ξηρού ιστού έναντι 7,27 mg

χλωροφύλλης/g ξηρού ιστού της μεταχείρισης του λύματος. Η διαφορά αυτή δεν ήταν στατιστικά σημαντική ($p=0,05$).

Τα αποτελέσματα της εκχύλισης έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του χλωροφυλλόμετρου (Πίνακας 3.1), όπου υπερτερούσε η μεταχείριση του καθαρού νερού, μη στατιστικά σημαντικά.

Πίνακας 3.1 Αποτελέσματα της εκχύλισης χλωροφύλλης σε φύλλα χλοοτάπητα

Μεταχείριση	Μέσος όρος εκχύλισης (mg/g)	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος τιμών χλωροφυλλόμετρου	t-test	Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά ($p=0,05$)	Σημαντικότητα
Καθαρό νερό	7,64	2,99	39,0	0,22	5,03	Όχι
Λύμα	7,27	2,72	38,5			

3.4. Κωνοφόρα

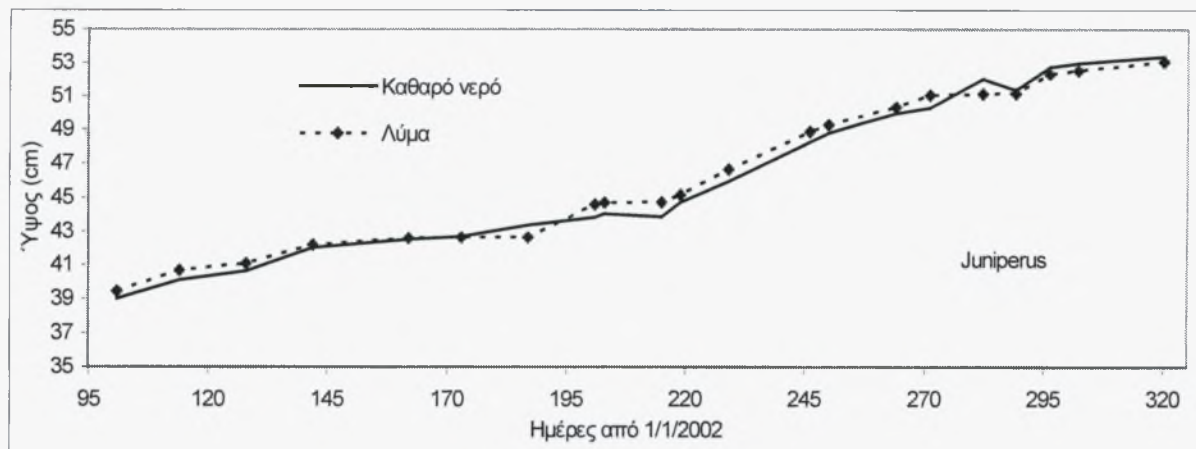
3.4.1. Ύψος κωνοφόρων

Στα Σχήματα 3.10, 3.11 και 3.12 παρατηρούνται οι μεταβολές του ύψους των 3 κωνοφόρων ειδών για τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

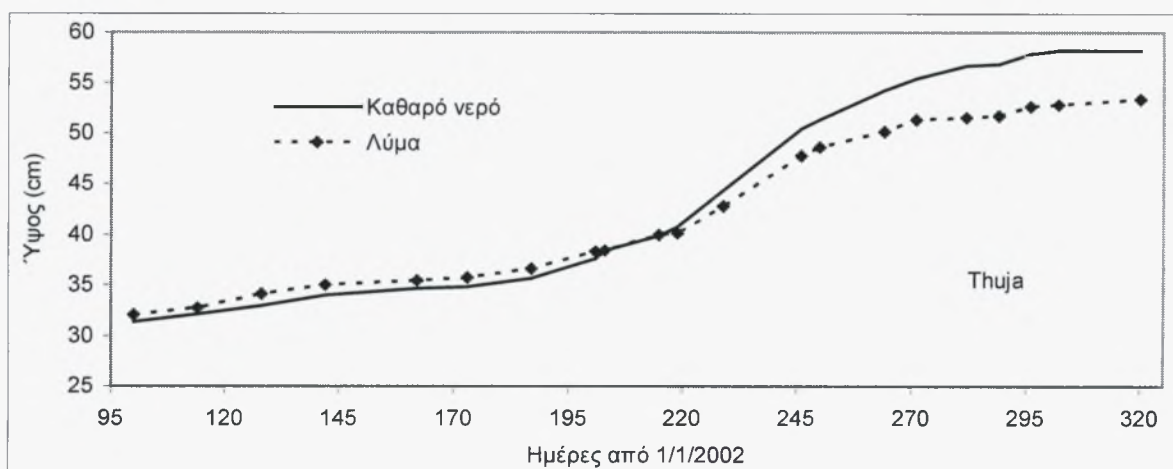
Στο είδος *Juniperus*, το μέσο ύψος των φυτών μεταβλήθηκε από 40,7 cm σε 53,4 cm για τη μεταχείριση με καθαρό νερό και από 41,1 cm σε 53,1 cm για τη μεταχείριση με λύμα, πριν και μετά την εφαρμογή των αποβλήτων. Η αύξηση του ύψους ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση με καθαρό νερό, με 12,7 cm έναντι 12 cm της μεταχείρισης με λύμα. Η διαφορά αυτή όμως δεν αποδείχθηκε στατιστικά σημαντική ($p=0,05$).

Στο είδος *Thuja*, η μέση αύξηση του ύψους των φυτών στη μεταχείριση του καθαρού νερού ήταν 25,2 cm (αύξηση από 33 σε 58,2 cm) ενώ στη μεταχείριση του λύματος ήταν 19,2 cm (αύξηση από 34,2 σε 53,4 cm). Η διαφορά αυτή αποδείχθηκε στατιστικά σημαντική σύμφωνα με το t-κριτήριο ($p=0,05$).

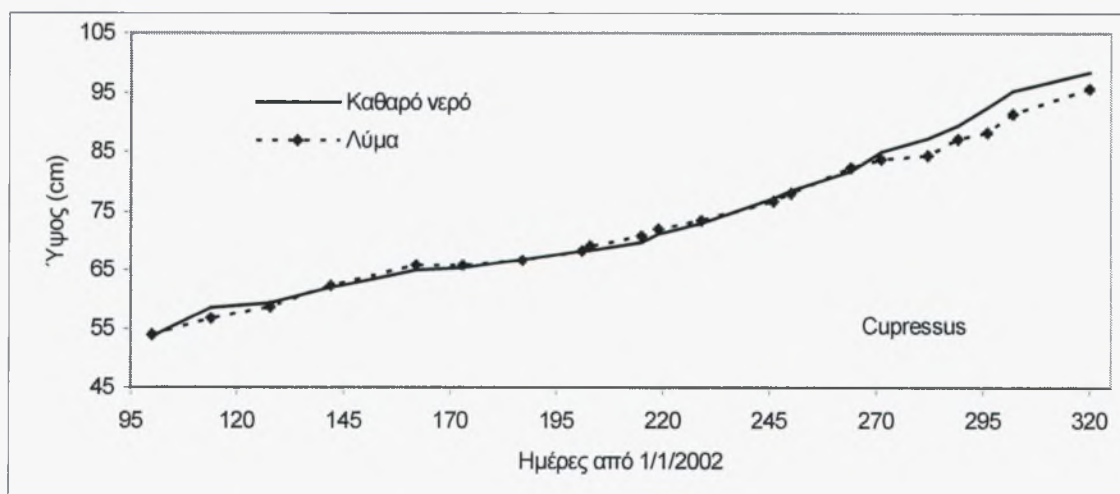
Επίσης στο είδος *Cupressus*, η αύξηση του ύψους των φυτών ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση με καθαρό νερό. Τα φυτά της μεταχείρισης με καθαρό νερό μετέβαλλαν το ύψος τους κατά 39,2 cm (Αρχικό ύψος 59,3 cm-Τελικό 98,5 cm) ενώ στη μεταχείριση του λύματος η μέση αύξηση του ύψους ήταν 37,1 cm (58,7-95,8 cm η διακύμανση). Η διαφορά αυτή δεν αποδείχθηκε στατιστικά σημαντική ($p=0,05$).



Σχήμα 3.10 Μεταβολή του ύψους των φυτών *Juniperus*



Σχήμα 3.11 Μεταβολή του ύψους των φυτών *Thuja*



Σχήμα 3.12 Μεταβολή του ύψους των φυτών *Cupressus*

3.4.2 Διάμετρος φυτοκόμης κωνοφόρων

Στα Σχήματα 3.13, 3.14 και 3.15 παρατηρείται τη μεταβολή της διαμέτρου της φυτοκόμης των 3 κωνοφόρων ειδών, για όλη την καλλιεργητική περίοδο.

Η μέση διάμετρος της φυτοκόμης των φυτών *Juniperus* κυμάνθηκε από 23,6 cm σε 37,5 cm για τη μεταχείριση του καθαρού νερού και από 22,9 cm σε 36,8 cm για τη μεταχείριση του λύματος, πριν και μετά την εφαρμογή των αποβλήτων. Η μέση αύξηση ήταν ίδια και στις δυο μεταχειρίσεις, με 13,9 cm.

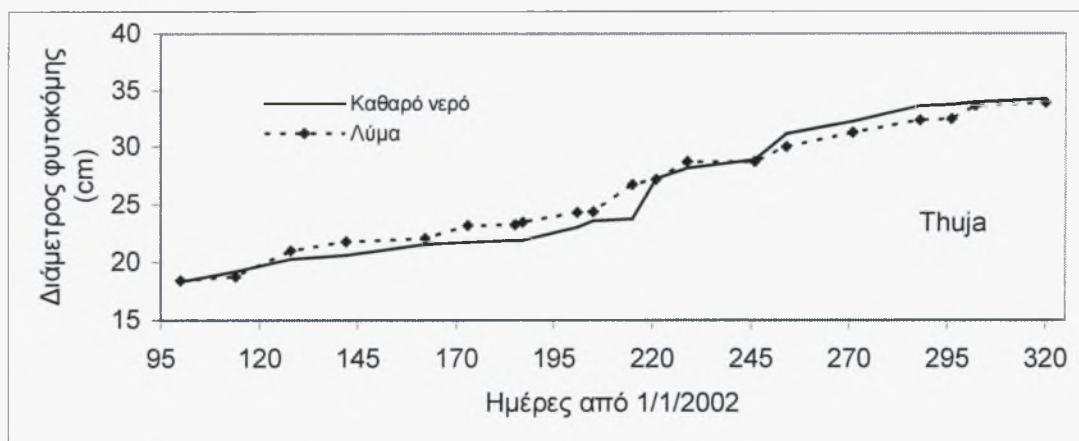
Στα φυτά *Thuja*, η μέση αύξηση της διαμέτρου της φυτοκόμης ήταν 13,9 cm (20,3-34,2 cm) για τη μεταχείριση του καθαρού νερού και 12,9 cm για τη μεταχείριση του λύματος (21-33,9 cm). Οι δυο μέσες αυξήσεις της διαμέτρου δεν ήταν στατιστικά σημαντικές ($p=0,05$).

Και στα φυτά *Cupressus* η μέση αύξηση της διαμέτρου της φυτοκόμης ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση του καθαρού νερού από ότι στη μεταχείριση του λύματος. Στη μεταχείριση με καθαρό νερό η μέση αύξηση ήταν 21,9 cm (31,8-53,7 cm) και στη μεταχείριση με λύμα η μέση αύξηση της διαμέτρου των κωνοφόρων ήταν 18,8 cm (30,2-49 cm) πριν και μετά την εφαρμογή των αποβλήτων. Η διαφορά της αύξησης της διαμέτρου των φυτών στη μεταχείριση του καθαρού νερού ήταν στατιστικά σημαντική ακόμα και για πιθανότητα $p=0,01$ σύμφωνα με το t-κριτήριο.

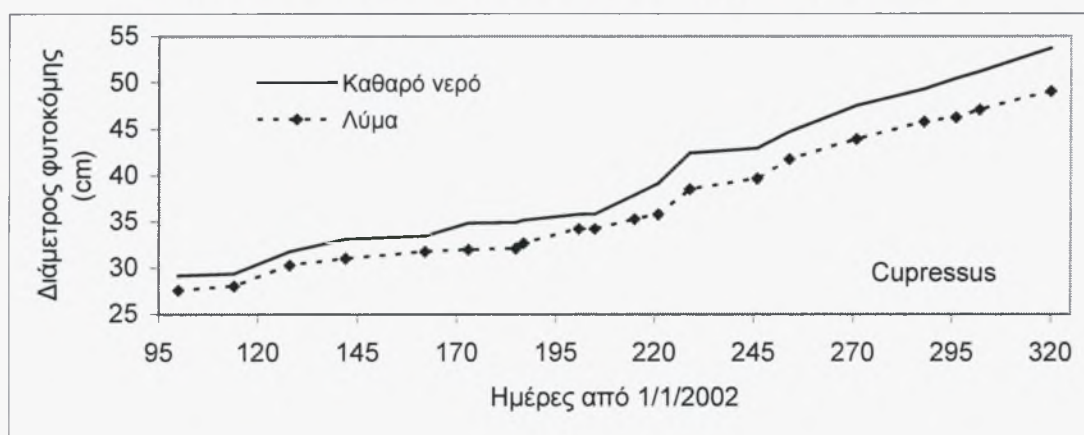
Παρατηρούμε ότι στην μεταχείριση του καθαρού νερού επιτεύχθηκε μεγαλύτερη αύξηση της διαμέτρου της φυτοκόμης σε σχέση με τη μεταχείριση του λύματος. Η διαφορά αποδείχθηκε στατιστικά σημαντική για την περίπτωση των φυτών *Cupressus*.



Σχήμα 3.13 Μεταβολή της διαμέτρου φυτοκόμης των φυτών *Juniperus*



Σχήμα 3.14 Μεταβολή της διαμέτρου φυτοκόμης των φυτών *Thuja*



Σχήμα 3.15 Μεταβολή της διαμέτρου φυτοκόμης των φυτών *Cupressus*

3.4.3. Δείκτης L.A.I.

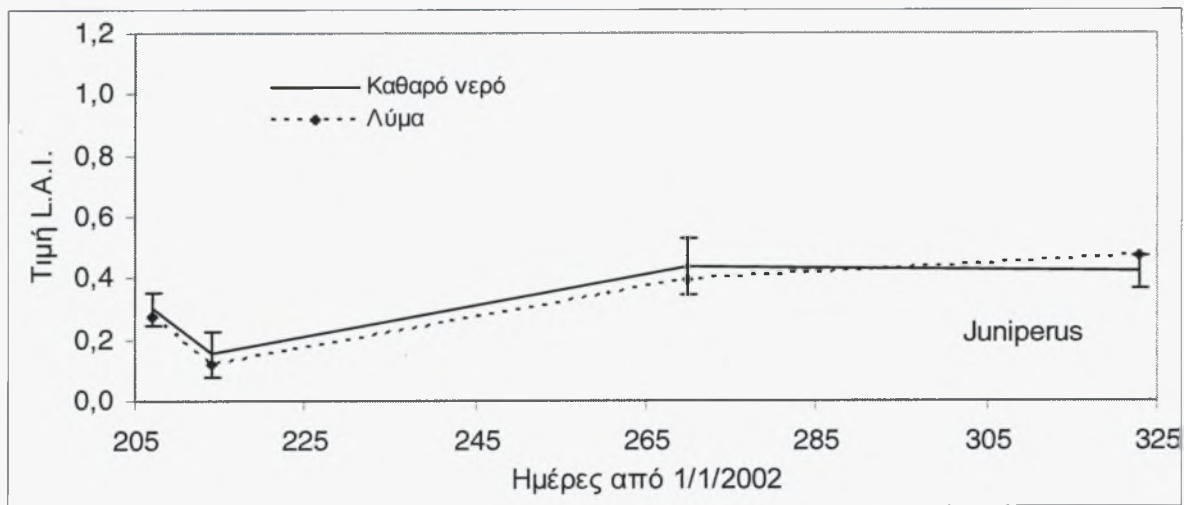
Στα Σχήματα 3.16, 3.17 και 3.18 απεικονίζεται η μεταβολή της τιμής του δείκτη L.A.I. για τα 3 είδη κωνοφόρων. Παρατηρείται γενικά μια αύξηση της τιμής, με την ημερομηνία μέτρησης, που αντανακλά την αύξηση των φυτών. Στα 2 από τα 3 είδη, παρατηρήθηκε μια μικρή πτώση του L.A.I. κατά τη δεύτερη μέτρηση, που πιθανώς οφείλεται σε τυχαίο σφάλμα μέτρησης λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών.

Στο είδος *Juniperus*, το εύρος τιμών L.A.I. ήταν από 0,15 έως 0,42 για τη μεταχείριση του καθαρού νερού και από 0,12 έως 0,47 για τη μεταχείριση του λύματος. Παρατηρήθηκε δηλαδή μια αύξηση του L.A.I. στη μεταχείριση του λύματος. Η τελική τιμή L.A.I. δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά για τις δυο μεταχειρίσεις ($p=0,05$).

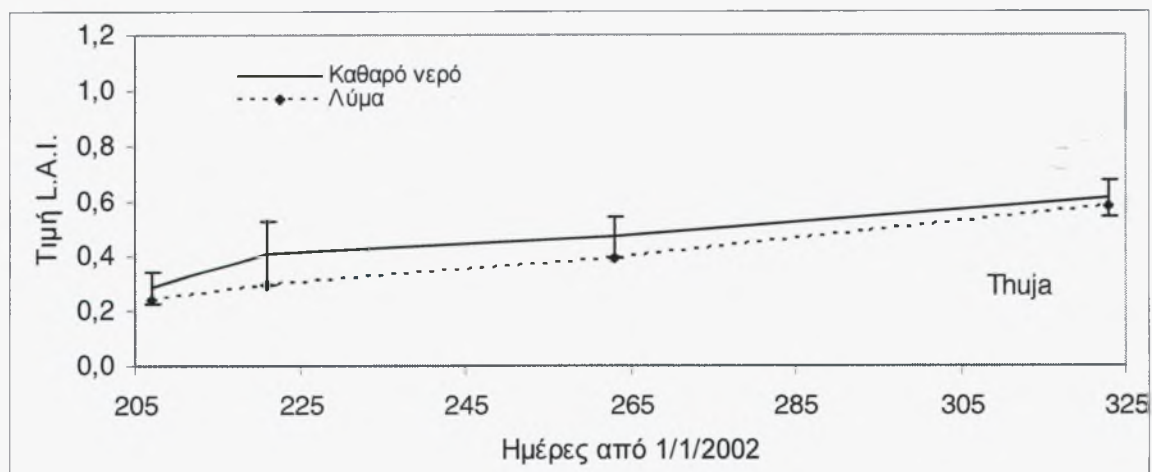
Στο είδος *Thuja*, οι αρχικές και τελικές τιμές του L.A.I. ήταν 0,28 έως 0,61 για τη μεταχείριση του καθαρού νερού και από 0,24 έως 0,58 για τη μεταχείριση του λύματος. Η μεταχείριση του καθαρού νερού υπερτερούσε κατά τη διάρκεια αναπτύξεως, μη στατιστικά

σημαντικά ($p=0,05$). Στο είδος *Cupressus* υπήρξε διακύμανση του L.A.I. μεταξύ 0,43 και 0,97 για τη μεταχείριση με καθαρό νερό, και μεταξύ 0,35 και 0,83 για τη μεταχείριση με λύμα. Οι δυο αντίστοιχες τιμές σημειώθηκαν στη 2^η και την 4^η μέτρηση, με στατιστικά σημαντική διαφορά στο επίπεδο $p=0,05$.

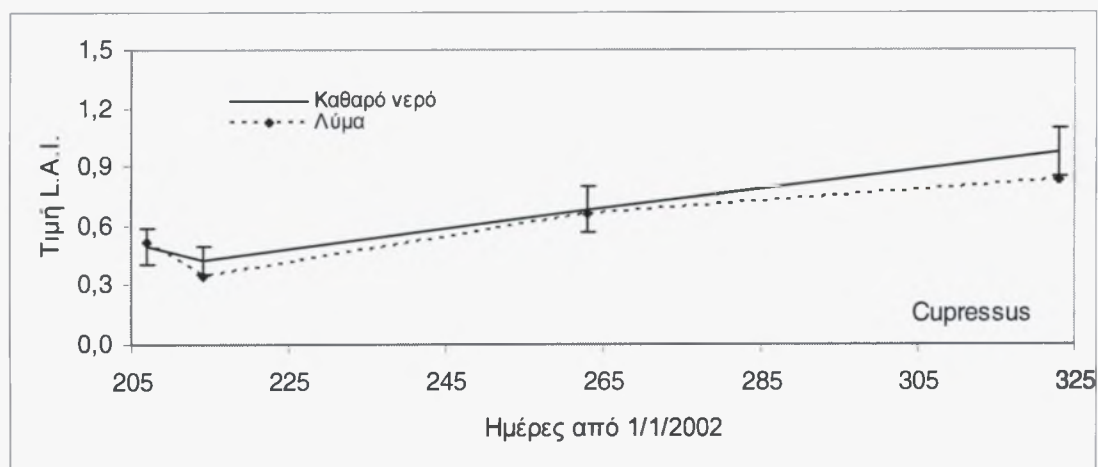
Οι τιμές του L.A.I. για τα 3 κωνοφόρα συμφωνούν με τις τιμές της διαμέτρου φυτοκόμης, όπου είχαμε υπεροχή της μεταχείρισης του καθαρού νερού, αλλά μόνο στο είδος *Cupressus* η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική. Πάντως, με το L.A.I. βρέθηκε σημαντική διαφορά στο επίπεδο $p=0,05$ ενώ με τη μέτρηση της διαμέτρου στο επίπεδο $p=0,01$.



Σχήμα 3.16 Διακύμανση του δείκτη L.A.I. στα φυτά *Juniperus*. Οι κάθετες ράβδοι αναφέρονται σε $LSD_{p=0,05}$.



Σχήμα 3.17 Διακύμανση του δείκτη L.A.I. στα φυτά *Thuja*. Οι κάθετες ράβδοι αναφέρονται σε $LSD_{p=0,05}$.



Σχήμα 3.18 Διακύμανση του δείκτη L.A.I. στα φυτά *Cupressus*. Οι κάθετες ράβδοι αναφέρονται σε $LSD_{p=0.05}$.

3.4.4. Μήκος πλάγιου βλαστού

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζεται η μέση αύξηση του μήκους ενός πλάγιου βλαστού στα κωνοφόρα είδη. Η μέση αύξηση ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση του καθαρού νερού και για τα 3 είδη κωνοφόρων.

Συγκεκριμένα, η μέση αύξηση του τυχαίου πλάγιου βλαστού στη μεταχείριση με καθαρό νερό ήταν 8,4 cm για το είδος *Juniperus*, 8,6 cm για το είδος *Thuja* και 9,0 cm για το είδος *Cupressus*.

Στην μεταχείριση του λύματος, η μέση αύξηση ήταν 6,9 για το είδος *Juniperus*, 8,4 cm για το είδος *Thuja* και 7,6 cm για το είδος *Cupressus*. Οι διαφορές μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων ήταν στατιστικά μη σημαντικές στο επίπεδο $p=0,05$. Η μικρότερη διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων ήταν στο είδος *Thuja*, ακολουθούσε το είδος *Cupressus* και τέλος, το είδος *Juniperus*.

Πίνακας 3.2 Αποτελέσματα των μετρήσεων του μήκους του πλάγιου βλαστού στα κωνοφόρα

	<i>Juniperus</i>		<i>Thuja</i>		<i>Cupressus</i>	
	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα
Μέση τιμή πλάγιου βλαστού (cm)	8,38	6,88	8,58	8,44	8,96	7,65
Τυπική απόκλιση	2,53	2,72	3,43	3,25	2,80	2,39
t-test	1,961		0,138		1,747	
lsd ($p=0,05$)	1,570		1,891		1,106	
Σημαντικότητα	Όχι		Όχι		Όχι	

3.4.5. Διάμετρος κύριου βλαστού σε ύψος 10 cm από το έδαφος

Ο Πίνακας 3.3 απεικονίζει τη μέση αύξηση της διαμέτρου του κύριου βλαστού των κωνοφόρων σε mm. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων στο επίπεδο $p=0,05$ και για τα 3 είδη κωνοφόρων.

Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε στο είδος *Cupressus*, με 11 mm στη μεταχείριση του καθαρού νερού και 11,7 mm στη μεταχείριση του λύματος.

Ακολούθησε το είδος *Thuja* με 6,29 mm στη μεταχείριση με καθαρό νερό και 6,25 mm στη μεταχείριση με λύμα.

Στο είδος *Juniperus* η αύξηση ήταν 4 mm για τη μεταχείριση με καθαρό νερό και 3,5 mm για τη μεταχείριση με λύμα. Παρατηρούμε ότι η μεταχείριση του λύματος υπερτερούσε μόνο στο είδος *Cupressus*, έστω και χωρίς σημαντική διαφορά.

Πίνακας 3.3 Αποτελέσματα των μετρήσεων της διαμέτρου του κύριου βλαστού στα κωνοφόρα

	<i>Juniperus</i>		<i>Thuja</i>		<i>Cupressus</i>	
	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα
Μέση τιμή διαμέτρου (mm)	4,00	3,46	6,29	6,25	11,04	11,67
Τυπική απόκλιση	2,34	1,38	3,20	2,03	3,29	3,88
t-test	0,976		0,054		0,602	
lsd ($p=0,05$)	1,148		1,598		2,149	
Σημαντικότητα	Όχι		Όχι		Όχι	

3.4.6. Εκχύλιση χλωροφύλλης σε φύλλα των κωνοφόρων

Στους Πίνακες 3.4, 3.5 και 3.6 παρουσιάζεται η μέση περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη Α και Β ανά mg/g των ξηρών φύλλων των 3 κωνοφόρων. Οι μετρήσεις αναφέρονται στη διάρκεια μετά την εφαρμογή των αποβλήτων στο πείραμα.

Από τα αποτελέσματα, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων του καθαρού νερού και του λύματος και για τα 3 είδη κωνοφόρων. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης παρατηρήθηκαν στο είδος *Juniperus* με 2,303 mg/g ιστού στην μεταχείριση του καθαρού νερού και με 2,088 mg/g ιστού στην μεταχείριση του λύματος.

Στο είδος *Thuja* υπερτερούσε η μεταχείριση του λύματος με 1,305 mg χλωροφύλλης/g ιστού έναντι 1,115 mg χλωροφύλλης /g ιστού στην μεταχείριση του καθαρού νερού.

Στο είδος *Cupressus*, η μεταχείριση του καθαρού νερού χαρακτηρίστηκε από συγκέντρωση χλωροφύλλης 1,968 mg χλωροφύλλης /g ιστού στην μεταχείριση του καθαρού νερού και με 1,856 mg χλωροφύλλης /g ιστού στην μεταχείριση του λύματος.

Πίνακας 3.4 Αποτελέσματα της εκχύλισης χλωροφύλλης στα κωνοφόρα

	<i>Juniperus</i>		<i>Thuja</i>		<i>Cupressus</i>	
	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα	Καθαρό νερό	Λύμα
Μέση τιμή συγκέντρωσης χλωροφύλλης (mg/g)	2,303	2,088	1,115	1,305	1,968	1,856
Τυπική απόκλιση	0,617	0,365	0,336	0,268	0,034	0,841
t-test	0,670		0,985		0,296	
Isd (p=0,05)	0,891		0,535		1,047	
Σημαντικότητα	Όχι		Όχι		Όχι	

3.5. Παράμετροι του νερού αρδεύσεως

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του νερού της γεώτρησης και των αποβλήτων (Πίνακας 3.5), διαπιστώνουμε ότι, για το νερό της γεώτρησης, οι τιμές των παραμέτρων ήταν εντός των επιτρεπτών ορίων. Εξάιρεση ίσως αποτελεί η συγκέντρωση των NO_3^- , που η τιμή τους θεωρείται επιφυλακτική. Οι Ayers and Westcot (1985) θέτουν το όριο των 10 mg/L ενώ οι Neja et al. (1978) θέτουν το όριο 30 mg/L για τα νιτρικά ιόντα.

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

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

Πίνακας 3.5 Παράμετροι του νερού της γεώτρησης και των αποβλήτων

Παράμετρος μέτρησης	Μονάδα μέτρησης	Μέση τιμή νερού γεώτρησης	Μέση τιμή αποβλήτων	Όρια ασφαλείας
pH		7,48	8,33	6,5-8,5
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (E.C.)	dS/m	0,58	3,3	0-3
Αιωρούμενα στερεά (S.S.)	mg/L	-	9,8	0-15
Χημική Απαίτηση Οξυγόνου (C.O.D.)	mg/L	-	44,8	0-40
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (B.O.D.)	mg/L	-	17,1	0-15
NO ₃ -N	mg/L	16,65	6,2	0-10
NH ₄ -N	mg/L	<1	1,4	0-30
P	mg/L	0,5	4	0-15
Fe	mg/L	<1	0,303	0-20
Cu	mg/L	<1	0,011	0-5
Zn	mg/L	<1	0,058	0-10
SO ₄ ²⁻	mg/L	12,23	-	0-1000
K ⁺	mg/L	1,33	-	0-2
Ca ²⁺	mg/L	30,9	-	0-400
Mg ²⁺	mg/L	28,15	-	0-60
B	mg/L	<1	-	0-10
Mo	mg/L	<1	-	0-0,05
Mn	mg/L	<1	-	0-10
Na	mg/L	21,28	-	0-200
Cl	mg/L	22,41	1468,4	0-700

3.6. Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού

Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης που έγινε στον πειραματικό αγρό, κατά την έναρξη διεξαγωγής του πειράματος, τον Οκτώβριο του 2001.

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

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

διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων Fe, Zn και Mn χαρακτηρίζεται ως χαμηλή. Ο Cu βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα.

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

Στο τέλος της αρδευτικής περιόδου διενεργήθηκε εδαφολογική ανάλυση και στις 4 μεταχειρίσεις για την εύρεση της περιεκτικότητας των θρεπτικών στοιχείων. Τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης για τις μεταχειρίσεις του καθαρού νερού φαίνονται στον Πίνακα 3.7.

Από τον Πίνακα 3.8 διαπιστώνεται ότι το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και το σύνολο των διαλυτών αλάτων παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητο στη μεταχείριση με λύμα του Χλοοτάπητα, στο τέλος της αρδευτικής περιόδου.

Πίνακας 3.6 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού

Παράμετρος	Βάθος (cm)		
	0-30	30-60	60-90
Μηχανική Σύσταση	Πηλώδες (L)	Αργιλοπηλώδες (CL)	Αργιλοπηλώδες (CL)
Οργανική Ουσία (%)	1,39	1,14	1,36
pH (H ₂ O 1:1)	7,8	7,9	7,9
CaCO ₃ (%)	4,51	7,26	12,76
P (mg/kg)	8	9	4
Ηλ. Αγωγιμότητα (E.C., dS/m)	3	3	3
Σύνολο διαλυτών αλάτων %	0,125	0,15	0,14
I.A.K. (meq/100g)	25,7	28,45	26,9
K (meq/100g)	0,355	0,24	0,295
Na (meq/100g)	0,405	0,45	0,5
Ca (meq/100g)	16,23	17,87	16,24
Mg (meq/100g)	2,81	3,79	5,7
B (meq/100g)	0,5	0,425	0,425
Fe (meq/100g)	4,74	6,83	10,47
Zn (meq/100g)	11,36	1,44	3,12
Cu (meq/100g)	4,24	2,77	2,53
Mn (meq/100g)	4,62	4,57	4,89
NO ₃ -N (mg/kg)	48,05	30,05	14,25
NH ₄ -N (mg/kg)	6,15	3,8	13,6

Πίνακας 3.7 Εδαφολογική ανάλυση των μεταχειρίσεων του καθαρού νερού

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	8,1	7,8	7,9	7,8	7,8	7,9	7,7	8,0
CaCO ₃ (%)	4,51	3,52	5,28	7,26	5,28	10,12	12,76	4,84	8,80
P (mg/kg)	8	9	7	9	9	5	4	7	5
Ηλ. αγωγιμότητα (E.C., dS/m)	3	<3	<3	3	<3	<3	3	<3	<3
Σύνολο διαλυτών αλάτων %	0,125	<0,09	<0,16	0,15	<0,11	<0,14	0,14	<0,11	<0,14
I.A.K. (meq/100g)	25,7	18,07	18,07	28,45	18,07	16,48	26,9	18,07	18,86
K (meq/100g)	0,355	0,15	0,15	0,24	0,15	0,2	0,295	0,15	0,15
Na (meq/100g)	0,405	0,21	0,26	0,45	0,17	0,26	0,5	0,31	0,21
Ca (meq/100g)	16,23	-	-	17,87	-	-	16,24	-	-
Mg (meq/100g)	2,81	-	-	3,79	-	-	5,7	-	-
B (meq/100g)	0,5	-	-	0,425	-	-	0,425	-	-
Fe (meq/100g)	4,74	4,8	7,0	6,83	3,1	6,0	10,47	4,4	6,2
Zn (meq/100g)	11,36	3,7	2,5	1,44	1,8	11,6	3,12	1,6	1,6
Cu (meq/100g)	4,24	5,7	2,5	2,77	3,5	2,5	2,53	3,2	2,7
Mn (meq/100g)	4,62	3,5	4,8	4,57	2,5	4,5	4,89	3,5	4,2
NO ₃ -N (meq/100g)	48,05	0,93	3,99	30,05	16,25	6,04	14,25	11,40	9,46
NH ₄ -N (meq/100g)	6,15	2,56	1,42	3,8	1,41	1,68	13,6	1,36	1,36

Πίνακας 3.8 Εδαφολογική ανάλυση των μεταχειρίσεων του λύματος

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 (%)	1,39	1,27	1,17	1,14	0,97	1,27	1,36	1,27	1,31
pH	7,8	7,8	7,8	7,9	7,8	7,7	7,9	7,8	7,8
CaCO ₃ (%)	4,51	4,40	3,08	7,26	8,80	5,50	12,76	8,80	9,68
P (mg/kg)	8	7	5	9	5	9	4	5	9
Ηλ. αγωγιμότητα (E.C., dS/m)	3	<3	<3	3	<3	<3	3	<3	<3
Σύνολο αλατών %	0,125	<0,11	0,11	0,15	<0,14	<0,14	0,14	<0,11	0,11
Ca (meq/100g)	25,7	16,48	17,28	28,45	20,45	18,07	26,9	19,66	18,07
K (meq/100g)	0,355	0,15	0,2	0,24	0,15	0,15	0,295	0,15	0,26
Na (meq/100g)	0,405	0,31	0,26	0,45	0,17	0,17	0,5	0,17	0,21
Ca (meq/100g)	16,23	-	-	17,87	-	-	16,24	-	-
Mg (meq/100g)	2,81	-	-	3,79	-	-	5,7	-	-
B (meq/100g)	0,5	-	-	0,425	-	-	0,425	-	-
Fe (meq/100g)	4,74	3,7	5,6	6,83	5,0	7,0	10,47	5,6	8,0
Zn (meq/100g)	11,36	5,6	3,3	1,44	2,0	3,2	3,12	3,0	4,0
Cu (meq/100g)	4,24	4,1	2,5	2,77	2,7	2,9	2,53	2,5	2,5
Mn (meq/100g)	4,62	3,9	5,0	4,57	4,9	4,6	4,89	4,6	5,7
NO ₃ -N (meq/100g)	48,05	0,36	11,27	30,05	0,76	1,16	14,25	0,73	0,75
NH ₄ -N (meq/100g)	6,15	1,56	1,58	3,8	1,45	2,92	13,6	1,36	3,49

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

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

Η εδαφολογική ανάλυση για τις μεταχειρίσεις του λύματος του Χλοοτάπητα και των Κωνοφόρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.8. Σημειώνεται ότι δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων στις παραμέτρους pH, E.C., Οργανική ουσία, I.A.K., Ολικά Διαλυτά Άλατα.

3.7. Αποτελέσματα φυλλοδιαγνωστικής στον χλοοτάπητα

Από τα αποτελέσματα της φυλλοδιαγνωστικής που διενεργήθηκε στις αρχές και στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (Πίνακας 3.9), διαπιστώθηκε ότι όλα τα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονταν στα φυσιολογικά όρια (Καράταγλης 1992) των συγκεντρώσεων για ιστούς υγιών φυτών.

Εξαιρέση αποτελούν η αρχική συγκέντρωση του σιδήρου και οι συγκεντρώσεις του νατρίου, όπου πιθανόν να υπάρχει κάποιο σφάλμα δειγματοληψίας.

Σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση, παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης των στοιχείων Fe, Zn, Mn, B, Ca. Αυτό οφείλεται στο ότι η άρδευση με νερό της γεώτρησης ή με απόβλητα δεν συνεισέφερε αρκετά στη θρέψη του χλοοτάπητα.

Τα στοιχεία P, K, Mg και Na αυξήθηκαν στους ιστούς, ενώ τα στοιχεία Cu, Ni, Pb δεν παρουσίασαν σημαντική μεταβολή.

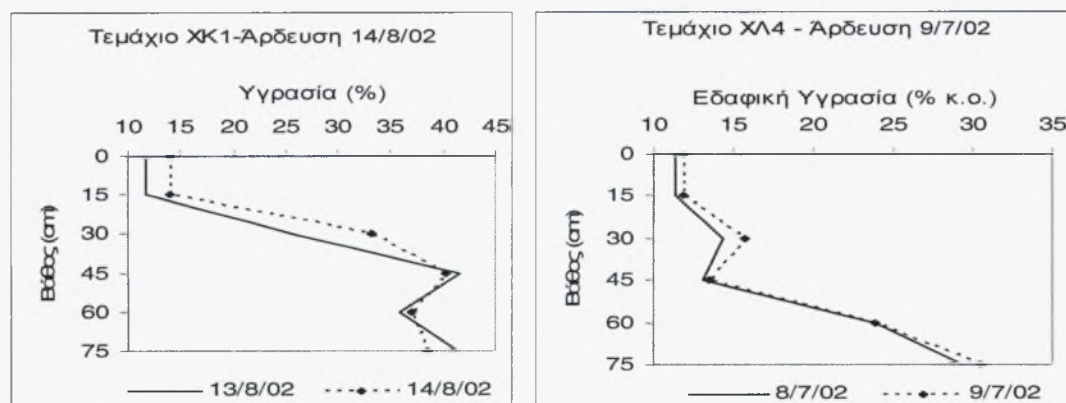
Πίνακας 3.9 Συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στους ιστούς χλοοτάπητα

Στοιχείο	Συνήθεις συγκεντρώσεις σε υγιή φυτά (Καράταγλης, 1992)	Δείγμα πριν την άρδευση (1/3/02)	Δείγμα μετά την άρδευση με καθαρό νερό (16/11/02)	Δείγμα μετά την άρδευση με λύμα (16/11/02)
Fe (mg/kg)	25-300	600	147	171
Zn (mg/kg)	15-100	45	35,6	33,7
Cu (mg/kg)	4-30	10	12,3	7,8
Mn (mg/kg)	15-800	125	72	96
Ni (mg/kg)	-	5	6,6	4,5
Pb (mg/kg)	-	12	10	5
B (mg/kg)	5-75	30	24	22
P (mg/kg)	1000-8000	1500	1763	1682
K (mg/kg)	5.000-60.000	17800	25130	23770
Na (mg/kg)	-	410	574	649
Ca (mg/kg)	2.000-35.000	6150	4110	5000
Mg (mg/kg)	1.000-8.000	1200	3760	3385

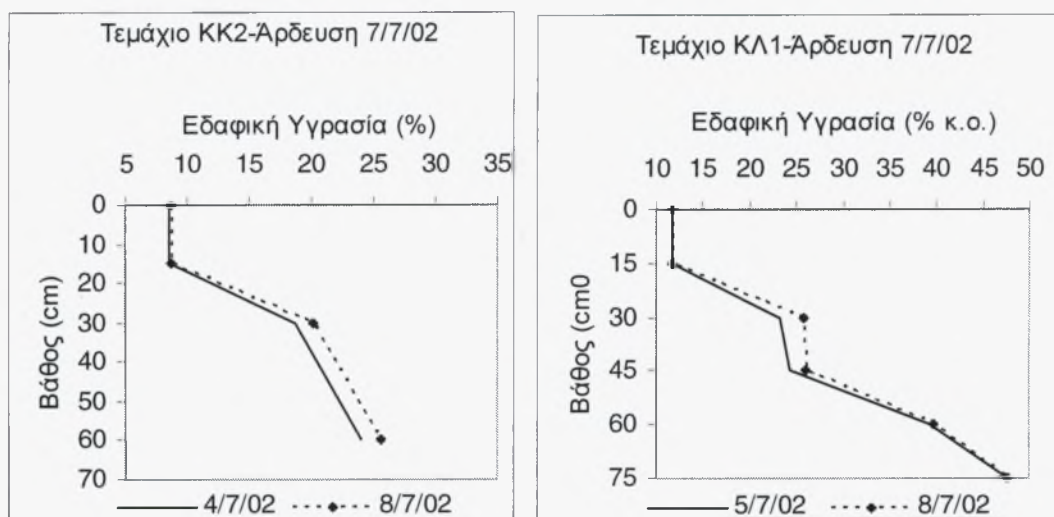
3.8. Μετρήσεις εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R.

Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζονται 4 μέτωπα εδαφικής υγρασίας πριν και μετά την άρδευση, για αντίστοιχα πειραματικά τεμάχια του χλοοτάπητα και των κωνοφόρων. Οι ημερομηνίες άρδευσης ήταν οι 7/7/2002, 9/7/2002 και 14/8/2002. Διαπιστώθηκε η καλή διύγρανση του ριζοστρώματος, ανάλογα με τη δόση άρδευσης.

Εξαιτίας του ότι η εκροή του νερού από τους σταλακτήρες ήταν στα 15 εκατοστά βάθους εδάφους, η αύξηση της εδαφικής υγρασίας παρατηρήθηκε στο βάθος 0-45 cm, γεγονός που ευνοεί τα φυτά, τα οποία αναπτύσσουν το 70 % του ριζικού συστήματος έως τα 50 cm.



Σχήμα 3.19 Μέτωπα της εδαφικής υγρασίας κατά την άρδευση του χλοοτάπητα

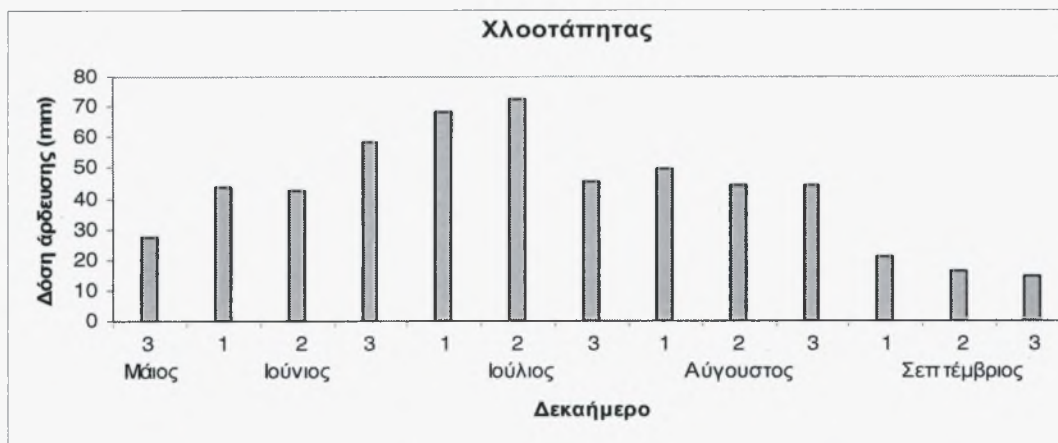


Σχήμα 3.20 Μέτωπα της εδαφικής υγρασίας κατά την άρδευση των κωνοφόρων

3.9. Δόσεις άρδευσης-εξοικονόμηση νερού

Στα Σχήματα 3.20 και 3.21 παρουσιάζονται η κατανομή των δόσεων άρδευσης ανά 10ήμερο για τις μεταχειρίσεις του χλοοτάπητα και των κωνοφόρων. Οι μεγαλύτερες δόσεις άρδευσης δόθηκαν το 1^ο και το 2^ο δεκαήμερο του Ιουλίου, με 68 και 72,6 mm για τον χλοοτάπητα και 50,5-56,6 mm για τα κωνοφόρα.

Συνολικά χορηγήθηκαν 550 mm νερού στις μεταχειρίσεις του χλοοτάπητα και 475 mm στα κωνοφόρα. Η ποσότητα των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων ήταν 204 mm για τη μεταχείριση με λύμα του Χλοοτάπητα και 175 mm για τη μεταχείριση με λύμα των Κωνοφόρων. Η εξοικονόμηση καθαρού νερού που επιτεύχθηκε ανέρχεται σε 37 και 36,8 % αντίστοιχα για τις μεταχειρίσεις του λύματος.



Σχήμα 3.21 Δόση άρδευσης στις μεταχειρίσεις του χλοοτάπητα ανά 10ήμερο



Σχήμα 3.22 Δόση άρδευσης στις μεταχειρίσεις των κωνοφόρων ανά 10ήμερο

3.10. Θρεπτική αξία των αποβλήτων-Μονάδες λίπανσης

Τα κύρια θρεπτικά στοιχεία που ενδιαφέρουν για ένα πρόγραμμα λίπανσης είναι τα N, P, K. Λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα των υγρών αποβλήτων και του νερού γεώτρησης στα διάφορα θρεπτικά στοιχεία, υπολογίστηκαν οι μονάδες λίπανσης.

Η συγκέντρωση των χημικών ενώσεων μετατράπηκε σε συγκέντρωση των στοιχείων N, P, K. Κατόπιν, έγινε η μετατροπή των mm νερού άρδευσης σε m^3 /στρέμμα. Η συγκέντρωση των στοιχείων σε mg/l ($=g/m^3$) πολλαπλασιάστηκε με την ποσότητα του νερού που δέχθηκε κάθε μεταχείριση.

Βρέθηκε ότι για την αρδευτική περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου 2002, ο χλοοτάπητας που αρδεύτηκε με καθαρό νερό δέχθηκε 2,3 μονάδες N, 0,3 μονάδες P και 0,7 μονάδες K. Ο χλοοτάπητας που αρδεύτηκε με λύμα δέχθηκε 1,9 μονάδες N και 1 μονάδα P.

Τα κωνοφόρα δέχθηκαν 2 μονάδες N, 0,2 μονάδες P και 0,6 μονάδες K στη μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό. Η μεταχείριση που αρδεύτηκε με λύμα δέχθηκε 1,7 μονάδες N και 0,9 μονάδες P.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, με τη χρησιμοποίησή τους για την άρδευση ορισμένων καλλιεργειών, όπως είναι ο χλοοτάπητας και 3 είδη καλλωπιστικών κωνοφόρων δένδρων, μπορεί να αποτελέσουν μια ελπιδοφόρα λύση εξοικονόμησης καθαρού νερού για άλλες χρήσεις σε περιοχές όπου αντιμετωπίζεται έλλειψη νερού.
2. Προϋπόθεση είναι να ελέγχονται τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα σε σχέση με τις χημικές ιδιότητες και το μικροβιακό φορτίο. Οι χημικές ιδιότητες αποσκοπούν στην επιλογή της καλλιέργειας, ενώ το μικροβιακό φορτίο στην επιλογή της μεθόδου άρδευσης, για την αποφυγή υγειονομικών κινδύνων.
3. Στην παρούσα εργασία τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου ήταν σχετικά πτωχά σε θρεπτικά συστατικά, περιείχαν μεγάλες ποσότητες ιόντων χλωρίου και το μικροβιακό φορτίο ήταν υψηλό. Στην προκειμένη περίπτωση όμως όπου η άρδευση έγινε υπογείως δεν τίθεται όριο μικροβιολογικών χαρακτηριστικών.
4. Η ανάπτυξη του χλοοτάπητα δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές στο τεμάχιο που αρδεύονταν με απόβλητα, σε σχέση με αυτό που αρδεύονταν με καθαρό νερό. Συγκεκριμένα, ο μέσος όρος της απόδοσης σε ξηρά ουσία των δυο μεταχειρίσεων δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά στο επίπεδο $p = 0,05$. Το ίδιο συνέβη και για την περιεκτικότητα της χλωροφύλλης στους ιστούς των φύλλων, για τις 2 μεταχειρίσεις.
5. Το μέρος του πειράματος που αφορούσε τα καλλωπιστικά παρουσίασε δυσκολίες οφειλόμενες στον παγετό και τις χαμηλές θερμοκρασίες που επικράτησαν κατά το τέλος του 2001. Ως εκ τούτου, έγινε εκρίζωση των αρχικών φυτών και μεταφύτευση άλλων καλλωπιστικών κωνοφόρων της οικογένειας *Cupressaceae*. Αποκτήθηκε σημαντική εμπειρία κατά την αντιμετώπιση των δυσκολιών του πειράματος.
6. Τα κωνοφόρα παρουσίασαν κάποια διαβάθμιση σχετικά με την ανάπτυξη τους μετά από άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Συγκεκριμένα, το είδος *Juniperus chinensis* cv. *Stricta* απέδωσε το ίδιο καλά αρδευόμενο με καθαρό νερό και με επεξεργασμένα απόβλητα. Επηρεάστηκε μόνο η μέση αύξηση του ύψους στο είδος *Thuja orientalis* cv. *Compacta Aurea Nana* και η μέση αύξηση της διαμέτρου της φυτοκόμης στο είδος *Cupressus macrocarpa* cv. *Gold Crest* στις μεταχειρίσεις του λύματος, σε σχέση με τις μεταχειρίσεις του καθαρού νερού.

7. Η ωφέλεια στην προκειμένη περίπτωση είναι η χρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων σε σχετικά ανθεκτικές καλλιέργειες, όπως ο γλοοτάπητας και το είδος *Juniperus chinensis* cv. *Stricta* και η εξοικονόμηση ποσοτήτων καθαρού νερού της τάξης του 37 %. Εν τούτοις, τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για καλλιέργειες όπως τα είδη *Thuja orientalis* cv. *Compacta Aurea Nana*, *Cupressus macrocarpa* cv. *Gold Crest* χωρίς να υπάρχει σημαντική μεταβολή της απόδοσης των καλλιεργειών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Αγγελάκης Α., 2000. Η σημασία ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων. *Αγροτική Έρευνα και Τεχνολογία*, Τεύχος 1 (14) Ιούλιος-Σεπτέμβριος 2000. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.
2. Αθανασόπουλος Α., 2000. *Καλλωπιστικά Κωνοφόρα για την Ελλάδα*. Σελ. 173. Εκδόσεις Αγροτύπος. Αθήνα.
3. Αλεξίου Ι., Καλφούντζος Δ., Κωτσόπουλος Σ., Βύρλας Π. και Καμπέλη Σ. 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. *9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης*, σελ. 199-206. 2-5 Απριλίου 2003, Θεσσαλονίκη.
4. Αλεξίου, Ι., Κωτσόπουλος Σ., Ζέρβα, Γ., Βύρλας, Π., 2000. Σύγκριση υπολογισμένων τιμών δυναμικής εξατμισοδιαπνοής. *Πρακτικά 2^ο Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*, σελ. 133-140. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2000.
5. 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., ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Αθήνα. 25 (1) : 13-20.
6. Βουρδουμπάς Ι., 2000. Άρδευση Δασικής Φυτείας με επεξεργασμένα αστικά λύματα. *Γεωργία-Κτηνοτροφία* 6, 2000. σελ. 64-68. Αθήνα.
7. Βύρλας, Π., Καλφούντζος Δ. και Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 2003. Επίδραση του εδαφικού τύπου στην έμφραξη λόγω εισρόφησης σε υποεπιφανειακά συστήματα στάγδην άρδευσης. *9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης*, σελ. 225-232. 2-5 Απριλίου 2003, Θεσσαλονίκη.
8. Γαλάνης Γ., Ζαλίδης Γ., Πανώρας Α., Σταματιάδης Σ., Μισοπολινός Ν. και Τσαντήλας Χ., 2000. Επίδραση στην ποιότητα του εδάφους από την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων. *Πρακτικά 8^ο Πανελλήνιου Εδαφολογικού Συνεδρίου*, 21-23 Σεπτεμβρίου 2000, Καβάλα. Ελληνική Εδαφολογική Εταιρεία.
9. Γαλανοπούλου-Σενδουκά Σ., 1997. *Ειδική Γεωργία Ι*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Βόλος.
10. Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων, 1977. *Εκθεση «Άρδευση με σταγόνες»*, Σίνδος Θεσσαλονίκης.

11. Καλφούντζος, Δ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος, Χ., 2000. Πειραματικές διαδικασίες διήθησης-στράγγισης σε στρωματοποιημένα εδάφη. *Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*, σελ. 93-100. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2000.
12. Καράταγλης Σ., 1992. *Φυσιολογία Φυτών*. Σελ. 304. Εκδόσεις Art of Text. Θεσσαλονίκη.
13. Λόλας, Π. 1997. *Φυσιολογία Φυτού*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
14. Μήτσιος, Ι.Κ., 1999. *Εδαφολογία*. Σελ. 313. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
15. Μήτσιος, Ι.Κ., Τούλιος Μ.Γ., Χαρούλης Α., Γάτσιος Φ., Φλωράς Σ., 2000. *Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή Βελεστίνου*. Σελ. 45. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
16. Μισοπολινός, Ν.Δ., 1985. *Κίνδυνοι υποβάθμισης εδαφών-Βελτίωση νατριομένων εδαφών*. Θεσσαλονίκη.
17. Μισοπολινός, Ν.Δ., 1991. *Προβληματικά εδάφη. Μελέτη, Πρόληψη, Βελτίωση*. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, σελ. 178. Θεσσαλονίκη.
18. Ντιούδης, Π., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Μασλάρης, Ν., Νούσιος, Γ., 2000. Διατάξεις Άρδευσης με Σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. *Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*, σελ. 149-156. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2000.
19. Ντιούδης Π., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Τερζίδης Γ., Μασλάρης Ν. και Νούσιος Γ., 2003. Διαφορετικές διατάξεις άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. *9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης*, σελ. 159-166. 2-5 Απριλίου 2003, Θεσσαλονίκη.
20. Πανώρας, Α.Γ., Μαυρουδής Ι.Γ., Βαξεβάνη Χ.Η. και Χατζηγιαννάκης Σ.Λ., 1992. Πρόβλεψη του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση των υπόγειων νερών της Β. Ελλάδας. *Υδροτεχνικά*, 2 (1) : 5-13.
21. Πανώρας, Α.Γ., Μαυρουδής, Ι.Γ., και Χατζηγιαννάκης Στ.Λ., 1993. Εφαρμογή της ισοπέδωσης με laser στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, 4 (4) : 14-19.
22. Πανώρας, Α.Γ., Χατζηαθανασιάδου, Α.Μ., και Τόπης, Χ.Γ., 1994. Είδος φθορών και κόστος συντήρησης δικτύων άρδευσης με σταγόνες. *Γεωπονικά*, 35 : 35-40.
23. Πανώρας Α.Γ. και Ηλίας Α.Κ., 1997. Υγρά αστικά απόβλητα: Μια νέα πηγή νερού για τους Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων. *Γεωπονικά*, τεύχος 369, σελ. 73-85. Έκδοση Γεωπονικού Συλλόγου Μακεδονίας-Θράκης. Θεσσαλονίκη.

24. Πανώρας Α., Ηλίας Α., Σκαράκης Γ., Παπαδόπουλος Α., Παπαδόπουλος Φ., Παρισσόπουλος Γ., Πατέρας Δ., Παπαγιαννοπούλου Α., Ζδράγκας Α., Αναγνωστόπουλος Κ., 1998. Άρδευση Ζαχαροτεύτλων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. *Αποτελέσματα Ερευνητικού Έργου: Ανάκτηση Αστικών Υγρών Αποβλήτων με χρήση Φυσικών Συστημάτων και Επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση και ανάπλαση Υγροτόπων*. Πρακτικά Ημερίδας, Αίθουσα Εκδηλώσεων Δήμου Σίνδου, 29 Σεπτεμβρίου 1998.
25. Πανώρας Α. και Ηλίας Α., 1999. *Άρδευση με Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα*. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
26. Πανώρας Α., Καλαφατέλη Δ., Ρέρη Ε., 1999. Διερεύνηση της καταλληλότητας για άρδευση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Τόμος 1-Σειρά Ι. Αρ. 1-1999. ΓΕΩΤ.Ε.Ε. Θεσσαλονίκη.
27. Πανώρας Α., Ηλίας Α., Παπαγιαννοπούλου Α., Σκαράκης Γ., Παπαδόπουλος Φ., Παρισσόπουλος Γ., Ζδράγκας Α., Παπαδόπουλος Α., Καμπέλη Σ., 2000. Επίδραση του τρόπου άρδευσης και της ποιότητας του νερού στην απόδοση της κρυσταλλικής ζάχαρης των ζαχαροτεύτλων. *8^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης* 19-21 Απριλίου 2000, Αθήνα, σελ. 477-484.
28. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1984. *Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 484.
29. Παπαζαφειρίου, Ζ., και Αντωνόπουλος, Β., 1991. *Υδραυλική Περιβάλλοντος*. Έκδοση Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. σελ. 484. Θεσσαλονίκη.
30. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999. *Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών*. Σελ. 347. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
31. Σακελλαρίου Μ., Μασλάρης, Ν., Καλφούντζος, Δ., Γούλας, Χ., 1998. *Πρακτικά 1^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*, σελ. 271-280. Αθήνα
32. Σακελλαρίου Μ., Μασλάρης, Ν., Νούσιος Γ., Ντιούδης Π., Καλφούντζος Δ., 1999. Σχεδιασμός Διατάξεων Άρδευσης με Σταγόνες σε Καλλιέργεια Ζαχαροτεύτλων. *Πρακτικά 4^ο Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ*, Βόλος, σελ. 162-169.
33. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 1990. Επίδραση της υστέρησης στην εξομοίωση του προβλήματος της διήθησης του νερού σε εδαφικό δείγμα εδραζόμενο επί πορώδους κάψας. *4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ε.Υ.Ε.* Ηράκλειο Κρήτης, σελ. 435-449.
34. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 1993. *Άρδευση με σταγόνες*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Βόλος.

35. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 1996. Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου. *Υδροτεχνικά*, 6, 62-77.
36. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 1997. Στράγγιση του νερού σε στρωματοποιημένα εδάφη στο εργαστήριο και αριθμητική εξομοίωση. *Πρακτικά 2^ο Πανελληνίου Συνεδρίου "Εγχειοβελτιωτικά έργα, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εκμηχάνιση γεωργίας"*, ΓΕΩΤ.Ε.Ε. Παράρτημα Κεντρικής Ελλάδας. Λάρισα, 24-27 Απριλίου 1997.
37. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Πανώρας Α., Μαυρουδής Ι., Μανούδης Ν., Πογιαρίδης Θ., 1997. Καμπύλες ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στο Ν. Λάρισα. *Πρακτικά 2^ο Πανελληνίου Συνεδρίου "Εγχειοβελτιωτικά έργα, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εκμηχάνιση γεωργίας"*, ΓΕΩΤ.Ε.Ε. Παράρτημα Κεντρικής Ελλάδας. Λάρισα, 24-27 Απριλίου 1997, σελ. 155-173.
38. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος, Χ. και Καλφούντζος Δ., 1997. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. *Πρακτικά 7^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ε.Υ.Ε. Πάτρα*. σελ. 184-192.
39. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καλφούντζος Δ., Παπανίκος Ν. 2000. Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. *Πρακτικά 2^ο Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*, σελ. 157-164. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2000.
40. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Παπαλέξης Δ., Δαναλάτος Ν., Βουλτσάνης Π. και Νάκος Ν., 2003. Επίδραση Επιφανειακής και Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή της ενεργειακής καλλιέργειας του Σόργου στην Κεντρική Ελλάδα. *9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης*, σελ. 183-190. 2-5 Απριλίου 2003, Θεσσαλονίκη.
41. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Τέντας Ι., Κολιού Α., Καλφούντζος Δ., Παπανίκος Ν., 2003. Άρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. *Πρακτικά 3^ο Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*, Θεσσαλονίκη, 29-31 Μαΐου, σελ. 265-272.
42. Σπαντιδάκης Ι.Γ., 1999. *Γράστις. Επιστήμη και Τεχνική του χλοοτάπητα*. σελ. 284. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα.
43. Τερζίδης, Γ.Α., και Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1997. *Γεωργική Υδραυλική*. Σελ. 501. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
44. Τζιμόπουλος, Χ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ. και Γιακουμάκης, Σ., 1983. Πειραματικές μετρήσεις σε προβλήματα διύγρανσης με τη βοήθεια της γ-ακτινοβολίας. *Υδροτεχνικά*, 1: IV 25- IV 33.

45. Τζιμόπουλος, Χ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Στεργιοπούλου, Σ., 2000. Εκτίμηση οριακών βρόχων υστέρησης-Αναλυτική και πειραματική προσέγγιση του προβλήματος. *Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*, σελ. 117-123. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2000.
46. Χατζηγιαννάκης, Στ., και Θεοδώρου, Ν., 1991. *Η χρήση των ακτίνων laser στην ισοπέδωση των χωραφιών*. Έκδοση Ι.Ε.Β., σελ. 13. Θεσσαλονίκη.

B. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

47. Al-Lahham O., El Assi N.M., Fayyad M., 2003. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination on tomato fruit. *Agricultural Water Management*, 61 (2003): 51-62. Elsevier Publication
48. Ali, I., 1987. Wastewater criteria for irrigation in arid regions. *Journal Irrigation and Drainage Division*. ASCE, 113 (2) : 173-183.
49. 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.
50. Angelaki, A., Sakellariou – Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C., 2002. «Comparison of Green & Ampt and Parlange infiltration equations. Experimental procedure». 5th International Conference of EWRA on water resources management in the era of transition 4 – 8 September 2002 – oral presentation, proceedings, pp 172 – 183. Athens.
51. 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.
52. Asano, T., Smith, R.G., and Tsobanoglous, G., 1985. Municipal Wastewater: Treatment and reclaimed water characteristics. In : *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A guidance manual*. 2nd Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis publishers, Inc., Chelsea, MI.
53. Asano, T., and Tsobanoglous, G., 1987. Municipal wastewater treatment and effluent utilization for irrigation. *Land and Water Development Division*, F.A.O., Rome.
54. Ayars J.E., Phene C.J., Hutmacher R.B., Davis K.R., Schoneman R.A., Vail S.S., Mead R.M., 1999. Subsurface Drip Irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, 42 (1999) : 1-27.

55. Ayers, R.S., 1977. Quality of water for irrigation. *Journal Irrigation and Drainage Division, A.S.C.E.*, 103 (1) : 135-154.
56. Ayers R.S., and Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. *F.A.O. Irrigation and Drainage Paper* 29: 99-104, Rev. 1.
57. 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.
58. Blum, D., and Feachem., R.G., 1985. *Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture*. Part III : An epidemiological perspective. Dubendorf, International Reference Center for waste disposal, Report No. 05/85.
59. 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.
60. C.E.C., 1976. Council Directive 76/160/EEE, concerning the quality of bathing water. *Official Journal of the European Communities*, I (31) :1-7.
61. Christiansen, J.E., Olsen, E.C., and Williardson, L.S., 1977. Irrigation Water quality evaluation. *Journal Irrigation and Drainage Division, A.S.C.E.*, 103 (2): 155-169.
62. 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
63. Degremont, 1979. *Water treatment handbook* (5th Edition). Degremeont, Rueil Malmalson, France. Halstead Press/John Wiley, New York.
64. Devitt D.A. and Miller W.W., 1988. Subsurface Drip Irrigation of Bermudagrass with saline water. *Applied Agricultural Research*, Vol. 3, No. 3 pp. 133-143.
65. Doneen, L.D., 1954. Salinization of soil by salts in the irrigation water. *Transactions of American Geophysical Union*, 35 :943-950.
66. English, S.D., 1985. Filtration and water treatment for micro-irrigation. *Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress*, November 18-21, Fresno, California USA, pp. 50-57.
67. Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelich, H., and Mara, D.D., 1980. Appropriate technology for water supply and sanitation. *Vol. 3: Health aspects of excreta and sludge management*. The World Bank, Washington D.C.
68. Friedel J.K., Langer T., Siebe C., Stahr K., 2000. Effects of long-term wastewater irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in Central Mexico. *Biology and Fertility of Soils*. 31 (5) : 414-421. Springer Publication.

69. Hanson B.R., Schwankl L.J., Schulbach K.F., Pettygrove G.S., 1997. A comparison of furrow, surface drip and subsurface drip irrigation on lettuce yield and applied water. *Agricultural Water Management*, 33 (1997) :139-157.
70. Hayes, A.R., Mancino , C.F., and Pepper, I.L., 1990. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent. : I. Soil and leachate water quality. *Agronomy Journal*, 82 : 939-943.
71. Hillel, D., 1987. *The effluent use of water in irrigation*. World Bank Technical Paper No 64. The World Bank, Washington D.C.
72. Hillman, P.F., and Dunn, A.J., 1989. The use of treated wastewater effluents for irrigation. In : *Irrigation : Theory and Practice* (eds. Rydsewski-Ward), Pentech Press, London, pp. 291-301.
73. http://www.comp.leeds.ac.uk/cgi-in/pfaf/arr_html?Juniperus+chinensis
74. http://www.comp.leeds.ac.uk/cgi-bin/pfaf/arr_html?Thuja+orientalis
75. http://www.comp.leeds.ac.uk/cgi-bin/pfaf/arr_html?Cupressus+macrocarpa
76. Kandiah, A., 1990. *Water quality management for sustainable agricultural development*. Natural Resources Forum, 14(1) :22-32
77. Lamm F.R. and O' Brien D.M., 2003. Economically optimal plant population at various irrigation capacities using subsurface drip irrigation (S.D.I). <http://www.oznet.ksu.edu/sdi/Reports/2003/PFS2003.pdf> Kansas State University.
78. Luo Y., Jiang X., Wu L., Song J., Wu S., Lu R., Christie P., 2003. Accumulation and chemical fractionation of Cu in a paddy soil irrigated with Cu-rich wastewater. *Geoderma*, 115 (2003) 113–120. Elsevier Science.
79. Maas, E.V., 1984. Salt tolerance of plants. *The Handbook of Plant Science in Agriculture*. B.R. Christie (ed.), CRC Press. Boca Raton, Florida.
80. Maas, E.V., 1990. Crop salt tolerance. In : *Agricultural Salinity Assessment and Management Manual*. K.K. Tanji (ed.), A.S.C.E., 103 : 115-134.
81. Maas, E.V., and Hoffman, G.J., 1977. Crop salt tolerance. Current assessment. *Journal Irrigation and Drainage Division*, A.S.C.E., 103:115-134.
82. Maloupa E., Traka-Mavrona K., Papadopoulos A., Papadopoulos F., Pateras D., 1999. Wastewater Re-use In Horticultural Crops Growing in Soil and Soilless media. *Acta Horticulturae*, 481, ISHS 1999.
83. Mara, D., and Cairncross, S., 1989. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture : *Measures for public health protection*. UN Environmental Program/WHO, Geneva.

84. 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.
85. Misopolinos, N.D., 1985. A new concept for reclaiming sodic soils with high salt water. *Soil Science*, 140 : 69-74.
86. Misopolinos, N.D., and Ambas, 1989. A computer program for calculating parameters necessary for reclaiming sodic soils with high salt water. *Soil Technology*, 2:243.
87. Mujeriego R., Sala L., Carbo M. and Turet J., 1996. Agronomic and public health assessment of reclaimed water quality for landscape irrigation. *Water Science and Technology*, Vol. 33(10-11) p. 335-344. Elsevier Science.
88. Myers B.J., Theiveyanathan S., O'Brien N.D. and Bond W.J., 1996. Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* plantations irrigated with effluent. *Tree Physiology* 16, 211-219.
89. Nakayama , F.S., and Bucks, D.A., 1985. Drip/Trickle Irrigation in action: Temperature effect on calcium carbonate precipitate clogging on trickle emitters. *Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress*, November 18-21, Fresno, California USA, pp. 45-50.
90. Neja, R.A., Ayers, R.S., and Kassimatis, A.N., 1978. *Salinity appraisal of soil and water for successful production of grapes* .Leaflet 21056, Division of Agricultural Sciences, University of California, Berkeley.
91. Neufeld, J., 2001. *Water Conservation with Subsurface Drip Irrigation*. Drought Symposium, College of Southern Idaho, 14 July 2001.
92. Office International de L' Eau, 1992. *Disinfection by ozone*. Leaflet created by "Direction de la Formation des Etudes", Limoge, France.
93. Page, A.L., and Chang, A.C., 1985. Fate of wastewater constituents in soil and groundwater trace elements. In : *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A guidance manual*. 2nd Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
94. Panoras A., Evgenidis G., Bladenopoulou S., Melidis B., Doitsinis A., Samaras I., Zdragkas A., Matsi T., 2001. Corn Irrigation with municipal wastewater. 7th *International Conference on Environmental Science and Technology* . Ermoupolis, Syros island, Greece p. 699-706.

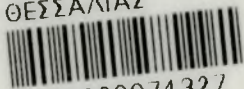
95. Panoras A., Kexagia O., Xanthopoulos F., Doitsinis A., Samaras I., 2001. The Reuse of Municipal Wastewater in cotton irrigation. *Inter-Regional Research Network on Cotton*. F.A.O.-NAGREF. 27 September-1 October 2001, Chania, Greece.
96. Papayiannopoulou A., Parissopoulos G., Panoras A., Kampeli S., Papadopoulos F., Papadopoulos A., Ilias A., 1998. Emitter Performance in conditions of treated municipal wastewater. *Proc. Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Fiera Milano, 14-16 September 1998, p. 1011-1014.
97. Pescod, M.B., 1992. Wastewater treatment and reuse in agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper 47*. pp.125.
98. Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), 1985. *Irrigation with reclaimed municipal wastewater-A guidance manual*. 2nd Ed. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
99. Phene C. J., Blume M. F., Hile M. M. S., Meek D. W., and Re J. V., 1983. Management of subsurface trickle irrigation systems. *ASAE paper* No83-2598.
100. Phene C. J., Hutmacher R. B. and Ayars, J, E., 1993. Subsurface drip irrigation: Realizing the full potential. Proc. workshop, Visalia, California.
101. Rowe, D.R., Al-Dhawalia, K., and Whitehead, A., 1987. *Reuse of Riyand treated wastewater*. Final Report, Project 18/1402. College of Engineering, King Saud University, Riyand, Saudi Arabia.
102. Ruskin R. 2000. Subsurface drip irrigation and yields. *Geoflow, Inc*.
103. Sakellariou-Makrantonaki M., and Hjiyiannakis, S., 1991. Groundwater movement into layered soils. *Adv. in Water Resour. Techn.*, σελ. 207-216.
104. Sakellariou-Makrantonaki, M., 1997. Water Drainage in layered soils. Laboratory experiments and numerical simulation. *Water Resources Management*, 11: 437-444.
105. Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos D., Vyrlas P. 2001. Irrigation Water Saving and Yield increase with Subsurface Drip Irrigation. *Proc. of 7th International Conference on Environmental Science and Technology*, pp. 466-473. Ermoupolis, Syros island, Greece-Sept. 2001.
106. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., Kapetanios, B.,. 2002. Water saving using modern irrigation methods. *Hydrorama 2002*, EYDAP, Athens, Greece.
107. Sakellariou-Makrantonaki M., Tentas I., Koliou A., Kalfountzos D., Vyrlas P., 2003. Irrigation of Ornamental Shrubs with treated municipal wastewater. *8th Conference on Environmental Science and Technology*, 8th -10th September 2003, Lemnos Island (poster presentation).

108. Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos D., Tentas I., Vyrlas P., 2003. Subsurface Drip Irrigation with treated wastewater. *XI World Water Congress. Water Resources Management in the 21st century*. IWRA, Madrid, 5-9 October 2003.
109. Shani U., Xue S., Gordin-Katz R. and Warrick A., 1996. Soil-limiting from subsurface emitters. I Pressure measurements. *J. of Irrigation and Drainage*
110. Shuval, H.I., Yekutieli, P., Fattal, B., 1985. Epidemiological evidence for helminth and cholera transmission by vegetables irrigated with wastewater. Jerusalem-A case study. *Water Science and Technology*, 17 : 433-442.
111. 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
112. Snider, K.E., Darby, J.L., and Tsobanoglous, G., 1991. *Evaluation of ultraviolet disinfection for wastewater reuse applications in California*. University of California, Davis.
113. 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*.
114. Strauss, M., and Blumenthal, U.J., 1989. *Health aspects of human waste use in agriculture and aquaculture-utilization practices and health perspectives*. IRCWD Report No 08/88. International Reference Centre for Waste Disposal, Dubendorf, Switzerland.
115. 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.
116. U.C.C.C. 1974. *Guidelines for interpretation of water quality for agriculture*. Memo Report, 13 p.
117. 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.
118. U.N.E.P., 1981. *Action Plan for the protection of the Mediterranean*. Regional Seas Reports and Studies No 34, Nairobi, U.N. Environment Program.
119. U.S.D.A., Soil Conservation Service. 1956. *Methods of evaluating irrigation systems*. Handbook 82. Government Printing Office, Washington D.C.
120. U.S.E.P.A. 1973. Water quality criteria. *Ecological Research Series*, E.P.A. R 3-72-033, U.S.E.P.A., Washington D.C.

121. U.S.S.L. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S.D.A. Handbook 60, Washington D.C.
122. Vasquez-Montiel O., Horan N.J. and Mara D.D., 1996. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. *Water Science and Technology*, Vol. 33 (10-11) : 355-362. Elsevier Science.
123. Vedry B., Gousailles M., Affholder M., Lefaux A., Bontoux J., 2001. From sewage water treatment to wastewater reuse. One century of Paris sewage farms history. *Water Sci Technol.*, 43 (10) :101-107. Elsevier Science.
124. Westcot, D.W., and Ayers, R.S., 1988. 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.
125. W.H.O. 1989. *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. W.H.O. Technical Report Series No 778.
126. Yoon C.G., Kwun S.K. and Ham J.H., 2001. Effects of treated sewage irrigation on paddy rice culture and its soil. *Irrigation and Drainage*, 50:227-236. John Wiley and Sons.
127. 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



0040000 74327