

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ»**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΛΕΓΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΓΚΟΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ



ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2009



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

Αριθ. Εισ.: 7354/1
Ημερ. Εισ.: 22-07-2009
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΧΠΠΑ
2009
ΛΕΓ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων σαν εναλλακτική πηγή αρδευτικού ύδατος, για άρδευση στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, η οποία αντιμετωπίζει έλλειψη υδατικών πόρων λόγω της έντονης γεωργικής δραστηριότητας. Επίσης παρουσιάζονται τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων καθώς και οι μέθοδοι, οι οδηγίες και τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησής τους για ωφέλιμους σκοπούς. Ακόμη γίνεται αναφορά στις πρακτικές επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες

Τέλος μέσω χημικών, μικροβιολογικών και τοξικολογικών αναλύσεων εξετάζεται η ποιότητα των εκροών τεσσάρων μονάδων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων της Θεσσαλίας και πιο συγκεκριμένα του Βόλου, της Καρδίτσας, της Λάρισας και του Τυρνάβου ώστε, βάσει των σχετικών κανονισμών και οδηγιών, να διερευνηθεί η καταλληλότητα τους για επαναχρησιμοποίηση για αρδευτικούς σκοπούς

ABSTRACT

The subject of the present thesis is to assess wastewater effluent quality in Thessaly region, Greece in order to determine whether this kind of water could be used as an alternative water resource for irrigation in Thessaly region, which suffers from a distinct water shortage due to increased agricultural activity. In addition, the stages of wastewater treatment process are presented as well as the criteria, the instructions and the practices of wastewater reuse for beneficial uses in Greece and in other countries.

Finally, the effluent quality of four wastewater treatment plants operating in Thessaly region (Volos, Karditsa, Larissa and Timavos) were tested for specific chemical, microbiological and toxicity parameters and then compared to relative regulations and guidelines regarding wastewater reuse for irrigation in order to assess their suitability for irrigation purposes.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
Α' ΜΕΡΟΣ	
2. ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	11
2.1. Γενικά.....	11
2.2. Ρύπανση υδατικών πόρων.....	12
3. ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ ΚΑΙ Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	14
3.1. Γενικά.....	14
3.2. Διαθέσιμοι υδατικοί πόροι στη Θεσσαλία.....	15
3.3. Το υδατικό ισοζύγιο στη Θεσσαλία.....	16
3.4. Αρδευόμενες εκτάσεις στη Θεσσαλία.....	17
3.5. Αξιοποίηση υδατικών πόρων στη Θεσσαλία.....	20
3.5.1. Γενικά.....	20
3.5.2. Απώλειες – Σπατάλη υδατικών πόρων.....	21
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	23
4.1. Γενικά.....	23
4.2. Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.....	23
4.2.1. Φυσικά χαρακτηριστικά.....	24
4.2.2. Χημικά χαρακτηριστικά.....	25
4.2.3. Βιολογικά χαρακτηριστικά.....	29
4.3. Μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων.....	30
4.3.1. Γενικά.....	30
4.3.2. Μονάδες Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα.....	31

4.4. Στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	35
4.4.1. <u>Προκαταρκτική επεξεργασία</u>	35
4.4.2. <u>Πρωτοβάθμια επεξεργασία</u>	36
4.4.3. <u>Δευτεροβάθμια επεξεργασία</u>	38
4.4.4. <u>Ίλύς</u>	39
4.4.5. <u>Τριτοβάθμια επεξεργασία</u>	42
5. <u>ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</u>	43
5.1. Γενικά	43
5.2. Δυνατότητες εφαρμογής επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων	45
5.2.1. <u>Άρδευση αγροτικών περιοχών</u>	45
5.2.2. <u>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορεων</u>	48
5.2.3. <u>Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία</u>	49
5.2.4. <u>Αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής</u>	50
5.2.5. <u>Αστική επαναχρησιμοποίηση</u>	51
5.2.6. <u>Επαναχρησιμοποίηση για σκοπούς ύδρευσης</u>	52
6. <u>ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</u>	55
6.1. Εισαγωγή	55
6.2. Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.)	56
6.3. Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O.)	61
6.4. Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια	65
6.5. Οδηγίες της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (US-EPA)	68

7. ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ , ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ

<u>ΤΙΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ</u>	71
7.1. Εισαγωγή	71
7.2. Χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης	73
7.2.1. <u>Αυστρία</u>	73
7.2.2. <u>Γαλλία</u>	73
7.2.3. <u>Γερμανία</u>	74
7.2.4. <u>Ιταλία</u>	75
7.2.5. <u>Ισπανία</u>	77
7.2.6. <u>Πορτογαλία</u>	78
7.3. Χώρες της Μεσογείου	79
7.3.1. <u>Γενικά</u>	79
7.3.2. <u>Κύπρος</u>	82
7.3.3. <u>Ισραήλ</u>	84
7.3.4. <u>Τυνησία</u>	86
7.3.5. <u>Μαρόκο</u>	87
7.3.6. <u>Λίβανος</u>	87
7.3.7. <u>Ιορδανία</u>	87
7.4. Άλλες Χώρες	88
7.4.1. <u>Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Η.Π.Α)</u>	88
7.4.2. <u>Ιαπωνία</u>	89
7.4.3. <u>Αυστραλία</u>	90
7.5. Κριτήρια και πρακτικές επαναχρησιμοποίησης στην Ελλάδα	91

B' ΜΕΡΟΣ

8. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	100
8.1. Σύντομη περιγραφή των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	100
8.1.1. <u>Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων Βόλου</u>	100
8.1.2. <u>Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων Καρδίτσας</u>	101
8.1.3. <u>Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων Λάρισας</u>	101
8.1.4. <u>Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων Τυρνάβου</u>	102
8.2. Ανάλυση τοξικότητας	103
8.2.1. <u>Πείραμα ακινητοποίησης <i>Daphnia magna</i></u>	103
8.2.2. <u>Πείραμα Phytotoxkit Microbiotest</u>	105
8.3. Χημικές Αναλύσεις	106
8.3.1. <u>Μέτρηση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand)</u>	106
8.3.2. <u>Μέτρηση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου COD (Chemical Oxygen Demand)</u>	107
8.3.3. <u>Μέτρηση της αγωγιμότητας</u>	109
8.3.4. <u>Μέτρηση του pH</u>	110
8.3.5. <u>Μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών</u>	111
9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	112
9.1. Αναφορά σε προηγούμενες έρευνες	112
9.2. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	116
9.2.1. <u>Πείραμα ακινητοποίησης <i>Daphnia magna</i></u>	116
9.2.2. <u>Πείραμα Phytotoxkit Microbiotest</u>	117
9.2.2.1. <u>Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά είδος φυτού</u>	117
9.2.2.2. <u>Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά περιοχή</u>	122
9.2.3. <u>Μέτρηση του BOD₅ και COD</u>	128
9.2.4. <u>Μέτρηση αγωγιμότητας και του pH</u>	129
9.2.5. <u>Μέτρηση περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα</u>	130

9.2.6. <u>Μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών (Total Suspended Solids)</u>	
.....	131
9.2.7. <u>Μικροβιολογικές αναλύσεις</u>	132
9.3. Συμπεράσματα	133
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	135

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της εργασίας είναι να αναδείξει την αναγκαιότητα επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων για την ενίσχυση των υπαρχόντων υδατικών πόρων προκειμένου να καλυφθούν οι αυξημένες ανάγκες σε νερό στη Θεσσαλία. Οι ανάγκες αυτές στο συντριπτικό ποσοστό τους αναφέρονται στην αγροτική άρδευση. Για το λόγο αυτό στην παρούσα εργασία έγινε διερεύνηση της ποιότητας των εκροών τεσσάρων μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της Θεσσαλίας (Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου) βάσει ορισμένων κριτηρίων ώστε να εξεταστεί η καταλληλότητά τους για αρδευτικούς σκοπούς.

Στη Θεσσαλία τις τελευταίες δεκαετίες διαταράχθηκε το οικολογικό σύστημα από την απερίσκεπτη επέκταση υδροβόρων καλλιεργειών και την ασυλλόγιστη κατάχρηση και σπατάλη γλυκού νερού. Η εξοικονόμηση υδατικών πόρων για το παρόν και για τα επόμενα χρόνια είναι το μείζον πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο Θεσσαλικός κάμπος.

Η κάλυψη των αυξημένων αναγκών σε νερό πρέπει να γίνει με τη σωστή διαχείριση των υφιστάμενων υδατικών πόρων, τον περιορισμό της σπατάλης, την συντήρηση των αρδευτικών δικτύων για περιορισμό διαρροών και την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων, κυρίως για αγροτική χρήση.

Η οδηγία-πλαίσιο για το νερό 2000/60 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία ενσωματώθηκε στο Εθνικό Δίκαιο με το νόμο 3199/2003, είναι ένα ελπιδοφόρο μήνυμα για τη σωστή διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων ενόψει της έλλειψης επάρκειας νερού και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

Οι συνέπειες, από τη μη υλοποίηση της παραπάνω οδηγίας, για τη Θεσσαλία θα είναι σοβαρές καθώς εκτός από την έλλειψη νερού θα έχει να αντιμετωπίσει και επικίνδυνα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η ερημοποίηση και η ρύπανση των υπόγειων υδάτων με νιτρικά και την υφαλμύρωση λόγω της εισχώρησης θαλασσινού νερού στα υπόγεια ύδατα.

Μια λύση του προβλήματος της μειωμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων που εφαρμόζεται ήδη σε πολλές χώρες είναι η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αποτελείται από έξι κεφάλαια στα οποία περιγράφεται το υδατικό πρόβλημα στη Θεσσαλία, η διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων καθώς και η σημασία, οι οδηγίες και οι πρακτικές εφαρμογής της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων.

Στο πρώτο μέρος, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια γενική περιγραφή του υδατικού προβλήματος και της ρύπανσης των υδατικών πόρων

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το υδατικό πρόβλημα της Θεσσαλίας οι αρδευόμενες εκτάσεις της και η διαχείριση των υδατικών πόρων της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία και τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, τα χαρακτηριστικά τους και γίνεται αναφορά στις Μονάδες Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων της Ελλάδας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η σημασία της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων καθώς και οι δυνατότητες εφαρμογής της μεθόδου για αστική χρήση, άρδευση, βιομηχανική χρήση, εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων και δημιουργία χώρων αναψυχής.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι οδηγίες και οι κανονισμοί που έχουν εκδώσει διεθνείς οργανισμοί όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) και Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), καθώς και ο Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια και οι Οδηγίες της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (US-EPA).

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κριτήρια και οι πρακτικές επαναχρησιμοποίησης στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες για την προστασία της δημόσιας υγείας από τη χρήση ανακτημένου νερού.

Όσον αφορά το δεύτερο μέρος, στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που εξετάστηκαν ως προς την ποιότητα των εκροών τους καθώς και η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε, ενώ στο ένατο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε προηγούμενες σχετικές έρευνες, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων, και τα συμπεράσματα της έρευνας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

- 1) Τον καθηγητή Αθανάσιο Κούγκολο που μου εμπιστεύθηκε το αντικείμενο αυτό της διπλωματικής μου εργασίας
- 2) Τη υποψήφια διδάκτορα Σοφία Μπακοπούλου για την άμεση επίβλεψη, την πολύτιμη καθοδήγηση και ενεργό συμμετοχή της σε όλα τα στάδια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας
- 3) Τον χημικό μηχανικό Βασίλειο Τσιρίδη για την πολύτιμη βοήθεια του και την καθοδήγηση ειδικά στη διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας.

Α' ΜΕΡΟΣ

2. ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το νερό είναι μοναδικός φυσικός πόρος, και αποτελεί το βασικότερο είδος διατροφής τόσο γιατί είναι απαραίτητο για την επιβίωση του ανθρώπου και των άλλων οργανισμών, όσο και γιατί συμμετέχει σχεδόν σε κάθε παραγωγική διαδικασία (Μήτρακας, 2001).

Οι υδατικοί πόροι προέρχονται κυρίως από τα νερά των ποταμών, των λιμνών, των χειμάρρων, των λιμνοθαλασσών, των ταμιευτήρων (επιφανειακά νερά) και από τις γεωτρήσεις, τα πηγάδια και τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα (υπόγεια νερά).

Η παγκόσμια κοινότητα εδώ και αρκετές δεκαετίες, λόγω της κακής διαχείρισης των υδατικών πόρων αλλά και της ξηρασίας που έπληξε πολλές χώρες, αντιμετωπίζει οξύ το πρόβλημα της έλλειψης νερού.

Ενώ τα τελευταία 70 χρόνια ο πληθυσμός της γης έχει τριπλασιαστεί, η κατανάλωση νερού έχει εξαπλασιαστεί. Υπολογίζεται ότι 1,1 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό και ότι το 2025 η ζήτηση για πόσιμο νερό θα αυξηθεί κατά 56% , ενώ τρία δισεκατομμύρια άνθρωποι σε 52 χώρες θα ζουν με προβλήματα λειψυδρίας η θα κινδυνεύουν άμεσα από αυτήν (www.keta.gr). Ήδη το 20% του παγκόσμιου πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό, λόγω έλλειψης πηγών και περιβαλλοντικών αλλαγών.

Σε ένα συνέδριο για το νερό που πραγματοποιήθηκε τον Μάρτιο του 2006 προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα (Κόσμος Του Επενδυτή, 19-3-2006):

- Η ποιότητα νερού αλλοιώνεται στις περισσότερες περιοχές, επηρεάζοντας την ποικιλία του γλυκού νερού και των οικοσυστημάτων.
- Η κακή ποιότητα νερού είναι μία σημαντική αιτία για την φτώχεια. Περίπου 3,1 εκατομμύρια άνθρωποι πέθαναν το 2002 από διάρροια και ελονοσία. Το 90% από αυτούς ήταν παιδιά.
- Ο κόσμος θα χρειαστεί 55% περισσότερο τροφή ως το 2030, αυξάνοντας την ανάγκη για άρδευση η οποία υπολογίζεται ότι απορροφά το 70% του νερού που χρησιμοποιείται από ανθρώπους.

- Πολλές περιοχές χάνουν το 30-40% των υδατικών πόρων μέσω διαρροών. Η κυβέρνηση των Η.Π.Α. έχει προβλέψει ότι μέχρι το 2015 σχεδόν ο μισός πληθυσμός της γης θα αντιμετωπίζει πρόβλημα νερού.

Αναλυτές εκφέρουν την άποψη ότι το νερό θα είναι αυτό και όχι τόσο το πετρέλαιο η κύρια αιτία για μελλοντικές συγκρούσεις.

Το 2025 περίπου 3 δισεκατομμύρια άνθρωποι σε 48 χώρες του κόσμου θα ζουν σε περιοχές με σοβαρή ανεπάρκεια νερού (Κόσμος Του Επενδυτή, 19-3-2006).

2.2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η υπερφόρτιση των υδατορευμάτων με βιοαποικοδομήσιμα οργανικά απόβλητα από τους παρόχθιους οικισμούς και βιομηχανίες αντιμετωπίστηκε με την εγκατάσταση βιολογικών σταθμών επεξεργασίας και το αποτέλεσμα ήταν η βαθμιαία αποκατάσταση της ποιότητας του νερού των ποταμών. Παράλληλα όμως εμφανίστηκε το πρόβλημα του ευτροφισμού, που οφείλεται στις εισροές κυρίως φωσφόρου και αζώτου. Ο έλεγχος του ευτροφισμού επιτεύχθηκε με την μείωση του φωσφόρου, ενός από τα βασικά θρεπτικά συστατικά, αν και η αποκατάσταση των λιμνών και ταμιευτήρων γίνεται βραδέως και για την πλήρη αποκατάσταση τους απαιτείται αρκετός χρόνος (Αντωνόπουλος, 2001).

Η Ελλάδα, η οποία δεν ακολούθησε την ίδια πορεία ανάπτυξης με αυτή των χωρών της Βόρειας Ευρώπης, δεν αντιμετώπισε με την ίδια χρονολογική ακολουθία και ένταση παρόμοια προβλήματα ρύπανσης των επιφανειακών υδατικών πόρων της. Όμως η συγκέντρωση του πληθυσμού σε ορισμένα αστικά κέντρα, η ευρύτατη και ανεξέλεγκτη εφαρμογή χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στη γεωργία, η ραγδαία αυξανόμενη εισαγωγή χημικών ουσιών στο περιβάλλον, η ευρύτατη διασυνοριακή μεταφορά ρύπων, η γενική αλλαγή των υδρογεωλογικών κύκλων και η απουσία συστηματικής εφαρμογής μέτρων ελέγχου, φέρνουν την Ελλάδα μπροστά σε προβλήματα ρύπανσης δεύτερης και τρίτης γενιάς, τη στιγμή που δεν έχουν ακόμα αντιμετωπιστεί επαρκώς τα «παραδοσιακά» προβλήματα ρύπανσης.

Η ρύπανση και η μόλυνση των υδατικών πόρων απασχολεί επί δεκαετίες τη διεθνή κοινότητα. Η μόλυνση του νερού από παθογόνους μικροοργανισμούς είναι το

κύριο πρόβλημα στις περισσότερες υπανάπτυκτες και αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ η χημική ρύπανση του νερού έχει ανακύψει σαν εξίσου σοβαρή απειλή σ' όλες τις χώρες με γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη. Οι πιο σπουδαίοι μικροοργανισμοί στα υπόγεια νερά είναι τα παθογόνα βακτήρια, οι μύκητες και διάφορα άλλα παράσιτα και προκαλούν σοβαρότατα προβλήματα υγείας όπως ο τύφος, η χολέρα και η ηπατίτιδα. Πηγές των μικροοργανισμών είναι τα ανθρώπινα και ζωικά λύματα και απόβλητα.

Το νερό, είτε προέρχεται από τις βροχοπτώσεις ή από τα υγρά απόβλητα που εφαρμόζονται στο έδαφος είναι ο κύριος παράγοντας μεταφοράς ουσιών μέσα στο έδαφος. Το επιφανειακό νερό διηθείται στο έδαφος και κινείται προς τους υπόγειους υδροφορείς, όπου διακλαδίζεται προς διάφορες διευθύνσεις ανάλογα με τις συνθήκες ροής που επικρατούν στον υδροφορέα. Το ρυπασμένο νερό ακολουθεί τις καθορισμένες διαδικασίες κίνησης του υπόγειου νερού. Με την πάροδο του χρόνου η ένταση της ρύπανσης του νερού είτε μειώνεται μέσα στο υδροφορέα ή το ρυπασμένο νερό οδηγείται προς ένα φρεάτιο ή ευκαιριακά εξέρχεται στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα)(Αντωνόπουλος, 2001).

Τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στη γεωργία για την προστασία των καλλιεργειών από τα έντομα (εντομοκτόνα), μύκητες (μυκητοκτόνα) και βακτήρια (βακτηριοκτόνα) και την καταπολέμηση των ζιζανίων (ζιζανιοκτόνα) αποτελούν σημαντικό κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων νερών. Παρά το ότι οι οργανικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σαν φυτοφάρμακα είναι ταχείας αποικοδόμησης, σημαντικές ποσότητες αυτών και των προϊόντων της διάσπασης τους έχουν καταγραφεί στα υπόγεια νερά. Σημαντικό ρόλο για τη σοβαρότητα της ρύπανσης από τα αγροχημικά αποτελεί η τοξικότητα, η ποσότητα και ο χρόνος παραμονής της ουσίας στο έδαφος καθώς και ο τρόπος εφαρμογής τους στο έδαφος. Η ρύπανση των υπόγειων νερών προκαλείται από την εδάφια διάθεση των λυμάτων των σταθμών επεξεργασίας αστικών λυμάτων και σηπτικών δεξαμενών, τις εκπλύσεις από τους σκουπιδότοπους, και τις ποικίλες γεωργικές πρακτικές, όπως η διάθεση στο έδαφος της ζωικής κόπρου για οργανική λίπανση (Αντωνόπουλος, 2001).

3. ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ ΚΑΙ Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στη Θεσσαλία το πρόβλημα της έλλειψης επαρκών υδατικών πόρων εμφανίστηκε τις δυο τελευταίες δεκαετίες ως αποτέλεσμα της λειψυδρίας και της κακής διαχείρισης του νερού (υπερκατανάλωση).

Στη Θεσσαλία υπάρχουν σοβαρά προβλήματα άρδευσης, ύδρευσης και ανησυχητικά προβλήματα περιβάλλοντος, από την υπερεκμετάλλευση των υπογείων υδατικών πόρων (σημαντική πτώση της στάθμης, υφαλμύρωση), από την ρύπανση του Πηνειού, του Παγασητικού και άλλων υδατικών σημείων (www.keta.gr).

Το ελλειμματικό ισοζύγιο, η ανομβρία, η έλλειψη νερού και η ποιότητα του έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην παραγωγική διαδικασία, στην οικονομία της περιοχής, στο περιβάλλον και συνθέτουν το υδατικό πρόβλημα της Θεσσαλίας (Τούλιος, 2008).

Οι κυριότεροι λόγοι που έχουν συντελέσει στην δημιουργία του προβλήματος είναι (Τούλιος, 2008):

- Η εντατικοποίηση της γεωργίας
- Η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων
- Η υφαλμύρωση των παράκτιων υδροφορέων
- Η μείωση των υδατικών πόρων από κακή διαχείριση και απορροή του νερού προς τη θάλασσα και
- Η μείωση των βροχοπτώσεων τα τελευταία χρόνια

Η ανομβρία οξύνει ακόμη περισσότερο το πρόβλημα της επάρκειας νερού, με την μείωση των αποθεμάτων στους αποθηκευτικούς χώρους (φράγματα, λιμνοδεξαμενές) εξαιτίας των μειωμένων εισροών από βροχοπτώσεις, αλλά και των υψηλών θερμοκρασιών το καλοκαίρι.

Όπως προκύπτει από την επεξεργασία των στοιχείων των βροχομετρικών σταθμών Λιβαδίου, Συκουρίου και Φαρσάλων του Ν. Λάρισας, που παρακολουθεί η Διεύθυνση Έγγειων Βελτιώσεων και Υδατικών Πόρων το σύνολο των κατακριμνήσεων (βροχή-χιόνια) για τους μήνες Οκτώβριο 2007 μέχρι Μάρτιο 2008 στις περιοχές Φάρσαλα και Σωτήριο, παρουσιάζει έλλειμμα σε σύγκριση με το μέσο όρο της

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

περιόδου 1996-2007, κατά 26% και 16% αντίστοιχα, ενώ σε Λάρισα και Λιβάδι είναι σχεδόν μηδενικό, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.1

Πίνακας 3.1: Βροχομετρικά στοιχεία Ν. Λάρισας

ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2008	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2006 - ΜΑΡΤΙΟΥ 2007 (ΧΙΛΙΟΣΤΑ)	Μ.Ο ΟΚΤΩΒΡ-ΜΑΡΤ 1996-2007 (ΧΙΛΙΟΣΤΑ)
ΛΑΡΙΣΑ	104,6	97,8	21,3	3,8	18	12,3	257,8	255,9
ΦΑΡΣΑΛΑ	28	115	71	3	25	35	277	374,4
ΣΩΤΗΡΙΟ	45,6	110,5	29,5	4,9	30	15	235,5	279,9
ΛΙΒΑΔΙ	126,5	131,3	33,2	16	28,4	38,4	373,8	379,7

Πηγή: Γκούμας, 2008

Τα στοιχεία για το ύψος της βροχής στο Ν. Καρδίτσας, στο χρονικό διάστημα από τον Οκτώβριο του 2007 μέχρι τον Απρίλιο του 2008 για τον εμπλουτισμό του ταμιευτήρα Ταυρωπού δεν είναι ενθαρρυντικά. Έτσι οι εισροές στον Ταυρωπό ήταν 62 Mm³ έναντι 102,6 Mm³ που είναι ο μέσος όρος για το χρονικό διάστημα 1989-2007. (Γκούμας, 2008).

3.2. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας με έκταση 13377 km², αποτελείται από τις υδρολογικές λεκάνες του Πηνειού και της Κάρλας και τις δευτερεύουσες, παράκτιες λεκάνες. Από υδρογεωλογικής πλευράς, στο υδατικό διαμέρισμα αναπτύσσονται οι προσχωματικοί υδροφορείς (στη δυτική και ανατολική λεκάνη) και οι καρστικές

γεωλογικές ενότητες. Οι κύριοι υδατικοί πόροι της Θεσσαλίας είναι ο Πηνειός ποταμός, τα νερά του Ταυρωπού και οι υπόγειοι υδροφορείς.

Η κύρια υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλίας είναι αυτή του Πηνειού με έκταση 9500 km² περίπου. Κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού στο νότιο μέρος της λεκάνης είναι ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης, ο Σοφαδίτης και ο Καλέντζης, στο δυτικό-νοτιοδυτικό μέρος ο Πάμισος, ο Πορταϊκός και στο βόρειο μέρος ο Ληθαίος, ο Νεοχωρίτης και ο Τιταρήσιος.

Σε ότι αφορά τα υπόγεια νερά, η πεδιάδα της Θεσσαλίας διαχωρίζεται σε δύο κύριες αυτοτελείς υδρογεωλογικές λεκάνες (δυτική και ανατολική) και με εκμεταλλεύσιμο υπόγειο υδατικό δυναμικό 400 Mm³

Πολλοί υπόγειοι υδροφορείς στη Θεσσαλική πεδιάδα βρίσκονται υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης, η πτώση της στάθμης είναι συνεχής κατά την 20ετία 1985-2006 και η δυσκολία αναπλήρωσης των αποθεμάτων εμφανής. (www.keta.gr). Το πρόβλημα δεν είναι το ίδιο σε όλες τις περιοχές και αυτό γιατί υπάρχει διαφορετική συμπεριφορά σε κάθε υδρογεωλογική λεκάνη, που είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων.

3.3. ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Υδατικό ισοζύγιο είναι η απεικόνιση της δυναμικής ισοροπίας μεταξύ των εισροών και των εκροών του νερού μιας ενιαίας υδατικής περιοχής στην ίδια χρονική περίοδο, αφού ληφθεί υπόψη η εσωτερική διακύμανση των υδατικών αποθεμάτων (Μιχαλοπούλου, 2004).

Οι ανάγκες σε νερό για διάφορες χρήσεις και τις αρδεύσεις στην Θεσσαλική πεδιάδα είναι μεγάλες. Η καλλιέργεια του βαμβακιού, που είναι η επικρατέστερη καλλιέργεια, όπως και άλλες υδροβόρες καλλιέργειες (πχ καλαμπόκι) απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού και επηρεάζουν αρνητικά το υδατικό ισοζύγιο(www.keta.gr).

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες οι ετήσιες ανάγκες για νερό για όλες τις χρήσεις είναι τουλάχιστον 1.836 Mm³ και αναλύονται ως εξής (www.keta.gr):

- Ύδρευση 80 Mm³ το 1995, και εκτιμάται ότι θα ανέρθει έως 136 Mm³ το 2035

- Άρδευση 1.600 Mm^3 (σε πρόσφατη μελέτη της περιφέρειας Θεσσαλίας οι αρδευτικές ανάγκες για έκταση $2.634.000$ στρεμμάτων υπολογίστηκαν σε 1.618 Mm^3)
- Διατήρηση οικοσυστήματος Πηνειού 100 Mm^3 για την διατήρηση του οικολογικού χαρακτήρα του Πηνειού

Δεδομένου ότι οι ετήσιες ανάγκες σε νερό υπολογίζονται σε 1.836 Mm^3 και αν ληφθεί υπόψη ότι το πρακτικώς εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό, είναι της τάξης των 1.023 Mm^3 ετησίως (623 Mm^3 από επιφανειακά νερά και 400 Mm^3 ετησίως που είναι η ποσότητα του υπόγειου νερού που μπορεί να αντληθεί με ασφάλεια ετησίως για το σύνολο της Θεσσαλίας), τότε προκύπτει ένα έλλειμμα της τάξης των 800 Mm^3

3.4. ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Η Θεσσαλία γεωργική κυρίως περιοχή, με έκταση 14 εκατομμύρια στρέμματα ($10,7\%$ της χώρας) παράγει το $14,2\%$ της αγροτικής παραγωγής της χώρας με κύριες καλλιέργειες το βαμβάκι, το καλαμπόκι, μηδική (υδροβόρες καλλιέργειες), όσπρια και σιτηρά.

Ειδικότερα, η καλλιέργεια του βαμβακιού φτάνει στο 40% της συνολικής καλλιέργειας της χώρας (μονοκαλλιέργεια) και αυτό γιατί η παραγωγή επιδοτείται με υψηλό ποσοστό από την Ευρωπαϊκή Ένωση, γεγονός που αποτελεί σοβαρό κίνητρο για τους αγρότες. Τα στοιχεία αυτά είναι ενδεικτικά του αγροτικού χαρακτήρα της περιοχής και ότι ο πρωτογενής τομέας είναι ο σημαντικότερος της οικονομίας της.

Τα μεγαλύτερα προβλήματα στη Θεσσαλία αφορούν τις αρδύσεις την ύδρευση και το περιβάλλον, για το λόγο ότι μεγάλο μέρος των εκτάσεων αρδεύονται πλημμελώς από υπόγεια νερά, ενώ συχνά τα επιφανειακά νερά δεν επαρκούν για τις αρδευόμενες εκτάσεις. (Καλφούντζος και Αλεξίου, 2008)

Στη Θεσσαλία καλλιεργούνται περίπου 5 εκατομμύρια στρέμματα εκ των οποίων αρδεύονται τα $2,5$ εκατομμύρια στρέμματα, και αποτελούν το $18,7\%$ του συνόλου των αρδευόμενων εκτάσεων της χώρας.

Τα 749.000 στρέμματα (το 30%) αρδεύονται από επιφανειακά νερά και τα $1.776.000$ στρέμματα (το 70%) αρδεύονται από τα υπόγεια νερά της Θεσσαλίας. (ΤΕΕ,

2007) Παρά τις περιορισμένες ποσότητες νερού που διαθέτει η Θεσσαλία τους θερινούς μήνες, η αρδευόμενη έκταση αυξήθηκε κατά 229% σε σχέση με το 1962 και 46% σε σχέση με το 1980. Οι αρδευόμενες εκτάσεις στους 4 νομούς και ο αριθμός των στρεμμάτων που αρδεύονται με επιφανειακά και υπόγεια νερά εμφανίζονται στον Πίνακα 3.2.

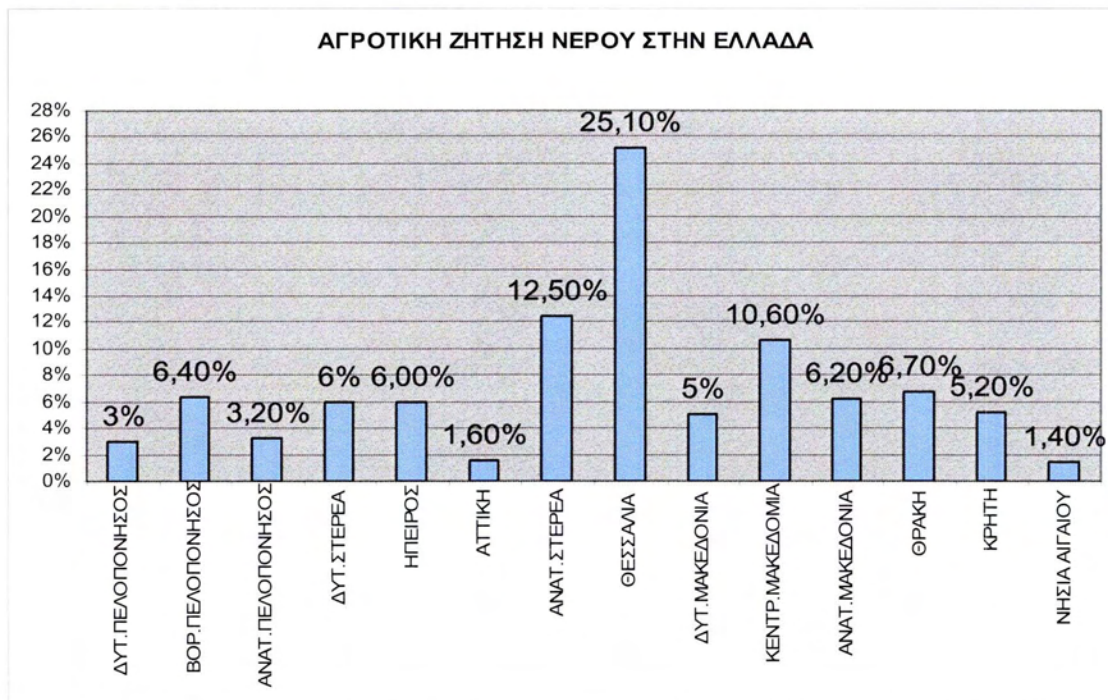
Πίνακας 3.2: Οι αρδευόμενες εκτάσεις κατά νομό και πηγή προέλευσης νερού σε στρέμματα

ΝΟΜΟΙ	ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	ΑΡΔΕΥΣΗ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ	ΑΡΔΕΥΣΗ ΑΠΟ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	768.000	320.000	448.000
ΛΑΡΙΣΑΣ	1.180.000	224.000	956.000
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	247.000	126.000	121.000
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	330.000	79.000	251.000
ΣΥΝΟΛΟ	2.525.000	749.000	1.776.000

Πηγή: : Γκούμας, 2008

Η γεωργική παραγωγή στην Ελλάδα προέρχεται από την καλλιέργεια 39.638.000 στρεμμάτων. Οι αρδευόμενες εκτάσεις της χώρας εκτιμώνται σε 13 εκατομμύρια στρέμματα, που αντιστοιχούν στο 34% του συνόλου της γεωργικής γης. Ο μεγαλύτερος χρήστης νερού είναι η άρδευση και στην Ελλάδα απορροφά το 86% του συνολικού νερού. Η Θεσσαλία παρουσιάζει την μεγαλύτερη αγροτική ζήτηση νερού, σε σχέση με τα άλλα υδατικά διαμερίσματα της χώρας, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3.1. Υπολογίζεται ότι το ποσοστό ανέρχεται σε 25,1% του συνόλου της χώρας (Καλφούντζος και Αλεξίου, 2008).

Διάγραμμα 3.1: Αγροτική ζήτηση νερού στην Ελλάδα



Πηγή : Γκούμας, 2008

Τα αρδευτικά έργα (μικρά και μεγάλα) αποτελούν σημαντικό κεφάλαιο για την οικονομία τη Θεσσαλίας, βοηθούν την πρωτογενή παραγωγή και συμβάλλουν στην αναπτυξιακή πορεία. Πιο συγκεκριμένα, στο Θεσσαλικό χώρο λειτουργούν 105 συλλογικά αρδευτικά έργα, 76 αντλιοστάσια, 85 μικρά και μεγάλα φράγματα, 13 ταμιευτήρες, 1712 γεωτρήσεις (κρατικές, ΟΤΑ) και 31.000 ιδιωτικές γεωτρήσεις. (www.keta.gr).

Οι εκτάσεις που αρδεύονται από τα επιφανειακά νερά του Πηνειού ποταμού έχουν προβλήματα, σχεδόν κάθε χρόνο, γιατί η παροχή του Πηνειού δεν είναι σταθερή, δεν υπάρχουν αξιόλογα αρδευτικά έργα μεταφοράς νερού, έχουν αυξημένες απώλειες λόγω διήθησης και εξάτμισης και οι καλλιέργειες είναι διάσπαρτες σε μεγάλες αποστάσεις από τις κύριες τάφρους μεταφοράς νερού. Τα προβλήματα αυτά εντοπίζονται σε μια περιοχή που εκτείνεται από το Κουλούρι – Γυρτώνη και φθάνει μέχρι την περιοχή της Κάρλας, οξύνονται ακόμα περισσότερο στις ανυδρες χρονιές, όταν ο Πηνειός παύει να τροφοδοτεί τις ακραίες αυτές περιοχές (Γκούμας, 2008).

Από την παρακολούθηση της στάθμης σε γεωτρήσεις τα τελευταία 20-25 χρόνια, προκύπτει ότι το σύνολο των υπόγειων υδροφορέων της Θεσσαλίας, εκτός από

ελάχιστες περιοχές, βρίσκεται υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης. Από την υπεράντληση των υπογείων νερών κατέβηκαν ανησυχητικά οι στάθμες, μειώθηκαν, ή μηδενίστηκαν οι παροχές και υποβαθμίστηκε η ποιότητα νερού σε ορισμένες περιοχές. (Γκούμας, 2008)

3.5. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

3.5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η εκμετάλλευση των υδατικών πόρων στη Θεσσαλία παρουσιάζει προβλήματα που σχετίζονται με την πλημμελή αξιοποίηση και διαχείριση αυτών, τα οποία εμφανίζονται με τη μορφή λειψυδρίας, ιδιαίτερα κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Έτσι είναι απαραίτητη η ορθολογική αξιοποίηση των υδατικών πόρων στην γεωργία που σχετίζεται με την ορθή διάρθρωση των καλλιεργειών, με βάση τις απαιτήσεις σε νερό και τη σωστή μεταφορά και εφαρμογή του νερού στην καλλιέργεια.

Όμως, λόγω της κακής διαχείρισης και της ανεξέλεγκτης χρήσης των υπόγειων υδατικών πόρων, έχουν δημιουργηθεί προβλήματα όπως για παράδειγμα η εισχώρηση θαλάσσιου νερού με αποτέλεσμα το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, το οποίο καθιστά άχρηστες τις όποιες ποσότητες νερού, ενώ παράλληλα καταστρέφονται και τα εδάφη της περιοχής.

Επίσης, η υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων έχει οδηγήσει σε μη αναστρέψιμες καταστάσεις, με αποτέλεσμα τη μείωση της παροχρητευτικής ικανότητας και την αποθήκευση, καθώς και την εμφάνιση ρηγμάτων στην επιφάνεια του εδάφους, στην περιοχή της Κάρλας και στο Σταυρό Φαρσάλων (Καλφούντζος και Αλεξίου, 2008).

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος από την υπεράντληση των υπόγειων υδάτων, η αλόγιστη σπατάλη υδατικών πόρων και η ρύπανση των επιφανειακών νερών (Πηνειός) δημιουργούν σοβαρά προβλήματα με επιπτώσεις στην παραγωγική διαδικασία του πρωτογενούς τομέα. (www.keta.gr).

Συνεπώς, για την αντιμετώπιση του υδατικού προβλήματος χρειάζεται μια ολοκληρωμένη πολιτική στη διαχείριση του νερού, με επίκεντρο το φυσικό περιβάλλον

και τις ανάγκες του ανθρώπου, η οποία θα αντιμετωπίζει το νερό ως φυσικό κοινωνικό αγαθό. Η ορθολογική χρήση νερού, ιδιαίτερα για αγροτική χρήση, κρίνεται αναγκαία και πρέπει να εστιάζεται στην επιλογή των κατάλληλων καλλιεργειών ανάλογα με τα υδατικά διαθέσιμα της κάθε περιοχής, την τήρηση των νόμων για την εκμετάλλευση και ρύπανση των υπογείων νερών και τη μείωση της σπατάλης και της κατανάλωσης νερού για τις αρδεύσεις.

Γενικά, η ουσιαστική λύση της επάρκειας νερού, σε κάθε περιοχή είναι η κατακράτηση των νερών των βροχοπτώσεων και η παρεμπόδιση τους ώστε να μην φεύγουν αναξιοποίητα στη θάλασσα (ΤΕΕ, 2007).

Στο πλαίσιο της οδηγίας 2000/60 της Ε.Ε. για το νερό, απαιτείται κοστολόγηση κάθε χρήσης νερού και επανάκτηση του κόστους αυτού. Ως το τέλος του 2009 θα πρέπει να έχει δημιουργηθεί στην Ελλάδα μηχανισμός για την είσπραξη του κόστους χρήσης νερού (ΤΕΕ, 2007).

Η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των υδατικών πόρων, μαζί με την διατήρηση των αναγκαίων αποθεμάτων για το μέλλον αποτελούν τις κύριες επιδιώξεις όλων των μέτρων που έχουν θεσπιστεί ή θα θεσπιστούν για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων.

3.5.2. ΑΠΩΛΕΙΕΣ-ΣΠΑΤΑΛΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Το πρόβλημα της αυξημένης ζήτησης νερού τα τελευταία χρόνια επιτείνεται από την κακή διαχείριση των χρησιμοποιουμένων υδατικών πόρων, με αποτέλεσμα τεράστιες ποσότητες νερού να χάνονται στη θάλασσα ή να χάνονται κατά τη μεταφορά τους στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Αυτό οφείλεται κυρίως στη έλλειψη έργων υποδομής (φράγματα-ταμιευτήρες) ή στα προβλήματα λόγω κακής συντήρησης των αρδευτικών δικτύων.

Το νερό μεταφέρεται στα συλλογικά κρατικά έργα, κυρίως με στραγγιστικά χωμάτινα δίκτυα ή ανοιχτές τσιμεντένιες διώρυγες μήκους 4.668 km και με κλειστούς αγωγούς (επιφανειακούς και υπόγειους) μήκους 3.241 km (www.keta.gr).

Τα περισσότερα δίκτυα κατασκευάστηκαν τη δεκαετία 1960-1970 και παρουσιάζουν προβλήματα τα οποία δυσχεραίνουν την ομαλή λειτουργία τους και τη αποδοτικότητα τους.

Υπολογίζεται ότι οι απώλειες στα διάφορα αρδευτικά συστήματα φτάνουν έως και το 40% του νερού. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν γίνεται συστηματικός έλεγχος και συντήρηση-στεγανοποίηση των αρδευτικών καναλιών και δικτύων (ΤΕΕ, 2007).

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι από τα 13 εκατομμύρια στρέμματα αρδευόμενης γης στη χώρα, μόνο στα 6 εκατομμύρια στρέμματα η άρδευση γίνεται συλλογικά και ελέγχεται από οργανισμούς που συνεργάζονται με το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Στα υπόλοιπα 7 εκατομμύρια στρέμματα , οι καλλιέργειες γίνονται σχεδόν χωρίς έλεγχο, κατασπαταλώντας νερό (ΤΕΕ, 2007).

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αποτελεί πολύ σημαντικό αντικείμενο της υδατικής ρύπανσης και γενικότερα της διαχείρισης υδατικών πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος στις σημερινές κοινωνίες καθώς είναι ένα σημαντικό μέτρο για τον περιορισμό των επιπτώσεων από την διάθεσή τους σε διάφορους αποδέκτες.

Με τον γενικό όρο «λύματα» αναφερόμαστε είτε στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (οικιακά λύματα) είτε στα υγρά απόβλητα από τις συνήθεις δραστηριότητες μίας πόλης (αστικά λύματα). Όταν τα υγρά απόβλητα μίας πόλης περιέχουν σημαντικά ποσοστά υγρών βιομηχανικών αποβλήτων τότε δεν ονομάζονται αστικά λύματα αλλά υγρά αστικά απόβλητα (Τσώνης, 2004).

Ως αστικά απόβλητα εννοούνται τα οικιακά απόβλητα, καθώς και άλλα απόβλητα που λόγω της φύσης ή της σύνθεσης τους είναι παρόμοια με τα οικιακά και τα οποία διέπονται από τις διατάξεις της Κ.Υ.Α. 69728/824/1996.

Οικιακά λύματα είναι τα λύματα των κατοικιών και υπηρεσιών που προέρχονται κυρίως από τις λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού και τις εμπορικές δραστηριότητες (Μιχαλοπούλου, 2004).

Με τον όρο επεξεργασία λυμάτων εννοείται η οποιαδήποτε τεχνική επεξεργασία, με την οποία επιτυγχάνεται η τροποποίηση των χαρακτηριστικών των λυμάτων, με σκοπό την εξάλειψη ή μείωσης των δυσμενών συνεπειών από τη διάθεση τους (Μιχαλοπούλου, 2004).

4.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν διάφορους τύπους ρύπων που βρίσκονται σε αιωρούμενη, κολλοειδή ή διαλυτή μορφή. Οι ρυπαντικές ουσίες εγκυμονούν κινδύνους για τους φυσικούς αποδέκτες με την απευθείας διάθεση των υγρών αποβλήτων, γι' αυτό πριν την διάθεσή τους, υποβάλλονται σε κατάλληλη επεξεργασία.

Η ποιότητα των χαρακτηριστικών των λυμάτων θα πρέπει να είναι γνωστή, για να γίνει η αξιολόγηση των επιπτώσεων από τη διάθεση τους στους διάφορους αποδέκτες (Τσώνης, 2004):

Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων διακρίνονται σε:

- Φυσικά χαρακτηριστικά
- Χημικά χαρακτηριστικά
- Βιολογικά χαρακτηριστικά

4.2.1. ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στα φυσικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται : τα στερεά, η θερμοκρασία, το χρώμα, η οσμή, η πυκνότητα και η θολότητα.

A) Στερεά:

Τα στερεά βρίσκονται αιωρούμενα ή διαλυμένα στη μάζα των αποβλήτων και αποτελούνται από οργανικά και ανόργανα συστατικά

Τα ολικά στερεά (Total Solids – TS) ορίζονται ως το υπόλειμμα δείγματος αποβλήτων μετά από εξάτμιση τους στους 105 °C και μετριοούνται σε mg υπολείμματος ανά λίτρο δείγματος

Τα διαλυμένα στερεά (Dissolved Solids – DS) αναφέρονται στη συγκέντρωση των στερεών συστατικών που βρίσκονται σε διαλυμένη ή κολλοειδή μορφή στη μάζα των αποβλήτων και ορίζονται ως τα στερεά του δείγματος που περνούν μέσα από ειδικό χάρτινο φίλτρο (Κούγκολος, 2005).

B) Θερμοκρασία:

Η θερμοκρασία των λυμάτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας έχει σημαντική επίπτωση στο ρυθμό των βιολογικών κυρίως αντιδράσεων. Η θερμοκρασία των λυμάτων στο δίκτυο υπονόμων είναι συνήθως υψηλότερη από τη θερμοκρασία του νερού ύδρευσης (Τσώνης, 2004).

Γ) Χρώμα:

Το χρώμα είναι ενδεικτικό της ηλικίας και προέλευσης των αποβλήτων. Απόβλητα που δεν έχουν υποστεί σήψη έχουν γκρίζο χρώμα, ενώ εκείνα που έχουν υποστεί σήψη το χρώμα τους είναι μαύρο. Η αλλαγή χρώματος οφείλεται στην κατανάλωση διαλυμένου οξυγόνου από μικροοργανισμούς που διασπούν τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων (Κούγκολος, 2005).

Δ) Οσμή:

Η οσμή των αστικών λυμάτων οφείλεται στην εκπομπή πτητικών συστατικών που περιέχονται στα λύματα ή προκύπτουν κατά την αποδόμηση οργανικού τους κάτω από ανοξικές ή αναερόβιες συνθήκες. Η πιο χαρακτηριστική οσμή των σηπτικών λυμάτων είναι εκείνη από την έκλυση υδρόθειου (Τσώνης, 2004).

Ε) Πυκνότητα:

Η πυκνότητα στα απόβλητα είναι σημαντική γιατί όταν αυτά φτάνουν σε σταθμούς επεξεργασίας, η πυκνότητα μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία καθίζησης. Η πυκνότητα των αστικών αποβλήτων, τα οποία δεν περιέχουν μεγάλες ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων, είναι ίδια με την πυκνότητα του νερού, στην ίδια θερμοκρασία. (Κούγκολος, 2005).

ΣΤ) Θολότητα:

Θολότητα εννοούμε την έλλειψη διαύγειας σε ένα υγρό δείγμα αποβλήτων που προκαλείται από τα διάφορα τεμαχίδια οργανικού και ανόργανου υλικού (αιωρούμενα ή κολλοειδή) τα οποία είναι διασπαρμένα στην υγρή μορφή τους. (Τσώνης, 2004).

4.2.2. ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα χημικά συστατικά στα λύματα, αντικατοπτρίζουν και ένα πολύ μεγάλο αριθμό, από τις διάφορες χημικές ενώσεις που περιέχονται στα είδη που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος στη καθημερινή του ζωή, καθώς και από τις ουσίες που απορρίπτονται από τον ανθρώπινο οργανισμό (Τσώνης, 2004).

Τα χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες

- Οργανικά συστατικά
- Ανόργανα συστατικά
- Αέρια

A) Οργανικά συστατικά:

Τα κυριότερα οργανικά συστατικά των αποβλήτων είναι (Στάμου, 2004):

1. Οι πρωτεΐνες: Είναι ενώσεις και αποτελούνται κυρίως από άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και άζωτο που αποσυντίθεται εύκολα
2. Οι υδρογονάνθρακες: περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο
3. Τα λιπίδια: είναι συστατικά των τροφών του ανθρώπου και είναι ενώσεις που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες που δεν διαλύονται στη μάζα των αποβλήτων. Τα πιο σημαντικά είναι τα λάδια και τα λίπη
4. Επιφανειακά ενεργές ουσίες: περιέχονται στα αστικά απόβλητα ως συστατικά των απορρυπαντικών, σαπουνιών κ.λ.π.
5. Οι φαινόλες: περιέχονται σε βιομηχανικά απόβλητα και δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς
6. Εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα: είναι επικίνδυνες τοξικές ενώσεις και προέρχονται από τις απορροές γεωργικών περιοχών

Η μέτρηση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων είναι πρακτικά αδύνατη λόγω της πολύπλοκης σύστασης της. Έτσι ως μέτρο χρησιμοποιείται η ποσότητα οξυγόνου που χρειάζεται για να οξειδώσει πλήρως τα οργανικά συστατικά. Η απαιτούμενη ποσότητα εκφράζεται με τους παρακάτω δείκτες:

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο(BOD) : Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων από μικροοργανισμούς σε αερόβιες συνθήκες. Η διαδικασία αυτή είναι σχετικά αργή και ολοκληρώνεται σε 20 ημέρες (σε τελικά προϊόντα 95 – 99%) οπότε το προσδιοριζόμενο απαιτούμενο οξυγόνο καλείται τελικό BOD. Στην πράξη έχει επικρατήσει ο προσδιορισμός του BOD στις 5 ημέρες (BOD₅) όπου οξειδώνονται οι απλές οργανικές

ουσίες που αντιπροσωπεύουν το 60-70% των συνολικών οργανικών ουσιών (Στάμου, 2004).

Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD): είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση των αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό (H₂O) από ισχυρό οξειδωτικό μέσο σε όξινες συνθήκες (Στάμου, 2004).

Συνολικά απαιτούμενο οξυγόνο (TOD): Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση των οργανικών ουσιών σε τελικά σταθερά προϊόντα σε θερμοκρασία 900 °C και με παρουσία καταλύτη (Κούγκολος, 2005).

Θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο (THOD) είναι το θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο, μίας οργανικής ένωσης με πλήρη οξείδωση όλων των στοιχείων της ένωσης (Τσώνης, 2004).

Συνολικός οργανικός άνθρακας (TOC) είναι ο συνολικός άνθρακας που περιέχουν όλες οι οργανικές ενώσεις και προσδιορίζεται με καύση σε υψηλή θερμοκρασία και μέτρηση της μάζας του CO₂ που προκύπτει (Τσώνης, 2004).

B) Ανόργανα συστατικά:

Στα λύματα υπάρχουν όλα τα συστατικά του νερού από το οποίο προέκυψαν, καθώς και επιπλέον συστατικά τα οποία εισάγονται κατά την παραγωγή τους. Ο προσδιορισμός των ανόργανων συστατικών γίνεται με την μέθοδο που ισχύει για τον έλεγχο της ποσότητας του νερού (Τσώνης, 2004).

Στα ανόργανα συστατικά περιλαμβάνονται (Στάμου, 2004):

- Το άζωτο: απαντάται με τις μορφές του αμμωνιακού αζώτου, του οργανικού αζώτου και του οξειδωμένου αζώτου και είναι σημαντικό για τον χαρακτηρισμό των αστικών λυμάτων και των υγρών αποβλήτων. Το αμμωνιακό άζωτο απαντάται στα λύματα είτε με τη μορφή αμμωνιακού ιόντος, είτε με την μορφή αμμωνίας. Η μορφή του εξαρτάται κυρίως από την τιμή του pH των λυμάτων. Το οργανικό άζωτο βρίσκεται υπό μορφή αζωτούχων οργανικών ενώσεων και προσδιορίζεται με αρχική χώνευση που έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή του σε ιόντα αμμωνίου και στη συνέχεια απόσταξη και μέτρηση του αμμωνιακού αζώτου στο συμπύκνωμα. Στις οξειδωμένες μορφές αζώτου ανήκει το άζωτο που

βρίσκεται στη μορφή νιτρωδών (NO_2) και των νιτρικών (NO_3). Ο προσδιορισμός των νιτρωδών γίνεται μετά από φωτομετρική μέτρηση της απορρόφησης και των νιτρικών με την χρησιμοποίηση ιοντικού χρωματογράφου.

- Τα θειικά: απαντώνται στο πόσιμο νερό καθώς και στα λύματα. Η βιολογική μετατροπή των θειικών σε θειώδη και υδρόθειο γίνεται κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Η παραγωγή του υδρόθειου γίνεται στους υπονόμους, όταν ο χρόνος παραμονής των λυμάτων είναι σχετικά μεγάλος (σηπτικά λύματα). Το υδρόθειο προκαλεί προβλήματα διάβρωσης στους αγωγούς αποχέτευσης
- Ο φώσφορος: απαντάται στα αστικά λύματα με την μορφή ορθοφωσφορικών και πολυφωσφορικών ενώσεων (περιέχουν δύο ή περισσότερα άτομα φωσφόρου και συνδέονται μεταξύ τους, ανά δύο με ενδιάμεσο άτομο οξυγόνου) και ως οργανικός φώσφορος
- Τα βαρέα μέταλλα: περιέχονται κατά κύριο λόγο στα βιομηχανικά αλλά και στα αστικά απόβλητα. Διάφορα ιόντα όπως Cu , Pb , Cr , As , Bo , Ag , Zn , Fe , Hg σε ορισμένες συγκεντρώσεις είναι τοξικά για διάφορους οργανισμούς, ενώ σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις είναι απαραίτητα για τη ζωή σε σημαντικά είδη μικροοργανισμών.

Άλλα δύο σημαντικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων είναι :

- Το pH: Το pH δηλώνει πόσο όξινο ή πόσο αλκαλικό είναι ένα διάλυμα. Η κλίμακα που μετρείται το pH (σχεδόν πάντα) είναι από 0 έως 14, με τιμές κάτω του 7 να δηλώνουν ότι το διάλυμα είναι περισσότερο όξινο, ενώ τιμές άνω του 7 ότι το διάλυμα είναι περισσότερο αλκαλικό. Το pH αναφέρεται στην συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (H^+) και ιόντων υδροξυλίου (OH^-) τα οποία βρίσκονται σε ένα διάλυμα. (Γελαντζής, 2008). Είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των αποβλήτων και επηρεάζει σχεδόν όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας (βιολογική, απολύμανση, επεξεργασία λάσπης) και μπορεί να δημιουργήσει φθορές σε αγωγούς και μηχανολογικό εξοπλισμό (Στάμου, 2004)

- Η αλκαλικότητα: στα απόβλητα είναι σημαντική γιατί ρυθμίζει το pH των αποβλήτων και επηρεάζει διάφορες επεξεργασίες (Στάμου, 2004)

Γ)Αέρια:

Τα αέρια στα απόβλητα είναι το διαλυμένο οξυγόνο (DO) και το μεθάνιο (CH₄) (Κούγκολος, 2005):

- Το διαλυμένο οξυγόνο (DO), είναι στοιχείο ελέγχου της ρύπανσης των υδατικών φορέων και πρέπει να είναι πάνω από ορισμένα επίπεδα σύμφωνα με τους κανονισμούς και ανάλογα με τη χρήση του νερού. Το διαλυμένο οξυγόνο είναι απαραίτητο στις αερόβιες βιολογικές διαδικασίες για την οξείδωση των οργανικών ενώσεων
- Το μεθάνιο (CH₄), σχηματίζεται κατά την αναερόβια αποσύνθεση οργανικών ενώσεων των αποβλήτων από ειδικούς μικροοργανισμούς. Είναι εύφλεκτο και προκαλεί έκρηξη στους αγωγούς αποχέτευσης και στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας

4.2.3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η σωστή διαχείριση του προβλήματος των αστικών λυμάτων προϋποθέτει γνώση των βιολογικών και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών τους. Θα πρέπει να είναι γνωστή η τάξη μεγέθους της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών στα αστικά λύματα, καθώς και η τύχη των παθογόνων μικροοργανισμών κατά τα διάφορα στάδια διαχείρισής τους, από το σημείο παραγωγής μέχρι την τελική τους διάθεση.

Οι μικροοργανισμοί αυτοί αναπτύσσονται στο σύστημα επεξεργασίας και είναι (Τσώνης, 2004):

- Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, που μεταφέρονται στα αστικά λύματα με τα ούρα και τα κόπρανα των ασθενών ανθρώπων. Κύριες κατηγορίες

παθογόνων μικροοργανισμών είναι τα βακτήρια, οι ιοί, τα πρωτόζωα και οι ελμίνθες.(σκουλήκια που ζουν παρασιτικά στα έντερα)

- Τα κολοβακτηρίδια (μικροοργανισμοί εντερικής κυρίως προέλευσης) αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό στα λύματα. Επειδή ο προσδιορισμός των παθογόνων μικροοργανισμών στα υγρά απόβλητα είναι δύσκολος, ως δείκτης χρησιμοποιείται ο προσδιορισμός των κολοβακτηριδίων.

4.3. ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

4.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων για να επιτύχουν τον επιθυμητό βαθμό καθαρισμού των λυμάτων από το αιωρούμενο και διαλυτό οργανικό υλικό, από το υγρό ρεύμα των λυμάτων και την επεξεργασία της παραγόμενης λάσπης (ιλύος), ακολουθούν ορισμένα στάδια επεξεργασίας (Τσώνης, 2004).

Η επιλογή των διαφόρων σταδίων επεξεργασίας εξαρτάται από:

- Τα χαρακτηριστικά των λυμάτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία
- Τις προδιαγραφές που ισχύουν για τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων σε συνάρτηση με τον αποδέκτη
- Τη δυναμικότητα της εγκατάστασης επεξεργασίας
- Την ποσότητα και τα χαρακτηριστικά της λάσπης που προκύπτει στα διάφορα στάδια
- Την εμπειρία του προσωπικού λειτουργίας
- Την απαίτηση για ελαχιστοποίηση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στη γύρω περιοχή

Η παρακολούθηση της ποιότητας των εκροών των Μονάδων Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων (Μ.Ε.Α.Υ.Α.), πριν από την διάθεση τους σε κάποιο αποδέκτη και τη διατήρησή τους σε αποδεκτά για τον αποδέκτη επίπεδα, επιβάλλεται από την οδηγία 91/271/ΕΟΚ της 21/5/91 του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (Μιχαλοπούλου, 2004).

Η επεξεργασία και διάθεση γίνεται από τις Μ.Ε.Α.Υ.Α.

ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα, ο βιολογικός καθαρισμός ως τρόπος διαχείρισης των αστικών λυμάτων επιβλήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ (21/5/91) αφού μέχρι τότε τα λύματα διοχετεύονταν ανεπεξέργαστα στη θάλασσα, στις λίμνες και στα ποτάμια. Σύμφωνα με την παραπάνω οδηγία, θα έπρεπε ως τα τέλη του 1998 να είχαν δημιουργηθεί εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων σε όσους οικισμούς πάνω από 10.000 κατοίκους απέρριπταν τα λύματα σε οικολογικά ευαίσθητες περιοχές. Μέχρι το τέλος του 2000 θα έπρεπε να είχαν αποκτήσει εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών όλες οι πόλεις άνω των 15.000 κατοίκων και μέχρι το τέλος του 2005, θα έπρεπε όλοι οι οικισμοί με πληθυσμό από 2.000-15.000 κατοίκους να είχαν αποκτήσει τέτοιες εγκαταστάσεις. Σήμερα σε όλη τη χώρα έχουν κατασκευαστεί 245 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, ενώ βρίσκονται υπό κατασκευή άλλες 86 μονάδες. Οι 27 από αυτές τις μονάδες που έχουν κατασκευαστεί δεν λειτουργούν για διάφορους λόγους, εκ των οποίων ο σημαντικότερος είναι ότι δεν έχει ληφθεί υπόψη εκ των προτέρων το κόστος λειτουργίας τους, με αποτέλεσμα πολλοί μικροί δήμοι να τους θέσουν σε αδράνεια.

Τα βασικότερα αίτια της γενικότερης καθυστέρησης κατασκευής και λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων είναι (ΤΕΕ, 2007):

- Η έλλειψη μελετών ώστε να ωριμάσουν τα έργα και η χρηματοδότησή τους
- Οι διαμάχες ανάμεσα σε πολλούς δήμους για τη χωροθέτησή τους
- Η έλλειψη σε πολλές περιπτώσεις δικτύων αποχέτευσης, που αποτελεί και τη βασική προϋπόθεση, για την κατασκευή και λειτουργία τους

Προβλήματα παρουσιάστηκαν και μέσα από τη διαδικασία κατασκευής, όπως δεν υπήρξε πρόβλεψη για την παραγόμενη λυματολάσπη και η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού για το χειρισμό και τη λειτουργία της μονάδας.

Οι καθυστερήσεις αυτές στη κατασκευή των μονάδων είχαν σαν συνέπεια η Ευρωπαϊκή Ένωση να προσφύγει 4 φορές κατά της Ελλάδας.

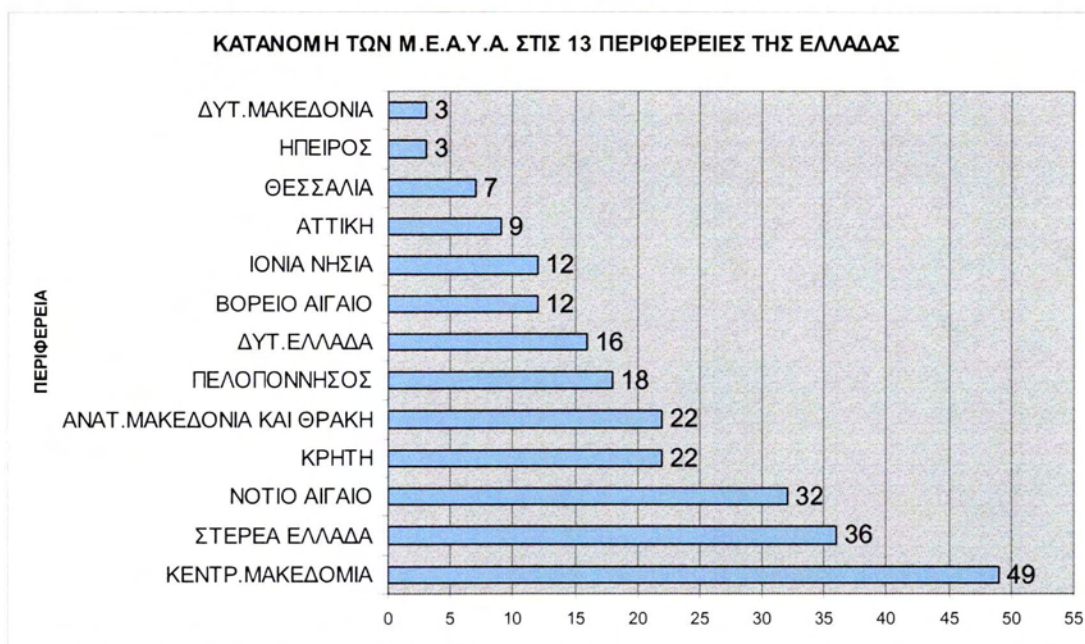
Η πρώτη προσφυγή έγινε με αφορμή τη απουσία αποχετευτικού δικτύου και βιολογικού καθαρισμού στο Θριάσιο πεδίο. Η δεύτερη για την ανυπαρξία βιολογικού καθαρισμού σε 24 πόλεις της χώρας. Η τρίτη προσφυγή έγινε για το μη χαρακτηρισμό

ως «ευαίσθητες ζώνες» δέκα περιοχών στις οποίες αρκετές πόλεις και οικισμοί απέρριπταν τα λύματα τους και η τέταρτη προσφυγή για την έλλειψη βιολογικών καθαρισμών σε οικισμούς από 2.000-15.000 κατοίκους (ΤΕΕ, 2007).

Η αντιμετώπιση της ρύπανσης των υδατικών πόρων από τα απόβλητα γίνεται από τις Μ.Ε.Α.Υ.Α οι οποίες σκοπό έχουν τον καθαρισμό των αστικών αποβλήτων από τα «βλαβερά» συστατικά που περιέχουν ώστε να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον. Ως «βλαβερά» συστατικά των αποβλήτων θεωρούνται τα ογκώδη αντικείμενα όπως η άμμος, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων, τα οργανικά-φυσικά συστατικά (πρωτεΐνες, λίπη), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο, φώσφορος) (Στάμου, 2004).

Όσον αφορά τη γεωγραφική κατανομή όλων των Μ.Ε.Α.Υ.Α. που λειτουργούν στην Ελλάδα (στοιχεία 1998), αυτή φαίνεται στον Διάγραμμα 4.1.

Διάγραμμα 4.1: Γεωγραφική κατανομή των Μ.Ε.Α.Υ.Α. ανά περιφέρεια



Πηγή: Τσαγκαράκης και Αγγελάκης, 1998

Από την κατανομή φαίνεται ότι ο μεγαλύτερος αριθμός μονάδων βρίσκεται στις τουριστικές περιοχές (Κυκλάδες, Χαλκιδική, Κρήτη) καθώς η ανάγκη για καθαρότερο περιβάλλον εκεί είναι πιο άμεση. Αντίθετα οι περιφέρειες της Δυτικής Μακεδονίας, Ηπείρου και Θεσσαλίας υστερούν σε Μ.Ε.Α.Υ.Α.

Δυναμικότητα των μονάδων επεξεργασίας

Η κατάταξη των Μ.Ε.Α.Υ.Α., σχετικά με την δυναμικότητα τους ποικίλλει μεταξύ διαφόρων χωρών. Στην Ελλάδα δεν ακολουθείται μια καθορισμένη κατάταξη. Έτσι μια εμπειρική κατάταξη της δυναμικότητας τους, ανάλογα με το μέγεθος των εξυπηρετούμενων ΟΤΑ, δίνεται στο Πίνακα 4.1. Σημειώνεται ότι ο όρος «σημερινοί ισοδύναμοι κάτοικοι» (σ.ι.κ.) αναφέρεται στους ισοδύναμους κατοίκους (ι.κ.) που εξυπηρετούνται στην χρονική περίοδο επίσκεψης στην Μ.Ε.Α.Υ.Α.

Πίνακας 4.1: Μέγεθος των Μ.Ε.Α.Υ.Α. σε σχέση με τον αριθμό μονάδων, τους ισοδύναμους κατοίκους και τους σημερινούς ισοδύναμους κατοίκους

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (ι.κ.)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΑΥΑ		ι.κ.		σ.ι.κ.		σ.ι.κ./ι.κ.
	ΑΡΙΘΜΟΣ	(%)	ΑΡΙΘΜΟΣ	(%)	ΑΡΙΘΜΟΣ	(%)	(%)
ΧΩΡΙΟ (500-5.000)	97	40	218.760	3	78.990	1	36
ΚΩΜΟΠΟΛΗ (5001-20.000)	95	39	1.081.003	13	306.900	5	28
ΜΙΚΡΗ ΠΟΛΗ (20.001-40.000)	23	10	736.850	9	300.300	5	41
ΜΕΤΡΙΑ ΠΟΛΗ (40.001-100.000)	17	7	1.150.500	14	646.500	12	56
ΜΕΓΑΛΗ ΠΟΛΗ (100.001-500.000)	9	4	5.007.800	61	4.322.600	77	86
ΣΥΝΟΛΟ	241	100	8.194.913	100	5.655.290	100	

Πηγή: Τσαγκαράκης και Αγγελάκης, 1998

Η επεξεργασία αποβλήτων στις Μ.Ε.Α.Υ.Α. ακολουθεί τα εξής στάδια:

- Προκαταρκτική επεξεργασία ή προεργασία
- Πρωτοβάθμια ή πρωτογενή επεξεργασία
- Δευτεροβάθμια η δευτερογενή επεξεργασία
- Τριτοβάθμια ή τριτογενή επεξεργασία

Βαθμός επεξεργασίας

Σύμφωνα με τον βαθμό επεξεργασίας, που παρέχεται από τις διάφορες Μ.Ε.Α.Υ.Α, αυτές μπορούν να καταταγούν σε πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Στην πρωτοβάθμια επεξεργασία γίνεται σε προκαταρκτικό στάδιο η αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών με πρωτοβάθμια καθίζηση. Στην δευτεροβάθμια επεξεργασία γίνεται κάθε βιολογική επεξεργασία, χλωρίωση και ανοξικές διεργασίες. Στην τριτοβάθμια επεξεργασία γίνεται απομάκρυνση του αζώτου, του φωσφόρου και των παθογόνων μικροοργανισμών.

Ο βαθμός επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων κατά αριθμό μονάδων, ισοδύναμων κατοίκων και σημερινών ισοδύναμων κατοίκων φαίνεται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Βαθμός επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων σε σχέση με τον αριθμό μονάδων, τους ισοδύναμους κατοίκους και τους σημερινούς ισοδύναμους κατοίκους

ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ		Ι.Κ.		Σ.Ι.Κ.	
	ΑΡΙΘΜΟΣ	(%)	ΑΡΙΘΜΟΣ	(%)	ΑΡΙΘΜΟΣ	(%)
ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ	3	1,2	3.505.000	42,7	3.504.000	62,0
ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ	199	82,6	3.586.763	43,8	1.862.990	32,9
ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ	39	16,2	1.103.150	13,5	288.300	5,1
ΣΥΝΟΛΟ	241	100	8.194.913	100	5.655.290	100

Πηγή: Τσαγκαράκης και Αγγελάκης, 1998

4.4. ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στη συνέχεια ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των σταδίων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

4.4.1. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στην προκαταρκτική επεξεργασία γίνεται απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων (εσχάρωση), της άμμου (εξάμμωση) και των λιπών (λιποσυλλογή) από την υγρή μάζα των αποβλήτων, η μέτρηση της παροχής και η υποδοχή των βοθρολυμάτων (Στάμου, 2004).

Ο κύριος ρόλος της εσχάρωσης είναι η απομάκρυνση των σωματιδίων μεγάλου μεγέθους από τη ροή, τα οποία θα μπορούσαν (Γελατζής, 2008):

- Να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό της εγκατάστασης στα επόμενα στάδια.
- Να ελαττώσουν την συνολική αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης. Η απόδοση των εσχάρων εξαρτάται από τα διάκενα μεταξύ των παράλληλων μπαρών. Οι εσχάρες μπορεί να χωριστούν σε :
 - Λεπτές εσχάρες με διάκενα 3-10mm.
 - Μεσαίες εσχάρες με διάκενα 10-25mm.
 - Χοντρές εσχάρες με διάκενα 50-100mm.

Στην εξάμμωση γίνεται απομάκρυνση των κόκκων άμμου, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων σωματιδίων γεωλογικής ή όχι υφής. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη γιατί η παραμονή τους δημιουργεί προβλήματα στον πυθμένα των αγωγών, φράξιμο κ.λ.π.

Κατά την λιποσυλλογή γίνεται απομάκρυνση των ελαίων και των λιπών για την αποφυγή προβλημάτων στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας.

Η εξισορρόπηση ροής είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα λειτουργίας που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις στην παροχή, για να βελτιωθεί η απόδοση των διεργασιών και για να μειωθεί το μέγεθος και το κόστος των διατάξεων επεξεργασίας. Η εξισορρόπηση ροής είναι η εξομάλυνση των διακυμάνσεων στην παροχή έτσι ώστε να επιτευχθεί μια σταθερή ή σχεδόν σταθερή παροχή και μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών

περιπτώσεων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος συλλογής. (Γελατζής, 2008). Με βάση την παροχή ρυθμίζεται συνήθως η λειτουργία της διάταξης συλλογής, η απομάκρυνση και στράγγιση της άμμου του αεριζόμενου εξαμμωτή και των μονάδων που χρησιμοποιούν χημικά (Στάμου, 2004).

Σκοπός της υποδοχής βοθρολυμάτων είναι η παραλαβή των βοθρολυμάτων από τα βυτιοφόρα, η αποθήκευση τους και η διοχέτευση τους στην Μ.Ε.Α.Υ.Α., χωρίς να δημιουργούνται περιβαλλοντικές επιπτώσεις και διαταραχές (Στάμου, 2004).

4.4.2. ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των στερών από τα απόβλητα. Περιλαμβάνει την καθίζηση (πρωτοβάθμια καθίζηση) ή επίπλευση και χημική επεξεργασία (κροκίδωση με καθίζηση). Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία απομακρύνεται ένα σημαντικό ποσοστό (50 – 70%) από τα αιωρούμενα στερεά (SS) των αποβλήτων και ένα μικρότερο ποσοστό (25 – 40%) από το οργανικό τους φορτίο (BOD₅). Με βάση την οδηγία 91/271/ΕΟΚ ονομάζεται πρωτοβάθμια επεξεργασία η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με φυσική ή και χημική μέθοδο με την οποία μειώνεται το BOD₅ των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων τουλάχιστον κατά 20% και τα αιωρούμενα στερεά τουλάχιστον κατά 50% (Κούγκολος, 2005).

Η καθίζηση είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό αιωρούμενων σωματιδίων που είναι βαρύτερα από το νερό με τη δράση της βαρύτητας. Μια δεξαμενή καθίζησης μπορεί να αναφέρεται επίσης ως διαυγαστής ή δεξαμενή κατακάθισης. Η επιταχυνόμενη καθίζηση με βαρύτητα περιλαμβάνει την απομάκρυνση των σωματιδίων σε αιώρηση με καθίζηση λόγω βαρύτητας, σε πεδίο επιταχυνόμενης ροής. Η καθίζηση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση άμμου, των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) σε εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης, για την απομάκρυνση χημικών κροκίδων σε δεξαμενές καθίζησης ενεργού ιλύος και για την απομάκρυνση χημικών κροκίδων όταν χρησιμοποιείται η διεργασία της χημικής κροκίδωσης. Η καθίζηση χρησιμοποιείται επίσης για την πύκνωση των στερεών σε παχυντές λάσπης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο πρωταρχικός σκοπός είναι η παραγωγή μιας διαυγασμένης εκροής, ενώ είναι επίσης σημαντικό να παραχθεί λάσπη με μια συγκέντρωση στερεών που να μπορεί να διαχειριστεί και να επεξεργαστεί

εύκολα (Γελατζής, 2008). Τρία είδη καθίζησης αναγνωρίζονται ανάλογα με τη φύση των στερεών που βρίσκονται σε αιώρηση (Κούγκολος, 2005):

1. Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων, δηλαδή τα σωματίδια που καθιζάνουν δεν συνενώνονται με άλλα σωματίδια και διατηρούν τις φυσικές τους ιδιότητες.
2. Καθίζηση συσσωματωμένων στερεών, όπου η συσσωμάτωση των σωματιδίων που καθιζάνουν συνοδεύεται από αλλαγές στην πυκνότητα και στην ταχύτητα καθίζησης.
3. Καθίζηση ζώνης ή εμποδισμένη καθίζηση, όπου τα σωματίδια δημιουργούν ένα πλέγμα που καθιζάνει ενιαία δημιουργώντας μία διεπιφάνεια στην υγρή φάση.

Η επίπλευση είναι μια διεργασία που χρησιμοποιείται για να διαχωριστούν στερεά ή υγρά σωματίδια από μια υγρή φάση. Ο διαχωρισμός προκαλείται από την εισαγωγή αερίων φυσαλίδων (συνήθως αέρα) μέσα στην υγρή φάση. Οι φυσαλίδες προσκολλώνται στη σωματιδιακή ύλη και η άνοδος των συνδυασμένων σωματιδίων και αερίων φυσαλίδων είναι αρκετή για να προκαλέσει την άνοδο του σωματιδίου στην επιφάνεια. Έτσι μπορούν να ανυψωθούν τα σωματίδια που έχουν υψηλότερη πυκνότητα από το υγρό. Μπορεί επίσης να διευκολυνθεί η άνοδος των σωματιδίων με μικρότερη πυκνότητα από το υγρό. Στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, η επίπλευση χρησιμοποιείται κυρίως για να απομακρυνθούν αιωρούμενα υλικά και για την συμπίκνωση των βιοστερεών. Τα κύρια πλεονεκτήματα της επίπλευσης ως προς την καθίζηση είναι ότι τα πολύ μικρά ή ελαφρά σωματίδια που καθιζάνουν αργά μπορούν να απομακρυνθούν πλήρως σε μικρό χρονικό διάστημα. Μόλις τα σωματίδια επιπλεύσουν στην επιφάνεια, μπορούν να συλλεχθούν με μια διεργασία εξαφρισμού. Η σημερινή πρακτική της επίπλευσης όπως εφαρμόζεται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, περιορίζεται στη χρήση αέρα ως μέσου επίπλευσης. Οι φυσαλίδες αέρα προστίθενται ή σχηματίζονται είτε με εισαγωγή αέρα ενώ το υγρό είναι υπό πίεση και ακολουθεί εκτόνωση της πίεσης (επίπλευση διαλυμένου αέρα), είτε με αερισμό σε ατμοσφαιρική πίεση. Σε αυτά τα συστήματα, ο βαθμός της απομάκρυνσης μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση διαφόρων χημικών πρόσθετων. Στην επεξεργασία αστικών λυμάτων, χρησιμοποιείται συνήθως η επίπλευση διαλυμένου αέρα, ιδιαίτερα για την πάχυνση απορριπτόμενων βιοστερεών (Γελατζής, 2008).

4.4.3. ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών των αποβλήτων με βιολογικές διεργασίες στις οποίες χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί οι οποίοι αναπαράγονται καταναλώνοντας τις οργανικές ουσίες και στη συνέχεια απομακρύνονται από τα απόβλητα με καθίζηση ή κάποια άλλη διαδικασία (Κούγκολος, 2005).

Στη δευτεροβάθμια επεξεργασία τα επεξεργασμένα λύματα έχουν υποστεί σημαντική αφαίρεση οργανικού υλικού (80-85 %) με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας (ενεργός ιλύς) ή προσκολλημένης βιομάζας (ύπαρξη πληρωτικού υλικού πάνω στο οποίο αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν στην επεξεργασία (Τσώνης, 2004).

Για την επεξεργασία λυμάτων οικισμών μεσαίου και μεγάλου μεγέθους (με ισοδύναμο πληθυσμό τουλάχιστον 10.000 κατοίκους) στην Ελλάδα χρησιμοποιείται αποκλειστικά η μέθοδος ενεργού ιλύος και το σύστημα περιλαμβάνει (Κούγκολος, 2005):

- Τη δεξαμενή αερισμού, όπου οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες χρησιμοποιώντας το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτείται στα απόβλητα με ανάδευση ή άλλων διατάξεων αερισμού
- Τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου οι παραγόμενοι μικροοργανισμοί καθιζάνουν και απομακρύνονται με τη μορφή λάσπης. Μέρος της λάσπης αυτής ανακυκλοφορεί στη δεξαμενή αερισμού, ενώ το υπόλοιπο οδηγείται στη γραμμή επεξεργασίας της ιλύος

Επίσης, κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία προκύπτει βιολογική λάσπη, η οποία πριν διατεθεί στους αποδέκτες πρέπει να υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία ολοκληρώνεται με την απολύμανση, η οποία γίνεται σε αρκετές περιπτώσεις με χλώριο.

Όταν το υπολειπόμενο χλώριο δημιουργεί προβλήματα (ψάρια, υδρόβια ζωή, βλάστηση) ακολουθεί αποχλωρίωση, πριν από την τελική διάθεση. Σε μερικές περιπτώσεις η απολύμανση γίνεται χωρίς τη χρησιμοποίηση χλωρίου και γίνεται η με όζον η με υπεριώδη ακτινοβολία. Η αφαίρεση θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου) απαιτεί επιπλέον διεργασίες η επιπλέον στάδια στη δευτεροβάθμια

επεξεργασία. Για καλύτερη αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών, σε μερικές περιπτώσεις γίνεται διύλιση των λυμάτων που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία (Τσώνης, 2004).

4.4.4. ΙΛΥΣ

Η επεξεργασία των αστικών λυμάτων αποσκοπεί στη μείωση του ρυπαντικού τους φορτίου, ώστε η διάθεση τους να μη δημιουργεί πρόβλημα στο περιβάλλον. Όμως εκτός από τα επεξεργασμένα λύματα προκύπτει και ιλύς (λάσπη) στην οποία έχει μεταφερθεί ένα σημαντικό μέρος από το ρυπαντικό φορτίο (Τσώνης, 2004):

Στην ιλύ μεταφέρονται, τόσο οργανικά όσο και ανόργανα υλικά από τα λύματα που υποβάλλονται σε επεξεργασία. Τα υλικά αυτά, μετά από κατάλληλη επεξεργασία της ιλύος, μπορεί να αξιοποιηθούν στο έδαφος (βελτιωτικό, λίπανση).

Τα στερεά της ιλύος μπορεί να χρησιμοποιηθούν:

- Σε καλλιεργούμενα ή μη καλλιεργούμενα εδάφη, τόσο ως απλό πρόσθετο, όσο και ως συμπλήρωμα της λίπανσης.
- Σε δασικά εδάφη
- Σε κήπους
- Σε γήπεδα golf
- Σαν υλικό κάλυψης, σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

Η ιλύς λαμβάνεται από όλα τα στάδια της επεξεργασίας των λυμάτων. Η πρωτοβάθμια ιλύς λαμβάνεται από τον πυθμένα της πρωτοβάθμιας δεξαμενής καθίζησης και η περιεκτικότητά της σε στερεά είναι συνήθως 3-7%. Η δευτεροβάθμια ιλύς είναι η περίσσεια ιλύος του βιολογικού σταδίου επεξεργασίας και έχει περιεκτικότητα σε στερεά 0,5 – 2 %. Τέλος, ιλύς λαμβάνεται επίσης και από τριτοβάθμια στάδια επεξεργασίας.

Η μικροβιολογική ποιότητα της ιλύος ελέγχεται από τη συγκέντρωση μικροοργανισμών. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση ενδεικτικών μικροοργανισμών, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα ύπαρξης παθογόνων μικροοργανισμών. Ο χρόνος επιβίωσης διαφόρων τύπων παθογόνων μικροοργανισμών στο έδαφος και στα φυτά φαίνεται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Χρόνος επιβίωσης διαφόρων τύπων παθογόνων μικροοργανισμών

ΠΑΘΟΓΟΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ		ΣΤΑ ΦΥΤΑ	
	ΑΠΟΛΥΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ	ΣΥΝΗΘΕΣ ΜΕΓΙΣΤΟ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ	ΣΥΝΗΘΕΣ ΜΕΓΙΣΤΟ
ΒΑΚΤΗΡΙΑ	1 ΕΤΟΣ	2 ΜΗΝΕΣ	6 ΜΗΝΕΣ	1 ΜΗΝΑ
ΙΟΙ	1 ΕΤΟΣ	3 ΜΗΝΕΣ	2 ΜΗΝΕΣ	1 ΜΗΝΑ
ΚΥΣΤΕΣ ΠΡΩΤΟΖΩΩΝ	10 ΗΜΕΡΕΣ	2 ΗΜΕΡΕΣ	5 ΗΜΕΡΕΣ	2 ΗΜΕΡΕΣ
ΑΥΓΑ ΕΛΜΙΝΘΩΝ	7 ΕΤΗ	2 ΕΤΗ	5 ΜΗΝΕΣ	1 ΜΗΝΑ

Πηγή: Τσώνης, 2004

Η χρησιμοποίηση ιλύος σε καλλιεργήσιμα εδάφη, που δεν έχει υποβληθεί σε κατάλληλη επεξεργασία εγκυμονεί κινδύνους για μόλυνση των παραγόμενων ειδών, καθώς και μεταφορά των μικροοργανισμών στον αέρα και στα υπόγεια νερά. (Τσώνης, 2004)

Η ιλύς που προκύπτει από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί, ανάλογα με την ποιότητα της σε επωφελείς ή μη επωφελείς χρήσεις.

Όσον αφορά τις επωφελείς χρήσεις, το οργανικό υλικό και τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στα στερεά της ιλύος την καθιστούν μια αξιόλογη πηγή λιπασματικών συστατικών και βελτιωτικού υλικού εδάφους, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αγροτικές καλλιέργειες για την βελτίωση της ποιότητας των εδαφών, για αποκατάσταση εδαφών απ' όπου έχουν εξορυχθεί υλικά ή μεταλλεύματα, για αύξηση της παραγωγικότητας των δασών και για την αποκατάσταση της βλάστησης σε δασικές περιοχές που έχουν ερημωθεί από πυρκαγιές. Τα στερεά της ιλύος περιέχουν οργανικό υλικό και έχουν θερμογόνο αξία της τάξης των 5500 kcal/kg (για τους γαιάνθρακες η τιμή είναι 7500 kcal/kg).

Όσον αφορά τη διάθεση της ιλύος για μη επωφελή χρήση, έχουμε τις παρακάτω περιπτώσεις: (Τσώνης, 2004)

- Διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής, οι οποίοι προορίζονται αποκλειστικά για ιλύ
- Διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής μαζί με τα οικιακά απορρίμματα
- Διάθεση καθ' ύψος πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και
- Διάθεση για καύση.

Η ιλύς που προκύπτει από την επεξεργασία των αστικών λυμάτων υποβάλλεται σε επεξεργασία για:

- Την μείωση του όγκου της
- Την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών
- Την μείωση του ρυπαντικού φορτίου των οσμών και των φορέων μόλυνσης

Η μείωση του όγκου αντιστοιχεί σε αύξηση της περιεκτικότητας της ιλύος σε στερεά και έχει σημαντικά πλεονεκτήματα αφού μειώνεται το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς.

Η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Η.Π.Α., προϋποθέτει κατάλληλη επεξεργασία της ιλύος για την μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών (κολοβακτηρίδια, salmonella sp, εντερικοί ιοί κ.λ.π.) κάτω από ανιχνεύσιμα όρια. (Τσώνης, 2004)

Η μείωση του ρυπαντικού φορτίου μπορεί να γίνει με αερόβια ή αναερόβια χώνευση ή και με χημική οξείδωση και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης του υλικού που αποδομείται, όπως και των εκλυόμενων οσμών.

Τα βασικά στάδια επεξεργασίας της ιλύος είναι η πάχυνση, η χώνευση και η αφυδάτωση (Κούγκολος, 2005)

Πάχυνση : σκοπός της πάχυνσης είναι η μείωση του όγκου με απομάκρυνση μέρους του νερού που περιέχει η λάσπη. Έτσι η ιλύς που προκύπτει έχει μικρότερο όγκο, οπότε γίνεται ευκολότερη η διαχείριση της στα επόμενα στάδια

Χώνευση : με τη χώνευση επιτυγχάνεται η μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, η μείωση των οσμών και του όγκου της λάσπης.

Αφυδάτωση: είναι μια φυσική διεργασία που χρησιμοποιείται για την μείωση του περιεχομένου της υγρασίας. Η αφυδάτωση μπορεί να γίνει με φυγοκέντριση ή με διήθηση.

Τα επεξεργασμένα λύματα και η ιλύς που παράγεται κατά τη επεξεργασία των λυμάτων υποβάλλονται, όταν κρίνεται σκόπιμο, κατά προτεραιότητα σε επαναχρησιμοποίηση. Ο τρόπος διάθεσης των λυμάτων και της ιλύος αποσκοπεί στη μείωση, στο ελάχιστο, των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, με τη λήψη των μέτρων που προβλέπονται από το άρθρο 10 της ΚΥΑ 5673/400/97 (ΦΕΚ 192B/ 14-3-1997) (Μιχαλοπούλου, 2004).

4.4.5. ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της τριτοβάθμιας ή προχωρημένης επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών, που δεν έχουν απομακρυνθεί στα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας. Η τριτοβάθμια επεξεργασία δεν κρίνεται απαραίτητη, εκτός από την περίπτωση που η επεξεργασία των λυμάτων έχει σαν στόχο την επαναχρησιμοποίηση. (Κούγκολος, 2005).

Η τριτοβάθμια επεξεργασία αποβλέπει στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων ώστε να είναι δυνατή η αποτελεσματική απολύμανση και εξασφαλίζει (Γελατζής, 2008):

- τη μείωση στο ελάχιστο των τιμών της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών
- την πρόσθετη απομάκρυνση των οργανικών ενώσεων
- την ποιοτική αναβάθμιση της οπτικής εμφάνισης των λυμάτων με τη μείωση της θολότητας
- τη μείωση των παθογόνων ώστε να πληρούνται τα απαιτούμενα όρια

5. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το γεγονός ότι τα τελευταία 70 χρόνια ο πληθυσμός της γης έχει τριπλασιαστεί ενώ η κατανάλωση νερού έχει εξαπλασιασθεί σε συνδυασμό με την κοινή αντίληψη ότι το νερό αποτελεί ένα ανεξάντλητο πόρο, αλλά και άλλοι παράγοντες όπως η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών, η άνιση κατανομή των υδάτινων πόρων και οι περιοδικές ξηρασίες, έχουν οδηγήσει τους οργανισμούς ύδρευσης σε αναζήτηση νέων πηγών υδάτινων αποθεμάτων (Metcalf & Eddy, 2007).

Σήμερα οι προχωρημένες τεχνικές επεξεργασίας λυμάτων, παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής νερού σχεδόν οποιασδήποτε επιθυμητής ποιότητας κάνοντας την ιδέα της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων να μοιάζει ιδιαίτερα ελκυστική καθώς προσφέρει ταυτόχρονα εξοικονόμηση υδατικών πόρων, προστασία του περιβάλλοντος αλλά και οικονομικά οφέλη. Παράλληλα όμως προϋποθέτει έναν ολοκληρωμένο και ορθολογικό σχεδιασμό, που λαμβάνει υπόψη του ενδεχόμενους κινδύνους και περιορισμούς κυρίως για θέματα προστασίας του περιβάλλοντος και δημόσιας υγείας (www.hydro.ntua.gr).

Ο όρος «επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων» συχνά συγχέεται με τις έννοιες ανακύκλωση ή ανάκτηση υγρών αποβλήτων και επειδή το ευρύ κοινό συχνά δεν αντιλαμβάνεται την ποιοτική διαφορά μεταξύ επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων υγρών απόβλητων, αρκετές κοινότητες έχουν απλουστεύσει τον όρο ως «επαναχρησιμοποίηση ύδατος», η οποία δημιουργεί μια θετικότερη εντύπωση.

Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α (Environmental Protection Agency) έχει ορίσει την έννοια επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων ως “τη χρήση υγρού αποβλήτου ή ανακτημένου νερού από μια εφαρμογή για μια άλλη εφαρμογή. Η νέα εφαρμογή του ανακτημένου ή απόβλητου ύδατος πρέπει να υπόκειται σε κανονισμούς για ανάλογα με τον σκοπό της (άρδευση τοπίου, γεωργική άρδευση, αισθητικές χρήσεις, επαναφόρτιση υπόγειων υδροφορέων, βιομηχανικές χρήσεις, και πυροπροστασία)” (www.nesc.wvu.edu).

Στη συνέχεια παρατίθενται και άλλοι ορισμοί, συμπληρωματικοί της εννοίας της επαναχρησιμοποίησης (Metcalf and Eddy, 2007):

Ανάκτηση νερού: Η επεξεργασία του υγρών αποβλήτων ώστε να καταστούν κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση. Επίσης ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για την μεταφορά του ανακτημένου νερού στο σημείο χρήσης του καθώς και για την χρήση καθαυτή.

Ανακύκλωση νερού: Η διαδικασία με την οποία τα υγρά απόβλητα συλλέγονται, επεξεργάζονται και επαναχρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό. Ο όρος βασικά χρησιμοποιείται στη βιομηχανίες, όπως οι κατασκευαστικές και συνήθως περιλαμβάνει μια βιομηχανική μονάδα ή μια κατηγορία χρήσης

Άμεση επαναχρησιμοποίηση: Η μεταφορά του ανακτημένου νερού από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας στο σημείο της χρήσης για άρδευση καλλιεργειών και άρδευση χώρων πρασίνου χωρίς να μεσολαβεί εκροή σε φυσική λεκάνη απορροής.

Έμμεση επαναχρησιμοποίηση: Έμμεση χρήση του ανακτημένου νερού μέσω της λήψης νερού από ένα φυσικό υδατικό πόρο ή υπόγειο υδροφορέα ο οποίος έχει εμπλουτιστεί με ανακτημένο νερό

Μη σχεδιασμένη επαναχρησιμοποίηση: Μια κατάσταση όπου χρησιμοποιούνται αποθέματα νερού από πηγές όπου έχει διοχετευθεί ανακτημένο νερό, χωρίς όμως να προηγείται έλεγχος της ποσότητας και η ποιότητας των πηγών αυτών.

Προγραμματισμένη επαναχρησιμοποίηση: Μια κατάσταση όπου το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται είτε άμεσα είτε έμμεσα, με παράλληλο έλεγχο της ποσότητας και της ποιότητάς του. Περιλαμβάνει την προγραμματισμένη άμεση και έμμεση επαναχρησιμοποίηση.

Επαναχρησιμοποίηση για πόσιμο νερό: Χρήση ειδικά επεξεργασμένου ανακτημένου νερού για τροφοδότηση αποθεμάτων πόσιμου νερού. Αυτό περιλαμβάνει την άμεση και έμμεση επαναχρησιμοποίηση πόσιμου ύδατος.

Εγκαταστάσεις επεξεργασίας: Μια σειρά δομών, εξοπλισμών, διαδικασιών και ελέγχων που καταστεί το υγρό απόβλητο κατάλληλο για την προοριζόμενη επαναχρησιμοποίηση.

Ωφέλιμες χρήσεις. Οι πολλαπλοί τρόποι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό άμεσα από τους ανθρώπους για το γενικό τους όφελος (π.χ. ύδρευση δήμων, αγροτικές και βιομηχανικές εφαρμογές, ναυτιλία, αστικές χρήσεις κ.α.)

5.2. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Κατά τον σχεδιασμό και εφαρμογή προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, οι τύποι επαναχρησιμοποίησης καθορίζουν την απαιτούμενη επεξεργασία των λυμάτων καθώς και το βαθμό της αξιοπιστίας των μεθόδων επεξεργασίας. Οι τύποι επαναχρησιμοποίησης μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες (www.hydro.ntua.gr):

1.Μη-πόσιμη επαναχρησιμοποίηση

- Άρδευση αγροτικών περιοχών
- Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων
- Βιομηχανική
- Δημιουργία χώρων αναψυχής
- Αστική

2.Πόσιμη επαναχρησιμοποίηση

- Άμεση
- Έμμεση

5.2.1. ΑΡΔΕΥΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα για άρδευση καλλιεργειών, εφαρμόζεται στην πράξη επί αιώνες και φαίνεται ότι έχει τις ρίζες της στους αρχαίους Ελληνικούς πολιτισμούς (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

Είναι γεγονός ότι η άρδευση αποτελεί την πιο μαζική χρήση νερού, ιδιαίτερα σε ξηρές περιοχές. Στις ΗΠΑ η άρδευση αντιπροσωπεύει το 34% - 40% της συνολικής χρήσης νερού, ενώ στις πολιτείες Καλιφόρνια και Αριζόνα το 80 με 85%. (Metcalf & Eddy, 2007) Στο Ισραήλ αποτελεί το 73.1% και στην Ελλάδα το 83.7%. Επίσης και σε υγρές περιοχές η άρδευση εφαρμόζεται συμπληρωματικά των βροχοπτώσεων. Παγκοσμίως η αγροτική άρδευση αποτελεί το 70% της συνολικής χρήσης νερού και υπερβαίνει κάθε άλλη χρήση κατά τουλάχιστον 1000%. Όταν οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για την ικανοποίηση της ζήτησης (αστικής και γεωργικής), τότε επιλέγεται το διαθέσιμο νερό να χρησιμοποιηθεί δύο φορές: αρχικά για αστική

χρήση και μετά να επαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση αφού πρώτα υποστεί κάποια επεξεργασία. Έτσι σήμερα λειτουργούν αρκετά συστήματα επαναχρησιμοποίησης που παρέχουν ανακτημένο νερό για αγροτική άρδευση. (www.hydro.ntua.gr).

Η άρδευση με ανακτημένο νερό αποτελεί τη δεσπόζουσα χρήση επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων, καθώς τα θέματα της ποιότητας που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων είναι ευκολότερο να αντιμετωπισθούν στην άρδευση σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις (Κατσαβού, 2008).

Στις αναπτυσσόμενες χώρες η εφαρμογή λυμάτων στο έδαφος αποτελούσε πάντα και συνεχίζει να αποτελεί τον κύριο τρόπο διάθεσης των αστικών λυμάτων και ικανοποίησης των αρδευτικών αναγκών. Για παράδειγμα, το 90% των λυμάτων της Πόλης του Μεξικού χρησιμοποιείται μετά από σχετική επεξεργασία για την άρδευση 90.000 ha, στην παρακείμενη κοιλάδα Mezquidal, με μια παροχή που ανέρχεται στα 45 m³/h. Ομοίως, τα περίπου 130 Mm³/yr αποβλήτων του Tel Aviv διατίθενται μετά από επεξεργασία για τον εμπλουτισμό του υπογείου υδροφορέα, και στην συνέχεια αντλούνται για την άρδευση των αγροτικών εκτάσεων στην έρημο Negev. (www.ellinikietairia.gr).

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι αρδευόμενες εκτάσεις σε διάφορες χώρες όπου εφαρμόζεται η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Πίνακας 5.1: Οι αρδευόμενες εκτάσεις σε διάφορες χώρες όπου εφαρμόζεται η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Χώρα και περιοχή ή πόλη	Αρδευόμενη έκταση σε στρέμματα
Αργεντινή, Μεντόζα	57.000
Αυστραλία, Μελβούρνη	100.000
Γερμανία	280.000
ΗΠΑ	134.750
Ινδία	855.000
Ισραήλ	88.000
Κίνα	13.330.000
Κουβέιτ	120.000
Μαρόκο	60.000
Μεξικό	3.400.000
Νότια Αφρική, Γιοχάνεσμπουργκ	18.000
Περού, Λίμα	68.000
Σαουδική Αραβία, Ριάντ	28.500
Σουδάν, Χαρτούμ	28.000
Τυνησία	73.500
Χιλή, Σαντιάγο	160.000

Πηγή: Φραντζής κ.α., 2006

Η ιδιαίτερη αυτή προτίμηση στην άρδευση οφείλεται στην οικονομική σημασία που έχει και στα πλεονεκτήματα που προσφέρει: (Αργυρούλη, 2005):

- Επιτρέπει την καλλιέργεια σε περιοχές όπου δεν υπάρχει αρκετό νερό για να καλύψει τις οικιακές ανάγκες ώστε η περίσσεια να διατεθεί για άρδευση.
- Αυξάνει τη γεωργική απόδοση λόγω
 - επιμήκυνσης της καλλιεργητικής περιόδου
 - προσφερόμενης δυνατότητας για πολλαπλές καλλιεργητικές περιόδους
 - αύξησης της παραγωγικότητας ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης

Άλλα βασικά οφέλη από την επαναχρησιμοποίηση για άρδευση είναι ότι (Αργυρούλη, 2005):

- ανάγεται σε άμεση εξοικονόμηση καθαρού νερού
- προσφέρει τη δυνατότητα εμπλουτισμού των υπόγειων αποθεμάτων νερού τόσο με τη μορφή της περιστασιακής επαναφόρτισης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα όσο και με τον περιορισμό της διείσδυσης της θάλασσας στον υπόγειο υδροφορέα και κατά συνέπεια με την έμμεση εξασφάλιση πρόσθετων πόρων πόσιμου νερού.
- αποτελεί σημαντική επιπρόσθετη επεξεργασία του αρδευτικού νερού με την εφαρμογή του στο έδαφος το οποίο δρα ως βιολογικός αντιδραστήρας προστατεύοντας τον τελικό αποδέκτη.
- εξοικονομεί υδατικούς πόρους μέσω της πρόληψης ρύπανσης των επιφανειακών νερών λόγω αποφυγής διάθεσης λυμάτων σ' αυτά.
- βελτιώνει σταδιακά την γονιμότητα του εδάφους με την τακτική προσθήκη οργανικής ύλης.
- αναβαθμίζει το αστικό περιβάλλον εφόσον χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ζωνών πρασίνου.

Παρά τα σημαντικότερα οφέλη η διαδικασία της επαναχρησιμοποίησης ενέχει κάποιους κινδύνους και μειονεκτήματα όπως (www.nesc.wvu.edu):

- Προβλήματα υγείας μπορούν να εμφανιστούν στους ανθρώπους που έρχονται σε άμεση επαφή με επαναχρησιμοποιημένο λύμα.

- Σε μερικές περιπτώσεις, η επαναχρησιμοποίηση του απόβλητου είναι οικονομικά μη συμφέρουσα όταν απαιτείται να κατασκευαστεί ένα πρόσθετο σύστημα διανομής.
- Η χρήση μη επεξεργασμένων λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς μπορεί να οδηγήσει στη ρύπανση και μόλυνση υπόγειων υδροφορέων.

Ενώ η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για πότισμα πάρκων, γηπέδων γκολφ προϋποθέτει λύματα πρακτικά απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς, στην περίπτωση εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων προστίθενται αυστηρά κριτήρια σε ότι αφορά και διάφορες οργανικές ενώσεις και ιχνοστοιχεία, στην περίπτωση της άρδευσης η εικόνα είναι διαφορετική καθώς είναι δυνατό με κατάλληλη επιλογή των αρδευόμενων καλλιεργειών και λήψη προληπτικών μέτρων να χρησιμοποιηθούν χωρίς μεγάλο κίνδυνο λύματα τα οποία έχουν υποστεί μερική επεξεργασία, οριακά δε μπορεί να γίνει ανεκτή και η χρησιμοποίηση πρακτικά ακατέργαστων λυμάτων (Φραντζής κ.α., 2006).

5.2.2. ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

Ο εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με επεξεργασμένα λύματα μπορεί να επιτραπεί στις περιπτώσεις όπου αποδεδειγμένα ο υδροφορέας δεν χρησιμοποιείται για σκοπούς ύδρευσης. Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων μετά τον εμπλουτισμό του υδροφορέα με λύματα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ισοδύναμη με την ποιότητα που απαιτείται για απεριόριστη αρδευτική ή αστική χρήση (Αλμπανέλης, 2007). Η σημαντικότητα αυτής της εφαρμογής έγκειται στον περιορισμό, το σταμάτημα ή ακόμα και την αναστροφή της μείωσης της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων, την προστασία του υπόγειου νερού των παράκτιων υδροφορέων από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού καθώς και για την αποθήκευση επιφανειακού νερού (Metcalf & Eddy, 2007)

Γενικά, η υπόγεια αποθήκευση του νερού έχει αρκετά πλεονεκτήματα: (Metcalf & Eddy, 2007)

- το κόστος του τεχνητού εμπλουτισμού μπορεί να είναι μικρότερο από το αντίστοιχο κόστος των επιφανειακών ταμιευτήρων
- ο υδροφορέας χρησιμεύει ως ένα σύστημα διασποράς και μπορεί να εξαλείψει την απαίτηση για επιφανειακούς αγωγούς ή κανάλια
- το νερό που αποθηκεύεται σε επιφανειακές δεξαμενές είναι εκτεθειμένο στην εξάτμιση, σε ενδεχόμενα προβλήματα γεύσης και οσμών λόγω της παραγωγής φυκιών και άλλων υδρόβιων παραγόντων και στη ρύπανση
- μπορεί να μην είναι διαθέσιμες ή περιβαλλοντικά αποδεκτές κατάλληλες περιοχές για τις επιφανειακές δεξαμενές

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί σε περιπτώσεις που η επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων γίνεται τυχαία ή με ελλιπή προγραμματισμό, έτσι ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο χημικοί ή μικροβιολογικοί παράγοντες που περιέχονται στο ανακτημένο νερό να βλάψουν την υγεία των καταναλωτών (Κατσαβού, 2008)

Μειονεκτήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σχετίζονται με το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας των απαιτούμενων γεωτρήσεων και της προχωρημένης επεξεργασίας που συχνά μπορεί να είναι απαγορευτικό, την πιθανή αύξηση του κινδύνου ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα, η μετέπειτα εξυγίανση του οποίου είναι μια δύσκολη, δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία, η συχνή δυσκολία διασφάλιση της μη χρήσης του υδροφορέα για σκοπούς ύδρευσης σε συνδυασμό με την ανεπάρκεια θεσμικών ρυθμίσεων και νόμων, που αφορούν τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με αστικά υγρά απόβλητα (www.hydro.ntua.gr).

5.2.3. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Είναι σύνηθες φαινόμενο να χρησιμοποιείται στην βιομηχανία ανακυκλωμένο νερό, το οποίο συνήθως παράγεται ως παραπροϊόν κατά τις διάφορες διεργασίες (www.ellinikietairia.gr).

Τα αστικά λύματα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες που χρησιμοποιούν νερό το οποίο δεν χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου. Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των αστικών λυμάτων είναι:

- το νερό ψύξης που αποτελεί και την επικρατέστερη εφαρμογή βιομηχανικής επαναχρησιμοποίησης, το οποίο είτε σε πύργους ψύξης είτε σε δεξαμενές ψύξης αποτελεί τη μεγαλύτερη ανάγκη πολλών βιομηχανιών σε νερό (Metcalf & Eddy, 2007),
- το νερό τροφοδοσίας λεβήτων
- το νερό κατεργασίας ή βιομηχανικό

Πιο συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις νερών ψύξης μιας χρήσης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα, τα οποία μετά από απολύμανση περιέχουν συγκεντρώσεις περιττωματικών κολοβακτηριδίων μικρότερες από 200 FC /100 mL (διάμεση τιμή). Για όλες τις άλλες περιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένου του νερού που ανακυκλώνεται στα αντίστοιχα συστήματα ψύξης, η ελάχιστη απαίτηση επεξεργασίας είναι η τριτοβάθμια. (www.hydromedia.gr).

Στην Ελλάδα στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυτάλλειας, όπου βρίσκεται εγκατεστημένη η μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του λεκανοπεδίου Αθηνών, ανακυκλώνονται περίπου 30.000 m³/d αποβλήτων. Τα 2/3 του ανακυκλωμένου νερού χρησιμοποιούνται ως νερό ψύξης των συμπιεστών αέρα και ως νερό παρασκευής διαλυμάτων πολυηλεκτρολυτών, ενώ το υπολειπόμενο 1/3 απολυμαίνεται με εφαρμογή ακτινοβολίας UV και χρησιμοποιείται για την άρδευση των χώρων πρασίνου και για την πλύση διαφόρων εξαρτημάτων στο χώρο των εγκαταστάσεων (Κατσαβου, 2008).

5.2.4. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΩΡΩΝ ΑΝΑΨΥΧΗΣ

Η χρήση ανακτημένων λυμάτων για αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής περιλαμβάνει: (Metcalf & Eddy, 2007)

- την δημιουργία τεχνητών υδροβιότοπων ή την διατήρηση φυσικών

- την δημιουργία χώρων αναψυχής
- την αύξηση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων και
- διάφορες άλλες χρήσεις.

Σκοπός τους είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος στο οποίο θα μπορεί να αναπτυχθεί η ζωή στο φυσικό περιβάλλον και η ανάπτυξη μιας περιοχής με αυξημένη αισθητική αξία.

5.2.5. ΑΣΤΙΚΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ

Τα συστήματα αστικής επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων παρέχουν ανακτημένο νερό για οποιαδήποτε χρήση εκτός της πόσης σε αστικές περιοχές. Αν και οι ποσότητες ανακτημένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα για αστική χρήση παγκοσμίως είναι πολύ περιορισμένες και προβλέπεται ότι θα παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα και στο προσεχές μέλλον, οι τεχνολογικές επιτεύξεις στον τομέα αυτό έχουν μεγάλο επιστημονικό και κοινωνικό ενδιαφέρον. Μερικές από τις αστικές χρήσεις είναι το πότισμα δημόσιων πάρκων και κέντρων αναψυχής, αθλητικών γηπέδων, σχολικών αυλών, γηπέδων παιχνιδιού, νησίδων και κρασπέδων αυτοκινητοδρόμων, νεκροταφείων και κήπων που περιβάλλουν δημόσια κτίρια και εγκαταστάσεις, κήπων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, γενικό πλύσιμο και άλλες εργασίες συντήρησης, εμπορικές χρήσεις, όπως οι εγκαταστάσεις πλυσίματος οχημάτων, το πλύσιμο παραθύρων, το νερό ανάμιξης για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και υγρά λιπάσματα, πυροπροστασία κλπ.(www.hydro.ntua.gr).

Τυπικά, για οικονομικούς λόγους, αυτές οι χρήσεις είναι δευτερεύουσες και εξαρτώνται από την απόσταση που βρίσκεται η μονάδα επεξεργασίας και ανάκτησης του νερού από το σημείο εφαρμογής και κατά πόσο μπορεί να συνδυασθεί η επαναχρησιμοποίηση του νερού με άλλη πιο διαδεδομένη εφαρμογή, όπως για άρδευση (Metcalf & Eddy, 2007).

Κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων υγρών αποβλήτων για αστική χρήση, οι σημαντικότεροι παράγοντες που θα πρέπει να

λαμβάνονται υπόψη είναι η αξιοπιστία εξυπηρέτησης και η προστασία της δημόσιας υγείας.

Για παράδειγμα, στην πόλη St. Petersburg της Florida των Η.Π.Α., διανέμονται περίπου 80.000 m³/d ανακυκλωμένου νερού σε περισσότερους από 10.000 καταναλωτές για πότισμα κήπων, αλλά και για βιομηχανική χρήση. Το Irvine ranch, στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α., ένα προάστιο του Los Angeles, το οποίο μέχρι πριν από λίγα χρόνια αποτελούσε μια υποβαθμισμένη ελώδη περιοχή, είναι σήμερα μια σύγχρονη πόλη της οποίας τα 2.000 ha κήπων στις αυλές των σπιτιών και τα 700 ha αγροτικών καλλιεργειών αρδεύονται από ανακυκλωμένα λύματα. Τα ανακυκλωμένα λύματα χρησιμοποιούνται επίσης στην λειτουργία πλυντηρίων αυτοκινήτων, στην έκπλυση των τουαλετών στις οικίες, και στην πλήρωση λιμνών αναψυχής. Συνολικά διατίθενται περίπου 15 Mm³/yr σε 1.750 καταναλωτές (www.ellinikietairia.gr).

Στο χώρο όπου φιλοξενήθηκαν οι Ολυμπιακοί Αγώνες του 2000, στο Sydney της Αυστραλίας, περίπου 7.000 m³/d ανακυκλωμένων λυμάτων χρησιμοποιούνται στις αθλητικές εγκαταστάσεις για την έκπλυση των τουαλετών και για άρδευση του πρασίνου. Η πλεονάζουσα ποσότητα των ανακυκλωμένων λυμάτων παροχετεύεται σε περίπου 2.000 παρακείμενες οικίες και χρησιμοποιείται για τους ίδιους σκοπούς (www.ellinikietairia.gr).

5.2.6. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΓΙΑ ΣΚΟΠΟΥΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

Η εφαρμογή των έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άμεση ή έμμεση (μέσω εμπλουτισμού υδροφορέων) ύδρευση είναι πολύ περιορισμένη και συμβαίνει μόνο σε κάποιες κοινότητες όπου δεν είναι δυνατή ή είναι ιδιαίτερα δύσκολη η αξιοποίηση άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Γενικά υπήρξε και εξακολουθεί να υπάρχει ακόμα και σήμερα σοβαρός προβληματισμός ως προς την άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για πόση. Ο κύριος προβληματισμός στα έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για υδρευτικούς σκοπούς, αφορά πιθανές χρόνιες επιδράσεις στην υγεία από πιθανή αντίδραση και ανάμειξη ανόργανων και οργανικών συστατικών που παραμένουν στην

ανακτώμενη εκροή, ακόμα και υπό συνθήκες πολύ προχωρημένης επεξεργασίας. Είναι ευρύτατα παραδεκτό ότι τα συνήθη ποιοτικά κριτήρια του πόσιμου νερού επαρκούν μόνο στην περίπτωση που η υδροληψία γίνεται από πηγές που δεν έχουν ακόμα υποστεί ρύπανση και όχι από ανακτημένα λύματα. Στην περίπτωση των λυμάτων οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες και όχι καλά προσδιορισμένες. Έχει εκτιμηθεί ότι μόνο το 10% κατά βάρος των οργανικών ενώσεων του πόσιμου νερού έχουν αναγνωρισθεί, ενώ για λίγες από αυτές έχουν εξακριβωθεί οι επιδράσεις τους στην υγεία (www.hydro.ntua.gr).

Επίσης σημαντική ασάφεια παρατηρείται στον προσδιορισμό της επίδρασης στη δημόσια υγεία της συνεργειστικής δράσης διαφόρων συνθετικών ενώσεων που περιέχονται στα λύματα. Οι έρευνες οι σχετικές με τις επιδράσεις στην υγεία κατά την επαναχρησιμοποίηση για πόση είναι εφαρμόσιμες μόνο για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς το μείγμα των ρύπων διαφέρει από πόλη σε πόλη. Ακόμα και για την ίδια πόλη είναι πιθανό τα επικίνδυνα συστατικά των λυμάτων να αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Αυτός ο περιορισμός επιδρά αρνητικά στην προσπάθεια ανάπτυξης πλήρων και συνολικών ποιοτικών κριτηρίων για επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για πόση (www.hydro.ntua.gr).

Τέλος παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 5.2) που παρουσιάζει τις κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης καθώς και τα ζητήματα-περιορισμούς που προκύπτουν από αυτές.

Πίνακας 5.2: Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης και ζητήματα/περιορισμοί ανά κατηγορία

Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων	Ζητήματα/περιορισμοί
1. Άρδευση αγροτικών εκτάσεων: -Άρδευση καλλιεργειών -Φυτώρια	- Ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών εάν δεν γίνει κατάλληλη διαχείριση - Εμπορευσιμότητα των καλλιεργειών και δημόσια αποδοχή
2. Άρδευση κοινόχρηστων χώρων: -Πάρκα -Σχολικές αυλές -Ακάλυπτοι χώροι -Γήπεδα γκόλφ -Νεκροταφεία -Πράσινες ζώνες -Κήποι	- Επίδραση της ποιότητας του νερού, ιδιαίτερα των αλάτων, στο έδαφος και στα φυτά - Θέματα δημόσιας υγείας που σχετίζονται με τους παθογόνους οργανισμούς (π.χ. βακτήρια, ιοί και παράσιτα) - Η χρήση ελεγχόμενων περιοχών, περιλαμβάνοντας ουδέτερες ζώνες, μπορεί να αυξήσει το κόστος χρήσης
3. Βιομηχανική ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση: -Νερό ψύξης -Τροφοδοσία λεβήτων -Νερό διεργασιών -Βαριά βιομηχανία	- Συστατικά στο ανακτημένο νερό που μπορεί να προκαλέσουν επικαθίσεις, διάβρωση, ανάπτυξη μικροοργανισμών και διάφορες επιστρώσεις - Θέματα δημόσιας υγείας, κυρίως μεταφορά παθογόνων οργανισμών μέσω σταγονιδίων νερού προερχόμενα από πύργους ψύξης - Διασταύρωση μεταξύ αγωγών ανακτημένου και πόσιμου νερού
4. Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα: -Συμπλήρωση υπόγειου νερού -Αντιμετώπιση της διείσδυσης θαλασσινού νερού - Αντιμετώπιση καθιζήσεων	- Πιθανή ρύπανση του υπόγειου υδροφορέα που χρησιμοποιείται ως πηγή πόσιμου νερού - Οργανικές ουσίες στα ανακτημένα νερά με τοξική δράση - Ολικά διαλυμένα στερεά, νιτρικά και παθογόνοι οργανισμοί στο ανακτημένο νερό
5. Αναψυχή/περιβαλλοντικές χρήσεις: -Λίμνες -Εμπλουτισμός υδροβιότοπων -Εμπλουτισμός επιφανειακών υδάτινων ρευμάτων -Αλιεία -Τεχνητό χιόνι	- Θέματα υγείας που σχετίζονται με την παρουσία βακτηρίων και ιών (π.χ. εντερικές μολύνσεις και μολύνσεις αυτιών, ματιών και μύτης) - Φαινόμενα ευτροφισμού, λόγω της ύπαρξης αζώτου και φωσφόρου στο ανακτημένο νερό - Τοξικότητα σε υδρόβιους οργανισμούς
6. Αστικές μη πόσιμες χρήσεις: -Πυρασφάλεια -Κλιματισμός -Καθαρισμός τουαλετών	- Θέματα υγείας που σχετίζονται με τη μεταφορά παθογόνων οργανισμών μέσω σταγονιδίων νερού - Η ποιότητα του νερού μπορεί να προκαλέσει επικαθίσεις διάβρωση, ανάπτυξη μικροοργανισμών και διάφορες επιστρώσεις - Διασταύρωση μεταξύ αγωγών ανακτημένου και πόσιμου νερού
7. Επαναχρησιμοποίηση για πόσιμο νερό -Ανάμιξη με ακατέργαστο πόσιμο νερό -Υδροδότηση μέσω αγωγών	- Παρουσία συστατικών στο ανακτημένο νερό, κυρίως υπολείμματα οργανικών ουσιών και η τοξική τους δράση - Αισθητική και κοινή αποδοχή - Θέματα υγείας που σχετίζονται με τη μεταφορά παθογόνων οργανισμών, κυρίως εντερικοί ιοί

Πηγή: Metcalf & Eddy, 2007

6.ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για κάθε ωφέλιμη χρήση εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων απαιτείται συγκεκριμένη ποιότητα νερού, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανοί κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτοί τελικά προσδιορίζουν τις απαιτούμενες διεργασίες και τεχνολογίες επεξεργασίας και φυσικά το απαιτούμενο κόστος. Επομένως, κάθε τύπος επαναχρησιμοποίησης απαιτεί ιδιαίτερα κριτήρια. Ειδικότερα, στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης για άρδευση, επικρατεί έντονος προβληματισμός για τα κριτήρια ποιότητας, που πρέπει να εφαρμόζονται, κυρίως όσον αφορά τους παθογόνους οργανισμούς και πως αυτά μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και την προοριζόμενη χρήση της αρδευόμενης καλλιέργειας. Οι βιομηχανικές χώρες προβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ποιότητα του νερού (συγκρίσιμες με αυτές του πόσιμου νερού), με τη βεβαιότητα ότι οι πιο ακριβές τεχνολογίες εξασφαλίζουν πιο υγιεινό νερό. Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες που μαστίζονται από σοβαρή έλλειψη νερού και έλλειψη πόρων, επιδιώκουν με την εκπόνηση επιδημιολογικών μελετών να υπερασπιστούν και υιοθετούν τις ισχύουσες, λιγότερο αυστηρές, οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

Όσον αφορά την θέσπιση οδηγιών ή κανονισμών, που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων οι κυριότεροι παράγοντες μπορούν να συνοψισθούν ως εξής (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).:

Προστασία δημόσιας υγείας: Το σύνολο των οδηγιών επαναχρησιμοποίησης επικεντρώνονται στη προστασία της δημόσιας υγείας. Σε περιπτώσεις μη πόσιμων χρήσεων, οι κανονισμοί αναφέρονται κυρίως στα όρια παθογόνων οργανισμών στο ανακυκλωμένο νερό. Ωστόσο, όταν σχεδιάζεται επαναχρησιμοποίηση για έμμεση πόση ή για εμπλουτισμό υδροφορέων που χρησιμοποιούνται για ύδρευση, τα επίπεδα διάφορων τοξικών οργανικών ενώσεων λαμβάνονται υπόψη θέτοντας μέγιστα όρια και απαιτούμενες διεργασίες επεξεργασίας πριν από την εφαρμογή.

Απαιτήσεις ποιότητας ανάλογα με την χρήση: Ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση του η ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού πρέπει να πληρεί ορισμένα φυσικοχημικά κριτήρια. Όσον αφορά την άρδευση, ορισμένα συστατικά που βρίσκονται στο αρδευτικό νερό μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην ανάπτυξη των αρδευόμενων καλλιεργειών ή καλλωπιστικών φυτών το έδαφος και τους υποκείμενους υδροφορείς. Ωστόσο, όρια φυσικοχημικών παραμέτρων σπάνια συμπεριλαμβάνονται στα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης.

Περιβαλλοντικές θεωρήσεις: Οι εκροές υγρών αποβλήτων δεν θα πρέπει να εγκυμονούν κινδύνους στην φυσική πανίδα και χλωρίδα στην περιοχή που γίνεται εφαρμογή τους. Ακόμη, φυσικοί υδατικοί αποδέκτες που δέχονται εκροές υγρών αποβλήτων δεν θα πρέπει να υποβαθμίζονται ποιοτικά.

Αισθητικοί λόγοι: Οι εκροές υγρών αποβλήτων που προορίζονται για χρήσεις, όπως άρδευση πάρκων, καθαρισμό τουαλετών ή ψυχαγωγία, θα πρέπει να είναι διαυγείς, άχρωμες και άοσμες να μην ευνοούν την ανάπτυξη αλγών

Πολιτικοί λόγοι: Νομοθετικές αποφάσεις, που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων επηρεάζονται από την υδατική πολιτική, την τεχνολογική εφαρμογή και το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των αναγκαίων έργων. Παρόλο, που οι νομοθετικές υπηρεσίες λαμβάνουν υπόψη το κόστος που συνεπάγονται οι κανονισμοί στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων και στους χρήστες, αυτό δεν πρέπει να είναι σε βάρος της υγείας των πολιτών και της προστασίας του περιβάλλοντος

6.2. ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΥΓΕΙΑΣ (W.H.O.)

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) προώθησε την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στη γεωργία ως αποτέλεσμα του ενδιαφέροντος ως προς τη δυνατότητα εφαρμογής της στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στη πρώτη του προσπάθεια να εκδώσει οδηγία για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων το 1971, κάλυψε ένα σημαντικά ευρύτερο πεδίο εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης, το οποίο περιλάμβανε επαναχρησιμοποίηση λυμάτων σε χρήσεις αναψυχής καθώς και σε αστικές εφαρμογές που δεν προορίζονται για πόση.

Το 1989, με την υποστήριξη της Παγκόσμιας Τράπεζας και άλλων διεθνών οργανισμών και λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η μέθοδος επεξεργασίας, ο τύπος των καλλιεργειών, η μέθοδος άρδευσης και η έκθεση του κοινού σε παθογόνους οργανισμούς, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας κατέληξε στα εξής συμπεράσματα (www.ellinikietairia.gr):

- Η άρδευση με ακατέργαστα λύματα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων εμπεριέχει υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.
- Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των λυμάτων ή η λήψη μέτρων για την αποφυγή της ανθρώπινης επαφής με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μειώνει τον κίνδυνο, ο οποίος όμως, αν και χαμηλός, εξακολουθεί να υπάρχει.
- Αποτελεσματικό μέτρο αποτελεί η εφαρμογή της άρδευσης σε συγκεκριμένους τύπους καλλιεργειών και κυρίως σε καλλιέργειες που δεν παράγουν προϊόντα που καταναλώνονται ωμά.
- Αποτελεσματικό μέτρο αποτελεί η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των επεξεργασμένων λυμάτων και συγκεκριμένα η εφαρμογή τους στο υπέδαφος.
- Η πλήρης επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί το αποτελεσματικότερο εργαλείο για την πρόληψη μετάδοσης ασθενειών, χωρίς στην περίπτωση αυτή να είναι αναγκαίος ο περιορισμός του είδους των καλλιεργειών που θα αρδευτούν

Το 1995 ο κανονισμός αναθεωρήθηκε ώστε να συμπεριλάβει στοιχεία σχετικά με την παρουσία μετάλλων και οργανικών ουσιών. Ο εν ισχύ κανονισμός, αφορά στα όρια και κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση, χωρίς ειδική αναφορά σε εναλλακτικές μεθόδους επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, όπως ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004).

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα μικροβιολογικά κριτήρια του Π.Ο.Υ. αναφορικά με την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση.

Πίνακας 6.1: Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση ανακτημένων λυμάτων στη γεωργία από τον ΠΟΥ (1989)

Είδος άρδευσης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματοειδείς ^α (γεωμετρικός μέσος ανγών/L) ^β	Περιττωματικά Κολοβακτηρίδια (FC) (γεωμετρικός μέσος / 100mL) ^β	Επεξεργασία που αναμένεται να επιτύχει την απαιτούμενη Μικροβιολογική ποιότητα
Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων και δημοσίων πάρκων ^γ	Εργάτες Καταναλωτές Κοινό	<1	<1000	Σειρά λιμνών οξείδωσης που επιτυγχάνει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα, ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία
Άρδευση δημητριακών βιομηχανικών καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δένδρων ^δ	Εργάτες	<1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε λίμνες σταθεροποίησης για 8-10 ημέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση περιττωματικών κολοβακτηριδίων
Ομοίως με την προηγούμενη κατηγορία, με εξασφάλιση μη έκθεσης εργαζομένων και κοινού	Καμία	Δεν έχουν εφαρμογή	Δεν έχουν εφαρμογή	Προεπεξεργασία έτσι όπως απαιτείται από την τεχνολογία του συστήματος άρδευσης, αλλά πάντως όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια

^α Τα είδη *Ascaris* και *Trichuris*

^β Κατά την περίοδο της άρδευσης

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

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

Πηγή: WHO, 1989

Όσον αφορά τους παθογόνους μικροοργανισμούς, αρχικά απαιτείται διαχωρισμός μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης άρδευσης βάσει των αρδευόμενων καλλιεργειών και του τρόπου εφαρμογής του νερού. Η περιορισμένη άρδευση αφορά σε καλλιέργειες όπως δάση, εκτάσεις όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Ως προς τους τρόπους εφαρμογής του νερού, η μέθοδος του καταιονισμού δεν επιτρέπεται. Η απεριόριστη άρδευση μεταξύ άλλων, αφορά σε όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια, ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού (Ανδρεαδάκης κ.α., 2003).

Οι συνιστώμενες από τον ΠΟΥ μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις μετάλλων ή οργανικών ουσιών στο έδαφος όπου χρησιμοποιείται νερό άρδευσης που προέρχεται από ανάκτηση λυμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2

Πίνακας 6.2 : Προτεινόμενα όρια για μέταλλα και οργανικές ουσίες στο έδαφος

Μέταλλα	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg DW)
Αρσενικό	9
Βάριο	2900
Βηρύλλιο	20
Κάδμιο	7
Χρώμιο	3200
Φθόριο	2600
Μόλυβδος	150
Υδράργυρος	5
Νικέλιο	850
Σελήνιο	140
Σίδηρος	3
Οργανικές ενώσεις	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg DW)
Aldrin	0.2
Benzene	0.03
Benzo(a)pyrene	3
Chlorodane	0.3
Chlorobenzene	Ανεπαρκή Στοιχεία
Chloroform	2
Dichlorophenols	Ανεπαρκή Στοιχεία
2,4-D	10
DDT	Ανεπαρκή Στοιχεία
Dieldrin	0.03
Heptachlor	1
Hexachlorobenzene	40
Hexachloroethane	2
Pyrene	480
Lindane	0.6
Methoxychlor	20
Pentachlorophenol	320
PCBs	30
Tetrachloroethane	4
Tetrachloroethylene	250
Toluene	50
Toxaphene	9
2,4,5-T	Ανεπαρκή Στοιχεία
2,3,7,8 TCDD	30

Πηγή: Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004)

Τα συγκεκριμένα όρια αναφέρονται σε συγκεντρώσεις ρύπων στο έδαφος, καθώς η απορρόφηση των ρύπων από τις καλλιέργειες σχετίζεται με τις συγκεντρώσεις αυτών στο έδαφος, ενώ συνυπολογίζονται οι υπάρχουσες στη φύση συγκεντρώσεις τους.

Η κύρια φιλοσοφία των οδηγιών εστιάζεται στα όρια που θέτουν, ως εγγύηση για την ασφάλεια του νερού, που χρησιμοποιείται για άρδευση, έχουν όμως υποστεί κριτική από τις αναπτυγμένες χώρες, αφού θεωρούνται αρκετά ελαστικά. Όμως, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι προκειμένου να έχουμε απευθείας επαναχρησιμοποίηση των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων, οι προδιαγραφές του ΠΟΥ αποτελούν ένα αρχικό θετικό βήμα (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

6.3. ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΑΣ (F.A.O.)

Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) των Ηνωμένων Εθνών, όσον αφορά τους παθογόνους μικροοργανισμούς, προτείνει τα μικροβιολογικά κριτήρια που προτάθηκαν από τον ΠΟΥ, για να εξασφαλίσουν την προστασία της δημόσιας υγείας. Όμως αν και εφαρμόζεται το ίδιο επίπεδο μικροβιολογικής ποιότητας δεν εξασφαλίζεται απαραίτητα το ίδιο επίπεδο προστασίας όταν υπάρχει άμεση άρδευση επεξεργασμένων λυμάτων και έμμεση άρδευση μερικώς επεξεργασμένων ή και ανεπεξέργαστων λυμάτων που αραιώνονται σε νερά ποταμών, ιδίως όταν πρόκειται για αυγά εντερικών μικροοργανισμών ή άλλες βακτηριολογικές παραμέτρους

Εκτός από την αντιμετώπιση των κινδύνων δημόσιας υγείας που πηγάζουν από τη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση, ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας έχει προτείνει μια σειρά παραμέτρων κατατάσσοντας το νερό άρδευσης σε διάφορες κατηγορίες ποιότητας (Πίνακας 6.3) βάσει της αλατότητας, της διαπερατότητας, της τοξικότητας και άλλων κινδύνων, έτσι ώστε ο χρήστης να καθοδηγείται για τα πιθανά πλεονεκτήματα αλλά και προβλήματα που αφορούν τη χρήση του

Η γενική αυτή κατηγοριοποίηση αφορά κατά κύριο λόγο τη χρήση συμβατικών πηγών αρδευτικού νερού. Ωστόσο θεωρείται εξίσου εφαρμόσιμη και στη περίπτωση αξιολόγησης της ποιότητας λυμάτων για άρδευση, ως προς χημικά στοιχεία όπως π.χ.

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

διαλυτά άλατα, σχετική περιεκτικότητα νατρίου και τοξικά ιόντα (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004).

Πίνακας 6.3: Οδηγίες για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση

Πιθανό πρόβλημα κατά την άρδευση	Μονάδες	Βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή		
		Μηδαμινός	Μικρός-Μέτριος	Σημαντικός
<u>Αλατότητα</u>				
EC _w ή	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
TDS (ολικά διαλυμένα στερεά)	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000
<u>Διαπερατότητα</u>				
SAR = 0 - 3 και EC _w		> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
3 - 6		> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
6 - 12		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
12 - 20		> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
20 - 40		> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
<u>Ειδική τοξικότητα ιόντων</u>				
<i>Νάτριο (Na)</i>				
Επιφανειακή άρδευση	SAR	< 3	3 – 9	> 9
Καταιονισμός	meq/L	< 3	> 3	
<i>Χλωριόντα (Cl)</i>				
Επιφανειακή άρδευση	meq/L	< 4	4 – 10	> 10
Καταιονισμός	meq/L	< 3	> 3	
Υπολειμματικό χλώριο (καταιονισμός)	mg/L	< 1	1 – 5	> 5
Βόριο (B)	mg/L	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
<u>Άλλες επιπτώσεις</u>				
Άζωτο (NO ₃ -N)	mg/L	< 5	5 – 30	> 30
HCO ₃	meq/L	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH	Τυπικές τιμές 6,5 – 8			

Πηγή: FAO, 1985

Όσον αφορά τα μέταλλα και τις οργανικές ουσίες και ειδικότερα με την τοξικότητα ιχνοστοιχείων, στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται τα συνιστώμενα όρια τοξικών παραμέτρων που προτείνει ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας επιλεκτικά για ορισμένα ιχνοστοιχεία.

Πίνακας 6.4: Όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο αρδευτικό νερό

	Χημικό στοιχείο	Μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση (mg/L) ^a		Παρατηρήσεις
		Μακροπρόθεσμη χρήση ^b	Βραχυπρόθεσμη χρήση ^γ	
Al	Αλουμίνιο	0,5	20,0	Μπορεί να αναστείλει την παραγωγή σε όξινα εδάφη (pH < 5,5), ενώ σε αλκαλικά εδάφη (pH > 7,0) το ιόν κατακρημνίζεται και εξαλείφεται κάθε τοξικότητα
As	Αρσενικό	0,1	2,0	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει σημαντικά, κυμαινόμενη από 12 mg/L για γρασίδι τύπου Sudan σε λιγότερο από 0,05 mg/L για ρύζι
Be	Βηρύλλιο	0,1	0,5	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει σημαντικά, κυμαινόμενη από 5 mg/L για το λάχανο σε 0,5 mg/L για τα φασόλια
Cd	Κάδμιο	0,01	0,05	Είναι τοξικό για τα φασόλια, τα παντζάρια και τα ραπανάκια σε συγκεντρώσεις έως και 0,1 mg/L. Συνιστώνται συντηρητικά όρια λόγω της δυνατότητας συσσώρευσης σε φυτά και έδαφος σε συγκεντρώσεις που θα ήταν επιβλαβείς για τον άνθρωπο
Co	Κοβάλτιο	0,05	5,0	Τοξικό για τη ντομάτα σε συγκεντρώσεις 0,1 mg/L. Τείνει να είναι ανενεργό σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη
Cr	Χρόμιο	0,1	1,0	Συνιστώνται συντηρητικά όρια λόγω έλλειψης γνώσης σχετικής με την τοξικότητά του στα φυτά
Cu	Χαλκός	0,2	5,0	Τοξικό σε πολλά φυτά σε συγκεντρώσεις 0,1 έως 1,0 mg/L
F	Φθόριο	1,0	15,0	Καθίσταται ανενεργό σε ουδέτερα ή αλκαλικά εδάφη
Fe	Σίδηρος	5,0	20,0	Μη τοξικό στα φυτά σε οξυγονωμένα εδάφη, αλλά μπορεί να συνεισφέρει στην απώλεια διαθεσιμότητας φωσφόρου και μολυβδαινίου. Ψεκασμός μπορεί να οδηγήσει σε αντιαισθητικές αποθέσεις σε φυτά, εξοπλισμό και κτίρια
Li	Λίθιο	2,5	2,5	Είναι ανεκτό από τα περισσότερα φυτά σε συγκεντρώσεις μέχρι και 5 mg/L. Έχει μεγάλη κινητικότητα στο έδαφος. Τοξικό για τα εσπεριδοειδή σε μικρές συγκεντρώσεις (<0,075 mg/L). Δρα πανομοιότυπα με το βόριο
Mn	Μαγγάνιο	0,2	10,0	Τοξικό σε αρκετά φυτά σε συγκεντρώσεις από μερικά δέκατα έως μερικά mg/L, αλλά κυρίως σε όξινα εδάφη
Mo	Μολυβδαίνιο	0,01	0,05	Μη τοξικό στα φυτά σε φυσιολογικές συγκεντρώσεις στο έδαφος και το νερό. Μπορεί να είναι τοξικό στα ζώα εάν οι ζωοτροφές έχουν καλλιεργηθεί

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

	Χημικό στοιχείο	Μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση (mg/L) ^α		Παρατηρήσεις
		Μακροπρόθεσμη χρήση ^β	Βραχυπρόθεσμη χρήση ^γ	
				σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις μολυβδαινίου
Ni	Νικέλιο	0,2	2,0	Τοξικό σε αρκετά φυτά σε συγκεντρώσεις από 0,5 έως 1,0 mg/L. Μειωμένη τοξικότητα σε ουδέτερα ή αλκαλικά εδάφη
Pb	Μόλυβδος	5,0	10,0	Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη των φυτών
Se	Σελήνιο	0,02	0,02	Τοξικό στα φυτά σε συγκεντρώσεις χαμηλές έως και 0,025 mg/L και τοξικό στα ζώα εάν οι ζωοτροφές έχουν καλλιεργηθεί σε εδάφη με σχετικά υψηλά επίπεδα σεληνίου. Είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των ζώων αλλά σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις
Sn	Κασσίτερος	-	-	Αποκλείονται ικανοποιητικά από τα ίδια τα φυτά
Ti	Τιτάνιο			
W	Βολφράμιο			
V	Βανάδιο	0,1	1,0	Τοξικό σε αρκετά φυτά σε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις
Zn	Ψευδάργυρος	2,0	10,0	Τοξικό σε πολλά φυτά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται σημαντικά. Μειωμένη τοξικότητα σε pH > 6,0 και σε οργανικά εδάφη και εδάφη με λεπτή δομή

α Η μέγιστη συγκέντρωση βασίζεται σε ένα ρυθμό εφαρμογής του νερού σύμφωνα με ορθολογικές πρακτικές άρδευσης (10.000 m³ ανά εκτάριο ανά χρόνο). Εάν ο ρυθμός εφαρμογής του νερού υπερβαίνει σημαντικά τον πιο πάνω, οι μέγιστες συγκεντρώσεις θα πρέπει να προσαρμοστούν προς τα κάτω ανάλογα. Για χρήση νερού μικρότερη των 10000 m³ ανά εκτάριο ανά χρόνο δεν γίνεται προσαρμογή των μέγιστων συγκεντρώσεων.

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

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

Πηγή: FAO, 1992

6.4. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ

Η πολιτεία της Καλιφόρνια έχει μακρά ιστορία επαναχρησιμοποίησης λυμάτων καθώς θεσμοθέτησε τον πρώτο σχετικό κανονισμό το 1918. Ο κανονισμός αυτός έχει υποστεί αναθεωρήσεις και επεκτάσεις και με τη σημερινή του μορφή, όπως διαμορφώθηκε το 1978, αποτελεί τη βάση για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης όχι μόνο στην Καλιφόρνια αλλά και σε άλλες πολιτείες των ΗΠΑ και χώρες του κόσμου.

Ο κανονισμός περιλαμβάνει κριτήρια και πρακτικές σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για σκοπούς άρδευσης και εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα με ανακτημένα λύματα. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση, ο κανονισμός επικεντρώνεται σε εμπλουτισμό υδροφορέων που χρησιμοποιούνται ως πηγές ύδρευσης και κατά συνέπεια, όπως είναι αναμενόμενο, τα όρια και οι μέθοδοι παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα αυστηρά (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004).

Όσον αφορά την άρδευση, τα μικροβιολογικά κριτήρια και η προτεινόμενη επεξεργασία (Πίνακας 6.5), δεν βασίζονται τόσο σε επιδημιολογικές έρευνες όσο σε μία προσπάθεια ελαχιστοποίησης των θεωρητικών κινδύνων από την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Βασική παράμετρος θεωρείται η πιθανότητα ανθρώπινης έκθεσης στα επαναχρησιμοποιούμενα λύματα, η οποία καθορίζει και το μέγεθος του κινδύνου. Κατά συνέπεια, όπως και στην περίπτωση της οδηγίας του Π.Ο.Υ., αναγνωρίζεται έμμεσα η διάκριση σε περιορισμένη και απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση.

Πίνακας 6.5: Κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων της πολιτείας της Καλιφόρνια

Είδος χρήσης	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC) ανά 100mL	Απαιτούμενη επεξεργασία
Ζωοτροφές, μη βρώσιμες καλλιέργειες, Άρδευση οπωρώνων, αμπελώνων	Δεν τίθενται όρια	Δευτεροβάθμια
Βοσκότοποι για γαλακτοπαραγωγή ζώα, τεχνητές λίμνες αναψυχής, πότισμα γηπέδων γκολφ, νεκροταφείων κ.λ.π.	<23	Οξειδωση και απολύμανση
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών, τεχνητές λίμνες αναψυχής	<2,2	Οξειδωση και απολύμανση
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό, πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής	<2,2	Οξειδωση, κροκίδωση, διύλιση και απολύμανση

Πηγή: www.ellinikietairia.gr

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

Εδώ κρίνεται σκόπιμη μια συνοπτική αναφορά στα σημαντικότερα παθογόνα συστατικά, που έχουν άμεση σχέση με την προστασία της υγείας και είναι τα παθογόνα βακτηρίδια, οι σκώληκες, τα πρωτόζωα και οι ιοί. Τα σημαντικότερα παθογόνα

βακτηρίδια είναι η σαλμονέλλα (προκαλεί τυφοειδή πυρετό, σαλμονελώσεις, κράμπες, ακόμα και θάνατο), η σιγγέλα (προκαλεί πυρετό και διάρροιες), η λεπτοσπείρα (προκαλεί λεπτοσπείρωση και μόλυνση των νεφρών, του συκωτιού και του κεντρικού νευρικού συστήματος), το δονάκιο της χολέρας (προκαλεί χολέρα, διάρροιες, αφυδάτωση, ακόμα και θάνατο) και ο βάκιλλος της φυματίωσης. Η μετάδοση των ασθενειών γίνεται συνήθως με επαφή με νερά ή και ζώα που έχουν μολυνθεί (Στάμου, 2004).

Οι σημαντικότεροι σκώληκες που μπορεί να βρεθούν στα απόβλητα είναι τα *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, αγγυλόστομα και *Taenia saginata*. Προκαλούν ασκαρίαση, σχιστοσομίαση και ταινίες, ακόμα και με τη μορφή προνυμφών (larvae) ή αυγών. Επίσης όσον αφορά τα σημαντικότερα πρωτόζοα είναι τα *Gardia lamblia* και *Entamoeba histolytica*, που προκαλούν αμοιβικές δυσεντερίες και ηπατίτιδες. Η μετάδοση των ασθενειών γίνεται συνήθως με επαφή με μολυσμένα νερά. Τέλος, από τους ιούς, ιδιαίτερη σημασία έχουν οι εντερικοί ιοί, οι οποίοι εισέρχονται στον οργανισμό δια της στοματικής οδού. Προκαλούν την ηπατίτιδα Α, την πολυομελίτιδα, καθώς και διαταραχές του αναπνευστικού και του πεπτικού συστήματος (Στάμου, 2004).

Στα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης προτάθηκαν ορισμένες προσθήκες οι οποίες περιλαμβάνουν τις ακόλουθες απαιτήσεις αποστάσεων ασφαλείας (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005):

- δεν επιτρέπεται η άρδευση με ανακτημένα υγρά απόβλητα, που δεν έχουν υποστεί απολύμανση σε απόσταση 50 m από οποιοδήποτε γεώτρηση πόσιμου νερού
- για εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας που έχουν δεχτεί απολύμανση η απόσταση είναι 30 m
- για εκροές τριτοβάθμιας επεξεργασίας (δευτεροβάθμια, φίλτρανση και απολύμανση) η απόσταση πρέπει να είναι 15 m και τέλος
- δεν επιτρέπεται η αποθήκευση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που έχουν δεχτεί τριτοβάθμια επεξεργασία σε απόσταση μικρότερη από 30 m από κατοικίες ή μέρη όπου είναι ιδιαίτερα αυξημένος ο κίνδυνος να συμβεί τυχαία έκθεση.

6.5. ΟΔΗΓΙΕΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΩΝ ΗΝΩΜΕΝΩΝ ΠΟΛΙΤΕΙΩΝ (US-EPA)

Η Οδηγία της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (US-EPA) αντιμετωπίζει όλες τις σημαντικές πτυχές της επαναχρησιμοποίησης και περιλαμβάνει προτεινόμενες διεργασίες επεξεργασίας, ποιοτικά όρια στο ανακτημένο νερό, συχνότητα παρακολούθησης, αποστάσεις ασφαλείας και άλλα μέτρα ελέγχου χώρου για διάφορες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης.

Πίνακας 6.6: Οδηγία της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών για τις τρεις πιο διαδεδομένες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης

Κατηγορία επαναχρησιμοποίησης	Επεξεργασία	Ποιότητα ανακτημένου νερού	Παρακολούθηση του ανακτημένου νερού
Αστική χρήση (άρδευση χώρων πρασίνου, πυρόσβεση, τουαλέτες, συστήματα κλιματισμού)	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, φίλτρανση, απολύμανση	pH 6-9 BOD ₅ < 10 mg /L Υπολ. CL ₂ : 1 mg /L (min) Κολοβακτηρίδια < 14 /100 mg /L	pH: εβδομαδιαίως BOD: εβδομαδιαίως Υπολ. CL ₂ : συνεχώς Κολοβακτηρίδια : ημερησίως
Γεωργική άρδευση για μη βρώσιμα είδη (βοσκότοποι για γαλακτοπαραγωγή ζώα, ζωοτροφές, καρποδοτικές καλλιέργειες)	Δευτεροβάθμια επεξεργασία	pH 6-9 BOD ₅ < 30 mg /L TSS < 30 mg /L Κολοβακτηρίδια < 200 /100 mg/L Υπολ. CL ₂ : 1 mg /L (min)	pH:εβδομαδιαίως BOD: εβδομαδιαίως TSS: ημερησίως Υπολ. CL ₂ : συνεχώς Κολοβακτηρίδια : ημερησίως
Έμμεση πόσιμη χρήση (φόρτιση υπόγειων υδροφορέων με έκχυση σε πόσιμα υδροφόρα στρώματα)	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, απολύμανση (τουλάχιστον) Μπορεί να απαιτηθεί φίλτρανση ή/ και προχωρημένη επεξεργασία	Ανάλογα με την τοποθεσία πρέπει να ακολουθεί τα πρότυπα του πόσιμου νερού κατά τη διήθηση	pH: ημερησίως Θολότητα :συνεχώς Υπολ. CL ₂ : συνεχώς Κολοβακτηρίδια : ημερησίως Επίπεδα ποιότητας πόσιμου νερού: τριμηνιαίως

Πηγή: Κατσαβου, 2008

Όσον αφορά για χρήσεις που δεν προορίζονται για πόση, ο βαθμός επεξεργασίας που προτείνεται διαφοροποιείται σε δύο επίπεδα. Ανακτημένα λύματα που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου η (άμεση ή έμμεση) επαφή του κοινού ή εργαζομένων στο χώρο με τα λύματα είναι ελεγχόμενη, θα πρέπει να υφίστανται κατ' ελάχιστο δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση έτσι ώστε να επιτευχθεί συγκέντρωση περιττωματικών κολοβακτηριδίων που να μην υπερβαίνει τα 200/100 mL. Για χρήσεις όπου άμεση ή έμμεση επαφή με τα ανακτημένα λύματα είναι πιθανή ή αναμένεται να συμβεί και για διπλά δίκτυα διανομής νερού όπου μπορεί να συμβεί λανθασμένη σύνδεση στο σύστημα πόσιμου νερού, συνιστάται η απολύμανση να έχει σαν αποτέλεσμα στο ανακτημένο νερό την μη ανίχνευση περιττωματικών κολοβακτηριδίων στα 100 mL. Αυτό το πιο αυστηρό επίπεδο απολύμανσης προτείνεται σε συνδυασμό με τριτοβάθμια επεξεργασία (δευτεροβάθμια επεξεργασία, διύλιση, απολύμανση) και προσθήκη χημικών κροκιδωτικών πριν την διύλιση εάν αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα εκροής (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004).

Εκτός από τα μικροβιολογικά κριτήρια τίθενται και επιπρόσθετα κριτήρια σχετικά με την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για άρδευση που έχουν να κάνουν με την συγκέντρωση χημικών ουσιών και με έμφαση στην συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων. Στον Πίνακα 6.7 φαίνονται τα ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για χρήση λυμάτων στην γεωργία, σύμφωνα με την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (www.ellinikietairia.gr).

Πίνακας 6.7 : Ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για χρήση λυμάτων στην γεωργία κατά την US EPA

Χημικό Στοιχείο	Μέγιστη προτεινόμενη συγκέντρωση ^a (mg/L)	
	Μακροχρόνια χρήση	Βραχυχρόνια χρήση
Αλουμίνιο	0,5	20
Αρσενικό	0,1	2
Βηρύλλιο	0,1	0,5
Κάδμιο	0,01	0,05
Χρώμιο	0,1	1
Κοβάλτιο	0,05	5
Χαλκός	0,2	5
Σίδηρος	5	20
Μόλυβδος	5	10
Λίθιο	2,5	2,5
Μαγγάνιο	0,2	10
Μολυβδαίνιο	0,01	0,05
Νικέλιο	0,2	2
Σελήνιο	0,02	0,02
Βανάδιο	0,1	1
Ψευδάργυρος	2	10

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

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

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

Πηγή: (www.ellinikietairia.gr)

7. ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ, ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για γεωργικές εφαρμογές υπερβαίνει το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Σε περίπτωση που οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για τις αγροτικές εφαρμογές, μπορεί να εμπλουτιστούν με κατάλληλα επεξεργασμένα απόβλητα. Σε πολλές περιοχές του κόσμου έχει επιλεγεί η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση (www.ellinikietairia.gr). Οι μέχρι σήμερα γνωστές οδηγίες και κανονισμοί κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων βασίζονται στις οδηγίες του WHO, του FAO και της Πολιτείας της Καλιφόρνια και αυτές χρησιμοποιούνται σήμερα ως πρότυπα στη καθιέρωση κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

Η πρωταρχική επικρατούσα άποψη που αναπτύχθηκε στις βιομηχανικές χώρες, όσον αφορά τις αρδεύσεις με νερό προερχόμενο από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στηρίχθηκε εν μέρει στα επιστημονικά δεδομένα (επιβίωση και ανίχνευση εντερικών παθογόνων στο χώμα και στην επιφάνεια των προϊόντων), και εν μέρει στην υπόθεση ότι η παρουσία των μολυσματικών παραγόντων στο ίδιο το νερό ή στη επιφάνεια των προϊόντων είναι αρκετή για να υποδηλώσει τον κίνδυνο για την υγεία των καταναλωτών. Βασιζόμενοι σε αυτά τα συμπεράσματα κι στην άποψη ότι όσο πιο αυστηρές είναι οι προδιαγραφές, τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος επιμόλυνσης, οι ανεπτυγμένες χώρες θέσπισαν πολύ αυστηρά κριτήρια (όπως η άρδευση των μη εδώδιμων προϊόντων με νερό προερχόμενο από το αρχικό στάδιο επεξεργασίας, ενώ των βρώσιμων με νερό σχεδόν με τις ίδιες προδιαγραφές υγιεινής του πόσιμου) και θεώρησαν ότι τα ίδια ακριβώς κριτήρια θα έπρεπε να πληρούνται και στις αναπτυσσόμενες χώρες. (Φραντζής κ.α., 2006).

Στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου, η απουσία ενός ενιαίου διεθνούς ή έστω και περιφερειακού, νομοθετικού πλαισίου είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που περιορίζουν την επαναχρησιμοποίηση των υγρών

αποβλήτων. Αξιοσημείωτη είναι η απουσία νομοθεσίας για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην ΕΕ. Ειδικότερα, για τον χώρο της ΕΕ σημαντική παράμετρος για την έλλειψη ενιαίας θεώρησης, είναι οι διαφοροποιήσεις στη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων και στις χρήσεις τους μεταξύ των βορείων, των κεντρικών και των νοτίων χωρών-μελών της (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

Στο πλαίσιο αυτό, η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον όχι μόνο στη νότια Ευρώπη κυρίως, αλλά και σε χώρες της κεντρικής Ευρώπης. Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση εφαρμόζεται ήδη σε αρκετά εκτεταμένο επίπεδο στις Μεσογειακές χώρες-μέλη της ΕΕ. Οι περισσότερες από τις χώρες αυτές, προωθούν τη θέσπιση κριτηρίων, συχνά όμως με τη μορφή όχι συγκεκριμένης, σε εθνική κλίμακα δεσμευτικής νομοθεσίας, αλλά με τη μορφή οδηγιών (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

Η Ελλάδα δεν έχει ακόμη θεσπίσει προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων, έτσι θα μπορούσε κάποιος να θεωρήσει ότι ισχύουν οι προδιαγραφές που έχει εκδώσει ο Π.Ο.Υ., οι οποίες γενικά θεωρούνται μη αυστηρές. (www.ellinikietairia.gr). Όμως, σήμερα, πολλές χώρες έχουν θεσπίσει εθνικές οδηγίες ή κανονισμούς προσαρμοσμένες στις τοπικές κοινωνικοοικονομικές και φυσικές συνθήκες ή έχουν εναρμονισθεί με αυτές διεθνών οργανισμών (WHO, US EPA, FAO και άλλων). Βάσει αυτών, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το πρόβλημα της μη θεσμοθέτησης ανάλογων κριτηρίων στην Ελλάδα είναι σημαντικό και πρέπει να επιλυθεί σύντομα. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι έχουν γίνει ερευνητικές εργασίες στην Ελλάδα που είχαν ως σκοπό την πρόταση συγκεκριμένων προδιαγραφών χρήσης ανακτημένων λυμάτων για ωφέλιμους σκοπούς.

7.2. ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

7.2.1. ΑΥΣΤΡΙΑ

Στην Αυστρία η έλλειψη νερού αποτελεί τοπικό φαινόμενο σε μερικές περιοχές στα ανατολικά και νότια της χώρας. Το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται μόνο για την αποφυγή της ρύπανσης ή για τη μείωση του κόστους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Η Αυστρία έχει μια πολύ ισχυρή προληπτική αρχή σχετικά με την προστασία του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων, έτσι η υπάρχουσα νομοθεσία περιορίζει την κατανάλωση νερού σε αρκετές βιομηχανίες και τους επιτρέπει να χρησιμοποιούν μόνο ανακυκλωμένο νερό (Angelakis et al., 2003).

7.2.2. ΓΑΛΛΙΑ

Η Γαλλική νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση έχει ως βάση τα κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), τα οποία όμως συμπληρώνονται από μία σειρά αυστηρών κανόνων, που αφορούν στην προστασία υπόγειων και επιφανειακών νερών, σε περιορισμούς κατά την επαναχρησιμοποίηση ανάλογα με την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων, στο δίκτυο αγωγών των επεξεργασμένων λυμάτων, στα χημικά χαρακτηριστικά της εκροής, στον έλεγχο των υγειονομικών κανόνων που εφαρμόζονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και τις εγκαταστάσεις άρδευσης και στην εκπαίδευση του προσωπικού και των υπευθύνων λειτουργίας (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004).

Το γαλλικό ενδιαφέρον για θέματα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων άρχισε στις αρχές της δεκαετίας του '90 για δύο κύριους λόγους (www.sciencedirect.com):

1. Την ανάπτυξη της αρδευόμενης εντατικής καλλιέργειας με την παράλληλη χρήση μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων .

2. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, υπήρξε μια μεγάλη περίοδος ξηρασίας που έχει επηρεάσει τις περιοχές που θεωρούνται παραδοσιακά πιο υγρές, στη

δυτική και βορειοδυτική Γαλλία. Για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης, οι αρμόδιες αρχές έχουν επιβάλει περιστασιακά περιορισμούς στη χρήση νερού, μια πολύ ασυνήθιστη πρακτική στη Γαλλία.

Το 1991, οι γαλλικές αρμόδιες για την υγεία αρχές εξέδωσαν οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, μετά από επεξεργασία, για σκοπούς άρδευσης. Σύμφωνα με τις οδηγίες, πριν την επαναχρησιμοποίηση, πρέπει να χορηγηθεί άδεια από τις αρμόδιες αρχές. Οι κανονισμοί της Γαλλίας ακολουθούν ουσιαστικά τις οδηγίες και τους περιορισμούς του Π.Ο.Υ. αλλά τηρούν και τους περιορισμούς που αφορούν τεχνικές άρδευσης και τις καθορισμένες αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ των περιοχών άρδευσης και των κατοικημένων περιοχών ή οδοστρωμάτων (Angelakis et al., 2003).

Λόγω της καλής υδραυλικής υποδομής και των ικανοποιητικών βροχοπτώσεων της γύρω από τη χώρα, η Γαλλία δεν χρειάζεται να αυξήσει τους πόρους της, με το να στηριχθεί σε μεγάλο ποσοστό στην επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων. Μέχρι τώρα, εκτός από ένα μεγάλο πρόγραμμα στο Παρίσι, οι περισσότερες εφαρμογές της επαναχρησιμοποίησης έχουν περιοριστεί στις απομακρυσμένες μικρές κοινότητες και τα νησιά κυρίως λόγω του κόστους της τριτογενούς επεξεργασίας. (www.sciencedirect.com).

Μια διαφορετική προσέγγιση στο πρόβλημα αυτό προσφέρει η πρόσφατη ανάπτυξη των νέων διαδικασιών καθαρισμού, όπως οι βιολογικοί αντιδραστήρες μεμβρανών, οι οποίοι οδήγησαν σε πολύ υψηλής ποιότητας ανακτημένο και επεξεργασμένο νερό. Αυτός ο τύπος της ιδιαίτερα συμπαγούς εγκατάστασης είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για τις μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας στις αγροτικές περιοχές, και η πρώτη εφαρμογή του προγράμματος που αφορούσε 2.000 κατοίκους έγινε στη πόλη Villefranque κοντά στη Biarritz (www.sciencedirect.com).

7.2.3. ΓΕΡΜΑΝΙΑ

Στη Γερμανία υπάρχουν ελάχιστα κίνητρα για τη χρήση ανακτημένου νερού. Σε κάποιες περιοχές όπως στην κοιλάδα Ruhr και στην κοιλάδα του Ρήνου έχει εφαρμοστεί η τεχνητή φόρτιση των υπόγειων υδροφορέων. Όπως και στην Αυστρία, η εθνική νομοθεσία της Γερμανίας παρέχει ένα υψηλό επίπεδο προστασίας των νερών. Η

μόνη πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί ανακτημένο νερό είναι μέσω περιβαλλοντικών σχεδίων προστασίας (Angelakis et al., 2003)

7.2.4. ΙΤΑΛΙΑ

Η χρήση των μη επεξεργασμένων υγρών απόβλητων ασκείται στην Ιταλία από την αρχή αυτού του αιώνα, ειδικά στα περίχωρα των μικρών πόλεων. Μεταξύ των παλαιότερων περιπτώσεων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση είναι η λήψη νερού από τον ποταμό Vettabia ο οποίος είναι αποδέκτης του μεγαλύτερου μέρους των επεξεργασμένων ή μη αποβλήτων. Εντούτοις, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών αυτή η χρήση έχει μειωθεί πολύ λόγω της κακής ποιότητας του ύδατος, που μολύνεται από τα βιομηχανικά απόβλητα αποχέτευσης που ελευθερώνονται άμεσα στον ποταμό. Καμία ιδιαίτερη ζημία δεν έχει παρατηρηθεί εκτός από μερικές περιπτώσεις όπου η υψηλή συγκέντρωση βορίου έβλαψε ευαίσθητες καλλιέργειες, όπως τα εσπεριδοειδή.

Η πρώτη έρευνα για εγκαταστάσεις επεξεργασίας στην Ιταλία υπολογίζει την επεξεργασμένη εκροή αποβλήτων αποχέτευσης σε 2.400 Mm^3 /έτος χρησιμοποιήσιμου ύδατος (στοιχεία που αντιστοιχούν σε 34 εκατομμύρια κατοίκους που εξυπηρετούνται). Αυτός ο αριθμός δίνει μια εκτίμηση του διαθέσιμου πόρου για την επαναχρησιμοποίηση (www.sciencedirect.com).

Η ιταλική νομοθεσία έχει θέσει τα όρια για την ποιότητα του νερού για την άρδευση ωποροκηπευτικών και βοσκοτόπων για κολοβακτηρίδια σε 2 και 20 ανά 100cm^3 , αντίστοιχα Έτσι κρίνεται απαραίτητο να εξοπλιστούν οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας με συστήματα απολύμανσης ώστε το βακτηριακό φορτίο του νερού να μειωθεί καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου άρδευσης. Επιπλέον, νόμος ορίζει προληπτικά μέτρα ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε υποβάθμιση της ποιότητάς των υδροφόρων οριζόντων . Επίσης έχουν ορισθεί μέγιστες συγκεντρώσεις για τα στοιχεία: As, Cd, Cr, Hg, Ni, Ld, Co, Zn από ένα ψήφισμα της Διυπουργικής Επιτροπής (Interministerial Committee) της Ιταλίας (www.sciencedirect.com).

Ωστόσο τα κριτήρια που εφαρμόζονται για επαναχρησιμοποίηση σε κάποιες περιοχές όπως η Puglia, Emilia Romagna και η Σικελία διαφοροποιούνται από την εθνική νομοθεσία και έχουν τοπικό χαρακτήρα όπως φαίνεται από τον Πίνακα 7.1

Πίνακας 7.1: Εθνικά και τοπικά κριτήρια της Ιταλίας για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην γεωργία

Περιγραφή	Κριτήρια Ποιότητας	
	Μικροβιακή ποιότητα	Φυσικοχημική ποιότητα
Εθνικά κριτήρια Καλλιέργειες που καταναλώνονται ωμές (Απεριόριστη άρδευση) Βοσκότοποι (Περιορισμένη άρδευση)	2 TC/100mL 20 TC/100mL	-
Puglie Απεριόριστη άρδευση Περιορισμένη άρδευση	2 TC/100mL 20 TC/100mL	BOD ₅ : 15mg/L COD: 40mg/L TSS: 10mg/L Υπολειμματικό χλώριο: 0,2 mg/L pH: 6,5-8,5
Emilia Romagna Απεριόριστη άρδευση Περιορισμένη άρδευση	2 TC/100mL 20 TC/100mL	-
Σικελία Περιορισμένη άρδευση Απαγορεύεται η άρδευση καλλιιεργειών που έρχονται σε απευθείας επαφή με τα επεξεργασμένα λύματα	3000 TC/100mL 1000 FC/100mL 1 αυγό νηματοειδών ανά λίτρο Μη ανιχνεύσιμη σαλμονέλα	BOD ₅ : 40mg/L, COD: 160mg/L , TSS: 30mg/L pH: 6,5-8,5

Πηγή: (www.ellinikietairia.gr)

Επιπλέον, προσδιορίζονται μέτρα ελέγχου όπως προειδοποιητικές πινακίδες για την οριοθέτηση περιοχών που αρδεύονται με ανακτημένα λύματα, παρεμβαλλόμενες ζώνες προστασίας ανεξάρτητα από την ποιότητα των ανακτημένων λυμάτων ή την μέθοδο άρδευσης που χρησιμοποιείται. (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004)

7.2.5. ΙΣΠΑΝΙΑ

Η πρόταση σε εθνικό επίπεδο ως προς τα μικροβιολογικά κριτήρια παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.2

Πίνακας 7.2 : Κριτήρια ανακτημένων λυμάτων για αγροτική χρήση στην Ισπανία

Περιγραφή	Παράμετρος
Όλοι οι τύποι άρδευσης Αυγά ελμίνθων	1 ανά λίτρο
Απεριόριστη άρδευση Περιττωματικά κολοβακτηρίδια	10 ανα 100 mL
Περιορισμένη άρδευση Περιττωματικά κολοβακτηρίδια	100 ανά 100 mL
Άρδευση δημητριακών, ζωοτροφών βοσκοτόπων Περιττωματικά κολοβακτηρίδια	500 ανά 100mL

Πηγή: Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004

Στην Ισπανία το πρώτο διάταγμα για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, που συντάχθηκε το 1995, υιοθετούσε μια μέθοδο κοντά στα πρότυπα της Καλιφόρνια. Εντούτοις, αρκετά προγράμματα επαναχρησιμοποίησης σχεδιάστηκαν, αλλά δεν επαρκούσαν για τις ξηρές και ημιάγονες περιοχές της Ισπανίας. Δύο σημαντικές επιχειρήσεις η AGBAR και η Canal de Isabel II, στη Βαρκελώνη και στη Μαδρίτη αντίστοιχα, χρηματοδοτούν δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης, σε συνεργασία με πανεπιστήμια στην κατεύθυνση της ανάκτησης και της επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Στο παρελθόν, και σε μερικές περιοχές μέχρι και σήμερα, τα υγρά απόβλητα χρησιμοποιήθηκαν ακατέργαστα για γεωργική άρδευση. Ευτυχώς, η προοδευτική εφαρμογή της ευρωπαϊκής οδηγίας για τα υγρά απόβλητα μειώνει τη χρήση του ακατέργαστων υγρών απόβλητων με παράλληλη αύξηση του όγκου των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αποχέτευσης .

Παρά την έλλειψη προόδου στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων σε εθνικό επίπεδο, διάφορες πρωτοβουλίες έχουν ληφθεί σε περιφερειακό επίπεδο. Η Ανδαλουσία, η Καταλονία και οι Βαlearίδες Νήσοι έχουν εκδώσει οδηγίες επαναχρησιμοποίησης σύμφωνα με τις οδηγίες του Π.Ο.Υ. και προωθούν την εφαρμογή τους (Angelakis et al.,2003).

7.2.6. ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ

Έως το 1974, η επεξεργασία υγρών αποβλήτων ήταν ουσιαστικά ανύπαρκτη στην Πορτογαλία και μόνο μετά το 1992, υστέρη από πολλές προσπάθειες, ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού των ηπειρωτικών περιοχών εξυπηρετούνταν από συστήματα παροχής πόσιμου νερού, συλλογής και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Σήμερα, η δευτεροβάθμια επεξεργασία χωρίς απολύμανση είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος επεξεργασίας στη Πορτογαλία. Ένα σημαντικό ερευνητικό πρόγραμμα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άρδευση υλοποιήθηκε από το Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) και το Laboratório Químico Agrícola Rebelo DA Silva (LQARS), τα οποία βρίσκονται στη Λισσαβώνα, υπό την αιγίδα του Direcção Geral da Qualidade do Ambiente (DGQA) και της Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica (JNICT). Στόχος του προγράμματος ήταν να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της άρδευσης των διάφορων καλλιεργειών με διαφορετικούς τύπους επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων έναντι της άρδευσης με το πόσιμο νερό με την προσθήκη εμπορικών λιπασμάτων. Επιπλέον, το πρόγραμμα βοήθησε με το να παραχθούν πειραματικά δεδομένα, απαραίτητα για την διατύπωση πορτογαλικών οδηγιών για την επαναχρησιμοποίηση για την άρδευση. Η περιεκτικότητα σε άζωτο των αποβλήτων εμφανίστηκε να είναι επαρκής για να αποφευχθεί η χρήση των εμπορικών λιπασμάτων, καθώς τα ίδια επίπεδα παραγωγής επιτεύχθηκαν και στις τρεις περιπτώσεις (πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα, δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα, και πόσιμο νερό) (www.sciencedirect.com).

Η χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων για την άρδευση μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη γεωργική ανάπτυξη των περιοχών Faro, Beja, Evora, Setubal, της Λισσαβώνας και την περιοχή του Santarem, που αποτελούν περιοχές με χαμηλή βροχόπτωση και μεγάλες περιόδους ξηρασίας ιδίως την καλοκαιρινή περίοδο.

7.3.ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

7.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στις περισσότερες μεσογειακές χώρες, το κύριο πρόβλημα δεν είναι η έλλειψη του νερού, αλλά το υψηλό κόστος διάθεσης του στο σωστό τόπο, στο σωστό χρόνο με την απαραίτητη ποιότητα. Σε αυτές τις χώρες είναι απαραίτητη, περισσότερο από οπουδήποτε αλλού, μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων συμπεριλαμβανομένης της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Κατά συνέπεια, ακολουθώντας μια πολιτική στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, η επαναχρησιμοποίηση αναμένεται να αυξηθεί αισθητά στη λεκάνη της Μεσογείου κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας (Angelakis et al., 1999).

Παρά τα αρκετά κοινά χαρακτηριστικά των χωρών της μεσογείου (κλίμα, υδατικά αποθέματα, κοινωνικοοικονομικές συνθήκες) υπάρχουν και αρκετές διαφορές που είναι σημαντικές για τον καθορισμό των κριτηρίων στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων. Σε αρκετές χώρες η χρήση ανακτημένου νερού υπαγορεύεται από αυστηρά μέτρα διάθεσης ανεξάρτητα από τη χρήση, ενώ σε άλλες τα κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση εξαρτώνται από τις πρακτικές ανάκτησης. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν διαφορετικά σημεία εκκίνησης στην φιλοσοφία της χρήσης ανακτημένου νερού, με αποτέλεσμα την αδυναμία θέσπισης ομοιόμορφων κριτηρίων (Andreadakis et al., 2001)

Σήμερα, σημαντικά προγράμματα αναπτύχθηκαν και αρκετές εγκαταστάσεις ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων έχουν ήδη υλοποιηθεί Τα προγράμματα ακολουθούν τις τοπικές ή εθνικές οδηγίες όπου υπάρχουν όπως, στο Ισραήλ, τη Γαλλία, την Τυνησία ή την Κύπρο . (www.sciencedirect.com)

Οι εφαρμοζόμενες πρακτικές επαναχρησιμοποίησης εκροών αστικών υγρών αποβλήτων σε χώρες της Μεσογείου αναφέρονται συνοπτικά στον Πίνακα 7.3. Μερικές απ' αυτές έχουν ήδη θεσπίσει κριτήρια κυρίως για χρήσεις που αφορούν την άρδευση όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.4 (Αγγελάκης και Παρνυχιανάκης, 2005).

Πίνακας 7.3: Πρακτικές επαναχρησιμοποίησης σε χώρες της Μεσογείου

Χώρες	Αστική χρήση	Απεριόριστη γεωργική και βιομηχανική χρήση	Περιορισμένη γεωργική χρήση	Μη ανακύκλωση
Αλβανία				✓
Αλγερία*	✓			
Βοσνία και Ερζεγοβίνη				✓
Κροατία				✓
Κύπρος		✓	✓	
Αίγυπτος	✓		✓	
Γαλλία	✓	✓	✓	
Ελλάδα	✓		✓	
Ισραήλ	✓	✓	✓	
Ιταλία		✓	✓	
Λίβανος			✓	
Λιβύη			✓	
Μάλτα			✓	
Μονακό				✓
Μαρόκο			✓	
Σλοβενία				✓
Ισπανία	✓	✓	✓	
Συρία			✓	
Τυνησία	✓	✓	✓	
Τουρκία			✓	

- Μόνο για κτηνοτροφικά φυτά, βοσκές και δενδρώδεις καλλιέργειες

Πηγή: Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

Πίνακας 7.4: Θεσμοθέτηση ή μη κριτηρίων σε χώρες της Μεσογείου

Χώρες	Θεσμοθέτηση κριτηρίων	Σχεδιάζεται θεσμοθέτηση κριτηρίων	Δεν υφίστανται κριτήρια
Αλβανία			
Αλγερία ^a		✓	
Βοσνία και Ερζεγοβίνη			
Κροατία			
Κύπρος	✓		
Αίγυπτος		✓	
Γαλλία	✓		
Ελλάδα ^b		✓	
Ισραήλ	✓		
Ιταλία	✓		
Λίβανος		✓	
Λιβύη		✓	
Μάλτα		✓	
Μονακό			✓
Μαρόκο		✓	
Σλοβενία			✓
Ισπανία ^γ	✓		
Συρία		✓	
Τυνησία	✓		
Τουρκία	✓		

^a Προγραμματίζεται εφαρμογή

^b Έχει ανατεθεί μελέτη

^γ Μόνο σε ορισμένες περιφέρειες (Balearic, Andalucia)

Πηγή: Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005

7.3.2. ΚΥΠΡΟΣ

Στην Κύπρο λειτουργούν 25 μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε μεγάλες πόλεις και αστικές περιοχές, καθώς και 175 μικρότερες μονάδες επεξεργασίας εγκατεστημένες σε ξενοδοχεία, στρατιωτικές βάσεις και νοσοκομεία. (www.ewra.net).

Ο όγκος των υγρών αποβλήτων που παράγεται από τις κύριες πόλεις, περίπου ανέρχεται σε 25 Mm³ / yr και προγραμματίζεται να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση μετά από τριτογενή επεξεργασία. Αυτό θα επιστρέψει στην αρδευόμενη γεωργία κατά 8-10%. Τα προσωρινά πρότυπα σχετικά με τη χρήση των επεξεργασμένων αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς στην Κύπρο είναι πιο αυστηρά από τις οδηγίες του Π.Ο.Υ. και λαμβάνουν υπόψη τους συγκεκριμένους όρους της Κύπρου. Αυτά τα κριτήρια ακολουθούνται από έναν κώδικα εφαρμογής ώστε να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης για την άρδευση. Εντούτοις, αυτά τα κριτήρια είναι κατά κάποιο τρόπο εκτός της φιλοσοφίας του κανονισμού της Καλιφόρνια (www.sciencedirect.com).

Ως προς τις απαιτήσεις επεξεργασίας, ο όρος δευτεροβάθμια επεξεργασία στις Κυπριακές οδηγίες αντιπροσωπεύει μια συμβατική βιολογική επεξεργασία με την ευρύτερη έννοια του όρου (βιολογικά φίλτρα, βιοδίσκοι κ.α.). Στην πράξη, οι μόνες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην Κύπρο είναι εκείνες που βασίζονται στην ενεργό ιλύ και τις παραλλαγές της, που σαν στόχο έχουν την παραγωγή μιας καλής ποιότητας εκροή (με BOD₅<20 mg/L, και SS<30 mg/L) η οποία θα μπορεί να απολυμανθεί αποτελεσματικά έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί με τους ελάχιστους περιορισμούς.

Στον Πίνακα 7.5 παρουσιάζονται τα κριτήρια ποιότητας αστικών λυμάτων της Κύπρου για κάθε είδος άρδευσης, ενώ στο Πίνακα 7.6 παρουσιάζονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις μετάλλων στα επεξεργασμένα λύματα που προορίζονται για άρδευση.

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

Πίνακας 7.5 : Κριτήρια της Κύπρου για επαναχρησιμοποίηση για άρδευση.

Είδος άρδευσης	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια / 100 mL	Εντερικοί σκόληκες / L	Απαιτούμενη επεξεργασία
Απεριόριστη άρδευση	A) 10*	10*	5* 15**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία με απολύμανση
Χώροι αναψυχής – ελεύθερης πρόσβασης, Άρδευση καλλιέργειών που τρώγονται μαγειρεμένες ή μετά από επεξεργασία	A) 10* 15**	10* 15**	50* 100**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, αποθήκευση > 7 ημέρες και απολύμανση ή τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση Λίμνες σταθεροποίησης- ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημέρες ή δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση > 30 ημέρες
Περιορισμένη άρδευση, χώροι αναψυχής- περιορισμένης πρόσβασης	A) 20* 30**	30* 45**	200* 1000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση > 7 ημέρες ή τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση
	B) -	-	200* 1000**	Μηδέν	Λίμνες σταθεροποίησης- ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημέρες ή δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση > 30 ημέρες
Καλλιέργειες για ζωοτροφές	A) 20* 30**	30* 45*	1000* 5000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση
	B) -	-	5000*	Μηδέν	Λίμνες σταθεροποίησης- ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημέρες ή δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση > 30 ημέρες
Βιομηχανικές καλλιέργειες	A) 50* 70**	-	3000* 10000*	-	Δευτεροβάθμια και απολύμανση
	B) -	-	3000* 10000**	-	Λίμνες σταθεροποίησης- ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημέρες ή δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποθήκευση > 30 ημέρες

A: Κλασσικές μέθοδοι επεξεργασίας

B: Λίμνες σταθεροποίησης

* Οι συγκεκριμένες τιμές δεν πρέπει να ξεπερνώνται για το 80% των δειγμάτων μηνιαίως

** Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή

^α. Εξαιρούνται φυλλώδη λαχανικά που τρώγονται ωμά

^β. Πατάτες, ζαχαρότευτλα, ομοειδή

Πηγή: (www.elliniki-tairia.gr)

Πίνακας 7.6: Μέγιστες συγκεντρώσεις μετάλλων στα επεξεργασμένα λύματα που προορίζονται για άρδευση στην Κύπρο

Στοιχείο	Συγκέντρωση mg/L
Αργίλιο	5
Αρσενικό	0,1
Βηρύλλιο	0,1
Βόριο	0,75
Κάδμιο	0,01
Χρώμιο	0,1
Κοβάλτιο	0,005
Χαλκός	0,2
Σίδηρος	5,6
Μόλυβδος	5
Λίθιο	2,5
Μαγγάνιο	0,2
Μολυβδαίνιο	0,01
Νικέλιο	0,2
Σελήνιο	0,02
Βανάδιο	0,1
Ψευδάργυρος	2
Υδράργυρος	0,005

Πηγή: Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004

7.3.3. ΙΣΡΑΗΛ

Στη λεκάνη της Μεσογείου, το Ισραήλ προηγήθηκε στην ανάπτυξη των πρακτικών επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, και σύντομα ακολούθησε η Κύπρος, η Ιορδανία και η Τυνησία.. Η κύρια χρήση είναι η απεριόριστη άρδευση.

Το 72% των υγρών αποβλήτων, χρησιμοποιείται για άρδευση (42%) και επαναφόρτιση υπόγειων νερών (30%). Η χρήση των ανακτημένων απόβλητων πρέπει να εγκριθεί από τις τοπικές, περιφερειακές και εθνικές αρχές. Οι εκροές που χρησιμοποιούνται για άρδευση πρέπει να ικανοποιήσουν τα κριτήρια ποιότητας νερού που τίθενται από το Υπουργείο Υγείας.

Στο Ισραήλ υπολογίζεται ότι το 92 % περίπου των υγρών αποβλήτων συλλέγεται σε δημόσια αποχετευτικά δίκτυα. Από αυτά το 72 % ανακτώνται και επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση (42 %) και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

(30 %). Το ποσοστό κατανάλωσης νερού που προέρχεται από επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων αυξάνεται συνεχώς και προβλέπεται το 2010 να φτάσει το 18,8 % του συνολικού εφοδιασμού με νερό στη χώρα (Κατσαβού, 2008).

Γίνεται προσπάθεια όλες οι εκροές επεξεργασμένων αποβλήτων να φτάσουν ένα επίπεδο ποιότητας κατάλληλο για την απεριόριστη άρδευση το οποίο σημαίνει ότι θα χρειαστούν περισσότερες εγκαταστάσεις αποθήκευσης και πιο υψηλά επίπεδα επεξεργασίας στο μέλλον (www.sciencedirect.com).

Πίνακας 7.7 Κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων στο Ισραήλ

Παράμετροι	Είδη καλλιιεργειών			
	Βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, ξηρές ζωοτροφές, δάση	Πράσινες ζωοτροφές, ελιές, φιστικιές, εσπεριδοειδή, μπανανιές, αμυγδαλιές, καρυδιές	Φυλλοβόλα δέντρα ^α , κονσερβοποιημένα λαχανικά, λαχανικά που μαγειρεύονται ή έχουν φλούδα, πράσινες ζώνες, γήπεδα ποδοσφαίρου και γκόλφ	Λαχανικά που τρώγονται ωμά, πάρκα με ελεύθερη είσοδο στο κοινό, γκαζόν
Ποιότητα εκροής				
Ολικό BOD ₅ (mg/L)	60 ^β	45 ^β	35	15
Διαλυμένο BOD ₅ (mg/L)	-	-	20	10
SS (mg/L)	50 ^β	40 ^β	30	15
DO (mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5
Κολοβακτηριοειδή / 100 mL	-	-	250	12 (80%) 2,2 (50%)
Υπολειμματικό Cl ₂ (mg/L)	-	-	0,15	0,5
Απαιτούμενη επεξεργασία				
Διήθηση σε φίλτρο άμμου				απαιτείται
Χλωρίωση (ελάχιστος χρόνος επαφής, min)			60	120
Αποστάσεις ασφαλείας				
Από κατοικημένες περιοχές (m)	300	250	-	-
Από ασφαλτοστρωμένους δρόμους (m)	30	25	-	-

α. Η άρδευση πρέπει να σταματήσει 2 εβδομάδες πριν τη συγκομιδή καρπών, ενώ οι καρποί δεν πρέπει να συλλέγονται από το έδαφος

β. Διαφορετικά όρια θα τεθούν εάν έχουμε επεξεργασία σε δεξαμενές σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής τουλάχιστον 15 ημέρες

Πηγή: Angelakis et al., 1999

7.3.4. ΤΥΝΗΣΙΑ

Το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για περιορισμένη άρδευση στην Τυνησία. Σύμφωνα με την υπάρχουσα νομοθεσία η χρήση των ανεπεξέργαστων λυμάτων απαγορεύεται στην γεωργία καθώς επίσης και η άρδευση με ανακτημένο νερό λαχανικών που τρώγονται ωμά. Σύμφωνα με την νομοθεσία τα λύματα που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να παρουσιάζουν ποιότητα τέτοια ώστε να διαφυλάσσεται η δημόσια υγεία (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004).

Το διάταγμα του 1989 ορίζει ότι η χρήση των ανακτημένων λυμάτων πρέπει να εγκριθεί από τον Υπουργείο Γεωργίας, σε συμφωνία με τον Υπουργείο Περιβάλλοντος και τον Υπουργείο Δημόσιας Υγείας. Νόμος ορίζει τις προφυλάξεις που πρέπει να ληφθούν για να προστατευθεί το περιβάλλον αλλά και η υγεία των αγροτών και των καταναλωτών. Ο έλεγχος της φυσικοχημικής και βιολογικής ποιότητας των ανακτημένων λυμάτων και των αρδευόμενων καλλιεργειών προγραμματίζεται ως εξής : αναλύσεις ενός συνόλου φυσικοχημικών παραμέτρων μία φορά το μήνα, αναλύσεις ιχνοστοιχείων μία φορά κάθε 6 μήνες και αναλύσεις αυγών παρασιτικών σκωλήκων κάθε δύο εβδομάδες σε 24 δείγματα κ.λ.π. (www.sciencedirect.com).

Οι διαδικασίες επεξεργασίας ποικίλλουν ανάλογα με την προέλευση του απόβλητων και τις τοπικές συνθήκες. Τα υγρά απόβλητα από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας La Cherguia, στην Τυνησία, χρησιμοποιούνται από το 1965 για άρδευση 1200 εκτάρων στην περιοχή La Soukra (8 χλμ βορειοανατολικά της Τύνιδας) σώζοντας με αυτόν τον τρόπο τις καλλιέργειες εσπεριδοειδών δεδομένου ότι οι υδροφόροι ορίζοντες ήταν ελλειμματικοί.

Το μεγαλύτερο μέρος των ανακτημένων επεξεργασμένων λυμάτων χρησιμοποιείται για άρδευση αμπελώνων, εσπεριδοειδών, ελαιώνων, ροδάκινων, αχλαδιών και μήλων, καθώς και για τις βιομηχανικές καλλιέργειες (βαμβάκι, καπνός, σακχαρότευτλο, κ.λπ.), τις καλλιέργειες δημητριακών και για το πότισμα γηπέδων γκολφ (www.sciencedirect.com).

7.3.5. ΜΑΡΟΚΟ

Σήμερα στη Μαρόκο λειτουργούν 31 σταθμοί επεξεργασίας λυμάτων και εξυπηρετούν μόνο τους 900.000 από τους 13.400.000 κατοίκους της χώρας. (www.ewra.net). Δυστυχώς 70 Mm³/d επαναχρησιμοποιούνται για σκοπούς άρδευσης, χωρίς όμως να υπόκεινται σε κάποια επεξεργασία και χωρίς να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα ασφάλειας για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας (www.srcosmos.gr).

7.3.6. ΛΙΒΑΝΟΣ

Στο Λίβανο, υπάρχουν 15 σταθμοί επεξεργασίας αστικών λυμάτων με συνολική ημερήσια δυναμικότητα 692.000 m³. Δυστυχώς όμως οι πιο πολλοί από αυτούς δεν λειτουργούν με αποτέλεσμα να παράγονται μόνο 16.000 m³ ανά ημέρα επεξεργασμένα λύματα. (www.srcosmos.gr) Το γεγονός αυτό καθώς και το ότι η διαχείριση των αποβλήτων και των λυμάτων στο Λίβανο δεν αποτελούσε μέχρι πρότινος προτεραιότητα είναι αποτέλεσμα της ασταθούς πολιτικής κατάστασης που επικρατούσε στη χώρα. Μέχρι το 2020 αναμένεται ότι θα έχουν κατασκευαστεί και νέοι κεντρικοί σταθμοί επεξεργασίας και ότι η συνολική ποσότητα επεξεργασμένων λυμάτων που θα παράγεται θα φθάσει το 1 Mm³/d ανά ημέρα. (Κατσαβού, 2008) Σχεδόν όλη η ποσότητα των επεξεργασμένων αλλά και των μη επεξεργασμένων λυμάτων χρησιμοποιείται για άρδευση (www.srcosmos.gr).

7.3.7. ΙΟΡΔΑΝΙΑ

Στην Ιορδανία λειτουργούν 19 μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων οι οποίες βρίσκονται εγκατεστημένες σε μεγάλες πόλεις και εξυπηρετούν και τις γύρω περιοχές και τα επεξεργασμένα λύματα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για σκοπούς άρδευσης (www.ewra.net).

Η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων ρυθμίζεται από την οδηγία JS/893/1995 με τίτλο «Πρότυπες συνθήκες επεξεργασμένων λυμάτων». Η νομοθεσία ορίζει την ποιότητα των επεξεργασμένων εκροών που επιτρέπεται να διατεθούν σε ρέματα ή να

επαναχρησιμοποιηθούν στη γεωργία και καθορίζει ένα ελάχιστο επίπεδο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Γενικά, οι ρυθμίσεις περί ποιότητας που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση ακολουθούν τις γενικές γραμμές οδηγιών του WHO για την ασφαλή χρήση επεξεργασμένων εκροών στην άρδευση (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004).

7.4. ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ

7.4.1. ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΜΕΡΙΚΗΣ (Η.Π.Α.)

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής δεν υπάρχει ενιαία ομοσπονδιακή νομοθεσία που να ρυθμίζει ευθέως την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Ωστόσο αρκετές από τις πολιτείες των ΗΠΑ έχουν θεσπίσει ειδικές νομοθεσίες για επαναχρησιμοποίηση, οι οποίες διαφοροποιούνται σημαντικά, ενώ και η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) έχει εκδώσει συγκεκριμένη οδηγία. Σε μερικές πολιτείες όπως η Αριζόνα, η Καλιφόρνια, η Φλόριντα και το Τέξας το ανακτημένο νερό αντιμετωπίζεται σαν υδατικός πόρος και γι' αυτό έχουν αναπτύξει νομοθεσίες που ενθαρρύνουν την επαναχρησιμοποίηση στα πλαίσια στρατηγικής προστασίας των υδατικών πόρων.

Ωστόσο οι περισσότερες πολιτείες έχουν αναπτύξει νομοθετικά πλαίσια αντιμετωπίζοντας την επαναχρησιμοποίηση απλώς ως μια εναλλακτική λύση διάθεσης των λυμάτων και όχι ως μέρος της συνολικής διαχείρισης των υδατικών πόρων (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η άρδευση αγροτικών εκτάσεων αντιπροσωπεύει το 34-40% της ολικής χρήσης του νερού, ενώ στη Καλιφόρνια και την Αριζόνα το αντίστοιχο ποσοστό κυμαίνεται από 80-85% (Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 2004).

Στην πόλη St. Petersburg της Florida, Η.Π.Α., διανέμονται περίπου 80.000 m³/d ανακυκλωμένου νερού σε περισσότερους από 10.000 καταναλωτές για πότισμα των κήπων, αλλά και για βιομηχανική χρήση. Το Irvine ranch, στην Καλιφόρνια, ένα

προάστιο ουσιαστικά του Los Angeles, το οποίο μέχρι πριν από λίγα χρόνια αποτελούσε μια υποβαθμισμένη ελώδη περιοχή, είναι σήμερα μια σύγχρονη πόλη της οποίας τα 2.000 ha κήπων στις αυλές των σπιτιών και τα 700 ha αγροτικών καλλιεργειών αρδεύονται από ανακυκλωμένα λύματα. Στο Orange country της Καλιφόρνια, στις Η.Π.Α., χρησιμοποιούνται απόβλητα επεξεργασμένα σε ποιότητα πόσιμου ύδατος για την φόρτιση του υπόγειου υδροφορέα που χρησιμοποιείται για ύδρευση, με σκοπό την παρεμπόδιση εισβολής θαλασσίου ύδατος. Μετά από έρευνες διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα του υπογείου ύδατος διατηρήθηκε σταθερή, και σχεδιάζεται η επέκταση της παροχής φόρτισης από 57.000 m³/d που είναι σήμερα σε περίπου 200.000 m³/d. Στο El Paso, στο Τέξας των Η.Π.Α. επεξεργασμένα λύματα χρησιμοποιούνται από το 1985 για τον εμπλουτισμό του υδροφορέα στο Hueco Bolson, που χρησιμοποιείται για την ύδρευση της πόλης, με ρυθμό εμπλουτισμού 38.000 m³/d. Ο μέσος χρόνος κατακράτησης του ύδατος στον υδροφορέα είναι δύο έτη, και μέχρι στιγμής δεν έχουν διαγνωστεί αρνητικά αποτελέσματα στην υγεία του πληθυσμού που καταναλώνει το νερό. Το σύνολο σχεδόν των υγρών αποβλήτων της πόλης Phoenix, στο New Mexico των Η.Π.Α., που ανέρχεται σε περίπου 250.000 m³/d χρησιμοποιείται ως νερό ψύξης από τον πυρηνικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του Palo Verde, που βρίσκεται 55 km δυτικά της πόλης (www.ellinikietairia.gr).

Αναφέρεται ότι στην Καλιφόρνια τα επαναχρησιμοποιούμενα λύματα (περίπου 1 Mm³/d, ή το 10% περίπου της συνολικής ποσότητας των αστικών λυμάτων) χρησιμοποιούνται κατά 63% για άρδευση καλλιεργειών, 16% για πότισμα γηπέδων γκόλφ και τη δημιουργία τεχνητών λιμνών, 14% για εμπλουτισμό υπόγειων υδάτων και 7% για άλλους σκοπούς, όπως η χρήση νερού για τη βιομηχανία (2%) (Φραντζής κ.α., 2006).

7.4.2. ΙΑΠΩΝΙΑ

Στην Ιαπωνία σε αντίθεση με άλλες χώρες που βρίσκονται σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων είναι για αναβάθμιση του περιβάλλοντος, καθαρισμό τουαλετών,

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

βιομηχανική χρήση και παραγωγή χιονιού. Στον πίνακα 7.8 παρουσιάζονται οι ποσότητες επαναχρησιμοποιούμενων λυμάτων ανά χρήση.

Πίνακας 7.8: Κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων στην Ιαπωνία

Κατηγορία	Ποσότητα ($\times 10^6$ m^3/yr)	Ποσοστό (%)
Καθαρισμός WC:	76,8	29,8
(a) Σε μεγάλη κλίμακα	5,8	
(b) Τοπικά	71,0	
Αναψυχή	114,6	44,5
Παραγωγή χιονιού	29,3	11,4
Φύτευση δένδρων	0,2	0,1
Νερό καθαρισμού	0,4	0,2
Άρδευση γεωργικών καλλιεργειών	12,9	5,0
Βιομηχανική χρήση	23,3	9,0
Συνολική	257,5	100,0

Πηγή: Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005

7.4.3. ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ

Η Υπηρεσία EPA στη Πολιτεία New South Wales έχει την ευθύνη για τη ρύθμιση της επεξεργασίας και διάθεσης των εκροών υγρών αποβλήτων και έχει θεσπίσει από το 1984 ένα συμβούλιο για την ανάπτυξη οδηγιών και προώθηση της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Εκτιμήσεις δείχνουν ότι στην περιοχή του Σίντνεϊ υφίστανται επεξεργασία περίπου $1,3 \text{ Mm}^3/\text{d}$ από τα οποία $0,031 \text{ Mm}^3/\text{d}$ επαναχρησιμοποιούνται. Οι αντίστοιχες

ποσότητες στην Μελβούρνη είναι $0,8 \text{ Mm}^3/\text{d}$ και $0,017 \text{ Mm}^3/\text{d}$. Τόσο στην περιοχή του Σίντνεϊ όσο και στην Μελβούρνη παρατηρούνται αυξητικές τάσεις επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005)

7.5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Γενικά η διαχείριση των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα, όπως και στα υπόλοιπα κράτη-μέλη της Ε.Ε. διέπεται από την οδηγία 91/271/EEC Με την αριθ. 5673/400/14.3.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση, η επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα εναρμονίζεται πλήρως μ' αυτή της Ε.Ε. (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

Στην Ελλάδα το νομοθετικό πλαίσιο των υδατικών πόρων χαρακτηρίζεται από πολυνομία, αντιφατικότητα και έλλειψη εκσυγχρονισμού. Ο Ν. 1739/87, αποτελούσε το βασικότερο νομοθέτημα που έχει εκδοθεί στον τομέα διαχείρισης των υδατικών πόρων. Πρόσφατα, ο τελευταίος Ν.3199/03, επιχειρεί εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας υδατικών πόρων με την οδηγία 60/2000/EC, χωρίς όμως να αναφέρεται σε αντικείμενα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Έτσι, το νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων και την προστασία των οικοσυστημάτων, που εξαρτάται από αυτούς στην ΕΕ διέπεται από αυτή την οδηγία (Αγγελάκης και Παρανυχιανάκης, 2005).

Οι βασικές χρήσεις που έχουν ενδιαφέρον για την ελληνική πραγματικότητα είναι η άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου (πρανών δρόμων, πάρκων κ.ά.) και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων για την προστασία τους κυρίως από την υφαλμύρωση. Για κάθε κατηγορία όμως, θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ποσοτικοποιοτικά κριτήρια καθώς, επίσης και κάθε ιδιαίτερη θεώρηση σε περιπτώσεις που μια παραδοσιακή υδατική πηγή, αντικαθίσταται με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Όπως είναι φυσικό, ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται σε χρήσεις που συνεπάγονται αυξημένη επαφή με τον άνθρωπο. Έτσι, τα αναγκαία κριτήρια ποιότητας θα πρέπει να διαφοροποιούνται όχι μόνο μεταξύ των διαφόρων

κατηγοριών επαναχρησιμοποίησης, αλλά ακόμη και στην ίδια κατηγορία ανάλογα με τις επιμέρους χρήσεις (όπως είναι η άρδευση εδώδιμων και βιομηχανικών φυτικών ειδών).

Για την ανάπτυξη κατάλληλων κριτηρίων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες (Andreadakis et al., 2001):

1) Η Ελλάδα ανήκει στην ομάδα των αναπτυγμένων χωρών, αν και όχι τόσο οικονομικά ανεπτυγμένη όσο άλλες χώρες, που έχει τη δυνατότητα και αναμένεται να διανείμει σημαντικούς πόρους για την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος

2) Ως μέλος της Ε.Ε. θα πρέπει να σκεφτεί την εναρμόνιση των κριτηρίων που θα θεσπίσει με ενδεχόμενες κοινοτικές νομοθεσίες για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων

3) Τα τελευταία 10-15 χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα πολλά έργα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Περίπου το 60 % του πληθυσμού της χώρας εξυπηρετείται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ενώ στο προσεχές μέλλον το ποσοστό αυτό αναμένεται να φτάσει το 80-85 %. Με βάση την υπάρχουσα κατάσταση η απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση αποτελεί ήδη μια βιώσιμη λύση συμβατή ακόμη και με αυστηρά πρότυπα. Η απεριόριστη χρήση ανακτημένου νερού μπορεί να επιτευχθεί με λογικό κόστος αν αναβαθμιστούν οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις

4) Αν και η χρήση ανακτημένου νερού είναι ζωτικής σημασίας σε μερικές περιοχές, σε πολλές χώρες τις νοτιοανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής δεν ισχύει το ίδιο εξαιτίας της ύπαρξης εναλλακτικών οικονομικών πηγών νερού. Η χρήση ανακτημένου νερού αποτελεί μια ελκυστική οικολογική λύση που μπορεί να γίνει βιώσιμη εφόσον παράγεται υψηλής ποιότητας νερό με λογικό κόστος και μηδενικούς κινδύνους για την δημοσία υγεία

5) Οι διαφορές ανάμεσα στις γεωργικές πρακτικές και τις θεσμικές διατάξεις συχνά δεν ευνοούν τη διάκριση μεταξύ απεριόριστης και περιορισμένης χρήσης. Έτσι το ανακτημένο νερό θα πρέπει να είναι εξαιρετικά επεξεργασμένο και κατάλληλο για ανεξέλεγκτη μη πόσιμη χρήση

6) Αν και η χρήση του ανακτημένου νερού για άρδευση αποτελεί την κύρια εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης, η αστική χρήση αποτελεί μια εξίσου δυναμική εφαρμογή

7) Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για βιομηχανική χρήση δεν αναμένεται να είναι σημαντική στο προσεχές μέλλον

8) Η επαναχρησιμοποίηση για άμεση πόση δεν θα πρέπει να ενθαρρυνθεί εξαιτίας της σχετικής διαθεσιμότητας σε αποθέματα πόσιμου νερού, του υπερβολικού κόστους επεξεργασίας και της αβεβαιότητας ως προς τους κινδύνους που ελλοχεύουν για την δημόσια υγεία

9) Η επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων για την παρεμπόδιση της παρείσφρησης του αλμυρού νερού στα υπόγεια παράκτια ύδατα αποτελεί άλλη μια ενδιαφέρουσα χρήση

Η πιο πιθανή λειτουργική χρήση του ανακτημένου νερού είναι η εποχιακή άρδευση. Η αποθήκευση του νερού μπορεί να γίνει επιφανειακά ή υπόγεια αλλά μέχρι τώρα έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί δαπανηρή επιλογή

Στην Ελλάδα έχει πραγματοποιηθεί προκαταρκτική μελέτη για ανάπτυξη και εφαρμογή κριτηρίων ποιότητας. Αυτά τα κριτήρια συνοψίζονται στον Πίνακα 7.9

Πίνακας 7.9: Προτεινόμενα μικροβιολογικά και φυσικά κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων εκροών στην Ελλάδα

No	Κριτήρια ποιότητας νερού	Προτεινόμενες χρήσεις
1 ^η	I.N. ≤ 0.1 eggs /L FC ≤ 10 /100 mL TSS ≤ 10 mg /L	1. Αστικές περιοχές με μεγάλη πρόσβαση του κοινού 2. Σε καζανάκια τουαλέτας και κλιματισμό 3. Πλύση αυτοκινήτων 4. Απεριόριστη άρδευση
2 ^η	I.N. ≤ 1 eggs /L FC ≤ 30 /100 mL TSS ≤ 20 mg /L	1. Τεχνητές λίμνες, υδατικά σώματα, και ρυάκια με υψηλή πρόσβαση του κοινού 2. Σιντριβάνια, τεχνητές πηγές και άλλοι χώροι αναψυχής 3. Καθαρισμός δρόμων και άρδευση καλλιεργειών, που τα φυτικά τους μέρη καταναλώνονται νωπά (που όμως δεν έρχονται σε επαφή με το αρδευτικό νερό)
3 ^η	I.N. 1 eggs /L FC ≤ 100 /100 mL TSS ≤ 35 mg /L	1. Άρδευση σανοδοτικών φυτών, φυτών που προορίζονται για κονσερβοποίηση και λαχανικών που καταναλώνονται μαγειρεμένα, φυτώρια και άλλα, 2. Υδατοκαλλιέργειες

4 ^η	I.N. \leq 1 eggs /L FC \leq 10.000 /100 mL TSS \leq 35 mg /L	1. Άρδευση δασικών εκτάσεων, βιομηχανικές περιοχές και ζώνες πρασίνου όπου δεν επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού 2. Βιομηχανική χρήση (εκτός βιομηχανίες τροφίμων) 3. Τεχνητές λίμνες, σώματα νερού και ρέματα όπου δεν επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού
5 ^η	I.N. \leq 1 eggs /L FC \leq 100 /100 mL TSS \leq 10 mg/ L	Εμπλουτισμός υδροφορέων με απευθείας έκχυση και /ή επιφανειακή εφαρμογή

Πηγή: Tsagarakis et al., 2004

Σήμερα, αρκετά ερευνητικά και πιλοτικά προγράμματα που εξετάζουν την ανάκτηση και την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων είναι (www.sciencedirect.com) :

- Στην ανατολική Κρήτη, δύο προγράμματα βασισμένα στην επεξεργασία με τεχνητά συστήματα υδροβιότοπων και την επαναχρησιμοποίηση για άρδευση αμπελώνων έχουν χρηματοδοτηθεί από το κρατικό πρόγραμμα "Δήμητρα" και τα INCO DC προγράμματα της Ε.Ε, αντίστοιχα. Και τα δύο αυτά προγράμματα είναι υπό την καθοδήγηση του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε και οι κύριοι στόχοι είναι η έρευνα για :
 - τα εγχώρια είδη φυτών
 - την επεξεργασία των απόβλητων των μονάδων ελαιοτριβείων
 - την μελέτη της ανάπτυξης αμπελοκαλλιιεργειών που αρδεύονται με ανακτημένο νερό .
- Μια μελέτη των φυσικών συστημάτων για την ανάκτηση και την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς έχει πραγματοποιηθεί επίσης στη Θεσσαλονίκη, υπό την καθοδήγηση του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου είναι 1,9 εκατομμύρια ευρώ και χρηματοδοτείται μερικώς από την ΕΕ στο πλαίσιο του Προγράμματος για την Έρευνα και την Ανάπτυξη του Β' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης. Βασικοί στόχοι του προγράμματος είναι:
 - την απόδοση των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας, ειδικά τις λίμνες σταθεροποίησης και τους τεχνητούς υγρότοπους ,

- να μελετήσει τις προοπτικές επαναχρησιμοποίησης για αρδευτικούς σκοπούς

Εκτός από τα παραπάνω, δρομολογήθηκαν και πιλοτικά έργα που αφορούν την ανάκτηση και την επαναχρησιμοποίηση εκ των οποίων τα σημαντικότερα είναι: (www.sciencedirect.com)

- Ένα πιλοτικό πρόγραμμα στην Κρήτη με κύριο στόχο την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων σε μικρές πόλεις και χωριά, καθώς οι παραδοσιακές μέθοδοι επεξεργασίας δεν έχουν πετύχει λόγω των υψηλών δαπανών τόσο της κατασκευής όσο και της λειτουργίας και της συντήρησης, καθώς επίσης και στο ιδιαίτερα ειδικευμένο προσωπικό που απαιτείται για την επίβλεψή τους. Τα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας είναι μεγάλης σπουδαιότητας για τις μακροπρόθεσμες στρατηγικές, για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων στη χώρα. .
- Ένα πρόγραμμα στην Χαλκίδα το οποίο χρηματοδοτείται από το ΥΠΕΧΩΔΕ και περιλαμβάνει:
 - Αποκατάσταση μέσω διήθησης και απολύμανσης εκροών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περίπου 7.500 m³/d
 - άρδευση περιαστικών περιοχών
 - χρήση του ανακτημένου νερού σε περιοχές αναδάσωσης.
- Ένα πρόγραμμα στο Άργος και στο Ναύπλιο το οποίο επίσης χρηματοδοτείται από το ΥΠΕΧΩΔΕ και περιλαμβάνει την αποκατάσταση 7.500 m³/d λυμάτων με διήθηση και απολύμανση εκροών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας και την άρδευση περίπου 900 ha καλλιεργειών
- Στον Άγιο Νικόλαο Κρήτης, έργο συνολικού προϋπολογισμού 3,22 εκατομμυρίων ευρώ και περιλαμβάνει την ανάκτηση 8.000 m³/d λυμάτων μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία, διήθηση και απολύμανση, την ανάμειξη ανακτημένου νερού με υφάλμυρο νερό καθώς και και την άρδευση 120 ha ελαιόδεντρων.

Τέλος, στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας, όπου βρίσκεται εγκατεστημένη η μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του λεκανοπεδίου

Αθηνών, ανακυκλώνονται περίπου 30.000 m³/d αποβλήτων, μετά από επεξεργασία. Τα 2/3 του ανακυκλωμένου ύδατος χρησιμοποιείται ως νερό ψύξης των συμπιεστών αέρα και ως νερό παρασκευής διαλυμάτων πολυηλεκτρολυτών, ενώ το υπολειπόμενο 1/3 απολυμαίνεται με εφαρμογή ακτινοβολίας UV, και χρησιμοποιείται για άρδευση του πρασίνου και για την πλύση διαφόρων εξαρτημάτων (www.ellinikietairia.gr)

Στην Ελλάδα η βιολογική επεξεργασία των λυμάτων είναι ούτως ή άλλως υποχρεωτική, ως απόρροια συμμόρφωσης με την Οδηγία 91/271 . Κατά συνέπεια η ελάχιστη επεξεργασία και για την περίπτωση της περιορισμένης άρδευσης είναι η δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με επαρκή απολύμανση των εκροών ώστε να μην παραβιάζεται στην εκροή η συγκέντρωση των 200 FC/ 100 mL ως διάμεση τιμή (Πίνακας 7.10)

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της απεριόριστης άρδευσης και της επαναχρησιμοποίησης για άλλους σκοπούς (αστική, βιομηχανική, χώροι αναψυχής, εμπλουτισμός υδροφορέων). Από έρευνες διαπιστώθηκε ότι η εξασφάλιση των ορίων που προτείνονται για τις περιπτώσεις αυτές δεν επαρκεί η απολύμανση των δευτεροβάθμιων εκροών, όσο έντονη και αν είναι αυτή. Ο κύριος λόγος αδυναμίας επίτευξης των ορίων είναι η παρουσία αιωρούμενων στερεών στα βιολογικά επεξεργασμένων λύματα, τα οποία μειώνουν την αποτελεσματικότητα των μεθόδων απολύμανσης. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητη η εφαρμογή πρόσθετης βαθμίδας επεξεργασίας των δευτεροβάθμιων εκροών (τριτοβάθμια επεξεργασία) η οποία στην ουσία συνίσταται στην υιοθέτηση των μεθόδων καθαρισμού του φυσικού νερού (www.hydro.ntua.gr)

Πίνακας 7.10 : Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ελλάδα.

	Περιττωματικά κολλοβακτηρίδια (FC/100 ml)	BOD₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
<p>-Περιορισμένη άρδευση <i>Δάση και περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων, με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωση τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται</i></p> <p>-Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση <i>Νερό ψύξης μιας χρήσης</i></p>	200 <i>διάμεση τιμή</i>	25 <i>για το 80% των δειγμάτων</i>	35 <i>για το 80% των δειγμάτων</i>	—	<ul style="list-style-type: none"> • Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία • Απολύμανση
<p>Απεριόριστη άρδευση <i>Όλες οι καλλιέργειες όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού</i></p>	5 <i>για το 80% των δειγμάτων</i>	10 <i>για το 80% των δειγμάτων</i>	10 <i>για το 80% των δειγμάτων</i>	2 <i>διάμεση τιμή</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία • Τριτοβάθμια επεξεργασία • Απολύμανση

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

<p>-Αστική χρήση Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαγιών, συμπίκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά σιντριβάνια, νερό για καθαρισμό τουαλέτας.</p> <p>-Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα που δεν χρησιμοποιείται για ύδρευση</p>	<p>5 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>2 διάμεση τιμή</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία • Τριτοβάθμια επεξεργασία • Απολύμανση
---	--	---	---	----------------------------------	--

Πηγή: Ανδρεαδάκης κ.α., 2003

Β' ΜΕΡΟΣ

8. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες από τις εκροές τεσσάρων μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της Θεσσαλίας (Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου) με σκοπό την διερεύνηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς. Η συλλογή των δειγμάτων επαναλήφθηκε σε τρεις εποχές του χρόνου, πιο συγκεκριμένα, στις 8 Ιουλίου, στις 22 Οκτωβρίου και στις 5 Φεβρουαρίου. Σημειώνεται ότι το χειμώνα δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από τη μονάδα επεξεργασίας του Βόλου λόγω εργασιών επέκτασης.

8.1. ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στη συνέχεια ακολουθεί σύντομη περιγραφή των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που εξετάστηκαν

8.1.1. ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΛΟΥ

Η Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του Βόλου, η οποία λειτουργεί από το 1988 και βρίσκεται στη περιοχή Μπουρμπουλήθρα στο νοτιοδυτικό άκρο της πόλης, έχει σχεδιαστεί για την εξυπηρέτηση της ευρύτερης περιοχής του πολεοδομικού συγκροτήματος του Βόλου, της Ν. Ιωνίας, της περιοχής των Αλυκών και του Δ.Δ. Διμηνίου του Δ.Αισωνίας, συνολικού πληθυσμού 115.000 κατοίκων. Επίσης έχει σχεδιαστεί για να δέχεται βιομηχανικά απόβλητα από τις Α' και Β' ΒΙΠΕ Βόλου που αντιστοιχούν σε φορτίο περίπου 20.000 ισοδύναμων κατοίκων. Τέλος καταλαμβάνει έκταση 50 περίπου στρεμμάτων. (Αργυρούλη, 2005)

Η μέθοδος επεξεργασίας είναι δευτεροβάθμια με το σύστημα της ενεργού ιλύος με πλήρη σταθεροποίηση της ιλύος, βιολογική απομάκρυνση αζώτου και βιολογική-χημική απομάκρυνση φωσφόρου, απολύμανση των επεξεργασμένων λυμάτων με χλωρίωση και επεξεργασία ιλύος με μηχανική πάχυνση και αφυδάτωση. (Αργυρούλη, 2005)

Σήμερα, πραγματοποιείται επέκταση της μονάδας ώστε να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες διαχείρισης αστικών αποβλήτων των Δήμων Πορταριάς, Φερών, Ιωλκού και της Κοινότητας Μακρινίτσας. Παράλληλα μέσω της επέκτασης θα υπάρξει και απόσμιση ώστε να ανακουφιστεί η συνοικία Αϊβαλιώτικα από τη δυσοσμία που κατά καιρούς είναι έντονη και έχει προκαλέσει έντονη δυσφορία στην περιοχή.

Μέχρι τώρα η μονάδα διαθέτει εγκαταστάσεις για την εξυπηρέτηση 130.000 κατοίκων, όριο που θα αυξηθεί στις 170.000 κατοίκους ενώ από τις 32.000 m³ λυμάτων, θα φτάσει τις 40.000 m³ με αντοχή και για 48.000 m³ σε ακραία καιρικά φαινόμενα. (www.magnesiaonline.gr)

8.1.2. ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Η Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της Καρδίτσας λειτουργεί από το 1989, βρίσκεται στα ανατολικά της πόλης, βόρεια της συμβολής των ποταμών Καλετζή και Καράμπαλη και καλύπτει έκταση περίπου 37 στρεμμάτων. (Αργυρούλη, 2005).

Είναι σχεδιασμένη για εξυπηρέτηση 36.000 κατοίκων και για μέγιστη ωριαία παροχή 740 m³, προσδοκείται όμως ότι στο εγγύς μέλλον θα επεκταθεί προκειμένου να εξυπηρετεί έως 45.000 κατ. και να έχει δυνατότητα αντιμετώπισης αιχμής μέχρι 3.000 m³/h, δεδομένου ότι από έτους 1995 διαπιστώθηκαν ωριαίες υδραυλικές φορτίσεις έως 2.500 m³ λόγω ολοκλήρωσεως και επεκτάσεως του δικτύου αποχέτευσης και αντίστοιχης αύξησης των υπογείων εισροών σε αυτό (www.waterinfo.gr).

Το σύστημα επεξεργασίας των λυμάτων περιλαμβάνει μηχανική προεπεξεργασία, βιολογική επεξεργασία με σύστημα ενεργού ιλύος- παρατεταμένου αερισμού και απολύμανση με υποχλωριώδες νάτριο. Η εγκατάσταση καλύπτει περίπου 37 στρέμματα (Αργυρούλη, 2005).

8.1.3. ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΛΑΡΙΣΑΣ

Η Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της Λάρισας βρίσκεται βόρεια της πόλης της Λάρισας στην περιοχή Νέα Σμύρνη και λειτουργεί από το 1989. Το έργο

αυτό στην πρώτη φάση, δυναμικότητας 115.000 ισοδύναμων κατοίκων είχε σαν στόχο την εξυπηρέτηση των αναγκών της πόλης μέχρι το 2005. (Γελατζής, 2008).

Από το 2006 άρχισε να λειτουργεί η δεύτερη φάση του έργου με σκοπό την εξυπηρέτηση 210.000 ισοδύναμων κατοίκων με χρονικό ορίζοντα το 2030.

Η μέθοδος επεξεργασίας είναι δευτεροβάθμια με το σύστημα ενεργού ιλύος με βιολογική απομάκρυνση αζώτου με νιτροποίηση και απονιτροποίηση, απολύμανση με χλωρίωση και αναερόβια σταθεροποίηση της ιλύος (Αργυρούλη, 2005).

Ο χώρος των εγκαταστάσεων είναι συνολικά 115 στρέμματα και περιβάλλεται από αντιπλημμυρικό ανάχωμα (Γελατζής, 2008).

8.1.4. ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΥΡΝΑΒΟΥ

Η Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του Τυρνάβου βρίσκεται σε αγροτική περιοχή 700 μέτρα ανατολικά του Τυρνάβου και πλησίον του ποταμού Τιταρήσιου, ο οποίος είναι και ο αποδέκτης των επεξεργασμένων υδάτων. Άρχισε να λειτουργεί το 1995 και έχει σχεδιαστεί για την εξυπηρέτηση 18.000 ισοδύναμων κατοίκων. (Αργυρούλη, 2005)

Η μέθοδος επεξεργασίας είναι δευτεροβάθμια με το σύστημα της ενεργού ιλύος με παρατεταμένο αερισμό και παράλληλη νιτροποίηση-απονιτροποίηση για την απομάκρυνση του αζώτου, μηχανική αφυδάτωση της ιλύος, διήθηση σε φίλτρο άμμου και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV).

8.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ

Με σκοπό την διερεύνηση της καταλληλότητας των συγκεκριμένων επεξεργασμένων εκροών για άρδευση και πιο συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό της τοξικότητας τους, πραγματοποιήθηκε το πείραμα της ακινητοποίησης της *Daphnia magna* (Daphtoxkit) και το πείραμα μέτρησης αναστολής της ανάπτυξης ανώτερων φυτών (Phytotoxkit microbiotest).

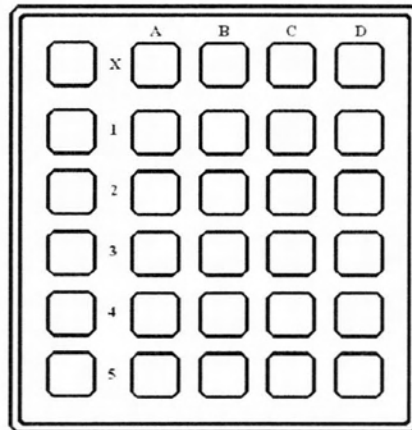
8.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗΣ DAPHNIA MAGNA

Όσον αφορά το πείραμα ακινητοποίησης της *Daphnia magna*, χρησιμοποιούνται αυγά σε απενεργοποιημένη μορφή (ephippia) της *Daphnia magna*. Η *Daphnia magna* είναι καρκινοειδές, είδος ζωοπλαγκτού, πολυκύτταρος οργανισμός και για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιούμε μόνο νεογνά (< 24 h) (Νασοπούλου, 2006). Τα αυγά τοποθετούνται, αφού πρώτα έχουν ξεπλυθεί με καθαρό νερό (νερό – μάρτυρα) και με τη βοήθεια ενός μικροκοσκίνου ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος του αποθηκευτικού μέσου, σε πετρί που περιέχει 50 mL πρότυπου μέσου καλλιέργειας και υπό κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας (20°C – 22°C) και φωτισμού (6000 lux) για 3 ημέρες. (www.biohidrica.cl) Στην συνέχεια, αφού έχουν εκκολαφθεί, τα νεογνά μεταφέρονται με τη βοήθεια ενός μικροσιφωνίου σε ειδικές πλακέτες όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.1. Κάθε πλακέτα αποτελείται 6 σειρές των 5 κυψελίδων. Σε κάθε σειρά η πρώτη κυψελίδα από αριστερά χρησιμοποιείται ως «κυψελίδα μεταφοράς», ώστε να αποφευχθεί η αραίωση των δειγμάτων με το πρότυπο μέσο καλλιέργειας κατά τη μεταφορά των νεογνών. Στη πρώτη σειρά κυψελίδων (σειρά «X»), η κάθε κυψελίδα γεμίζεται με 10 mL πρότυπου μέσου καλλιέργειας και θα αποτελεί το δείγμα ελέγχου ή «μάρτυρα» του πειράματος. Οι υπόλοιπες σειρές κυψελίδων γεμίζονται αντίστοιχα με 10 mL λύματος ανά κυψελίδα, από κάθε δείγμα. Έπειτα αφού έχουν μεταφερθεί νεογνά στις «κυψελίδες μεταφοράς», τοποθετούνται σε κάθε μια κυψελίδα 5 νεογνά, με ιδιαίτερη προσοχή, να μην «εγκλωβιστούν» στην επιφάνεια του υγρού λόγω φαινομένων επιφανειακής τάσης, γεγονός που θα επηρεάσει το αποτέλεσμα του πειράματος, καθώς τα επιπλέοντα νεογνά συνήθως πεθαίνουν/ακινητοποιούνται. Στην συνέχεια, αφού σκεπασθεί η πλακέτα με πλαστική μεμβράνη (parafilm), τοποθετείται

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

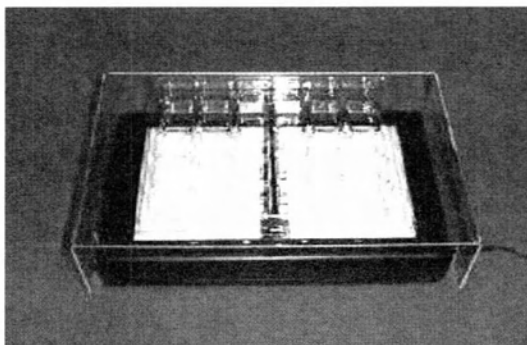
στο θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας (Incubator) στους 20° C, απουσία φωτός (www.biohidrica.cl).

Εικόνα 8.1: Η ειδική διάφανη πλακέτα με τις κυψελίδες



Τέλος αφού περάσουν 24 ώρες, μπορεί να υπολογιστεί η τοξικότητα των λυμάτων, βάσει της θνησιμότητας/ακίνητοποίησης των νεογνών που εκτέθηκαν στα δείγματα επεξεργασμένου απόβλητου συγκρινόμενη με αυτή του «μάρτυρα». Το πείραμα είναι έγκυρο, όταν το ποσοστό θνησιμότητας στο δείγμα ελέγχου δεν ξεπερνά το 10% (Νασοπούλου, 2006). Για τη παρατήρηση των νεογνών που ακίνητοποιήθηκαν, χρησιμοποιείται μια πηγή φωτός και σε απόσταση 3cm μία διάφανη βάση, πάνω στην οποία τοποθετείται η ειδική πλακέτα όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.2 Ακίνητοποιημένα νεογνά θεωρούνται αυτά τα οποία, έπειτα από προσεκτική αναταραχή του υγρού κάθε κυψελίδας για 15 δευτερόλεπτα, δεν κινούνται (www.biohidrica.cl).

Εικόνα 8.2: Τοποθέτηση της ειδικής πλακέτας πάνω στη πηγή φωτός



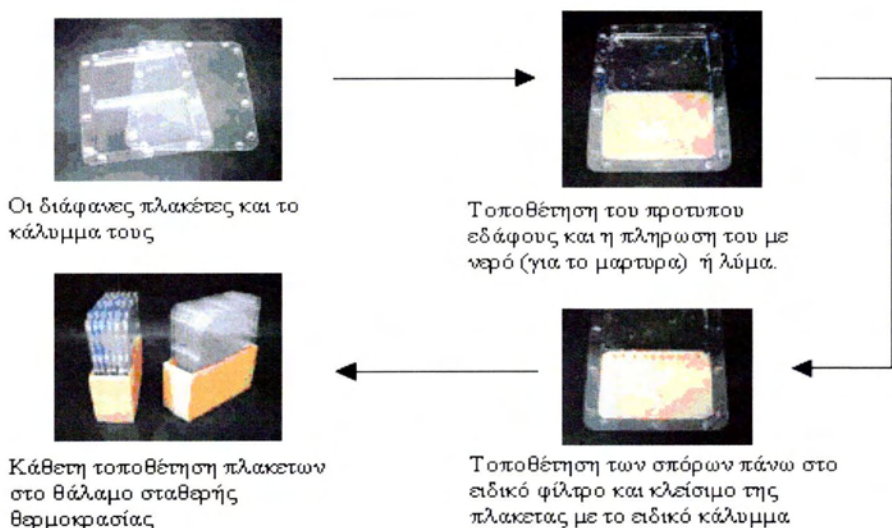
8.2.2. ΠΕΙΡΑΜΑ PHYTOTOXKIT MICROBIOTEST

Όσον αφορά το Phytotoxkit microbiotest, διεξήχθη ώστε να υπολογιστεί η μείωση (ή και η απουσία) της ανάπτυξης των ριζών και των βλαστών ανώτερων φυτών (monocotyl sorgo, dicotyl garden cress, monocotyl mustard) ύστερα από έκθεση μερικών ημερών στα συγκεκριμένα δείγματα επεξεργασμένων λυμάτων.

Για την διεξαγωγή του πειράματος, χρησιμοποιούνται ρηχές διάφανες πλακέτες, οι οποίες χωρίζονται σε δυο ίσα μέρη. Το κάτω μέρος γεμίζεται με 90 mL πρότυπου εδάφους, ποτίζεται με 30 mL νερό μάρτυρα ή με 30 mL επεξεργασμένου λύματος ώστε να επιτευχθεί 100% κορεσμός και με τη βοήθεια μιας σπάτουλας απλώνεται όσο το δυνατόν ομοιόμορφα ώστε να δημιουργηθεί επίπεδη επιφάνεια. Στη συνέχεια τοποθετείται πάνω στο κορεσμένο με νερό έδαφος ένα ειδικό φίλτρο, και πάνω από αυτό 10 σπόροι από το φυτό. Τέλος η πλακέτα καλύπτεται με το διάφανο κάλυμμα. Για κάθε δείγμα και για το μάρτυρα χρησιμοποιούνται 3 είδη σπόρων, και για κάθε είδος σπόρου γίνεται επανάληψη 3 φορές. Οι πλακέτες τοποθετούνται στο θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας καθώς, για 3 μέρες στους 25 °C, απουσία φωτός (www.biohidrica.cl).

Η διαδικασία περιγράφεται διαγραμματικά στην Εικόνα 8.3.

Εικόνα 8.3 : Διαδικασία προετοιμασίας του πειράματος Phytotoxkit Microbiotest



Έπειτα ακολουθεί η λήψη ψηφιακών φωτογραφιών κάθε πλακέτας από σταθερή απόσταση και με τη βοήθεια του προγράμματος «Image Tool» υπολογίζεται η επί τοις εκατό αναστολή ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας των φυτών, βάσει του «μάρτυρα».

8.3. ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στα δείγματα που συλλέχθηκαν πραγματοποιήθηκαν και χημικές αναλύσεις και πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του BOD₅, COD, της αγωγιμότητας και του pH.

8.3.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ BOD₅ (BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND)

Στο συγκεκριμένο πείραμα πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του BOD₅ και για τα 4 δείγματα επεξεργασμένων αποβλήτων, ώστε να μετρηθεί η συνολική ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς κατά τις πέντε πρώτες μέρες για την οξείδωση των οργανικών συστατικών που περιέχονται στα δείγματα σε αερόβιες συνθήκες.

Για τη μέτρηση του BOD₅ ακολουθείται η εξής διαδικασία σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης του αισθητήρα μέτρησης του BOD. Αρχικά γεμίζουμε μια καθαρή φιάλη χωρητικότητας 428 mL με 360 mL δείγματος επεξεργασμένου αποβλήτου καθώς έχουμε επιλέξει εύρος μέτρησης BOD 0-80 mg/L. Στη συνέχεια προσθέτουμε 10 σταγόνες υγρού αναστολέα αζωτοποίησης (nitrification inhibitor) και τοποθετούμε στη φιάλη μια μαγνητική ράβδο ανάδευσης. Έπειτα στερεώνουμε στο στόμιο της φιάλης ένα ειδικό πλαστικό πώμα με υποδοχή στην οποία τοποθετούμε 2 σταγόνες διαλύματος περιεκτικότητας 45% υδροξειδίου του καλίου. Τέλος τοποθετούμε τον αισθητήρα στη φιάλη, αφού τον μηδενίσουμε, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.4. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για όλα τα δείγματα, τοποθετούμε τις φιάλες πάνω στην ειδική επαγωγική βάση ανάδευσης και τέλος τοποθετούμε την βάση σε θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας για 5 ημέρες στους 20 °C.

Εικόνα 8.4: Η φιάλη με τον αισθητήρα μέτρησης του BOD



Μετά την πάροδο 5 ημερών , μπορούμε να μετρήσουμε το BOD₅ διαβάζοντας τον αριθμό που θα εμφανιστεί στην οθόνη του αισθητήρα, αφού πιέσουμε το πλήκτρο μέτρησης 5 φορές (κάθε πίεση του πλήκτρου, εμφανίζει την μέτρηση που καταγράφηκε τη συγκεκριμένη μέρα), τον οποίο (αριθμό) θα πολλαπλασιάσουμε επί 2, καθώς έχουμε επιλέξει εύρος μέτρησης 0-80 mg/L.

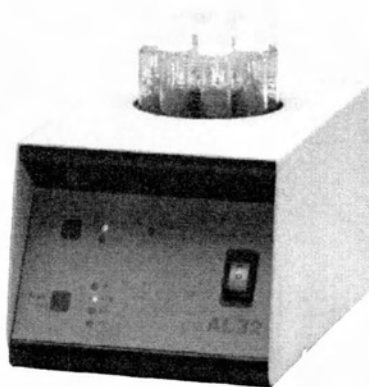
8.3.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ COD (CHEMICAL OXYGEN DEMAND)

Η μέτρηση του COD μας δίνει την ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση σχεδόν όλων των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου από ισχυρό οξειδωτικό μέσο.

Η μέτρηση γίνεται με τη βοήθεια της φασματοφωτομετρικής μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα παίρνουμε ένα δοκιμαστικό σωλήνα για κάθε δείγμα, ο οποίος περιέχει

σταθερή ποσότητα ισχυρού οξειδωτικού μέσου (διχρωμικό κάλιο) και προσθέτουμε 10 mL δείγματος επεξεργασμένου αποβλήτου και κατόπιν, αφού τοποθετήσουμε το πώμα στο σωλήνα, ανακινούμε το μείγμα. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για κάθε δείγμα επεξεργασμένου αποβλήτου. Επίσης σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα με οξειδωτικό μέσο βάζουμε 10 mL απιονισμένο νερό, αντί αποβλήτου. Τοποθετούμε τους δοκιμαστικούς σωλήνες σε ειδικό αντιδραστήρα (Εικόνα 8.5) στους 148° C για 2 ώρες.

Εικόνα 8.5: Ο ειδικός αντιδραστήρας



Στη συνέχεια, μετά την πάροδο των 2 ωρών και αφού τα δείγματα έχουν κρυώσει, στο φασματοφωτομετρο (Εικόνα 8.6) θα τοποθετήσουμε πρώτα το δείγμα με το απιονισμένο νερό στην κυψελίδα και θα μηδενίζουμε πατώντας το πλήκτρο με την ένδειξη «ZERO» μέχρι να δείξει στην οθόνη 0 mg/L. Τέλος, τοποθετούμε στην κυψελίδα τους υπόλοιπους δοκιμαστικούς σωλήνες, και κάθε φορά πατώντας το πλήκτρο «MEDIUM RANGE» καταγράφουμε την ένδειξη της οθόνης για κάθε δείγμα επεξεργασμένου αποβλήτου.

Εικόνα 8.6: Το φασματοφωτόμετρο και ο δοκιμαστικός σωλήνας με το οξειδωτικό μέσο



8.3.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Για τη μέτρηση της αγωγιμότητας χρησιμοποιείται ένα αγωγιμόμετρο (Εικόνα 8.7). Βυθίζουμε τον αισθητήρα στο δείγμα επεξεργασμένου αποβλήτου του οποίου την αγωγιμότητα θέλουμε να μετρήσουμε και το αναδεύουμε ελαφρά ώστε το δείγμα να είναι όσο το δυνατόν ομογενές, φροντίζοντας να μην υπάρχουν φυσαλίδες αέρα. Στην συνέχεια, αφού πατήσουμε το κουμπί «ON», επιλέγουμε την κλίμακα μέτρησης και περιμένουμε να σταθεροποιηθεί η ένδειξη της οθόνης. Σημαντικές παράμετροι για τη σωστή μέτρηση της αγωγιμότητας είναι η θερμοκρασία του δείγματος (περίπου 25° C) και η σωστή ρύθμιση και βαθμονόμηση του οργάνου με τη χρήση ειδικού διαλύματος βαθμονόμησης.

Εικόνα 8.7: Το αγωγιμόμετρο



8.3.4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ pH

Για τη μέτρηση του pH χρησιμοποιείται το πεχάμετρο (Εικόνα 8.8). Για τη σωστή μέτρηση απαραίτητη προϋπόθεση είναι η σωστή ρύθμιση του οργάνου με τη βοήθεια ειδικών διαλυμάτων βαθμονόμησης (συνήθως με pH 4, 7 και 10). Στη συνέχεια αφού ξεπλύνουμε τα ηλεκτρόδια σε απιονισμένο νερό τα βυθίζουμε στο δείγμα επεξεργασμένου αποβλήτου και περιμένουμε να σταθεροποιηθεί η ένδειξη της οθόνης.

Εικόνα 8.8: Το πεχάμετρο



8.3.5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΛΙΚΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (TOTAL SUSPENDED SOLIDS)

Για την μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών χρησιμοποιούνται 4 ηθμοί (ένας για κάθε δείγμα), οι οποίοι αρχικά ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας και καταγράφουμε το βάρος τους. Στη συνέχεια ακολουθεί διήθηση συγκεκριμένης ποσότητας δείγματος (1 L) από έναν ηθμό και επαναλαμβάνουμε για κάθε δείγμα. Ακολουθεί ξήρανση των ηθμών στην κλίνη ξήρανσης για 24 ώρες. Ακολουθεί μέτρηση του βάρους κάθε ηθμού στο ζυγό ακριβείας και για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας ολικών αιωρούμενων στερεών αφαιρούμε το αρχικό βάρος του κάθε ηθμού από το τελικό βάρος του μετά τη διήθηση του δείγματος.

9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1. ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Πριν τη παρουσίαση των αποτελεσμάτων, κρίνεται σκόπιμη μια σύντομη αναφορά σε προηγούμενες παρεμφερείς έρευνες, που θα βοηθήσουν στην αξιολόγηση των δικών μας αποτελεσμάτων και στη εξαγωγή συμπερασμάτων:

1. Έρευνα πραγματοποιήθηκε ώστε να αξιολογηθεί η καταλληλότητα του Phytotoxkit microbiotest ως εργαλείο για την αξιολόγηση της τοξικότητας ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις των παραγώγων πετρελαίου, των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs), και των βαρέων μετάλλων (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, και Zn) μετρήθηκαν σε δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν από αστικό κανάλι στην πόλη Orpole της Πολωνίας, προκειμένου να σχηματιστεί μια γενική άποψη για το επίπεδο ρύπανσης ιζημάτων. Η φυτοτοξικότητα των ιζημάτων υπολογίστηκε βάσει μετρήσεων της ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας των σπόρων. Τα πειράματα φυτοτοξικότητας, που πραγματοποιήθηκαν στο μονοκοτυλήδονο *Sorghum saccharatum* και στα δικοτυλήδονα *Sinapis alba* και *Lepidium sativum*, έδειξαν διαφορετικές αντιδράσεις των τριών ειδών φυτών στα δείγματα ιζημάτων που κυμαίνονται από την αναστολή ανάπτυξης έως και υποβοήθηση ανάπτυξης. Πιο συγκεκριμένα το *S. Saccharatum* έδειξε μεγαλύτερη ευαισθησία σε υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και παρουσίασε αναστολή ανάπτυξης. Αντιθέτως τα *L.Sativum* και *S. Alba* φάνηκαν να είναι λιγότερο ευαίσθητα και παρουσίασαν αύξηση της ανάπτυξης, ίσως λόγω ανταγωνιστικών και συνεργειστικών επιδράσεων μεταξύ των στοιχείων. Έτσι προκύπτει η ακόλουθη σειρά ευαισθησίας : *L. sativum* < *S. alba* < *S. saccharatum* . Τέλος, η μελέτη έδειξε ότι το Phytotoxkit microbiotest ήταν αποτελεσματικό στον προσδιορισμό της τοξικότητας δειγμάτων ιζημάτων (Czerniawska-Kusza et al., 2006).

2. Έρευνα για την χημική σύσταση και τις τοξικές ιδιότητες του νερού του ποταμού Traun στην Αυστρία πραγματοποιήθηκε με αφορμή τα συχνά φαινόμενα θνησιμότητας ψαριών σε ορισμένους ποταμούς. Μεταξύ άλλων, μετρήθηκε η αγωγιμότητα, το pH, το BOD₅, η περιεκτικότητα σε Cd, Pb, Cu, Zn καθώς και πραγματοποιήθηκε έλεγχος τοξικότητας μέσω του πειράματος ακινητοποίησης της

Daphnia Magna και της επίδρασης στην ανάπτυξη του φυτού *Lepidium sativum* σε δείγματα που συλλέχθηκαν από τις εκροές δύο Μονάδων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων το μήνα Φεβρουάριο και Αύγουστο. Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα (Πίνακας 9.1) των χημικών αναλύσεων έδειξαν ότι δεν εμφανίζονται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις σε κανένα στοιχείο (Latif and Licek, 2004).

Πίνακας 9.1 : Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων σε δείγματα εκροών δύο Μονάδων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων το μήνα Φεβρουάριο

Παράμετρος	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ		ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	
	Εκροή Α	Εκροή Β	Εκροή Α	Εκροή Β
pH	7,7	7,7	7,5	7,5
Αγωγιμότητα	800 $\mu\text{s}/\text{cm}$	752 $\mu\text{s}/\text{cm}$	669 $\mu\text{s}/\text{cm}$	976 $\mu\text{s}/\text{cm}$
BOD ₅	4,72	3,17	1,52	2,48
Cd	<0,020 mg/L	<0,020 mg/L	<0,020 mg/L	<0,020 mg/L
Pb	<0,100 mg/L	<0,100 mg/L	<0,100 mg/L	<0,100 mg/L
Cu	<0,010 mg/L	<0,010 mg/L	<0,010 mg/L	<0,010 mg/L
Zn	0,031 mg/L	0,055 mg/L	0,028 mg/L	0,020 mg/L

Πηγή: Latif and Licek, 2004

Επίσης όσον αφορά το πείραμα της ακινητοποίησης της *Daphnia Magna* και τη μελέτη της επίδρασης στην ανάπτυξη του φυτού *Lepidium sativum*, έδειξαν ότι τα δείγματα δεν παρουσίαζαν τοξικότητα (Latif and Licek, 2004).

3. Έρευνα για την συνδυασμένη τοξικότητα εκροής (Whole Effluent Toxicity) πραγματοποιήθηκε στη Ν. Κορέα και αφορούσε την ποιότητα εκροών εννέα Μονάδων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων που βρισκόταν στη λεκάνη απορροής του ποταμού Youngsan. Στα πλαίσια της έρευνας συλλέχθηκαν δείγματα των εκροών επί τρία χρόνια (Οκτώβριος 2002 – Μάιος 2005) και πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις καθώς και το πείραμα ακινητοποίησης της *Daphnia Magna*. Τα βασικά συμπεράσματα της έρευνας ήταν τα εξής (Jin Sung Ra et al., 2008) :

- Παρατηρήθηκε τοξικότητα στο 34% των δειγμάτων των εκροών

- Η παρατηρούμενη τοξικότητα των βαρέων μετάλλων μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη αύξουσα σειρά: Ag>Cd>Cu>Cr>Zn>Pb>Ni>Al
- Στα βαρέα μέταλλα Cu και Zn οφείλεται το 45% της συνδυασμένης τοξικότητας
- Η συνεργιστική ή η ανταγωνιστική δράση των χημικών στοιχείων επηρεάζει την συνδυασμένη τοξικότητα η οποία επηρεάζεται και από στοιχεία τα οποία δεν μπορούν να ανιχνεύσουν οι χημικές αναλύσεις.

4. Έρευνα για τη διερεύνηση συσχέτισης μεταξύ της τοξικότητας του εδάφους και της τοξικότητας των υπόγειων υδροφορέων πραγματοποιήθηκε σε αστική περιοχή, στη κοιλάδα του Middle Thame, κοντά στην πόλη του Reading. Μεταξύ άλλων, πραγματοποιήθηκε και το πείραμα ακινητοποίησης της *Daphnia magna*, και έδειξε ότι παρουσιάζει ευαισθησία σε χαμηλές τιμές του pH, σε αυξομειώσεις της σκληρότητας του νερού, και σε ενώσεις όπως η αμμωνία (Sheehan et al., 2002).

5. Στα πλαίσια έρευνας για την επίδραση της χρήσης επεξεργασμένης ιλύος τεσσάρων μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της Πολωνίας, μελετήθηκε η αναστολή της ανάπτυξης του ανώτερου φυτού *Lepidium Sativum*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στα δείγματα που υπήρχε υψηλή συγκέντρωση Cd, Ni, Cr η αναστολή ανάπτυξης ήταν πιο εμφανής και ότι η ανάπτυξη της ρίζας επηρεάζεται περισσότερο από την ανάπτυξη του βλαστού (Oleszczuk, 2008).

6. Έρευνα για τη διερεύνηση καταλληλότητας ανακτημένου νερού για αρδευτικούς σκοπούς πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα, εξετάζοντας δείγματα επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων της πόλης του Βόλου. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις καθώς και το πείραμα ακινητοποίησης της *Daphnia magna* και το πείραμα Phytotoxkit Microbiotest. (Sakellariou-Markantonaki and Angelaki., 2007) Στον Πίνακα 9.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, ενώ στον Πίνακα 9.3 παρουσιάζονται τα ποσοστά αναστολής της ανάπτυξης του Phytotoxkit Microbiotest

Πίνακας 9.2 : Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
Cl ⁻ (mg/L)	1310
SS (mg/L)	4
N-NH ₄ (mg/L)	0,4
N-NO ₃ (mg/L)	5,4
C.O.D (mg/L)	32
B.O.D. (mg/L)	11
E.C. (dS/m)	3,2
Fe ³⁺ (mg/L)	0,32
Cu ²⁺ (mg/L)	0,01
Zn ²⁺ (mg/L)	0,05
pH	7,8

Πηγή : Sakellariou-Markantonaki and Angelaki., 2007

Από το Πίνακα 9.2 παρατηρούμε υψηλές συγκεντρώσεις σε ιόντα χλωρίου Cl⁻ κυρίως λόγω της αλατότητας των λυμάτων

Πίνακας 9.3: Αποτελέσματα του Phytotoxkit Microbiotest για τη αναστολή της ανάπτυξης της ρίζας των τριών ειδών ανώτερων φυτών

ΕΙΔΟΣ ΦΥΤΟΥ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΑΣΤΟΛΗΣ (%)
<i>Sinapis Alba</i>	5,55
<i>Sorghum Saccharatum</i>	-7,27
<i>Lepidium Sativum</i>	-16,68

Πηγή : Sakellariou-Markantonaki and Angelaki., 2007

Από τον Πίνακα 9.3 παρατηρούμε ότι γενικά δεν παρατηρήθηκαν υψηλά ποσοστά επίδρασης του ανακτημένου νερού στην ανάπτυξη των φυτών και ότι τη μεγαλύτερη ευαισθησία έδειξε το *Lepidium Sativum* το οποίου η ρίζα παρουσίασε υποβοήθηση της ανάπτυξης (Sakellariou-Markantonaki and Angelaki, 2007).

Τέλος, όσον αφορά το πείραμα ακινητοποίησης της *Daphnia magna*, έδειξε υψηλή τοξικότητα κυρίως λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων σε Cl⁻ (Sakellariou-Markantonaki and Angelaki, 2007).

9.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

9.2.1. ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗΣ *DAPHNIA MAGNA*

Για τη διερεύνηση της τοξικότητας των δειγμάτων τα παρατηρούμενα ποσοστά θνησιμότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.4

Πίνακας 9.4 : Παρατηρούμενα ποσοστά θνησιμότητας των νεογνών *Daphnia magna*.

	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ
Βόλος	0%	100%	δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία
Καρδίτσα	0%	0%	0%
Λάρισα	0%	100%	0%
Τύρναβος	0%	100%	0%

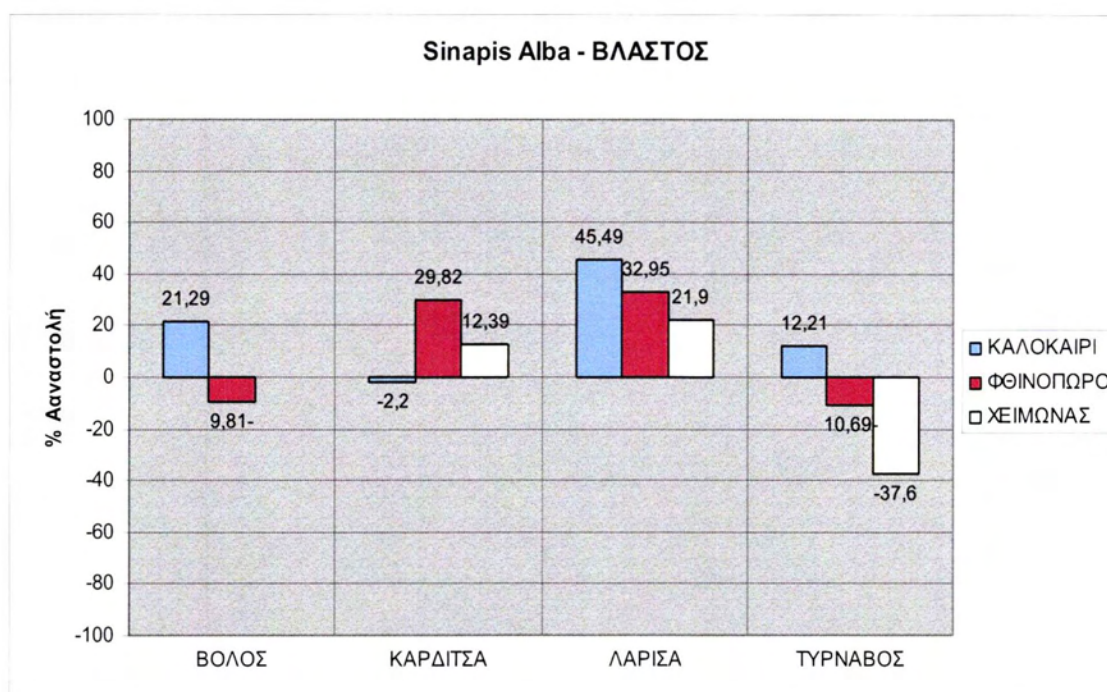
Όπως παρατηρούμε από τον Πίνακα 9.1 η τοξικότητα των δειγμάτων στις περισσότερες περιπτώσεις δείχνει να είναι χαμηλή καθώς η *Daphnia magna* δεν παρουσίασε θνησιμότητα (0% θνησιμότητα). Εξαιρέση αποτελούν οι μετρήσεις που διεξήχθησαν το φθινόπωρο στα δείγματα εκροών των Μ.Ε.Υ.Α. Βόλου, Λάρισας και Τυρνάβου όπου τα ποσοστά θνησιμότητας ήταν 100%. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο αυξημένο οργανικό φορτίο που παρατηρήθηκε αυτή την εποχή βάσει των χημικών αναλύσεων. Πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος δεν ήταν χλωριωμένα, καθώς η *Daphnia magna* δείχνει μεγάλη ευαισθησία στο χλώριο. Τέλος δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από την μονάδα επεξεργασίας του Βόλου το χειμώνα, λόγω εργασιών επέκτασης.

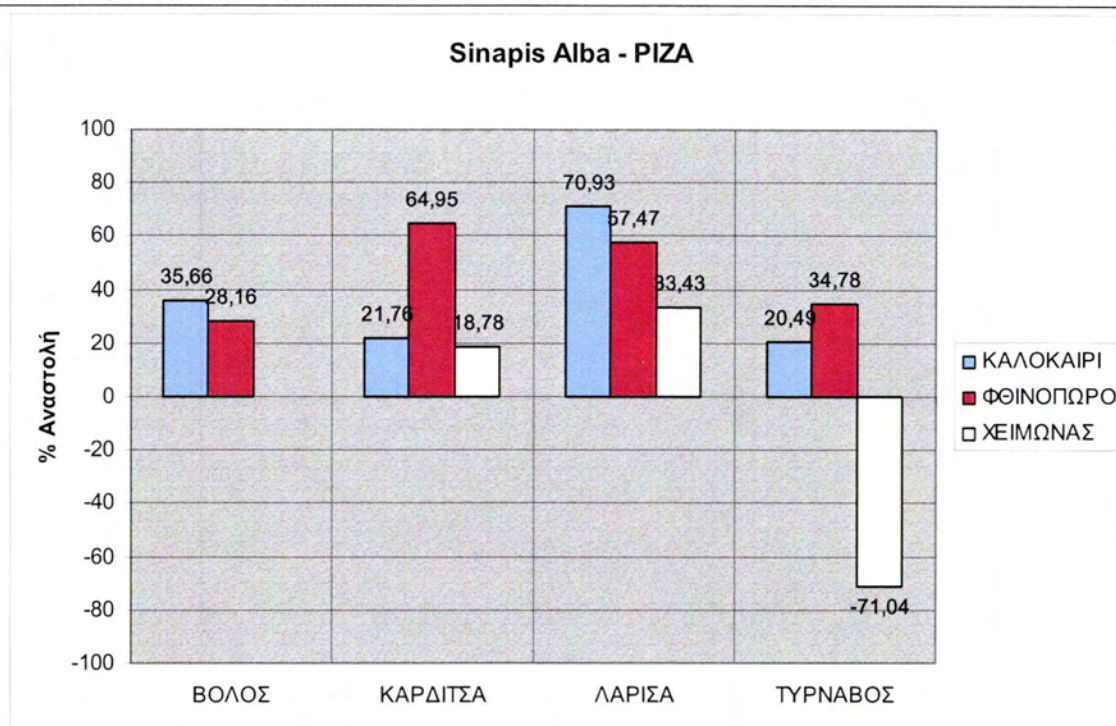
9.2.2. ΠΕΙΡΑΜΑ PHYTOTOKKIT MICROBIOTEST

9.2.2.1. Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά είδος φυτού

Όσον αφορά το πείραμα Phytotoxkit Microbiotest τα ποσοστά αναστολής της ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας των ανώτερων φυτών monocotyl mustard (*Sinapis Alba*), dicotyl garden cress (*Lepidium Sativum*) monocotyl sorgo (*Sorghum Saccharatum*), παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν.

Διάγραμμα 9.1 : Ποσοστά αναστολής ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας του μονοκοτυλήδονου *Sinapis Alba* που μετρήθηκαν από τα δείγματα εκροών των μονάδων επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου

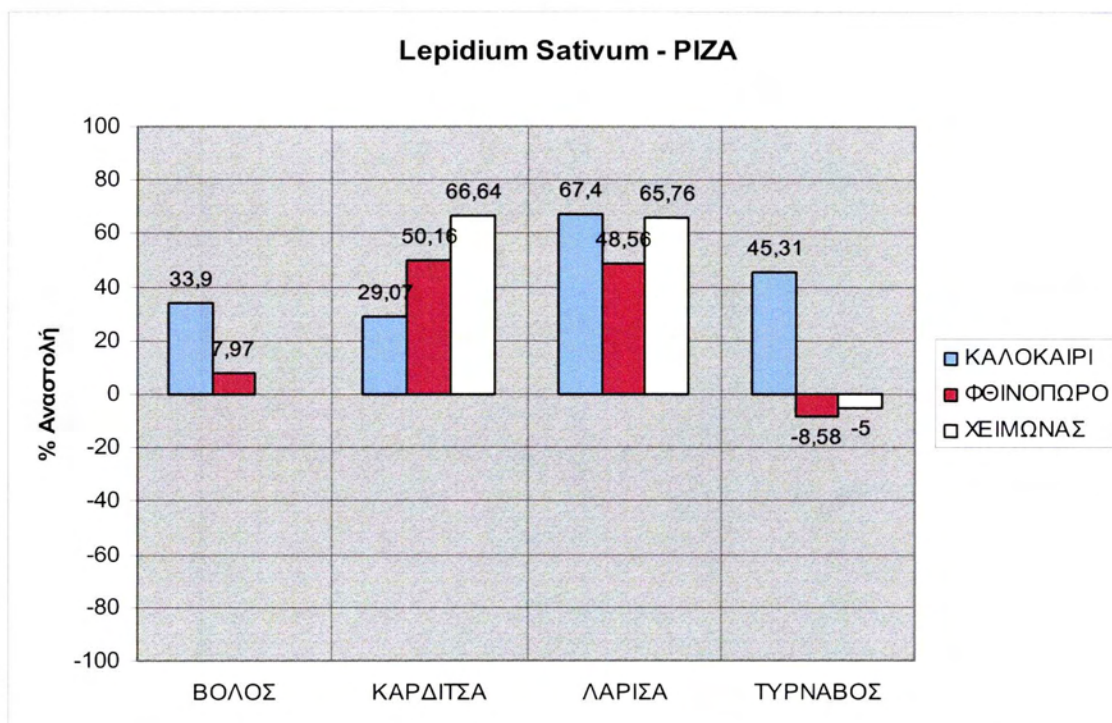
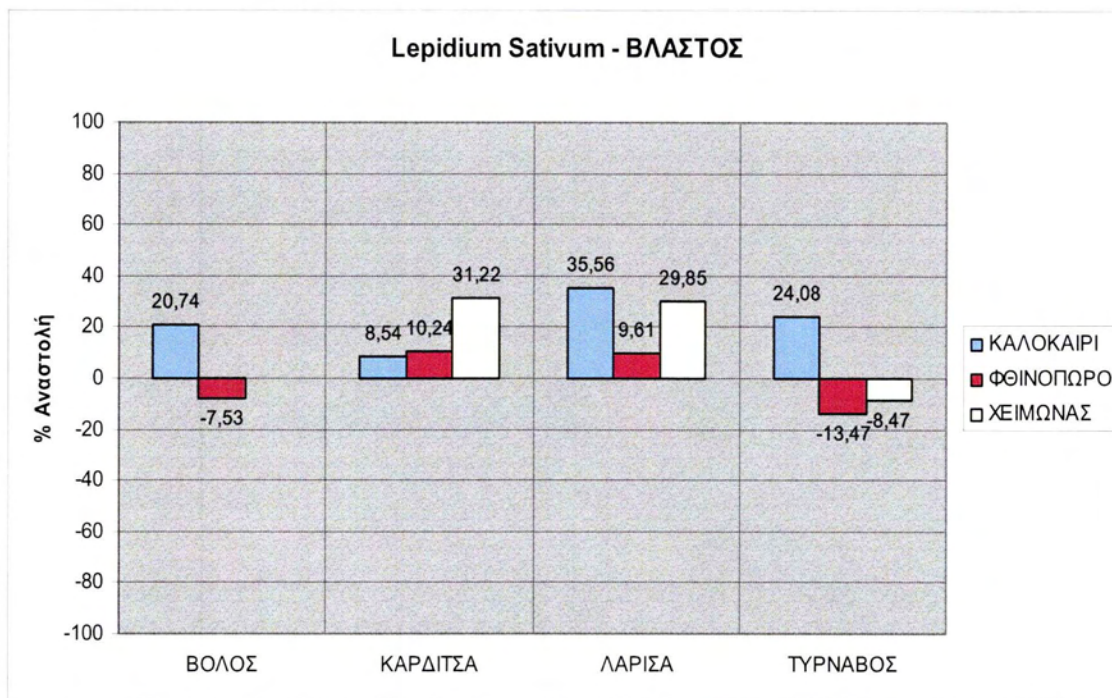




Για το Διάγραμμα 9.1 παρατηρούμε όσον αφορά το φυτό *Sinapis Alba*:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό αναστολής παρατηρείται στο δείγμα εκροής που λήφθηκε από την μονάδα επεξεργασίας της Λάρισσας το καλοκαίρι (αναστολή ανάπτυξης βλαστού: 45,49 % αναστολή ανάπτυξης ρίζας 70,93%)
- Υποβοήθηση της ανάπτυξης (αρνητική αναστολή) παρατηρούμε στο δείγμα εκροής που λήφθηκε από την μονάδα επεξεργασίας του Τυρνάβου το χειμώνα.(αναστολή ανάπτυξης βλαστού: -37,6% αναστολή ανάπτυξης ρίζας: -71,04%)
- Μεγαλύτερη ευαισθησία δείχνει να έχει στα δείγματα της μονάδας επεξεργασίας της Λάρισσας και για τις τρεις εποχές

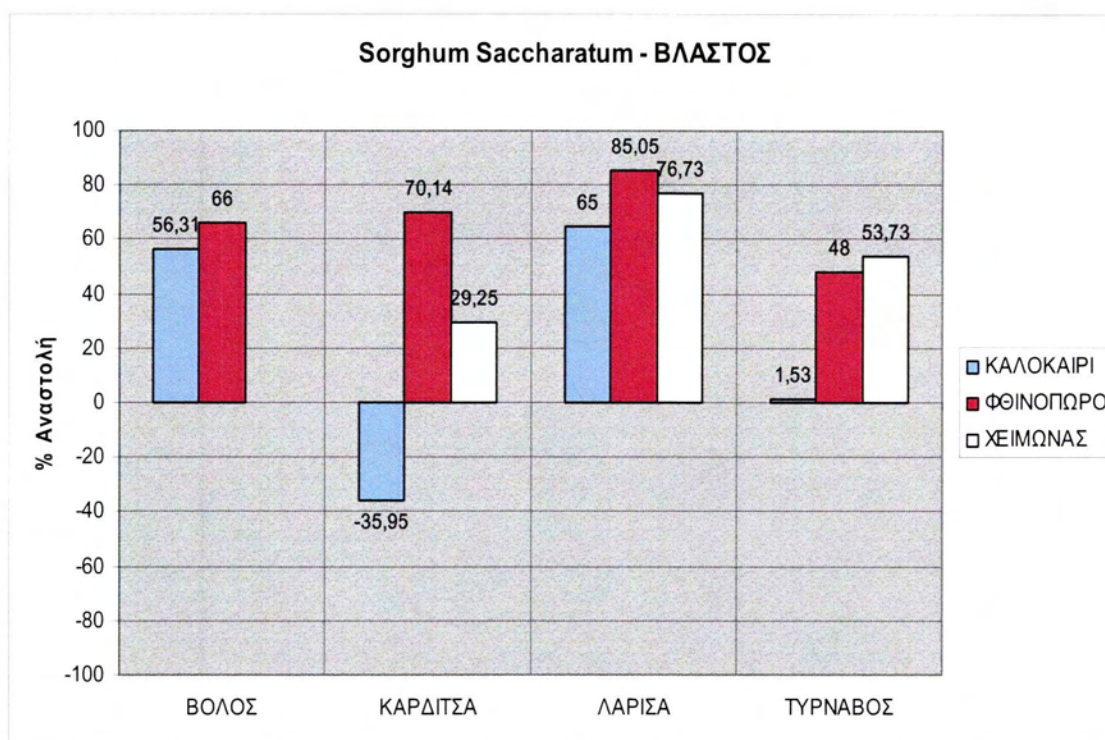
Διάγραμμα 9.2 : Ποσοστά αναστολής ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας του δικοτυλήδονου *Lepidium Sativum* που μετρήθηκαν από τα δείγματα εκροών των μονάδων επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου

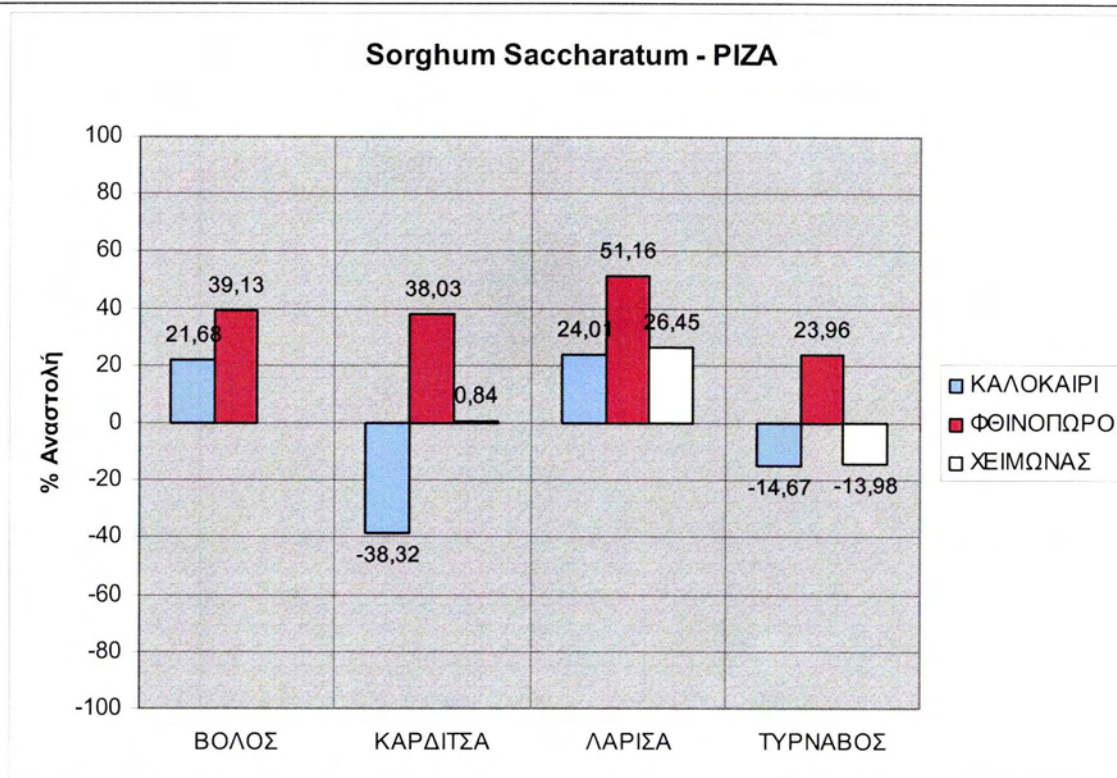


Για το Διάγραμμα 9.2 παρατηρούμε όσον αφορά το φυτό *Lepidium Sativum*:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό αναστολής παρατηρείται στο δείγμα που λήφθηκε από την μονάδα της Καρδίτσας το χειμώνα (αναστολή ανάπτυξης βλαστού: 31,22% αναστολή ανάπτυξης ρίζας :66,64%)
- Χαμηλή υποβοήθηση ανάπτυξης (αρνητική αναστολή) στο δείγμα που λήφθηκε από τη μονάδα του Τυρνάβου το φθινόπωρο και το χειμώνα
- Μεγαλύτερη ευαισθησία δείχνει να έχει στα δείγματα της μονάδας της Λάρισας και της Καρδίτσας και για τις τρεις εποχές

Διάγραμμα 9.3 : Ποσοστά αναστολής ανάπτυξης του βλαστού και της ρίζας του μονοκοτυλήδονου *Sorghum Saccharatum* που μετρήθηκαν από τα δείγματα εκροών των μονάδων επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου





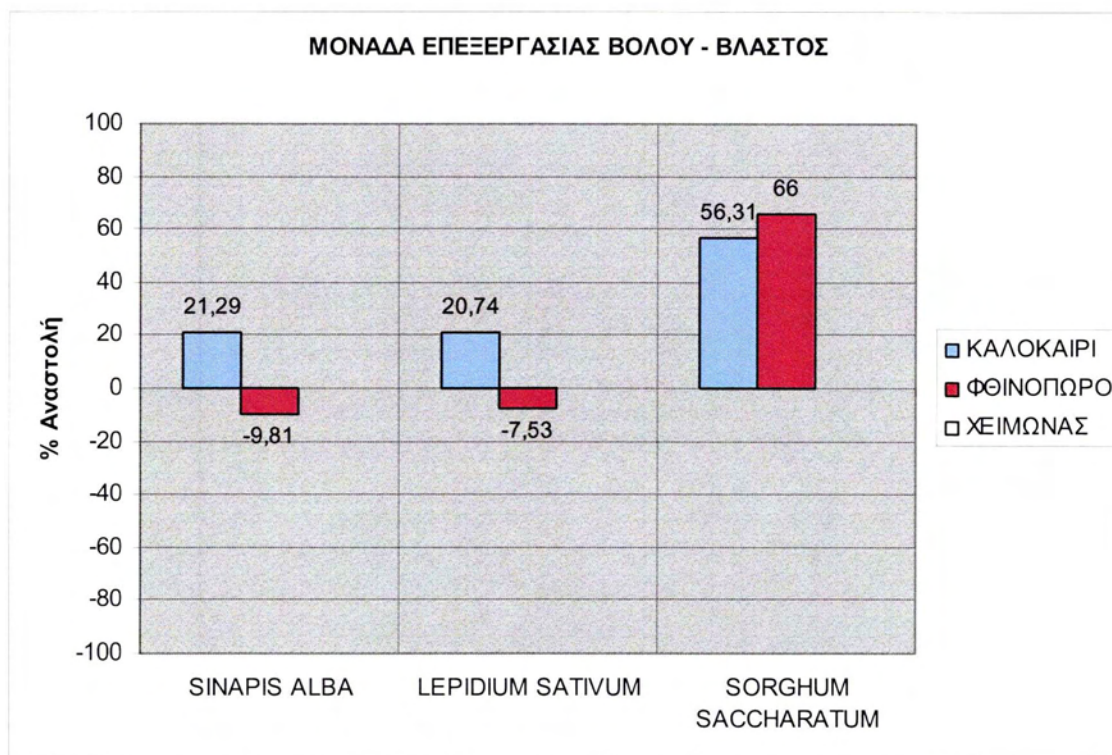
Για το Διάγραμμα 9.3 παρατηρούμε για το φυτό *Sorghum Saccharatum*:

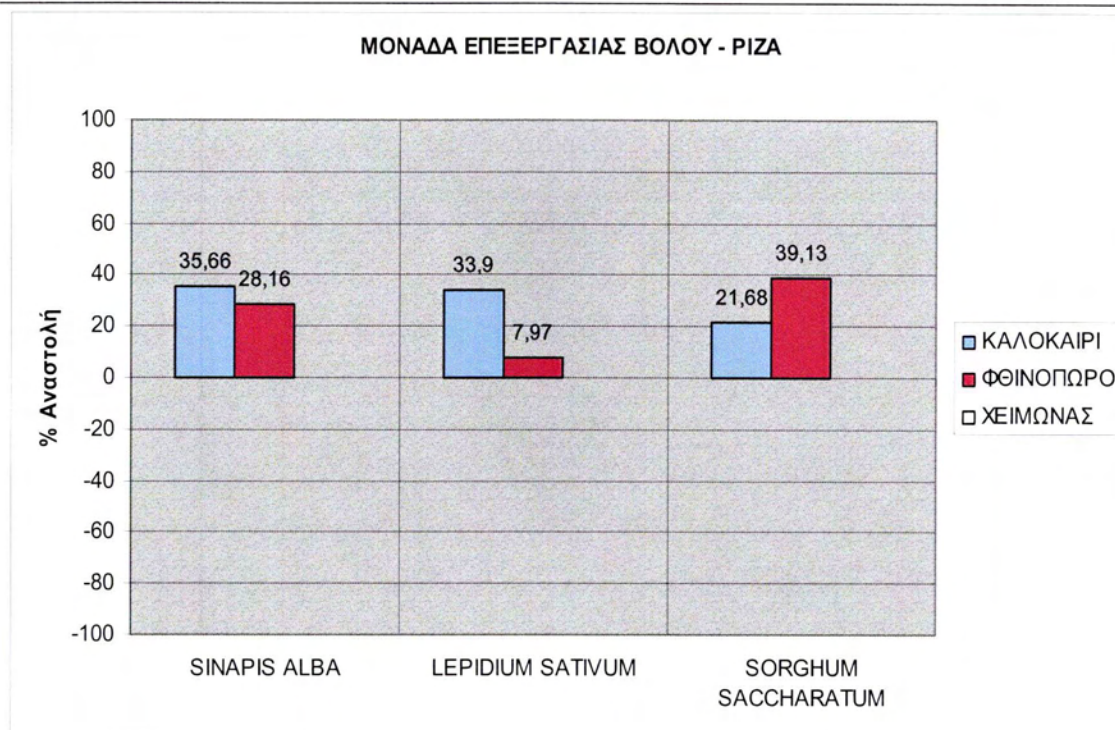
- Μεγαλύτερη ευαισθησία δείχνει να έχει στα δείγματα από τη μονάδα επεξεργασίας της Λάρισας
- Υποβοήθηση ανάπτυξης στο δείγμα από την μονάδα επεξεργασίας της Καρδίτσας το καλοκαίρι
- Γενικά, σε σχέση με τα *Sinapis Alba* και *Lepidium Sativum*, δείχνει μεγαλύτερη ευαισθησία για όλα τα δείγματα

9.2.2.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά περιοχή

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζεται, ανά περιοχή, η εξέλιξη των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια των τριών εποχών

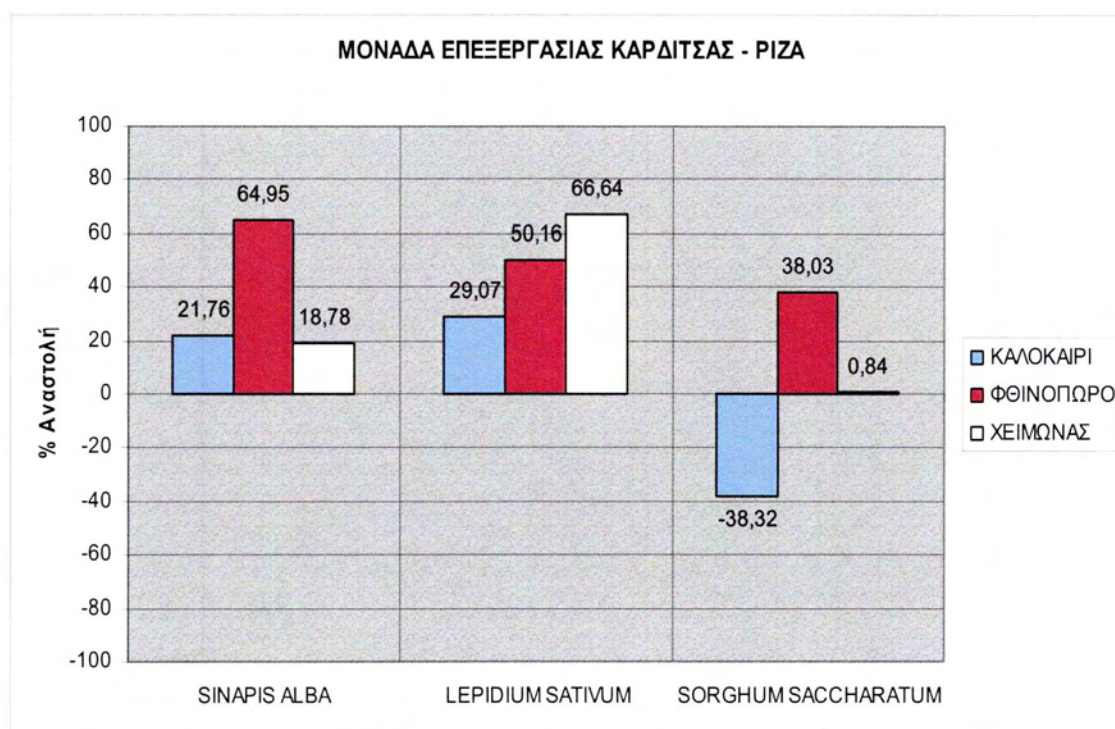
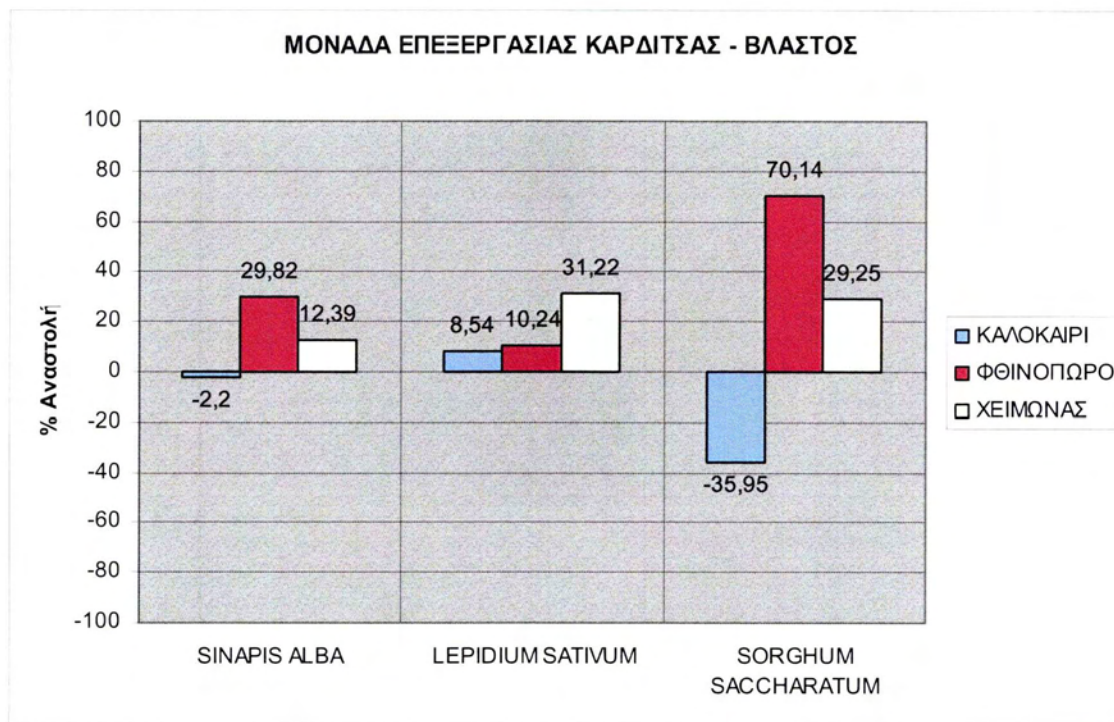
Διάγραμμα 9.4: Ποσοστά αναστολής ανάπτυξης βλαστού και ρίζας των φυτών *Sinapis Alba*, *Lepidium Sativum*, *Sorghum Saccharatum* για τα δείγματα που λήφθηκαν από τη μονάδα επεξεργασίας του Βόλου.





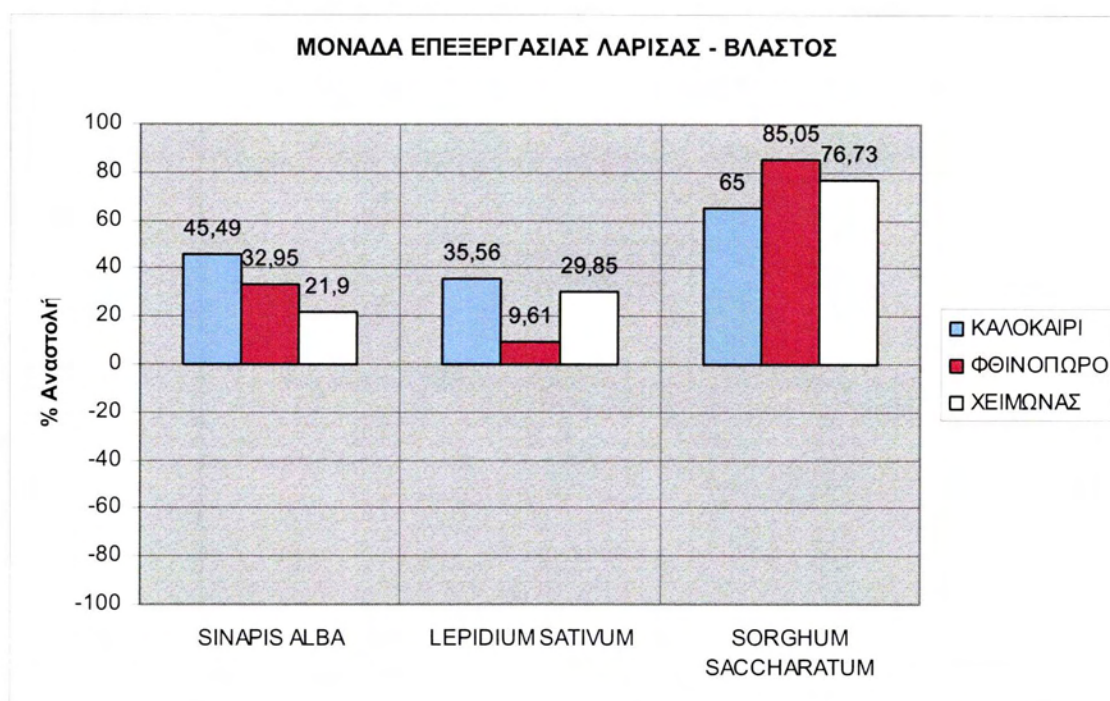
Για το Διάγραμμα 9.4 παρατηρούμε ότι το δείγμα που λήφθηκε το φθινόπωρο από τη μονάδα επεξεργασίας του Βόλου προκάλεσε τη μεγαλύτερη ποσοστιαία αναστολή, ιδιαίτερα στο βλαστό (66%), και ότι το φυτό *Sorghum Saccharatum* παρουσίασε τη μεγαλύτερη ευαισθησία συγκριτικά με τα άλλα φυτά συνολικά και για τις τρεις εποχές. Σημειώνεται ότι το χειμώνα δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από την μονάδα του Βόλου λόγω εργασιών επέκτασης.

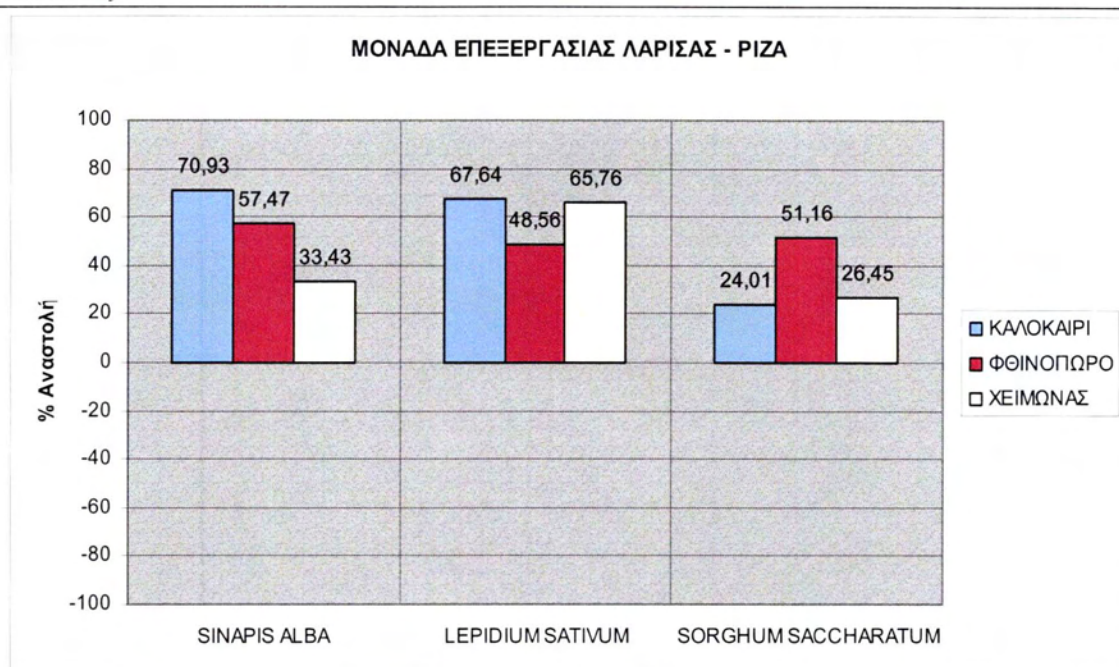
Διάγραμμα 9.5: Ποσοστά αναστολής ανάπτυξης βλαστού και ρίζας των φυτών *Sinapis Alba*, *Lepidium Sativum* και *Sorghum Saccharatum* για τα δείγματα που λήφθηκαν από τη μονάδα επεξεργασίας της Καρδίτσας



Για το Διάγραμμα 9.5 παρατηρούμε ότι το δείγμα που λήφθηκε το φθινόπωρο από τη μονάδα επεξεργασίας της Καρδίτσας προκάλεσε τη μεγαλύτερη ποσοστιαία αναστολή, καθώς και το δείγμα που λήφθηκε το χειμώνα επηρέασε σημαντικά την ανάπτυξη του φυτού *Lepidium Sativum*. Τέλος το δείγμα που λήφθηκε το καλοκαίρι έδειξε να υποβοηθά την ανάπτυξη του *Sorghum Saccharatum*.

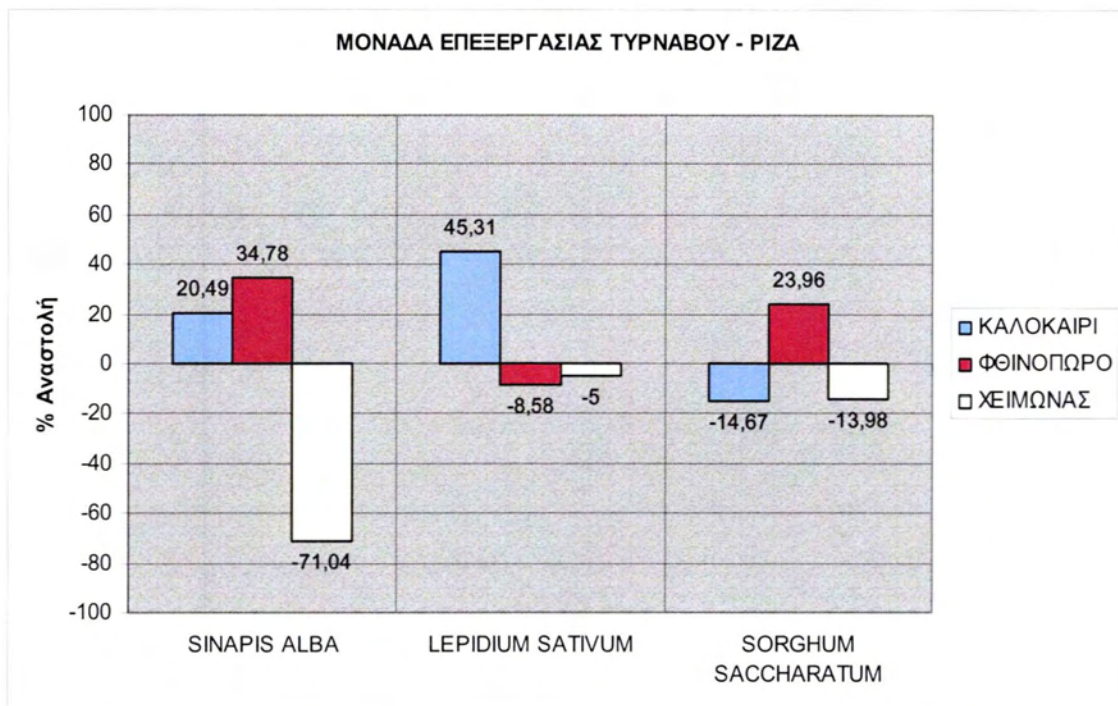
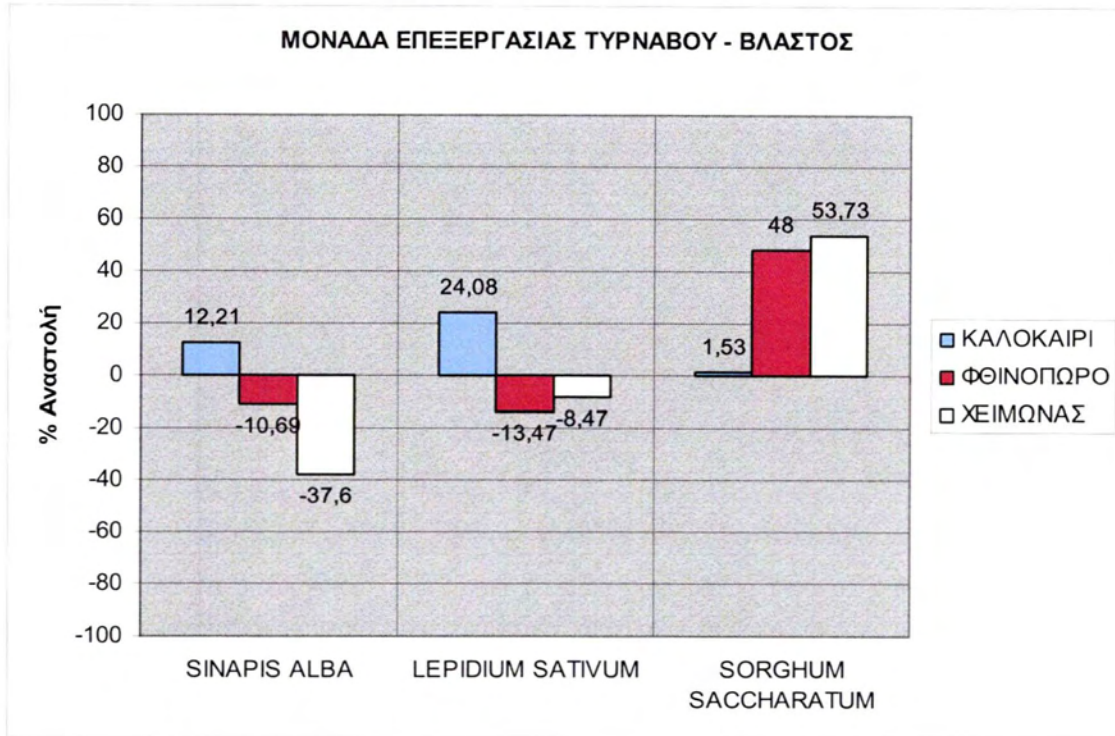
Διάγραμμα 9.6: Ποσοστά αναστολής ανάπτυξης βλαστού και ρίζας των φυτών *Sinapis Alba*, *Lepidium Sativum* και *Sorghum Saccharatum* για τα δείγματα που λήφθηκαν από τη μονάδα επεξεργασίας της Λάρισας.





Για το Διάγραμμα 9.6 παρατηρούμε ότι ιδιαίτερη ευαισθησία παρουσίασε το *Sorghum Saccharatum* στο δείγμα που λήφθηκε το φθινόπωρο, καθώς και το δείγμα που λήφθηκε το καλοκαίρι προκάλεσε σημαντική αναστολή ιδιαίτερα στο *Sinapis Alba* και στο *Lepidium Sativum*.

Διάγραμμα 9.7: Ποσοστά αναστολής ανάπτυξης βλαστού και ρίζας των φυτών *Sinapis Alba*, *Lepidium Sativum* και *Sorghum Saccharatum* για τα δείγματα που λήφθηκαν από τη μονάδα επεξεργασίας του Τυρνάβου



Από το Διάγραμμα 9.7 παρατηρείται μια σημαντική ενίσχυση της ανάπτυξης του *Sinapis Alba* για το δείγμα της χειμερινής περιόδου, ενώ για το ίδιο δείγμα σημαντική αναστολή (53.73%) παρουσιάζει η ρίζα του *Sorghum Saccharatum*.

9.2.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ BOD₅ ΚΑΙ COD

Πίνακας 9.5. : Αποτελέσματα μετρήσεων του BOD₅ για τα δείγματα που λήφθηκαν από τις μονάδες επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου

	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ
Βόλος	11 mg/L	8 mg/L	Δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία
Καρδίτσα	τιμή κάτω από το επιλεγμένο εύρος μέτρησης	8 mg/L	τιμή κάτω από το επιλεγμένο εύρος μέτρησης
Λάρισα	6 mg/L	12 mg/L	τιμή κάτω από το επιλεγμένο εύρος μέτρησης
Τύρναβος	τιμή κάτω από το επιλεγμένο εύρος μέτρησης	10 mg/L	4 mg/L

Πίνακας 9.6.: Αποτελέσματα μετρήσεων του COD για τα δείγματα που λήφθηκαν από τις μονάδες επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου

	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ
Βόλος	31 mg/L	59 mg/L	δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία
Καρδίτσα	17 mg/L	26 mg/L	13 mg/L
Λάρισα	23 mg/L	55 mg/L	26 mg/L
Τύρναβος	22 mg/L	54 mg/L	12 mg/L

Από τα στοιχεία του Πίνακα 9.5, και βάσει των προτεινόμενων ορίων του Πίνακα 7.10 για απεριόριστη άρδευση στην Ελλάδα, προκύπτει ότι για κάθε μονάδα επεξεργασίας οι μετρήσεις των δειγμάτων σε γενικές γραμμές ήταν κάτω από τα προτεινόμενα όρια, ενώ οι μόνες εξαιρέσεις αφορούσαν την τιμή του BOD₅ της εκροής

Διερεύνηση καταλληλότητας αστικών υγρών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση: Η περίπτωση της Θεσσαλίας

της μονάδας επεξεργασίας του Βόλου το καλοκαίρι και της εκροής της μονάδας επεξεργασίας της Λάρισας το φθινόπωρο που ήταν οριακά πάνω από τα προτεινόμενα όρια. Ωστόσο και οι τιμές αυτές ήταν εντός των προτεινόμενων ορίων για περιορισμένη άρδευση.

9.2.4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ pH

Στον Πίνακα 9.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετρήσεων της αγωγιμότητας των δειγμάτων που εξετάστηκαν, ενώ στο Πίνακα 9.8 τα αποτελέσματα της μέτρησης του pH.

Πίνακας 9.7.: Αποτελέσματα μετρήσεων αγωγιμότητας για τα δείγματα που λήφθηκαν από τις μονάδες επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου

	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ
Βόλος	10,84 mS/cm	11mS/cm	δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία
Καρδίτσα	8,15 mS/cm	2,3 mS/cm	9,89 mS/cm
Λάρισα	10,22 mS/cm	12,9 mS/cm	10,27 mS/cm
Τύρναβος	0,82 mS/cm	1,1 mS/cm	0,78 mS/cm

Πίνακας 9.8.: Αποτελέσματα μετρήσεων του pH για τα δείγματα που λήφθηκαν από τις μονάδες επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου

	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ
Βόλος	7,2	7,6	δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία
Καρδίτσα	9,3	9,1	9,79
Λάρισα	9,2	9,7	9,9
Τύρναβος	7,8	8,1	7,83

Συγκρίνοντας τις τιμές του Πίνακα 9.8 με τα κριτήρια που θέτει ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) (Πίνακας 6.3) για την ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση, παρατηρούμε ότι οι τιμές του pH για τις μονάδες επεξεργασίας της Καρδίτσας και της Λάρισας είναι οριακά πάνω από τα όρια. Οι υπόλοιπες τιμές είναι εντός των ορίων. Όσον αφορά την αγωγιμότητα αξιοσημείωτες είναι οι ιδιαίτερα χαμηλές τιμές των δειγμάτων του Τυρνάβου.

9.2.5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Στους Πίνακες 9.9 και 9.10 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων που μετρήθηκαν στα δείγματα εκροών των μονάδων επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου. Σημειώνεται ότι το χειμώνα δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε καμία εκροή.

Πίνακας 9.9: Αποτελέσματα μετρήσεων περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα για τα δείγματα που λήφθηκαν από τις Μ.Ε.Υ.Α Βόλου, Καρδίτσας Λάρισας και Τυρνάβου, το καλοκαίρι.

	ΒΟΛΟΣ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΛΑΡΙΣΑ	ΤΥΡΝΑΒΟΣ
Cd (ppb)	1,7	2,3	1	2,2
Co (ppm)	7,7	4,2	3,3	7,9
Cr (ppm)	1,1	3,1	0,9	2,1
Cu (ppm)	1,4	1,1	0,9	2,3
Fe (ppm)	16,8	19,8	33,6	22,7
Li	---	---	---	---
Mn (ppm)	4,7	7,4	8,1	2,3
Ni (ppm)	4,1	2,3	0,9	1,2
Pb (ppb)	26,8	22,9	31,6	17,9
Zn (ppm)	2,6	1,3	2,2	0,9
F (ppm)	---	0,05	0,1	0,1
Al				
As	MA*	MA*	0,01	MA*
Be	---	---	---	---

MA* : Μη ανιχνεύσιμο

Πίνακας 9.10: Αποτελέσματα μετρήσεων περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα για τα δείγματα που λήφθηκαν από τις Μ.Ε.Υ.Α Βόλου, Καρδίτσας Λάρισας και Τυρνάβου , το φθινόπωρο

	ΒΟΛΟΣ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΛΑΡΙΣΑ	ΤΥΡΝΑΒΟΣ
Cd (ppb)	2,2	2,9	3,3	2,7
Co (ppm)	1,5	1,6	1,9	1,7
Cr (ppm)	0,6	1,6	1,1	1,4
Cu (ppm)	0,88	0,8	0,9	0,9
Fe (ppm)	15,5	13,3	17,8	14,5
Li	---	---	---	---
Mn (ppm)	5,2	5,6	6,6	3,3
Ni (ppm)	1,99	1,6	1,1	1,2
Pb (ppb)	25,5	23,6	19,8	22
Zn (ppm)	1,8	0,9	1,5	0,88
F (ppm)	MA*	MA*	0,05	MA*
Al	0,9	2,3	1,9	1,1
As	MA*	MA*	MA*	MA*
Be	---	---	---	---

MA* : Μη ανιχνεύσιμο

Συγκρίνοντας τις τιμές του Πίνακα 9.9 και του Πίνακα 9.10 με τα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο αρδευτικό νερό για βραχυπρόθεσμη χρήση που θέτει ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) (Πίνακας 6.4) παρατηρούμε ότι γενικά δεν διαπιστώθηκαν συγκεντρώσεις που να υπερβαίνουν τα συγκεκριμένα όρια , εκτός κάποιων εξαιρέσεων. Οι εξαιρέσεις, αν και οριακές, αφορούν τα δείγματα της καλοκαιρινής δειγματοληψίας και πιο συγκεκριμένα την συγκέντρωση του Cr για την εκροή των μονάδων επεξεργασίας της Καρδίτσας και του Τυρνάβου, τη συγκέντρωση του Fe για την εκροή της μονάδας επεξεργασίας της Λάρισας και τέλος τη συγκέντρωση του Ni για την εκροή της μονάδας επεξεργασίας του Βόλου.

9.2.6. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΟΛΙΚΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (TOTAL SUSPENDED SOLIDS)

Στον Πίνακα 9.11 παρουσιάζεται η μέση περιεκτικότητα των αιωρούμενων στερεών στα δείγματα των μονάδων επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου για όλες τις δειγματοληψίες.

Πίνακας 9.11: Περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών στα δείγματα των μονάδων επεξεργασίας Βόλου, Καρδίτσας, Λάρισας και Τυρνάβου

	ΟΛΙΚΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ
ΒΟΛΟΣ	9,5 mg/L
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	7,3 mg/L
ΛΑΡΙΣΑ	7,25 mg/L
ΤΥΡΝΑΒΟΣ	2,5 mg/L

Συγκρίνοντας τα δεδομένα του Πίνακα 9.11 με τα προτεινόμενα όρια για την Ελλάδα του Πίνακα 7.9 και του Πίνακα 7.10 παρατηρούμε ότι οι τιμές κυμαίνονται σε αποδεκτά επίπεδα για όλα τα δείγματα. Αξιοσημείωτη είναι η εξαιρετικά χαμηλή τιμή περιεκτικότητας που έδειξαν τα δείγματα εκροών της μονάδας επεξεργασίας του Τυρνάβου η οποία αποδίδεται στη μέθοδο διήθησης που εφαρμόζεται στη συγκεκριμένη μονάδα.

9.2.7. ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Όσον αφορά τις μικροβιολογικές αναλύσεις, στο δείγμα της εκροής της μονάδας επεξεργασίας του Τυρνάβου παρατηρήθηκε απουσία περιττωματικών κολοβακτηριδίων (Fecal Colliforms) σε όλα τα δείγματα, ενώ η μέση τιμή συγκέντρωσης περιττωματικών κολοβακτηριδίων για την μονάδα επεξεργασίας της Λάρισας για τις τρεις περιόδους δειγματοληψίας ήταν 115 cfu/100 mL. Σημειώνεται ότι για τις μονάδες επεξεργασίας του Βόλου και τις Καρδίτσας δεν πραγματοποιήθηκαν μικροβιολογικές αναλύσεις, καθώς τα δείγματα που λήφθηκαν δεν ήταν απολυμασμένα.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω δεδομένα, με τα προτεινόμενα όρια για την Ελλάδα του Πίνακα 7.9 και του Πίνακα 7.10, παρατηρούμε ότι η μέση τιμή συγκέντρωσης περιττωματικών κολοβακτηριδίων του δείγματος της μονάδας επεξεργασίας της Λάρισας είναι αποδεκτή σε σχέση με τα όρια των προαναφερόμενων πινάκων για περιορισμένη άρδευση. Επίσης μέθοδος διήθησης σε συνδυασμό με την απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) που εφαρμόζεται στη μονάδα επεξεργασίας του Τυρνάβου, είναι αποτελεσματική για την πλήρη απομάκρυνση των περιττωματικών κολοβακτηριδίων.

9.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξετάζοντας και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των πειραμάτων μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Γενικά η ποιότητα των δευτεροβάθμιων εκροών των μονάδων επεξεργασίας που εξετάστηκαν στη παρούσα εργασία κρίνεται κατάλληλη για αρδευτικούς σκοπούς καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα υπόκεινται σε επεξεργασία πριν έρθει το κοινό σε επαφή με αυτά (πχ βαμβακοκαλλιέργεια που είναι ευρέως διαδεδομένη στο Θεσσαλικό κάμπο). Παρ'όλα αυτά μια τριτοβάθμια επεξεργασία θα συντελούσε σε καλύτερη ποιότητα εκροής καταστρώντας το ανακτημένο νερό κατάλληλο για περισσότερες χρήσεις.
- Συγκριτικά, η μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Τυρνάβου είχε καλύτερη ποιότητα εκροής σε σχέση με αυτές του Βόλου, της Καρδίτσας και της Λάρισας για όλες τις δειγματοληψίες. Αυτό οφείλεται στη μέθοδο διήθησης η οποία απομακρύνει ένα σημαντικό ποσοστό των αιωρούμενων στερεών και παθογόνων μικροοργανισμών.
- Η τοξικότητα των δειγμάτων που λήφθηκαν το φθινόπωρο ήταν αυξημένη σε σχέση με αυτή των δειγμάτων που λήφθηκαν το καλοκαίρι και το χειμώνα. Την ίδια εποχή επίσης παρατηρούνται αυξημένες τιμές του COD, γεγονός που μαρτυρά υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό φορτίο. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στην αυξημένη κατ' οίκον γεωργική δραστηριότητα που παρατηρείται αυτή την εποχή σε πολλές περιοχές στη Θεσσαλία με την απόσταξη του τσίπουρου.
- Στο πείραμα της φυτοτοξικότητας Phytotoxkit microbiotest, το φυτό *Sorghum Saccharatum* έδειξε γενικά τη μεγαλύτερη ευαισθησία συγκριτικά με τα φυτά *Sinapis Alba* και *Lepidium Sativum* όσον αφορά την αναστολή της ανάπτυξής του.

Συνοψίζοντας, για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η καταλληλότητα των εκροών των μονάδων επεξεργασίας των λυμάτων, που σήμερα χάρη στις εξελιγμένες μεθόδους επεξεργασίας μετατρέπονται σε πολύ υψηλής ποιότητας νερό μειώνοντας στο ελάχιστο κινδύνους που

αφορούν τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Όμως, για τη μέγιστη αποδοτικότητα οποιασδήποτε εφαρμογής επαναχρησιμοποίησης θα πρέπει να προηγηθεί ένας ολοκληρωμένος σχεδιασμός που θα αφορά τη διαχείριση, την αποθήκευση και τη διανομή των επεξεργασμένων λυμάτων καθώς και ιδιαίτερη βαρύτητα θα πρέπει να δοθεί στον έλεγχο για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας όλων των συστημάτων και δομών που εμπλέκονται. Ειδικότερα για την επαναχρησιμοποίηση για αρδευτικούς σκοπούς, σημαντική κρίνεται και η ενημέρωση των γεωργών και η παροχή κάθε δυνατής βοήθειας ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερή παραγωγή και η μεγαλύτερη απόδοση των καλλιεργειών που αρδεύονται με επεξεργασμένα απόβλητα τηρώντας παράλληλα τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την προστασία του περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Ελληνόγλωσση:

1. Αγγελάκης, Α. και Παρανυχιανάκης, Ν. (2005) “Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων: ανάγκη θέσπισης κριτηρίων”, Ημερίδα: *Διαχείριση υγρών αποβλήτων με αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας*, Νεοχώρι Καρδίτσας
2. Αλμπανέλλης Φρ. (2007) “Αξιολόγηση συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων μικρής δυναμικότητας”, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη
3. Ανδρεαδάκης, Α., Γαβαλάκη, Ε., Μαμάης, Δ., Νουτσόπουλος, Κ., Τζήμας, Α. (2003) “Πρόταση κατάρτισης ποιοτικών ορίων και προδιαγραφών επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ελλάδα” στα πρακτικά του επιστημονικού διημέρου *Ανάκτηση και Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων*, Θεσσαλονίκη, σελ.19-75
4. Αντωνόπουλος Β. (2001) *Ποιότητα και ρύπανση υπόγειων νερών*, Εκδόσεις Ζητη, Θεσσαλονίκη
5. Αργυρούλη Φωτ. (2005) *Μελέτη σκοπιμότητας και χωροθέτησης βιολογικών καθαρισμών τουριστικών και παραλιακών περιοχών Θεσσαλίας*, Λάρισα
6. Γελατζής Χρ. (2008) *Υγρά απόβλητα δήμου Λάρισας. Επεξεργασία και απόδοση αυτών για χρήση στην άρδευση καλλιεργούμενων εκτάσεων*, Διπλωματική εργασία, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας-Παράρτημα Φλώρινας Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας Τμήμα Εμπορίας και Ποιοτικού Ελέγχου Αγροτικών προϊόντων, Φλώρινα
7. Γκούμας Κων. (2008) “Λειψυδρία, το μείζον πρόβλημα για τον κάμπο”, Άρθρο στο ένθετο «Αγροτική Ενημέρωση» της εφημερίδας «ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ» σελ 9-11
8. Γκούμας Κων. (2008) “Υποχρεωτικός ο περιορισμός της κατανάλωσης νερού”, Άρθρο στο ένθετο «Αγροτική Ενημέρωση» της εφημερίδας «ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ» σελ.28
9. Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου (2004) “Αξιολόγηση διεθνών κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων”, Ημερίδα: *Προστασία Υπόγειων Υδροφορέων από Υφαλμύρωση μέσω Εμπλουτισμού με Επεξεργασμένα Βιομηχανικά Απόβλητα και*

Ανάπτυξη Εργαλείων και Τεχνολογιών για τη Βιώσιμη Διαχείριση των Ιλύων από Μονάδες Καθαρισμού Βιομηχανικών Αποβλήτων”

10. Εφημερίδα «ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ» (2006) “Νερό και Θεσσαλία μια αμαρτωλή ιστορία”, Ένθετο την 23-7-2006 σελ. 26
11. Εφημερίδα «Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΠΕΝΔΥΤΗ» (2006) “Άμεση απειλή η μάστιγα της δίψας”, 19-3-2006 σελ. 30
12. Καλφούντζος Δ. και Αλεξίου Ι. (2008) “Προβλήματα και προοπτική των αρδεύσεων στη Θεσσαλία”, Άρθρο στο ένθετο «Αγροτική Ενημέρωση» της εφημερίδας «ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ» σελ. 12-13
13. Κατσαβού Ηλ. (2008) *Η συμβολή της επαναχρησιμοποίησης των αστικών υγρών αποβλήτων στη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων στη Θεσσαλία*, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος
14. Κούγκολος Αθ. (2005) *Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
15. Metcalf and Eddy (2007) *Μηχανική Υγρών Αποβλήτων – Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση*, 4^η έκδοση, Τόμος Β’, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
16. Μήτρακας Μαν. (2001) *Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
17. Μιχαλοπούλου Χαρ. (2004) *Νομοθεσία για το περιβάλλον*, Εκδόσεις Ζητη, Θεσσαλονίκη
18. Στάμου Αν. (2004) *Βιολογικός καθαρισμός αποβλήτων*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
19. Τ.Ε.Ε (2007) “Νερό για τη ζωή, νερό για βιώσιμη ανάπτυξη”, Τεύχος 2449/23-7-2007
20. Τ.Ε.Ε. (2007) “«Λυδία λίθος» η ορθή διαχείριση στην άρδευση”, Τεύχος 2449/23-7-2007
21. Τ.Ε.Ε. (2007), “Κάθε περιφέρεια και δικό της πρόβλημα” Τεύχος 2444/18-6-2007
22. Τούλιος Μ.Γ. (2008) “*Λειψυδρία, υποβάθμιση εδαφών, απερίμωση*” Άρθρο στο ένθετο «Αγροτική Ενημέρωση» της εφημερίδας «ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ» σελ. 26-27
23. Τσαγκαράκης Κ. και Αγγελάκης Α. (1998) “Αξιολόγηση Μονάδων Επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα”, *Τεχνικά Χρονικά* 3, σελ.97-102

24. Τσώνης Στ.(2004), *Επεξεργασία λυμάτων*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
25. Τ.Ε.Ε (2007) “Το μετέωρο βήμα των βιολογικών καθαρισμών”, Τεύχος 2449/23-7-2007
26. Φραντζής και συνεργάτες Ε.Π.Ε. (2006) *Σχέδιο διαχείρισης υγρών αποβλήτων Νομού Ημαθίας*
27. Νασοπούλου Υπ.(2006) *Μελέτη τοξικότητας των φυτοφαρμάκων Fosthiazate, Metalaxyl-M και Imidacloprid στα οστρακόδερμα Daphnia Magna και Artemia Franciscana*, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος

Ξενόγλωσση:

1. Andreadakis A., Gavalaki E., Mamais D., Tzimas A. (2001) “Wastewater Reuse Criteria in Greece”, 7th International Conference on Environmental Science and Technology Ermoupolis, Syros Island, pp 10-14
2. Angelakis, A.N., Marecos do Monte, M., Bontoux, L. and Asano, T. (1999) “The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines”, Review paper, *Wat. Res.*, Vol. 33, No. 10, pp 2201-2217
3. Angelakis, A.N., Bontoux, L., Lazarova, V. (2003) “Challenges and prospectives for water recycling and reuse in EU countries”, *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol 3, No 4, pp 59–68.
4. FAO (1985) “Water quality for agriculture”, R.S. Ayres and D.W. Westcot, Irrigation and Drainage Paper 29, Rome
5. FAO (1992) “Wastewater treatment and use in agriculture”, M.B. Pescod, Irrigation and Drainage Paper 47, Rome
6. Izabela Czerniawska-Kusza, Tomasz Ciesielczuk, Grzegorz Kusza, Aleksandra Cichon (2006) “Comparison of the Phytotoxkit Microbiotest and Chemical Variables for Toxicity Evaluation of Sediments” *Environmental Toxicology* 21, pp 367-371
7. Jin Sung Ra, Byoung Cheun Lee, Nam Ik Chang, Sang Don Kim (2008) “Comparative Whole Effluent Toxicity Assessment of Wastewater

- Treatment Plant Effluents using *Daphnia magna*” *Bull Environ Contam Toxicol* 80 pp 196-199
8. Latif M., Licek E.(2004) “Toxicity Assessment of Wastewaters, River Waters, and Sediments in Austria Using Cost-Effective Microbiotests”, *Toxicity assessment of Austria water and sediment* 19 pp 303- 309
 9. Oleszczuk P. (2008) “Phytotoxicity of municipal sewage sludge composts related to physico-chemical properties, PAHs and heavy metals” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 69, pp 496–505
 10. Sheehan P., Dewhurst R.E. , Jamew S., Callaghan A.,Connon R, Crane M. (2002) “Is there a relationship between soil and groundwater toxicity?” *Environmental Geochemistry and Health* 25 , pp10-16
 11. Tsagarakis K.P., Dialynas G.E., and Angelakis A.N. (2004) “Water resources management in Crete (Greece), including water recycling and reuse and proposed quality criteria”, *Agricultural Water Management*, Vol 66(1) pp 35-47
 12. WHO (1989) “Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture”, Report of a WHO Scientific Group, WHO technical report series 778, Geneva.
 13. Sakellariou-Markantonaki M. and Angelaki A. (2007) “Toxicity tests on reclaimed municipal wastewaters” *Proceedings of the International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics*, Skiathos, pp 265-270

Διαδίκτυο

- http://www.keta.gr/docs/paroysiasi_soyflia.doc , προσπελάστηκε την 14-11-2008
- http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V73-3WM5KS4-1&_user=83475&_coverDate=07%2F01%2F1999&_rdoc=1&_fmt=full&_orig=search&_cdi=5831&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_acct=C000059672&_version=1&_urlVersion=0&_userid=83475&md5=8a3259b99091c58d7d7b520642a02b49#sec2.10 , προσπελάστηκε την 15-1-2009

- http://www.bep.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=869&Itemid=192, προσπελάστηκε την 18-12-2008
- www.ellinikietairia.gr/media/pdf/Gkikas.pdf , 3-10-2008
- <http://www.hydro.ntua.gr/labs/sanitary/postgraduate/reclamation.pdf>, προσπελάστηκε την 29-2-2009
- <http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/articles/OT/WI05/reuse.pdf>, προσπελάστηκε την 4-11-2008
- <http://www.hydromedia.gr/content.asp?contentid=122> προσπελάστηκε την 29-2-2009
- <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=8199>, προσπελάστηκε την 11-4-2009
- http://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2005_11-12_08.pdf, προσπελάστηκε την 11-4-2009
- http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V73-3WM5KS4-1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=014f6406000d12663f3625d2ae91f1b , προσπελάστηκε την 22-2-2009
- <http://www.magnesiaonline.gr/portal/modules/news/article.php?storyid=266> , προσπελάστηκε την 7-3-2009
- http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/papathanasiou_k.pdf, προσπελάστηκε την 7-3-2009
- http://www.biohidrica.cl/pdfs/daphtoxkit_f-protocol01.pdf, προσπελάστηκε την 12-5-2009
- <http://www.biohidrica.cl/pdfs/phytotoxkit-protocol.pdf>, προσπελάστηκε την 12-5-2009



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091984