



***Αξιολόγηση της δυνατότητας χρήσης των
επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για
άρδευση.***



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φουντουλάκη Αναστασία

Χανιά 2004

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	6
Κεφάλαιο 1.	
Εισαγωγή.....	7
1.1 Διαχείριση των υδάτινων πόρων στην Ελλάδα	7
1.2 Εγκαταστάσεις ΕΥΑΑ.....	9
Κεφάλαιο 2.	
Το αρδευτικό νερό	15
2.1 Εκτίμηση της καταλληλότητας υδατικών πόρων για άρδευση.....	15
2.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού και επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση.....	18
2.2.1 Περιεκτικότητα σε άλατα	18
2.2.2 Περιεκτικότητα σε νάτριο	20
2.2.3 Περιεκτικότητα σε ανθρακικά ιόντα, χλώριο και βόριο.....	20
2.2.4 Περιεκτικότητα σε μέταλλα	22
2.2.5 Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά συστατικά	23
2.2.6 Ειδική Τοξικότητα Ιόντων	23
2.2.7 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά	24
2.2.8 Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά	24
2.2.9 Περιεκτικότητα σε παθογόνα συστατικά	26
2.3 Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων	27
Κεφάλαιο 3.	
Διαχείριση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων (ΕΥΑΑ)	29
.....	29
3.1 Προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση...33	
3.2 Επεξεργασία αποβλήτων για χρήση ως αρδευτικό νερό	36
3.2.1 Αποθήκευση.....	38
3.3 Μέθοδοι άρδευσης	38
3.3.1 Επιλογή μεθόδου άρδευσης	39
3.3.2 Η πρακτική της άρδευσης	41
Κεφάλαιο 4.	
Νομοθεσία για την διαχείριση ΕΥΑΑ	42
4.1 Προστασία των χρηστών νερού	42
4.1.2 Προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος	42
4.1.3 Άλλα νομικά θέματα	43
4.2 Ισχύον θεσμικό πλαίσιο	43
Κεφάλαιο 5.	
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση ΕΥΑΑ και αντιμετώπιση τους	46
5.1 Επιπτώσεις κατά την πρόσθετη επεξεργασία	46
5.2 Επιπτώσεις στο έδαφος, στα επιφανειακά και υπόγεια νερά	46
5.3 Επιπτώσεις στις καλλιέργειες	47
5.4 Επιπτώσεις στη δημόσια υγεία	47
Κεφάλαιο 6.	
Διεθνής ανασκόπηση για την χρήση των ΕΥΑΑ για άρδευση	49
6.1 Η κατάσταση στις ΗΠΑ	49
6.2 Η κατάσταση σε άλλες χώρες	49
6.3 Η κατάσταση στην Πορτογαλία	52
6.4 Η κατάσταση στην Ελλάδα	56
6.4.1 Άρδευση πάρκου στην νήσο Πασά Χαλκίδας	56

6.4.2 Άρδευση ρυζιού με επεξεργασμένα αστικά λύματα στη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	59
6.4.3 Άρδευση στο Ακρωτήρι Χανίων	62
Κεφάλαιο 7	
Αξιολόγηση της μικροβιολογικής επιβάρυνσης του εδάφους μετά από την άρδευση με ΕΥΑΑ	64
7.1 Υλικά και μέθοδοι	64
<i>Εγκατάσταση πειράματος</i>	<i>64</i>
<i>Δειγματοληψίες</i>	<i>65</i>
<i>Αναλύσεις</i>	<i>66</i>
<i>Μεθοδολογίες</i>	<i>66</i>
α) pH	66
β) αγωγιμότητα	67
γ) συγκέντρωση ορθοφωσφορικών	67
δ) συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων	68
ε) συγκέντρωση νιτρικών ιόντων	69
στ) μέτρηση του COD	69
ζ) μέτρηση του BOD	70
η) μέτρηση του υπολειμματικού χλωρίου	72
θ) προσδιορισμός θερμοανθεκτικών κοπρανωδών και ολικών κολοβακτηρίων	73
η) προσδιορισμός κολοβακτηρίων στο έδαφος	74
7.2 Αποτελέσματα	75
7.3 Συζήτηση	80
Παράρτημα	84
Παράρτημα γραφικών παραστάσεων και αποτελεσμάτων του καταγραφικού θερμοκρασίας	85
Βιβλιογραφία	86

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1	σελ.8
Πίνακας 2	σελ.12
Πίνακας 3	σελ.15
Πίνακας 4	σελ.16
Πίνακας 5.....	σελ.21
Πίνακας 6.....	σελ.21
Πίνακας 7	σελ.22
Πίνακας 8	σελ.23
Πίνακας 9	σελ.25
Πίνακας 10	σελ.31
Πίνακας 11	σελ.32
Πίνακας 12	σελ.32
Πίνακας 13	σελ.34
Πίνακας 14	σελ.35
Πίνακας 15	σελ.36
Πίνακας 16	σελ.40
Πίνακας 17	σελ.50
Πίνακας 18	σελ.51
Πίνακας 19	σελ.52
Πίνακας 20	σελ.53
Πίνακας 21	σελ.54
Πίνακας 22	σελ.54
Πίνακας 23	σελ.57
Πίνακας 24	σελ.57
Πίνακας 25	σελ.57
Πίνακας 26	σελ.58
Πίνακας 27	σελ.60
Πίνακας 28	σελ.61
Πίνακας 29	σελ.61
Πίνακας 30	σελ.72
Πίνακας 31.....	σελ.76
Πίνακας 32.....	σελ.77
Πίνακας 33.....	σελ.79
Πίνακας 34	σελ.84
Πίνακας 35.....	σελ.84

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1	σελ.11
Σχήμα 2	σελ.13
Σχήμα 3	σελ.14
Σχήμα 4	σελ.18
Σχήμα 5	σελ.56
Σχήμα 6	σελ.78
Σχήμα 7	σελ.79
Σχήμα 8	σελ.80
Σχήμα 9	σελ.80
Σχήμα 10.....	σελ.82
Σχήμα 11.....	σελ.82

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1	σελ.10
Διάγραμμα 2	σελ.12
Διάγραμμα 3	σελ.52
Διάγραμμα 4	σελ.54
Διάγραμμα 5	σελ.55
Διάγραμμα 6	σελ.55

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1	σελ.66
Εικόνα 2	σελ.66
Εικόνα 3	σελ.67
Εικόνα 4	σελ.68
Εικόνα 5	σελ.69
Εικόνα 6	σελ.70
Εικόνα 7	σελ.70
Εικόνα 8	σελ.70
Εικόνα 9	σελ.71
Εικόνα 10	σελ.71
Εικόνα 11.....	σελ.72
Εικόνα 12	σελ.72
Εικόνα 13.....	σελ.74
Εικόνα 14.....	σελ.77
Εικόνα 15.....	σελ.77
Εικόνα 16.....	σελ.78

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει τη δυνατότητα χρήσης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση.

Στα κεφάλαια 1,2,3,4,5 και 6, γίνεται η εννοιολογική προσέγγιση των σχετικών με το θέμα όρων και η συγκριτική βιβλιογραφική ανασκόπησή της δυνατότητας χρήσης των εκροών από τις μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων για άρδευση.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα εργαστηριακά αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων εδάφους μετά την πειραματική εφαρμογή της εκροής από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων (ΕΥΑΑ) του Δήμου Χανίων για άρδευση. Στόχος της εφαρμογής, με προσομοίωση των συνθηκών αγρού, ήταν η αξιολόγηση του βαθμού μικροβιακής μόλυνσης του εδάφους μετά από άρδευση με νερό προερχόμενο από την εκροή ΕΥΑΑ, στα οποία δεν είχε γίνει η τελική χλωρίωση.

SUMMARY

The reuse of treated wastewater for irrigation

The treated wastewater consist important water resource, which has to be utilized, so as to satisfy compulsory needs. Initially, the utilization for irrigation may give a solution in territories with intensive lack of irrigation water. Though, special attention must be given in microbiological contamination of treated wastewater before the irrigation. Water born diseases are the major danger for the human health in case that treated wastewater has not been efficiently disinfected. In the frame of the present thesis the potential risk of the use of treated non chlorinated municipal wastes for irrigation was studied. Experimental pots were irrigated and the number of total and faecal coliforms were measured periodically after irrigation. This laboratory implementation is an attempt to study the possible danger from the irrigation agriculture cultivations with treated wastewater which for some reason they could be used without sufficient chlorinating. In order to evaluate the influence of the weather, the experiment accomplished in two eras summer (July and August 2003) and autumn (November 2003), indoors and outdoors. The results showed increased number of total and faecal coliforms during July, which diminishes during of August and disappears with the latest trial of November.

Κεφάλαιο 1.

Εισαγωγή

Ιστορικά, η Ελλάδα θεωρείται πρωτοπόρος στην ανάπτυξη των σύνθετων συστημάτων των υπονόμων, όπως υποδηλώνουν τα ευρήματα των αρχαίων παλατιών και πόλεων του Μινωικού πολιτισμού. Σήμερα η Ελλάδα έχει πληθυσμό 10,6 εκατομμύρια που ζουν σε έκταση περίπου 132,000 km² με μια ακτογραμμή 15,000 km (Tsagarakis *et al.*, 2001(β)). Η χώρα βρίσκεται νότιο-ανατολικά της Ευρώπης περικυκλωμένη από το Ιόνιο, το Αιγαίο και το Λιβυκό πέλαγος. Η οικονομία της χώρας εξαρτάται ολοένα και περισσότερο από τον τουρισμό. Για το λόγο αυτό η διατήρηση των φυσικών πόρων και η παρεμπόδιση της παράκτιας μόλυνσης αποτελούν θέματα ιδιαίτερης σημασίας.

Από το 1981 που η Ελλάδα έγινε μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπήρξαν ραγδαίες οικονομικές εξελίξεις για να προσαρμοσθεί με την κοινή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Την ίδια χρονική περίοδο η Ελλάδα κλήθηκε να συμμορφωθεί με τους κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον έλεγχο της μόλυνσης. Μέχρι σήμερα έγιναν σημαντικά βήματα για την ρύθμιση της μόλυνσης, με την σχετική νομοθεσία η οποία ήταν ανύπαρκτη την περίοδο ένταξης της Ελλάδας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο τομέας της επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων (ΕΥΑΑ) απέκτησε ιδιαίτερο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Σημαντικές πληροφορίες έχουν δημοσιευθεί (Tsagarakis *et al.*, 2001(β)) για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου τομέα, που βασίζονται σε δεδομένα που συστηματικά έχουν συλλεχθεί από μελέτες που έγιναν σε εθνικό επίπεδο και αφορούσαν όλες τις δημοτικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας των αποβλήτων.

Η Ελλάδα μια τυπική Μεσογειακή χώρα ακολούθησε τις περισσότερες εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας των υγρών αποβλήτων. Ωστόσο, πολλές από τις τεχνολογίες οι οποίες υλοποιήθηκαν είχαν σε μεγάλο βαθμό επηρεαστεί από τις βόρειες χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι εφαρμογές εμφανίζονται ιδιαίτερα την δεκαετία του 1990, κυρίως ως συνέπεια της οδηγίας 91/271/EEC(CEC, 1991) η οποία πραγματεύεται τα αστικά υγρά απόβλητα, και από το γεγονός ότι ήταν διαθέσιμη μια ποικιλία Ευρωπαϊκών προγραμμάτων, όπως το Πρόγραμμα Συνοχής, που παρείχε οικονομική υποστήριξη για την κατασκευή δημοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων.

1.1 Διαχείριση των υδάτινων πόρων στην Ελλάδα.

Αν και οι ακριβείς εκτιμήσεις των διαθέσιμων υδάτινων πόρων στην Ελλάδα δεν έχουν γίνει, οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν ότι η μέση κατανάλωση νερού (αγροτική, οικιακή και βιομηχανική χρήση) είναι το 11% του ετήσιου δυναμικού νερού (σύνολο του επιφανειακού και υπόγειου διαθέσιμου νερού) (Πίνακας 1). Τα συνολικά ετήσια κατακρημνίσματα υπολογίζονται να είναι 115.375xMm³ και το ετήσιο δυναμικό ύδατος υπολογίζεται να είναι 69.000xMm³ (συμπεριλαμβανομένου του νερού που μεταφέρεται από τις χώρες από το Βορρά). Στις αρχές του 1994, η συνολική κατανάλωση νερού υπολογίστηκε σε 5.500xMm³/έτος, ενώ μέχρι το τέλος της δεκαετίας αυξήθηκε κατά περίπου 30 %. Υπολογίζεται ότι η κατανάλωση νερού στην Ελλάδα αυξάνεται περισσότερο από 3 % ετησίως.

Η σημαντικότερη χρήση του νερού στην Ελλάδα είναι για άρδευση (17 έως 95% της συνολικής κατανάλωσης ανάλογα την περιοχή) ενώ η οικιακή χρήση κυμαίνεται από 3 έως 66 % και για βιομηχανική χρήση από 0,2 έως 16,0 %. Η αυξανόμενη απαίτηση για το νερό, είτε για αστική είτε για γεωργική χρήση, δεν μπορεί πάντα να ικανοποιηθεί παρά τα επαρκή κατακρημνίσματα. Το αρνητικό ισοζύγιο νερού παρατηρείται συχνά, ειδικά στις παράκτιες και νοτιοανατολικές περιοχές, λόγω των χρονικών και χωρικών παραλλαγών των κατακρημνισμάτων, της αυξανόμενης απαίτησης νερού κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, και της δυσκολίας της μεταφοράς νερού λόγω της ορεινής έκτασης. Εντούτοις, κατά

μέσον όρο, υπάρχει μια σχετικά υψηλή κατά κεφαλήν διαθεσιμότητα νερού (δηλ., περίπου 5.800 m³/κάτοικο/έτος). Αν και αυτό είναι χαμηλότερο από τις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, είναι πολύ υψηλότερο από αυτή άλλων περιοχών της Μεσογείου. Παραδείγματος χάριν, υπάρχουν περιοχές στην Ισπανία (Βαλεαρίδες Νήσοι) με κατά κεφαλήν διαθεσιμότητα λιγότερο από 500 m³/έτος. Σε αυτές τις περιοχές της Μεσογείου η επαναχρησιμοποίηση ΕΥΑΑ μπορεί να αποτελέσει μια κατάλληλη λύση.

Στην Ελλάδα η γεωργία έχει βελτιωθεί ουσιαστικά από το 1980 και η πρόσθετη γεωργική ανάπτυξη εξαρτάται κυρίως από τη διαθεσιμότητα νερού. Η ζήτηση για το νερό άρδευσης είναι υψηλή, δεδομένου ότι η μέση ετήσια αύξηση σε γεωργική χρήση νερού υπολογίζεται μεταξύ 1,0 και 1,5 %, ενώ για παράδειγμα το 1997 στην Κρήτη ποτίστηκε μόνο το 36 % του διαθέσιμου γεωργικού εδάφους (Tsagarakis *et al.*, 2001(γ)). Αφετέρου, υπάρχουν σημαντικές απώλειες (διήθηση, εξάτμιση, διαρροή, κ.λ.π.) από το νερό που διατίθεται στις γεωργικές περιοχές για την άρδευση και τις αστικές περιοχές για την οικιακή χρήση. Σε μερικές περιπτώσεις, αυτές οι απώλειες υπολογίζονται στο 45 % τουλάχιστον.

Ένα εναλλακτικό σχέδιο για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων πρέπει να περιλάβει τις εκροές από τις εγκαταστάσεις ΕΥΑΑ. Αυτό το σχέδιο θα παρέχει ικανοποιητική ποσότητα νερού για άρδευση, και συγχρόνως θα μειώνει τα φορτία ρύπανσης που εισάγονται στη θάλασσα ή σε κλειστές υδάτινες συλλογές (Tsagarakis *et al.*, 2001(γ)).

Πίνακας 1: Ετήσια δυνατότητα κατακρημνισμάτων, δυναμικό και χρήση νερού σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας (Tsagarakis *et al.*, 2001(γ)).

Περιοχή νερού	Περιοχή (km ²)	Κατακρη μνίσματα (Mm ³ /y)	Δυναμικό νερού (Mm ³ /έτος)			Χρήση νερού (Mm ³ /έτος)			
			Επιφάνεια	Έδαφος	Σύνολο	Αγροτική	Οικιακή	Βιομηχανική	Σύνολο
1.Δυτική Πελοπόννησος	7,301	8,031	3,050	700	3,750	560	23	22	605
2.Βόρεια Πελοπόννησος	7,310	6,404	2,650	900	3,550	653.5	40	68	761.5
3.Ανατολική Πελοπόννησος	8,477	5,811	1,000	950	1,950	780	20	25	825
4.Δυτική Κεντρική Ελλάδα	10,199	13,592	9,750	850	10,600	260	21	0,5	281.5
5. Ήπειρος	10,026	17,046	8,500	250	8,750	230	31	4	265
6.Αττική	3,207	1,642	200	200	400	70	270	65	405
7.Κεντρική Ελλάδα κ Εύβοια	12,341	9,516	1,900	1,050	2,950	380	36	5.5	421.5
8.Θεσσαλία	13,377	10,426	3,250	1,350	4,600	1,060	65	46	1,171
9.Δυτική Μακεδονία	13,440	10,599	4,100	850	4,950	582	48	30	660
10.Κεντρική Μακεδονία	10,389	6,596	6,900	700	7,600	477	75	20	572
11.Ανατολική Μακεδονία	7,280	4,422	4,200	550	4,750	439	23	9.5	471.5
12.Θράκη	11,177	8,574	10,900	400	11,300	536	35	6	577
13.Κρήτη	8,335	7,500	1,300	1,300	2,600	320	60	4	384
14.Νησιά Αιγαίου	9,103	5,216	1,000	250	1,250	80	37	1	118
Σύνολο	131,962	115,375	58,700	10,300	69,000	6,427.5	784	306.5	7,518

1.2 Εγκαταστάσεις ΕΥΑΑ.

Βασικό στοιχείο της κατασκευής έργων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελεί ο σχεδιασμός τους. Οι τάσεις και οι παράγοντες που επιβάλλουν (ή προωθούν) την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των ΕΥΑΑ μπορούν να συνοψισθούν όπως παρακάτω :

1. Περιορισμός της υδάτινης ρύπανσης.
2. Διαθεσιμότητα υψηλής ποιότητας εκροών υγρών αποβλήτων για διάφορες επωφελείς χρήσεις.
3. Εφοδιασμός με νερό και σε μακροπρόθεσμη βάση γειτονικών αστικών περιοχών και γεωργικών εκτάσεων.
4. Υδάτινη ζήτηση και γενική διαχείριση ενταγμένη σε ένα συνολικό σχεδιασμό όλων των αντικειμένων των υδάτινων πόρων.
5. Ενθάρρυνση της κοινής γνώμης και πολιτικός προγραμματισμός προς την διατήρηση και ανακύκλωση υδάτινων πόρων. Η σημασία της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού των ΕΥΑΑ στο γενικότερο σχεδιασμό των υδάτινων πόρων, έχει αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κυρίως την τελευταία δεκαετία και οφείλεται στους προαναφερόμενους παράγοντες. Ένα πρώτο βήμα στο γενικότερο σχεδιασμό επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ είναι ο προσδιορισμός του πρωταρχικού σκοπού του έργου. Αυτός μπορεί να είναι η εξασφάλιση πρόσθετων ποσοτήτων νερού ή ο έλεγχος της ρύπανσης. Όπως είναι γνωστό, σε πολλές περιοχές η ζήτηση νερού είναι μεγαλύτερη της διαθεσιμότητας, ακόμη και σε έτη κανονικών ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Επίσης, υπό τέτοιες συνθήκες, η ανάπτυξη νέων πηγών νερού είναι χρονοβόρα, δαπανηρή και πολλές φορές περιβαλλοντικά απαγορευτική. Η ανάκτηση υγρών αποβλήτων αποτελεί ένα αξιόπιστο υδάτινο πόρο, ιδιαίτερα στο αστικό περιβάλλον και κατά τα έτη ξηρασίας μπορεί να αντικαταστήσει διαθέσιμους πόρους για πόσιμη ή μη πόσιμη χρήση.

Ο σχεδιασμός έργων επαναχρησιμοποίησης ποιοτικά υποβαθμισμένων νερών περιλαμβάνει τρία **βασικά** στάδια:

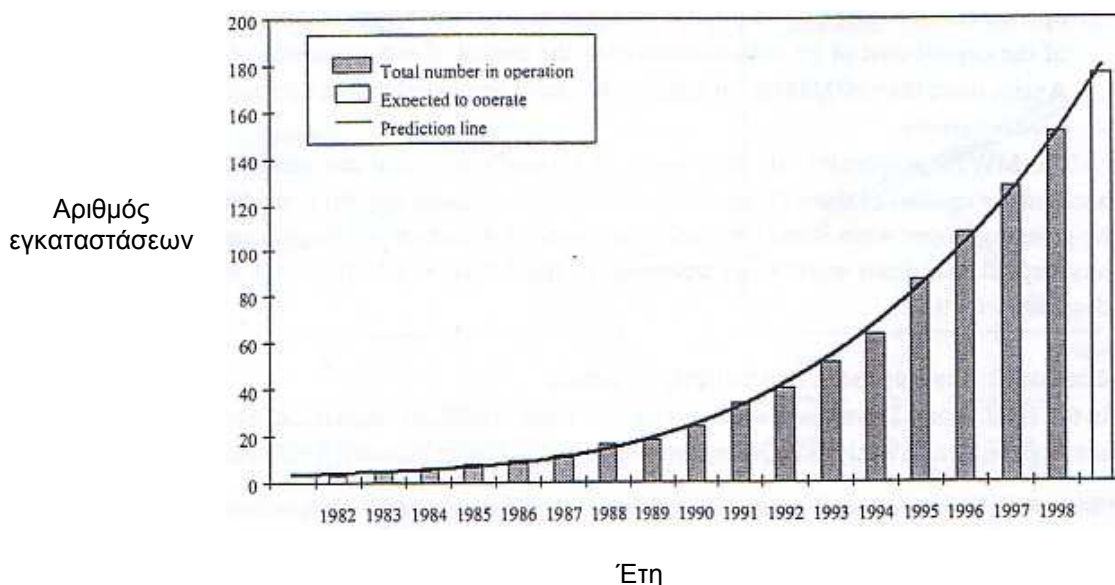
1. Βασική ιδέα και σκοπό του έργου.
2. Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής, που συνίσταται:
 - α) στην εκτίμηση της αγοράς,
 - β) στην καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης και
 - γ) στον προσδιορισμό εναλλακτικών έργων διάθεσης (όχι ανάκτησης).
3. Σχεδιασμό εγκαταστάσεων.

Βασική προϋπόθεση του οριστικού σχεδιασμού ενός έργου ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων είναι η ύπαρξη καταναλωτών-χρηστών. Επίσης, η εξασφάλιση ενός χρήστη εξαρτάται από την ποιότητα της διαθέσιμης εκροής και τον τόπο, το χρόνο και την έκταση της χρήσής της. Παρόλο που τεχνικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί και άλλοι παράγοντες πρέπει να θεωρούνται σημαντικοί κατά τον σχεδιασμό ενός έργου ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ, συνήθως πολύ βασική σημασία στη λήψη της απόφασης υλοποίησης ενός τέτοιου έργου έχουν οι οικονομικοί παράγοντες. Οι οικονομικό-χρηματική ανάλυση εμπίπτει σε δύο επί μέρους κατηγορίες: στην καθαρά οικονομική ανάλυση και στην επενδυτική ανάλυση. Έτσι, ουσιαστικά, η μεν πρώτη ανάλυση απαντά στο ερώτημα εάν θα μπορούσε να κατασκευασθεί ένα τέτοιο έργο και η δεύτερη στο εάν πραγματικά μπορεί να κατασκευασθεί.

Μια συνήθης ερώτηση, που τίθεται κατά το σχεδιασμό έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, είναι εάν η ανάκτηση των ΕΥΑΑ αντιπροσωπεύει πραγματικά ένα χαμηλού κόστους υδάτινο πόρο. Αυτή η

υπόθεση είναι γενικά ορθή μόνο όταν οι εγκαταστάσεις ανάκτησης βρίσκονται στην περιοχή επαναχρησιμοποίησης, όπως είναι οι γεωργικές, οι αρδεύσιμες εκτάσεις, οι υδροβόρες βιομηχανίες και βιοτεχνίες και όταν δεν απαιτείται πρόσθετη επεξεργασία πέρα από τον έλεγχο της υδάτινης ρύπανσης στο σημείο εκροής. Γενικά, το κύριο κόστος των έργων ανάκτησης- επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ αφορά τα συστήματα μεταφοράς και διανομής του επεξεργασμένου απόβλητου.

Το 1981 η Ελλάδα έγινε μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ξεκίνησε την συμμόρφωση με τα πρότυπα για την ρύθμιση της ρύπανσης. Προς τα τέλη του 1997, 241 δημοτικές εγκαταστάσεις ΕΥΑΑ είχαν κατασκευαστεί σε όλη τη χώρα, από τις οποίες οι 127 ήταν σε λειτουργία και εξυπηρετούσαν κατά 47% στον ολικό μόνιμο πληθυσμό (Tsagarakis *et al.*, 2001(β)). Η ιστορική ανάπτυξη των εν λειτουργία δημοτικών ΕΥΑΑ, φαίνεται στο Διάγραμμα 1.

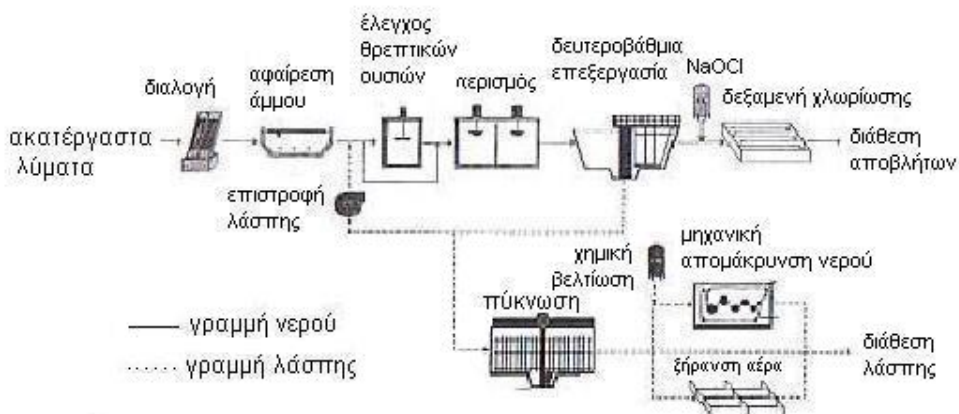


Διάγραμμα 1: Ιστορική ανάπτυξη των δημοτικών εγκαταστάσεων ΕΥΑΑ στην Ελλάδα. (Tsagarakis *et al.*, 2001(β)).

Στην Ελλάδα η ανάγκη για μικρές εγκαταστάσεις ΕΥΑΑ είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή για μεγάλες εγκαταστάσεις. Υπάρχουν πολλές μικρές κοινότητες και η ανάγκη για ένα καθαρό περιβάλλον έχει αυξήσει το ενδιαφέρον για αποτελεσματική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων όπως προκύπτει από έρευνα που έλαβε χώρα το χρονικό διάστημα μεταξύ καλοκαίρι 1995 και καλοκαίρι 1997 (Tsagarakis *et al.*, 2000).

Στις εγκαταστάσεις που εξασφαλίζουν τουλάχιστον την δευτεροβάθμια επεξεργασία, είναι φανερό ότι ο παρατεταμένος αερισμός είναι το κύριο σύστημα καθώς εξασφαλίζει επιπλέον πλεονεκτήματα για τις Μεσογειακές κλιματικές συνθήκες. Τυπικά χαρακτηριστικά μιας εγκατάστασης παρατεταμένου αερισμού είναι ότι η γραμμή υγρών (liquid line) αποτελείται από μηχανική προεπεξεργασία, αερισμό, ιζηματοποίηση, χλωρίωση και ξήρανση αέρα για την απομάκρυνση της λάσπης. Οι εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν διαδικασίες για την απομάκρυνση θρεπτικών (άζωτο, φώσφορος) διαθέτουν επίσης ανοξικές και αναερόβιες δεξαμενές (απονιτροποίηση και αποθειοποίηση) (Σχήμα 1.α).

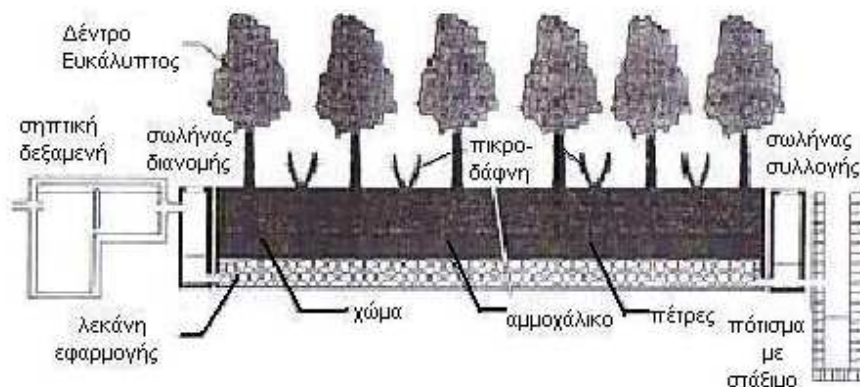
Μικρές εγκαταστάσεις ΕΥΑΑ με διαδοχικές δεξαμενές σταθεροποίησης κατασκευάστηκαν μόνο στη νομαρχία των Σερρών και στην Καβάλα. Το σχέδιο διαδικασίας περιλαμβάνει μια προαιρετική και μια έως τρεις κύριες δεξαμενές που περιλαμβάνουν σε μερικές περιπτώσεις ένα φίλτρο από πέτρες πριν από την έξοδο (Σχήμα 1.β).



(α) Τυπικό σύστημα αερισμού



(β) Σύστημα λιμνών σταθεροποίησης αποβλήτων



(γ) Υδροπονική δασοπονία (hydroponic silviculture)

Σχήμα 1: Συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα.

Η υδροπονική δασοπονία είναι μια φυσική διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που εφαρμόζεται σε μικρές κοινότητες στο νησί Εύβοια στην κεντρική Ελλάδα. Η εγκατάσταση αποτελείται από μια σηπτική δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού, μια ευθύγραμμη εγκατάσταση σε διαδοχικά επίπεδα με δέντρα και ένα «πηγάδι» για πότισμα με επιθυμητή ποσότητα (Σχήμα 1.γ).

Ανάλυση στοιχείων, τα οποία έχουν δημοσιευτεί από τους Tsagarakis *et al* (2001(α)), δείχνουν ότι το 20% των εγκαταστάσεων ΕΥΑΑ στην Ελλάδα είχαν διακόψει την λειτουργία τους για 2,5 χρόνια κατά μέσο όρο. Ο αριθμός εγκαταστάσεων σε σχέση με τα έτη μη λειτουργίας παρουσιάζεται στο [Διάγραμμα 2](#) ενώ η κατηγοριοποίηση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων συνοψίζεται στον [Πίνακα 2](#) σύμφωνα με το μέγεθος των εγκαταστάσεων.

Όπως αναφέρεται από τους Tsagarakis *et al.*, σε δημοσίευση τους (2001(α)), οι εγκαταστάσεις που απέτυχαν να συμμορφωθούν με την οδηγία 91/271/EC είναι εκείνες που εξυπηρετούν την Αθήνα, περίπου 3.500.000 κάτοικοι, όπου οι υπάρχουσες αρχικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας αναβαθμίζονται ακόμα, την Θεσσαλονίκη, περίπου 1.000.000 κάτοικοι, όπου οι δευτεροβάθμιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αναβαθμίζονται, την Πάτρα (153.344 κάτοικοι), Σέρρες (πληθυσμός 49.380), Δράμα (37.064 κάτοικοι), Σαλαμίνα (31.884 κάτοικοι), Πύργος (28.460 κάτοικοι), Μυτιλήνη (23.971 κάτοικοι), Νάουσα (19.794), Έδεσσα (17.128 κάτοικοι) και Ερμούπολη (15.929 κάτοικοι).

Πίνακας 2: Αριθμός των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και κατάσταση τους όσον αφορά την λειτουργία τους ανάλογα με τους κατοίκους (Tsagarakis *et al.*, 2001(α)).

Κατηγορία	ικανότητα σε ισοδύναμους κατοίκους		
	500-10.000	10.000-100.000	>100.000
1. Αποτυχία	13	-	-
2. Υπό κατασκευή	31	21	2
3. Ελλιπής κατασκευή	7	5	-
4. Ολοκληρωμένες αλλά όχι σε λειτουργία	25	10	-
5. Σε λειτουργία	71	49	7
Σύνολο	147	85	9

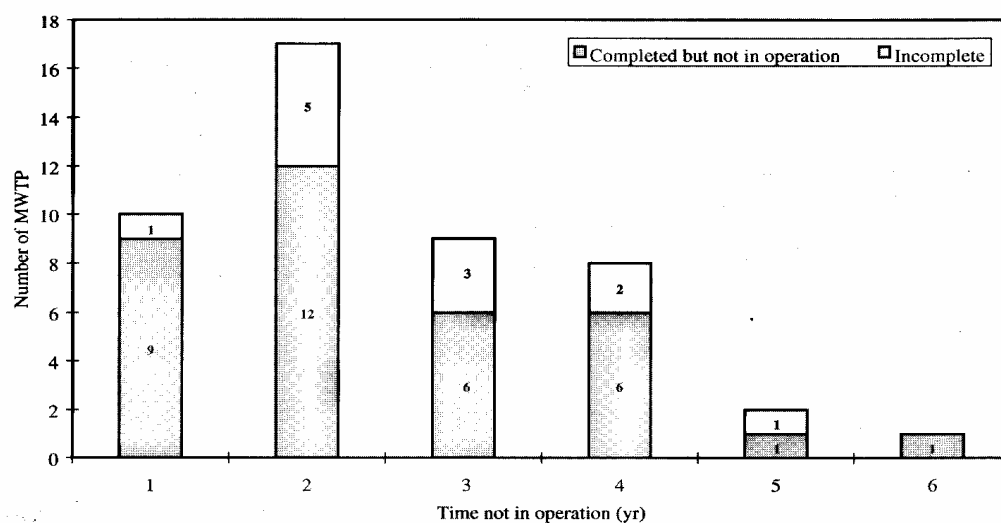
Κατηγορία 1: Αποτυχία. Οι εγκαταστάσεις ΕΥΑΑ που απέτυχαν, προτού να αρχίσουν ακόμη τη λειτουργία τους, τέθηκαν σε αυτήν την κατηγορία. Συμπεριλαμβάνονται επίσης οι εγκαταστάσεις που άρχισαν να λειτουργούν αλλά λειτούργησαν για λιγότερο από 10% του ορισμένου χρόνου τους.

Κατηγορία 2: Εγκαταστάσεις υπό κατασκευή. Αυτές ήταν οι εγκαταστάσεις όπου οι εργασίες κατασκευής ήταν υπό εξέλιξη κατά τη διάρκεια της περιόδου της μελέτης.

Κατηγορία 3: Εγκαταστάσεις υπό κατασκευή αλλά οι εργασίες κατασκευής είχαν πάψει για περισσότερο από ένα έτη (ελλιπείς). Οι εγκαταστάσεις σε αυτήν την κατηγορία ήταν ημιτελείς.

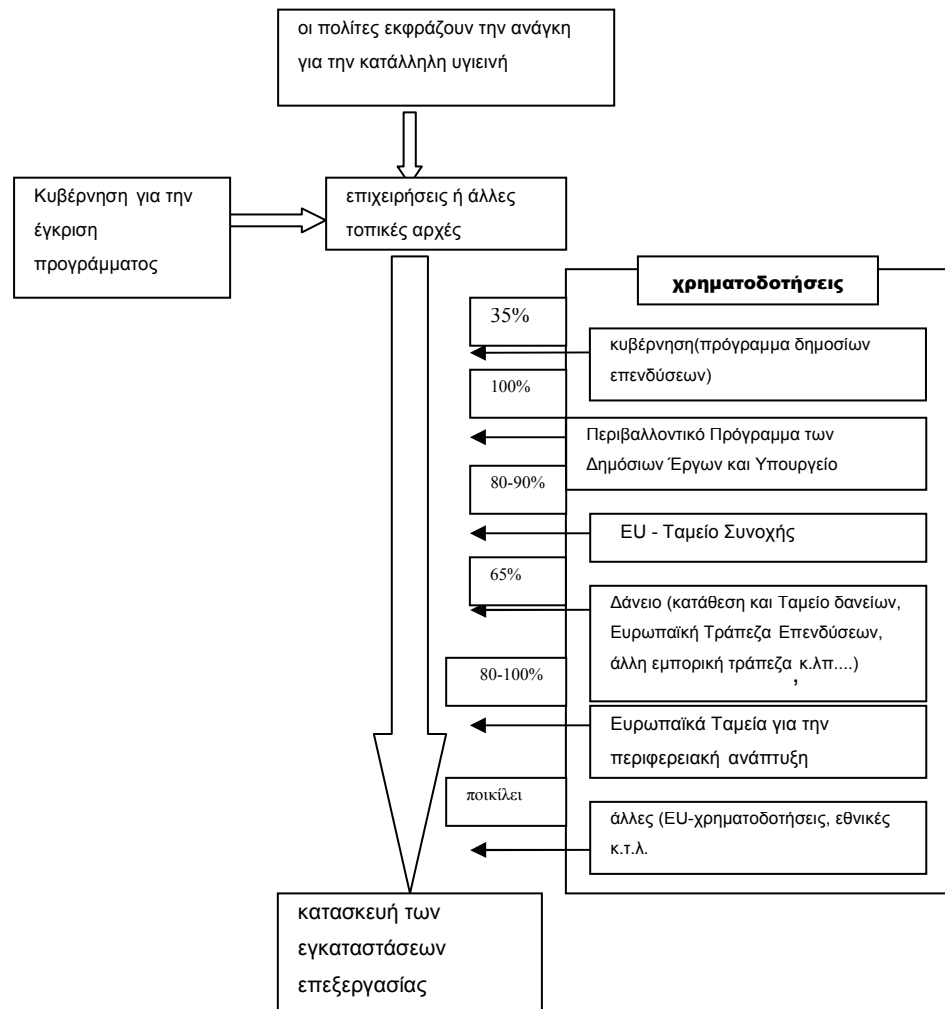
Κατηγορία 4: Εγκαταστάσεις στις οποίες σχεδόν όλη η εργασία κατασκευής είχε τελειώσει, αλλά δεν λειτούργησαν εξαιτίας άλλων λόγων (ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις αλλά όχι σε λειτουργία). Εδώ, ακόμη και ο μηχανικός εξοπλισμός έχει εγκατασταθεί σχεδόν πλήρως, με περισσότερο από το 90% της κατασκευής να έχει ολοκληρωθεί.

Κατηγορία 5: Εγκαταστάσεις σε λειτουργία.



Διάγραμμα 2: Εγκαταστάσεις ΕΥΑΑ σε σχέση με τα έτη μη λειτουργίας (Tsagarakis *et al.*, 2001(α))

Σύμφωνα με τους Tsagarakis *et al.*, (2001(α)) οι πολίτες είναι η δύναμη πίεσης προς τις τοπικές αρχές και τις κυβερνήσεις για την κατασκευή εγκαταστάσεων ΕΥΑΑ. Ιδιαίτερα παραστατικά στο **Σχήμα 2** φαίνεται η σύνδεση των διαφόρων εμπλεκόμενων πηγών χρηματοδότησης για την κατασκευή μονάδας επεξεργασίας.

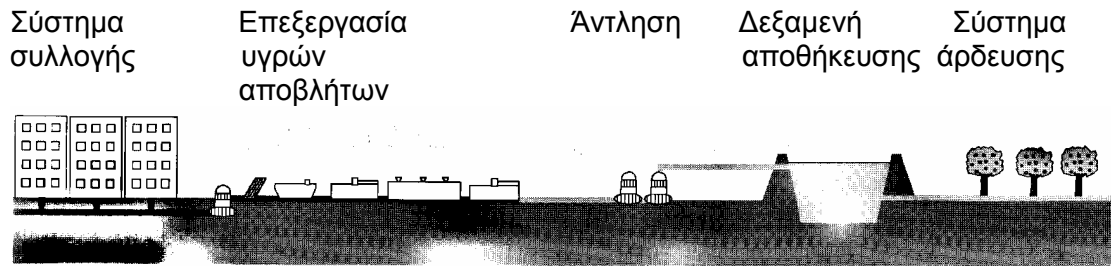


Σχήμα 2: Διαδικασία που προηγείται για την χρηματοδότηση της κατασκευής εγκαταστάσεων ΕΥΑΑ. (Tsagarakis *et al.*, 2001(α))

Είναι γενικά αποδεκτό ότι οι επεξεργασμένες εκροές των δημοτικών εγκαταστάσεων ΕΥΑΑ πρέπει να θεωρούνται πλέον πολύτιμος οικονομικός πόρος και όχι "απόβλητα". Σε περιοχές με σημαντικές ελλείψεις σε υδάτινο δυναμικό η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να είναι μια βιώσιμη επιλογή. Σε αυτή την περίπτωση ο κανόνας θα πρέπει να είναι: «όποιος δημιουργεί τα υγρά απόβλητα είναι αρμόδιος να πληρώσει για την επεξεργασία τους έως ότου τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους να συμφωνούν με αυτά των θεσμοθετημένων προτύπων». Το συμπληρωματικό κόστος των συστημάτων επεξεργασίας, άντλησης, διανομής και εφαρμογής του νερού που διατίθεται σε ένα κράτος πρέπει να καλυφτεί από εκείνους που ωφελούνται από τη χρήση αυτού του

νερού (Σχήμα 3). Αυτή είναι η πολιτική που υιοθέτησε το Ισραήλ και ενθαρρύνει τη χρήση των ΕΥΑΑ με επιχορήγηση των χρηστών.

Στην Ελλάδα δεν επικρατεί εθνική πολιτική για επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων και κάθε περίπτωση επαναχρησιμοποίησης εξετάζεται μεμονωμένα. Γενικά η διάθεση των υγρών αποβλήτων αντιμετωπίζεται περισσότερο ως θέμα αποβλήτων παρά ως πιθανός υδάτινος πόρος. Παρόλα αυτά έχουν προταθεί συγκεκριμένα κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων και ένα προκαταρκτικό σχέδιο είναι σε εξέλιξη. Κύριο πρόβλημα παραμένει το σχετικά πολύ υψηλότερο κόστος για το δίκτυο αποθήκευσης και άρδευσης έναντι της τελικής διάθεσης στην θάλασσα.



Σχήμα 3: Διαδικασία λειτουργίας εγκαταστάσεων ΕΥΑΑ. (Tsagarakis *et al.*, 2001(α))

Κεφάλαιο 2.

Το αρδευτικό νερό

2.1 Εκτίμηση της καταλληλότητας υδατικών πόρων για άρδευση

Παρόλο, που η πρακτική των αρδεύσεων ήταν γνωστή πριν από πολλές χιλιετίες, η ποιότητα του αρδευτικού νερού, ως βασικής παραμέτρου γεωργικής ανάπτυξης, αναγνωρίστηκε μόνο τον 20^ο αιώνα.

Η ποιότητα του αρδευτικού νερού είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές, όπου οι επικρατούσες υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό, με τη χαμηλή υγρασία δημιουργούν συνθήκες για υψηλές ταχύτητες εξατμισοδιαπνοής (*ET*). Η *ET* ορίζεται ως η συνολική απώλεια νερού από το έδαφος, την ελεύθερη επιφάνεια νερού και τη φυλλική επιφάνεια μιας φυτικής καλλιέργειας, που είναι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα καθώς και η μετατόπισή του στη συνέχεια σ' αυτήν. Το χρησιμοποιούμενο για άρδευση νερό είναι δυνατόν να ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και τη συγκέντρωση των διαλυμένων σ' αυτό αλάτων. Σημαντικό επακόλουθο της *ET* είναι η εναπόθεση τέτοιων αλάτων στο έδαφος, που στη συνέχεια τείνουν να συγκεντρώνονται αθροιστικά σ' αυτό. Επίσης διάφορες χημικές, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους, όπως είναι ο βαθμός διασποράς των εδαφικών σωματιδίων, η σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων, η εδαφική δομή και η υδραυλική αγωγιμότητα είναι παράμετροι ευαίσθητες στα ιόντα, που περιέχονται στο αρδευτικό νερό. Έτσι, όταν σχεδιάζεται ένα αρδευτικό έργο με νερό που έχει ανακτηθεί από υγρά απόβλητα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο η φυτική παραγωγή, όσο και οι εδαφικές ιδιότητες. Γενικά τα προβλήματα που αφορούν τέτοια έργα, είναι τα ίδια με αυτά που ανακύπτουν κατά την άρδευση με κάθε είδους ποιοτικά υποβαθμισμένου νερού, όπως είναι τα υφάλμυρα νερά. Υπό τέτοιες συνθήκες απαιτείται ειδική διαχείριση των έργων για να αποφεύγονται ανεπιθύμητες επιδράσεις στο έδαφος ή/και στην αρδευόμενη καλλιέργεια. Ο σχεδιασμός ενός αρδευτικού έργου με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα εξαρτάται κυρίως από το βασικό σκοπό του έργου δηλαδή, εάν ο κύριος σκοπός είναι ο εφοδιασμός με νερό της φυτικής καλλιέργειας που χρησιμοποιείται ή η επεξεργασία του απόβλητου. Ανεξάρτητα όμως από αυτό, η προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων σήμερα, πριν από οποιαδήποτε διάθεση και/ή εφαρμογή του στο έδαφος, αποτελεί μια πάγια τακτική.

Ένας σημαντικός αριθμός ποιοτικών ταξινομήσεων και οδηγιών χρήσης του αρδευτικού νερού έχουν δημοσιευθεί. Απ' αυτές, οι οδηγίες που ανεπτύχθησαν από ομάδα ειδικών του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αναφέρονται στους Πίνακες 3 και 4 (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995). Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται στις επιδράσεις της ποιότητας του αρδευτικού νερού στις καλλιέργειες, στις εδαφικές συνθήκες και σε θέματα διαχείρισης των εκμεταλλεύσεων σε μακροπρόθεσμη βάση.

Πίνακας 3: Ποιοτικά χαρακτηριστικά ΕΥΑΑ για άρδευση (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

α. Περιεκτικότητα σε άλατα ή αλατότητα
β. Περιεκτικότητα σε νάτριο
γ. Περιεκτικότητα σε ανθρακικά ιόντα, χλώριο και βόριο
δ. Περιεκτικότητα σε μέταλλα
ε. Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά συστατικά
ζ. Ειδική τοξικότητα ιόντων
η. Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά
θ. Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά
ι. Περιεκτικότητα σε παθογόνα συστατικά

Για να χρησιμοποιηθούν τα ΕΥΑΑ για άρδευση πρέπει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους να έχουν αριθμητικές τιμές εντός συγκεκριμένων ορίων (Πίνακας 4) τα οποία ισχύουν γενικά για το νερό άρδευσης.

Πίνακας 4: Όρια διακύμανσης τιμών των ποιοτικών χαρακτηριστικών νερού άρδευσης με κριτήριο την εμφάνιση συγκεκριμένου προβλήματος με τη χρήση του. (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Αρδευτικό πρόβλημα	Μονάδες	Χωρίς πρόβλημα	Αυξανόμενο Πρόβλημα	Σοβαρό πρόβλημα
Αλατότητα (επιηρεάζει κυρίως την καλλιέργεια)				
EC _w	dS/m	<0,75	0,75-3,0	>3,0
TDS	mg/L	<450	450-2000	>2000
Διαπερατότητα (επιηρεάζει την ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος και εκτιμάται με συνδυασμένη θεώρηση των EC _w SAR ^α ή SAR adj ^α)				
SAR = 0 – 3 και EC _w	dS/m	>0,7	0,7-0,2	<0,2
= 3 - 6 EC _w	dS/m	>1,2	1,2-0,3	<0,3
= 6 - 12 EC _w	dS/m	>1,9	1,9-0,5	<0,5
= 12 - 20 EC _w	dS/m	>2,9	2,9-1,3	<1,3
= 20 - 40 EC _w	dS/m	>5,0	5,0-2,9	<2,9
Ειδική τοξικότητα ιόντων (επιηρεάζει κυρίως ευαίσθητες καλλιέργειες)				
-Νάτριο (Na ⁺) ^β				
α. Επιφανειακή άρδευση (SAR)		<3,0	3-9	>9
β. Άρδευση με καταιονισμό -Χλώριο (Cl ⁻) ^β	mg/L	<70	<70	
α. Επιφανειακή άρδευση	mg/L	<140	140-350	>350
β. Άρδευση με καταιονισμό	mg/L	<100	>100	
-Βόριο (B ⁺³) σε ίχνη mg/L	mg/L	<0,7	7.0-3.0	>3.0
Διάφορες άλλες επιδράσεις (αφορούν κυρίως ευαίσθητες καλλιέργειες)				
-Αζωτο (συνολικό N)	mg/L	<5.0	5-30	>30
Δισανθρακικά (HCO ₃), μόνο για αρδεύσεις με καταιονισμό	mg/L	<90	90-500	>500
-pH		κανονική	διακύμανση 6,5-8,4	
-Υπόλειμμα χλωρίου, μόνο για αρδεύσεις με καταιονισμό	mg/L	<1,0	1,0-5,0	>5,0

^α Λόγος προσρόφησης νατρίου. Όταν πρόκειται για αρδεύσεις με προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο προσαρμοσμένος SARadj, που αναφέρεται παρακάτω "Ταχύτητα Διήθησης Αρδευτικού Νερού".

^β Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις συγκεντρώσεις των ιόντων Na⁺ και Cl⁻, κυρίως σε περιπτώσεις άρδευσης με καταιονισμό, εξαιτίας της δυνατότητας προσρόφησης τους από το φύλλωμα διαφόρων καλλιεργειών.

Τα κριτήρια ποιοτικής κατάταξης των αρδευτικών νερών που δίνονται στον Πίνακα 4 καλύπτουν μεγάλο εύρος συνθηκών και αφορούν την αρδευόμενη γεωργία. Εάν το νερό χρησιμοποιηθεί κάτω από πολύ διαφορετικές συνθήκες από αυτές που γίνονται δεκτές στις παραδοχές και ιδίως όταν πρόκειται για

οριακές περιπτώσεις, τα κριτήρια πρέπει να προσαρμόζονται στις τοπικές συνθήκες.

Οι βασικές παραδοχές που έγιναν για τη δημιουργία του Πίνακα 3 αναλύονται παρακάτω:

Δυναμικό παραγωγής. Στις περιπτώσεις που δε συνιστάται κανένας περιορισμός στη χρήση του νερού, επιτυγχάνεται 100% απόδοση της παραγωγής από όλες τις καλλιέργειες χωρίς ειδικούς χειρισμούς. Αν υπάρχει κάποιος βαθμός περιορισμού στη χρήση, τότε πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη καλλιέργεια ή/ και να γίνουν ειδικοί χειρισμοί κατά την εφαρμογή του νερού για να επιτευχθεί 100% απόδοση της παραγωγής. Αυτό δε σημαίνει όμως ότι το νερό είναι ακατάλληλο για άρδευση.

Τοπικές συνθήκες. Η μηχανική σύσταση των εδαφών κυμαίνεται από αμμοπηλώδη ως αργιλώδη με καλή στράγγιση, έτσι ώστε να μην υπάρχει ποτέ υψηλή υπόγεια στάθμη νερού. Η βροχόπτωση είναι χαμηλή και δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην ικανοποίηση των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό, ούτε στην έκπλυση του εδάφους. Για περιοχές με περισσότερες βροχοπτώσεις, οι περιορισμοί του πίνακα θεωρούνται αυστηροί.

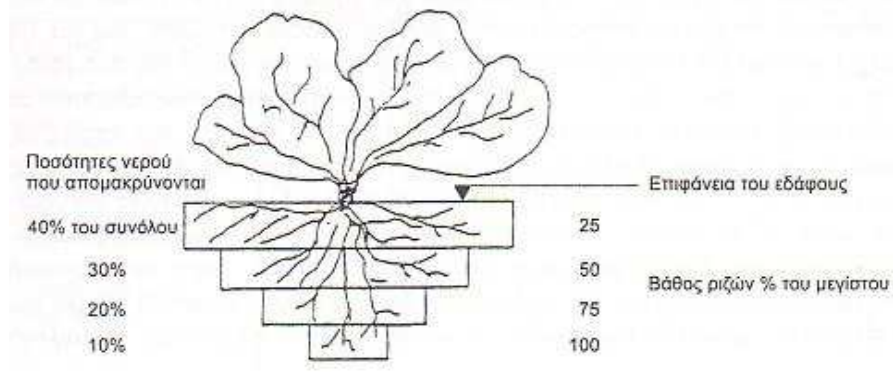
Μέθοδοι και προγραμματισμός των αρδεύσεων. Εφαρμόζονται κοινές επιφανειακές μέθοδοι και καταιονισμός. Οι αρδεύσεις γίνονται όσο συχνά επιβάλλουν οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό και τα φυτά καταναλώνουν ένα σημαντικό μέρος της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους πριν από την άρδευση (50% ή περισσότερο). Τουλάχιστον 15% του εφαρμοζόμενου νερού διηθείται βαθιά κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος (συντελεστής έκπλυσης $LF > 15\%$). Οι περιορισμοί είναι πολύ αυστηροί για τη στάγδην άρδευση. Τα κριτήρια του πίνακα δεν είναι εφαρμόσιμα σε περιπτώσεις υπέρδευσης.

Πρόσληψη νερού από τα φυτά. Αν και ο τρόπος πρόσληψης του εδαφικού νερού διαφέρει σε κάθε φυτό, όλα τα φυτά παίρνουν αυτό που είναι ευκολότερα διαθέσιμο από τη ζώνη του ριζοστρώματος (Σχήμα 4). Το νερό της άρδευσης ξεπλένει το ανώτερο τμήμα της ζώνης του ριζοστρώματος διατηρώντας το σε σχετικά χαμηλά επίπεδα αλατότητας. Η αλατότητα αυξάνει με το βάθος και είναι μεγαλύτερη στο κάτω μέρος του ριζοστρώματος. Η μέση αλατότητα του εδαφικού διαλύματος είναι περίπου τριπλάσια από την αλατότητα του εφαρμοζόμενου νερού. Τα άλατα διηθούνται προς τα χαμηλότερα τμήματα της ζώνης του ριζοστρώματος, αλλά με επαρκή έκπλυση μετακινούνται τελικά κάτω από αυτή. Τα φυτά ανταποκρίνονται στη μέση αλατότητα της ζώνης του ριζοστρώματος. Η μεγαλύτερη αλατότητα της κάτω περιοχής της ζώνης του ριζοστρώματος γίνεται λιγότερο σημαντική, όταν η εδαφική υγρασία κρατιέται σε ικανοποιητικά επίπεδα στην επάνω "περισσότερο ενεργή" ζώνη.

Όλα τα νερά περιέχουν μετρήσιμες ποσότητες διαλυτών αλάτων, που αποτελούν ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες που προσδιορίζουν την καταλληλότητα των νερών για άρδευση. Τα ΕΥΑΑ έχουν γενικά μεγαλύτερες τιμές αλατότητας από τα νερά των συμβατικών πηγών και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να δημιουργηθούν προβλήματα στο έδαφος και τις καλλιέργειες κατά τη χρήση τους. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται με τη συνολική ποσότητα και το είδος των αλάτων και πιθανώς με την ύπαρξη κάποιου τοξικού στοιχείου σε περίσσεια.

Οι περιορισμοί που τίθενται στον Πίνακα 4 είναι αυθαίρετοι, καθώς στη φύση δεν υπάρχουν σαφείς διαχωριστικές γραμμές μεταξύ των κατηγοριών που ορίζονται στον προαναφερθέντα πίνακα. Για το λόγο αυτό, διαφορές της τάξης του 10-20% πάνω ή κάτω από αυτές των οδηγιών μπορεί να έχουν μικρή σημασία σε σχέση με άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τις καλλιέργειες. Αν το νερό κατατάσσεται στην κατηγορία στην οποία δεν τίθεται κανένας περιορισμός στη χρήση του, τότε η παραγωγή της καλλιέργειας είναι πλήρης. Αντίθετα, αν το νερό κατατάσσεται στην κατηγορία στην οποία τίθενται μεγάλοι περιορισμοί στη

χρήση του, τότε είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι αγρότες θα συναντήσουν προβλήματα τόσο με το έδαφος όσο και με την καλλιέργεια, η δε παραγωγή θα είναι μειωμένη λόγω της χρήσης του υποβαθμισμένου νερού. Μεγάλος βαθμός περιορισμού σημαίνει ότι είναι απαραίτητες ειδικές πρακτικές διαχείρισης του συστήματος έδαφος-νερό-φυτό για να αποφευχθούν δυσμενείς επιπτώσεις στο έδαφος και την καλλιέργεια από τη χρήση του νερού αυτού.



Σχήμα 4. Πρόσληψη ποσοτήτων νερού από τα διάφορα βάρη του εδάφους με το ριζικό σύστημα των φυτών (Πανωράς και Ηλίας 1999)

2.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού και επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση

2.2.1 Περιεκτικότητα σε άλατα

Η αλατότητα εκφράζεται ως η ολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων του αρδευτικού νερού και των επεξεργασμένων λυμάτων και αποτελεί ένδειξη του κινδύνου να αλατωθεί το έδαφος.

Η αλατότητα υπολογίζεται ως ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC, Electrical Conductivity σε mmhos/cm ή dS/m, 1 mmhos/cm=1 dS/m) ή ως ολικά διαλυμένα στερεά.

Γενικά δεν αναμένονται προβλήματα αλάτωσης του εδάφους, όταν η EC είναι μικρότερη από 0.7, τα προβλήματα δεν αναμένονται να είναι σημαντικά όταν η EC κυμαίνεται από 0.7 μέχρι 3, ενώ κίνδυνος αλάτωσης του εδάφους υπάρχει όταν οι τιμές της EC υπερβαίνουν τα 3 dS/m.

Η αλατότητα του αρδευτικού νερού, που προσδιορίζεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητά του (EC_w), χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS). Η EC_w συνήθως, εκφράζεται σε dS/m ή mmhos/cm, τα δε TDS σε mg/L ή meq/L. Για αρδευτικούς σκοπούς η ακόλουθη σχέση συνδέει με ακρίβεια της τάξης του 10% την EC_w και τα TDS,

$$TDS(mg/L) = 640 * EC_w(mmhos/cm \text{ ή } dS/m) \quad (1)$$

Η παρουσία αλάτων στο αρδευτικό νερό επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών με τρεις βασικές διεργασίες: α) την ωσμωτική επίδραση, που προξενεί η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στην εδαφική διάλυση, β) την ειδική τοξικότητα ιόντων, που προξενεί η συγκέντρωση ενός ειδικού ιόντος, και γ) τη διασπορά των εδαφικών σωματιδίων, που προξενεί η υψηλή συγκέντρωση νατρίου και η χαμηλή EC_w (αλατότητα). Υπό τέτοιες συνθήκες αυξημένης εδαφικής αλατότητας στην ριζόσφαιρα, τα φυτά καταναλίσκουν περισσότερη από τη διαθέσιμη ενέργειά τους με την πρόσληψη του απαιτούμενου νερού για την προσαρμογή τους σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στους ιστούς τους. Έτσι μειώνεται η διαθέσιμη ενέργεια για φυτική ανάπτυξη και παραγωγή.

Γενικά, η αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων στους υδάτινους πόρους προξενείται και/ή οφείλεται:

1. Στη δίοδο του νερού δια μέσου γεωλογικών σχηματισμών πλουσίων σε διαλυμένα άλατα.
2. Στην κίνηση και ανάμειξη του νερού με ένα αλατούχο υδάτινο υπόγειο υδροφορέα ή άλλη υδάτινη πηγή.
3. Στη διείσδυση αλμυρού νερού σε ένα υπόγειο παράκτιο υδροφορέα, που πολλές φορές οφείλεται σε υφιστάμενους καρστικούς σχηματισμούς ή στην εντατική εκμετάλλευση του.
4. Στη διάθεση, με αυξανόμενο και μη ορθολογικό τρόπο, στο εδαφικό και υπεδαφικό περιβάλλον, φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων, διαφόρων υγρών αποβλήτων και άλλων ουσιών.
5. Στην αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στην εδαφική διάλυση, εξαιτίας της έντονης εξατμισοδιαπνοής των φυτών. Σε αρδευόμενες περιοχές υψηλής συγκεντρώσεις αλάτων στο έδαφος οφείλονται στους τοπικούς υδροφόρους ορίζοντες και/ή στο εφαρμοζόμενο αρδευτικό νερό.

Για την αποφυγή ζημιών στα φυτά από υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στο έδαφος η κύρια διαχειριστική πρακτική συνίσταται στην ενίσχυση της κατακόρυφης ροής του εδαφικού νερού. Η διασφάλιση συνθηκών ορθολογικής στράγγισης επιτρέπει τη συνεχή μεταφορά νερού και αλάτων κάτω από την περιοχή ανάπτυξης ενεργών ριζών. Γι' αυτό, υπό συνθήκες άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και σε μακροπρόθεσμη βάση, η ικανοποιητική στράγγιση του εδάφους θεωρείται απαραίτητη.

Σε περιπτώσεις που εφαρμόζεται στο έδαφος μεγαλύτερο ύψος νερού από αυτό που αντιστοιχεί στις ανάγκες της αρδευόμενης καλλιέργειας, η περίσσεια του αρδευτικού νερού επιδρά θετικά στη μεταφορά αλάτων, που είναι συσσωρευμένα κάτω από την περιοχή ανάπτυξης των ριζών. Το κλάσμα του εφαρμοζόμενου νερού που φθάνει κάτω από το βάθος ανάπτυξης των ριζών και κατεισδύει σε βαθύτερα στρώματα, ονομάζεται συντελεστής απόπλυσης (LR). Υπό τέτοιες συνθήκες η εδαφική αλατότητα λαμβάνει μια σταθερή τιμή που εξαρτάται από τον LR . Ο υπολογισμός του συντελεστή LR γίνεται ως εξής: Σε σταθερή κατάσταση ισορροπίας η εδαφική αλατότητα σε ορισμένο βάθος εδάφους δίδεται από την εξίσωση:

$$d_w EC_w = d_d EC_d \quad (2)$$

όπου

d_w = ύψος εφαρμοζόμενου νερού [L],
 EC_w , = ηλεκτρική αγωγιμότητα του εφαρμοζόμενου νερού [$\Omega^{-1}L^{-1}$],
 d_d = ύψος του στραγγιζόμενου νερού [L] και
 EC_d = ηλεκτρική αγωγιμότητα του στραγγιζόμενου νερού [$\Omega^{-1}L^{-1}$].

Έτσι, ο συντελεστής απόπλυσης, LR εκφράζεται με τις σχέσεις:

$$LR = \frac{d_d}{d_w} \quad \text{ή} \quad \frac{EC_w}{EC_d} \quad (3)$$

Επίσης, είναι γνωστό ότι ισχύει η εξίσωση:

$$d_d = d_w - ET \quad (4)$$

όπου

ET = το ύψος εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών [L].
 Συνδυάζοντας τις Εξ. 3 και 4 λαμβάνεται η εξίσωση:

$$LR = \frac{d_w - ET}{d_w} \quad (5)$$

Επίσης, ο συντελεστής LR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών, IR , με την ακόλουθη σχέση:

$$IR = \frac{ET}{1 - LR} \quad (6)$$

Υψηλές τιμές του LR συνεπάγονται μικρές συγκεντρώσεις αλάτων στην ριζόσφαιρα. Επίσης, η τιμή της EC_d μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό δυνατών επιδράσεων στη φυτική παραγωγή και στο υπόγειο νερό. Για διαχειριστικούς λόγους συνήθως υποτίθεται ότι η EC_d ισούται με την EC του εκχυλίσματος δείγματος κορεσμένου εδάφους (EC_e) υπό μηδενικό εδαφικό δυναμικό. Η τιμή της EC_d μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά για τους περισσότερους τύπους εδαφών, ως $EC_d = 2EC_e$. (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

2.2.2 Περιεκτικότητα σε νάτριο

Η περιεκτικότητα του νατρίου εκφράζεται συνήθως ως ο λόγος των κατιόντων του διαλυτού νατρίου (Na^+) προς τη τετραγωνική ρίζα του μισού του αθροίσματος των διαλυτών κατιόντων του ασβεστίου (Ca^{+2}) και του μαγνησίου (Mg^{+2}), και καλείται λόγος απορρόφησης νατρίου (Sodium Absorption Ratio, SAR), σύμφωνα με την εξίσωση

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}}$$

Οι συγκεντρώσεις των νατρίου, μαγνησίου και ασβεστίου προσδιορίζονται με χημική ανάλυση και εκφράζονται σε mg/l.

Η εξίσωση, που προτάθηκε το 1954 από το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ, εκφράζει την ενεργητικότητα των ιόντων του νατρίου και καθορίζει την ικανότητα εναλλαγής τους με άλλα κατιόντα, όπως του ασβεστίου και του μαγνησίου, που έχουν προσροφηθεί από τα κolloειδή του εδάφους.

Ειδικά για την περίπτωση χρησιμοποίησης αποβλήτων ως αρδευτικό νερό, συνιστάται η αντικατάσταση της συγκέντρωσης του Ca^{+2} με τις τιμές των συγκεντρώσεων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5, με βάση το λόγο των συγκεντρώσεων HCO_3^-/Ca και την EC . Οι τιμές του Πίνακα 5 θεωρείται ότι εκφράζουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις μετατροπές των ιόντων των αλάτων του ασβεστίου.

Τα ΕΥΑΑ περιέχουν συνήθως μεγάλες συγκεντρώσεις ασβεστίου, γεγονός όμως που δε δημιουργεί κάποιο πρόβλημα. Όταν όμως περιέχουν και μεγάλες συγκεντρώσεις νατρίου, οι τελευταίες σε συνδυασμό με υψηλές τιμές αλατότητας, μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα αλκαλίωσης του εδάφους. Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται ενδεικτικοί συνδυασμοί τιμών SAR και EC για τις οποίες μπορεί να παρουσιαστεί πρόβλημα αλκαλίωσης του εδάφους.

Μεγάλες συγκεντρώσεις νατρίου μπορεί και να είναι τοξικές σε ορισμένες καλλιέργειες. Για επιφανειακή άρδευση δεν αναμένεται κανένα πρόβλημα τοξικότητας για τιμές SAR μικρότερες από 3, μικρό πρόβλημα για τιμές του από 3 μέχρι 9 και σημαντικά προβλήματα τοξικότητας όταν η τιμή του SAR υπερβαίνει το 9. Για άρδευση με καταιονισμό δεν αναμένεται κανένα πρόβλημα τοξικότητας για συγκεντρώσεις νατρίου μικρότερες από 70 mg/l (Στάμου, 1995).

2.2.3 Περιεκτικότητα σε ανθρακικά ιόντα, χλώριο και βόριο

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-) έχουν την τάση να σχηματίζουν αδιάλυτες ενώσεις με τα ιόντα του ασβεστίου και του μαγνησίου με αποτέλεσμα τη σχετική αύξηση της συγκέντρωσης του νατρίου, που οδηγεί στο πρόβλημα της αλκαλίωσης του εδάφους. Γενικά θεωρείται ότι δεν αναμένεται πρόβλημα για συγκεντρώσεις HCO_3^- μικρότερες από 90 mg/l, μικρό πρόβλημα για

συγκεντρώσεις 90-500 mg/l, ενώ υπάρχει σημαντικό πρόβλημα για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 500 mg/l.

Πίνακας 5: Τιμές του Ca^{+2} ως συνάρτηση του $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{+2}$ και της EC (Στάμου, 1995).

HCO_3^-/Ca (meq/lt)	Τιμές του Ca^{+2} (meq/lt)											
	EC(dS/m)											
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37

Πίνακας 6: Πρόβλημα αλκαλίωσης του εδάφους για διάφορες τιμές EC και SAR (Στάμου, 1995).

SAR	EC-κανένα πρόβλημα	EC-μικρό πρόβλημα	EC-σημαντικό πρόβλημα
0-3	>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

Τα ιόντα χλωρίου σε μεγάλες συγκεντρώσεις δημιουργούν σημαντικά προβλήματα στην ανάπτυξη και βλάβες στα φύλλα δέντρων (όπως π.χ. λεμονιές, ακτινίδια) και λιγότερο σημαντικά σε καλλιέργειες λαχανικών, σπόρων δημητριακών, χοντροειδών ζωοτροφών και φυτικών ινών. Για επιφανειακή άρδευση δεν αναμένεται κανένα πρόβλημα για τιμές συγκεντρώσεων μικρότερες από 140 mg/l, μικρό πρόβλημα για τιμές συγκεντρώσεων από 140-350 mg/l και σημαντικό πρόβλημα για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 350 mg/l. Για άρδευση με καταιονισμό δεν αναμένεται κανένα πρόβλημα για συγκεντρώσεις χλωρίου μικρότερες από 100 mg/l.

Το βόριο βρίσκεται στα απόβλητα με τη μορφή του βορικού οξέος. Προέρχεται συνήθως από απορρυπαντικά ή και από βιομηχανικά απόβλητα. Δεν επηρεάζεται σημαντικά από την επεξεργασία των αποβλήτων. Αποτελεί απαραίτητο συστατικό των φυτών σε μικρές συγκεντρώσεις, αλλά μπορεί να είναι τοξικό σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις. Δεν κατακρατείται στο έδαφος και έτσι αν δεν προσληφθεί από τα φυτά καταλήγει στα υπόγεια νερά. Μπορεί να προκαλέσει κιτρίνισμα, κυάνισμα, κοκκίνισμα και πρόωρη πτώση των φύλλων, καθώς και μειωμένη ανάπτυξη των φυτών. Είναι ιδιαίτερα τοξικό σε ορισμένες καλλιέργειες, όπως αχλαδιές, μηλιές, αμπέλια, κερασιές, ροδακινιές, βερικοκιές, πορτοκαλιές και λεμονιές, σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 1 mg/l. Σε άλλες καλλιέργειες, όπως ο ηλιάνθος, οι πατάτες, το βαμβάκι, οι ντομάτες, οι ελιές, το κριθάρι, το καλαμπόκι και η βρώμη, δεν είναι τόσο τοξικό με ανώτατη αποδεκτή τιμή τα 2 mg/l. Υπάρχουν και καλλιέργειες ανθεκτικές στο βόριο, όπως τα αρμυρίκια, τα σπαράγγια, τα τεύτλα, η μηδική, τα κρεμμύδια, τα λάχανα, τα μαρούλια και τα καρότα, τα οποία μπορεί να αρδευτούν με συγκεντρώσεις βόριου μέχρι 3 mg/l. Οι συγκεντρώσεις του βόριου στα ΕΥΑΑ κυμαίνονται από 0.1 μέχρι 2.5 mg/l (μέση τιμή =0.7 mg/l).

Κατά συνέπεια μπορεί να υπερβαίνουν το απαιτούμενο όριο των 1-2 mg/l για τις σχετικά ευαίσθητες καλλιέργειες που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Στις περιπτώσεις που αναμένεται υπέρβαση συνιστάται να ελέγχεται τακτικά η συγκέντρωση του βόριου στα ΕΥΑΑ (Στάμου, 1995).

2.2.4 Περιεκτικότητα σε μέταλλα

Τα μέταλλα που περιέχονται στα απόβλητα καταλήγουν κατά την επεξεργασία των αποβλήτων στην παραγόμενη λάσπη με αποτέλεσμα το πρόβλημα της διάθεσης των μετάλλων να ανάγεται στη διάθεση της λάσπης. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στα ΕΥΑΑ μπορεί να θεωρούνται αμελητέες. Στα μέταλλα που είναι πιθανό να δημιουργήσουν προβλήματα κατά την ανεξέλεγκτη εφαρμογή επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση ανήκουν κυρίως το κάδμιο, ο χαλκός, το μολυβδένιο, το νικέλιο και ο ψευδάργυρος. Τα μέταλλα αυτά (όπως και το βόριο) μπορεί να γίνουν τοξικά στις καλλιέργειες, αλλά και στα ζώα και στον άνθρωπο, μέσω της τροφικής αλυσίδας. Γι' αυτά τα μέταλλα, αλλά και για άλλα, συνιστώνται μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στα ΕΥΑΑ σύμφωνα με τον Πίνακα 7. Για να χρησιμοποιηθούν τα ΕΥΑΑ για άρδευση θα πρέπει όλα τα μέταλλα που περιέχονται σε αυτά να βρίσκονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις από αυτές του Πίνακα 7.

Πίνακας 7 : Συγκεντρώσεις μετάλλων (mg/l) στα ΕΥΑΑ μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία και ανώτατα όρια για μακροχρόνια και βραχυχρόνια άρδευση (Στάμου, 1995).

Μέταλλο	Συγκεντρώσεις στα απόβλητα		Ανώτατα όρια	
	Όρια	Μέση τιμή	Μακροχρόνια Χρήση	Βραχυχρόνια χρήση
As	<0,005-0,023	<0,005	0,1	2
Cd	<0,005-0,15	<0,005	0,01	0,05
Cr	<0,005-1,2	0,02	0,05	5
Cu	<0,006-1,3	0,04	0,2	5
Hg	<0,0002-0,001	0,0005	-	-
Mo	<0,001-0,018	0,007	0,01	0,05
Ni	<0,003-0,6	0,004	2	
Pb	<0,003-0,35	0,008	5	10
Se	<0,005-0,02	<0,005	0,02	1
Zn	<0,004-1,2	0,04	2	10

Από τα στοιχεία του Πίνακα 7 διαπιστώνεται ότι οι επιτρεπόμενες τιμές συγκεντρώσεων του χαλκού, του νικελίου και του ψευδάργυρου για μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη άρδευση είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις τυπικές τιμές τους σε βιολογικά επεξεργασμένα απόβλητα. Έτσι αυτά τα μέταλλα δεν αναμένεται να προκαλέσουν κάποιο πρόβλημα τοξικότητας.

Δεν ισχύει όμως το ίδιο για το κάδμιο, το οποίο έχει επιπλέον το χαρακτηριστικό ότι μπορεί να γίνει τοξικό στον άνθρωπο και στα ζώα ακόμα και σε συγκεντρώσεις που δεν είναι τοξικό για τα φυτά. Το χαρακτηριστικό αυτό μπορεί να καταστήσει το κάδμιο περιοριστικό στοιχείο στην εφαρμογή ΕΥΑΑ για άρδευση (Στάμου, 1995).

2.2.5 Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά συστατικά

Στα απόβλητα μπορεί να υπάρχουν σύνθετα οργανικά συστατικά (π.χ. χλωροφόρμιο, χλωροβενζόλιο, μαλαθείο κ.α.) τα οποία αν και βρίσκονται σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (1 ppb) θεωρείται ότι πιθανόν να είναι τοξικά ή και να εγκυμονούν κίνδυνους για την υγεία. Τα συστατικά αυτά με τη διαδικασία της άρδευσης καταλήγουν στο έδαφος. Στο έδαφος μέρος τους συγκρατείται και μέρος τους απορροφάται από τα φυτά και καταλήγει τελικά στον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας σε σημαντικά μικρότερες συγκεντρώσεις από τις αρχικές. Εξαιτίας των πολύ χαμηλών συγκεντρώσεών τους δεν αναμένεται να έχουν κάποια σημαντική περιβαλλοντική επίπτωση στην υγεία του ανθρώπου κατά την άρδευση με επεξεργασμένα απόβλητα.

Πίνακας 8: Απαιτούμενη επεξεργασία υγρών αποβλήτων ανάλογα με το είδος καλλιέργειας προς άρδευση στην Πολιτεία της Καλιφόρνια (Στάμου, 1995).

Καλλιέργεια. Είδος άρδευσης	Πρωτοβάθμια Επεξεργασία	Δευτεροβάθμια Επεξεργασία + Απολύμανση.	Τεταρτοβάθμια Επεξεργασία	Ολικά Κολοβακτήρια MPN/100ml
Καλλιέργειες για ζωοτροφές, φυτικές ίνες και φυτικούς σπόρους	X			Καμία απαίτηση
Προϊόντα που τρώγονται ωμά. Επιφανειακή άρδευση.		X		2,2
Προϊόντα που τρώγονται ωμά Άρδευση με καταιονισμό. Πάρκα, σχολεία, γήπεδα.			X	2,2
Προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά Επιφανειακή άρδευση.	X			Καμία απαίτηση
Προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά . Άρδευση με καταιονισμό. Γήπεδα γκολφ, Νεκροταφεία		X		23

2.2.6 Ειδική Τοξικότητα Ιόντων.

Γενικά, όταν η δυσμενής ανάπτυξη της φυτικής βλάστησης οφείλεται σε ένα ειδικό ιόν και όχι στην ωσμωτική επίδραση, τότε αναφέρεται ως "ειδική τοξικότητα αυτού του δεδομένου ιόντος". Στην περίπτωση άρδευσης με ΕΥΑΑ, ο κύριος προβληματισμός εντοπίζεται στα στοιχεία νάτριο, χλώριο και βόριο (Πίν. 4). Όταν πρόκειται για αστικά υγρά απόβλητα, η επικρατέστερη συνήθης τοξικότητα είναι αυτή του βορίου. Επίσης οι συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου αυξάνονται ως αποτέλεσμα των οικιακών χρήσεων του νερού, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντές νερού.

Για ευαίσθητες καλλιέργειες, διορθωτικές επεμβάσεις στην ειδική τοξικότητα κάποιου στοιχείου, είναι πολύ δύσκολες χωρίς αλλαγή του τρόπου καλλιέργειας ή

του διαθέσιμου νερού άρδευσης. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα σοβαρό σε ξηροθερμικά κλίματα, που επικρατούν υψηλές ταχύτητες *ET*. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις τέτοιων στοιχείων σε ίχνη, που συνιστώνται στο αρδευτικό νερό, δίδονται στον [Πίνακα 9](#). Σε σοβαρές περιπτώσεις, που στο αρδευτικό νερό περιέχονται τέτοια στοιχεία σε μεγαλύτερες από τις συνιστώμενες συγκεντρώσεις, είναι δυνατό να παρατηρείται αθροιστική συγκέντρωση τους στο έδαφος και στα φυτά, με αποτέλεσμα τα φυτά να καθίστανται φυτοτοξικά και επικίνδυνα για την υγεία ζώων και ανθρώπων δια μέσου της τροφικής αλυσίδας ([Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995](#)).

2.2.7 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά

Στα συστήματα άρδευσης με καταιονισμό τα αιωρούμενα στερεά (SS) μπορεί να προκαλέσουν βιολογικές διαταραχές στα φύλλα των καλλιεργειών, ενώ στα συστήματα άρδευσης με σταγόνες υπάρχει έντονος ο κίνδυνος έμφραξης των σταλλακτῆρων με αποτέλεσμα την κακή λειτουργία του συστήματος και την ανομοιομορφία της κατανομής του αρδευτικού νερού.

Στα συστήματα επιφανειακής άρδευσης μεγάλες συγκεντρώσεις SS μπορεί να οδηγήσουν σε δραστική μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας και της διηθητικότητας των εδαφών ειδικά όταν αυτά είναι λεπτόκοκκα, (με τη δημιουργία επιφανειακής κρούστας και την έμφραξη των πόρων του εδάφους), καθώς και στη δημιουργία προβλημάτων στο φύτευμα των σπόρων ([Στάμου, 1995](#)).

2.2.8 Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά

Τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στα ΕΥΑΑ και τα οποία μπορεί να έχουν λιπασματική αξία για τα φυτά είναι κυρίως το άζωτο, ο φώσφορος, αλλά και το κάλιο, ο ψευδάργυρος, το βόριο και το θείο. Τα συστατικά αυτά όταν βρίσκονται σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τις ανάγκες των φυτών μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα.

Το άζωτο βρίσκεται στα απόβλητα μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία κυρίως ως νιτρικά και ως αμμωνία ή αμμωνιακό άζωτο. Στα συστήματα [Παρατεταμένου Αερισμού \(ΠΑ\)](#), όπου συνήθως επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός νιτροποίησης, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών (30-35 mg/l) είναι πολύ υψηλότερες εκείνων της αμμωνίας (0.5-1.0 mg/l), ενώ όταν γίνεται και βιολογική απομάκρυνση του αζώτου οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι σημαντικά μικρότερες (10-15 mg/l). Το βασικό πλεονέκτημα του αζώτου είναι ότι αποτελεί σημαντικό λιπασματικό συστατικό για τις καλλιέργειες, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή μέχρι και η κατάργηση των λιπασμάτων. Όμως η προσδιδόμενη ποσότητά του στις καλλιέργειες δε μπορεί να ρυθμιστεί.

Ο φώσφορος βρίσκεται στα απόβλητα ως ανόργανος φωσφόρος, κυρίως ως φωσφορικά. Στα συστήματα [ΠΑ](#) οι συγκεντρώσεις του φωσφόρου στην εκροή είναι της τάξης των 10-15 mg/l χωρίς βιολογική απομάκρυνση και 1-5 mg/l όταν γίνεται βιολογική απομάκρυνσή του.

Γενικά τα θρεπτικά στοιχεία, που περιέχονται στα ΕΥΑΑ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την θρέψη των αρδευόμενων φυτών. Όμως τα ίδια θρεπτικά στοιχεία υπό ορισμένες συνθήκες όταν ευρίσκονται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τις ανάγκες των φυτών, μπορούν να προξενήσουν διάφορα προβλήματα. Τα πιο σημαντικά στοιχεία από άποψη θρέψης γεωργικών, δασικών και καλλωπιστικών φυτών είναι το άζωτο και ο φώσφορος και ευκαιριακά το κάλιο, ο ψευδάργυρος, το βόριο και το θείο. Το πιο ωφέλιμο και πιο πλεονασματικό στοιχείο στα ΕΥΑΑ είναι το άζωτο.

Το άζωτο που περιέχεται στις εκροές των ΕΥΑΑ, που προορίζονται για άρδευση, μπορεί να αντικαταστήσει ισοδύναμη ποσότητα εμπορικού αζωτούχου λιπάσματος, κυρίως στην αρχική και ενδιάμεση περίοδο ανάπτυξης των φυτών. Αντίθετα πλεονασματική εφαρμογή αζώτου στο τέλος της περιόδου ανάπτυξης

των φυτών μπορεί να είναι επιβλαβής για πολλά είδη φυτών (δημιουργία υπερβολικής βλάστησης, καθυστέρηση ωρίμανσης, ή ποιοτική υποβάθμιση των παραγόμενων προϊόντων). Σε τέτοιες περιπτώσεις συνίσταται η αλλαγή, όταν είναι δυνατή, του νερού άρδευσης με άλλο διαθέσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο ή η ανάμιξη του με άλλο αρδευτικό νερό, έτσι που να ελέγχεται η συγκέντρωση του αζώτου (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Πίνακας 9: Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις στοιχείων σε ιχνοστοιχεία στο αρδευτικό νερό (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Στοιχεία	Συνιστώμενες μέγιστες Συγκεντρώσεις (mg/L)	Παρατηρήσεις
Al (Αργίλιο)	5,0	Σε όξινα εδάφη (pH < 5, 5) προξενεί μείωση της παραγωγικότητας, αλλά σε αλκαλικά εδάφη (pH > 7, 0) προξενεί κατακρήμνιση του Fe και περιορίζεται η τοξικότητά του.
As (Αρσενικό)	0,10	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει και κυμαίνεται από 12 mg/L σε αγροστώδη έως κάτω από 0,05 mg/L στο ρύζι.
Be (Βηρύλιο)	0,10	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει από 5 mg/L στα λάχανα έως 0,5 mg/L στα φασόλια (νάνα).
Cd (Κάδμιο)	0,01	Σε συγκεντρώσεις μέχρι και 0,10 mg/L σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό στα φασόλια, σακχαρότευτλα και γογγυλώδη είδη. Συνιστώνται συντηρητικά όρια εξαιτίας του δυναμικού αθροιστικής συσσώρευσης του σε φυτικούς και ζωικούς ιστούς.
Co (Κοβάλτιο)	0,05	Σε συγκεντρώσεις μέχρι και 0,1 mg/L σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό σε φυτά τομάτας. Τείνει, όμως, να αδρανοποιείται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Cr (Χρώμιο)	0,20	Γενικά θεωρείται απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο. Προτείνονται σχετικά συντηρητικές συγκεντρώσεις εξαιτίας της περιορισμένης γνώσης για τις τοξικές του επιδράσεις σε φυτικά είδη.
Cu (Χαλκός)	0,20	Σε συγκεντρώσεις από 0,1 έως 1,0 mg/L σε θρεπτικές διαλύσεις είναι τοξικό σε αρκετά είδη φυτών.
F (Φθόριο)	1,0	Αδρανοποιείται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Fe (Σίδηρος)	5,0	Σε καλά αεριζόμενα εδάφη δεν είναι τοξικό στα φυτά. Συνεργεί στη μείωση του pH του εδάφους και ανταγωνίζεται το P και το Mo. Επίσης, εναποτίθεται σε διάφορα μέρη των, δικτύων διανομής του αρδευτικού νερού και ακόμη και σε φυτικές επιφάνειες στις περιπτώσεις άρδευσης τους με καταιονισμό.
Li (Λίθιο)	2,50	Σε συγκεντρώσεις μέχρι 5 mg/L είναι ανεχτικό στα περισσότερα είδη φυτών. Είναι κινητικό στο έδαφος. Στα εσπεριδοειδή, όμως, είναι τοξικό σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (> 0, 07 mg/L). Γενικά επιδρά όμοια με το B.
Mn (Μαγγάνιο)	0,20	Τοξικό σε πολλά φυτά σε συγκεντρώσεις από 0,1 έως 1,0 mg/l, αλλά μόνο σε όξινα εδάφη.
Mo (Μολυβδένιο)	0,01	Σε κανονικές συγκεντρώσεις δεν είναι τοξικό στα ζώα που βόσκουν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου Mo.
Ni (Νικέλιο)	0,20	Τοξικό σε διάφορα είδη φυτών σε συγκεντρώσεις από 0,5 έως 1,0 mg/L. Η τοξικότητά του, όμως, ελαττώνεται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Pb (Μόλυβδος)	5,00	Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προξενήσει ανάσχεση αύξησης των φυτικών κυττάρων.
Se (Σελήνιο)	0,02	Τοξικό στα φυτά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (0,025 mg/L) καθώς επίσης και σε ζώα, που τρέφονται με τροφές που παράχθηκαν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις Se. Αντίθετα σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις θεωρείται απαραίτητο στοιχείο στα ζώα.
Sn (Κασσίτερος)	-	Δεν προσλαμβάνεται ουσιαστικά από τα φυτά, αλλά η ειδική ανεκτικότητά του είναι άγνωστη.
Ti (Τιτάνιο)	-	Δεν προσλαμβάνεται ουσιαστικά από τα φυτά, αλλά η ειδική ανεκτικότητά του είναι άγνωστη.
W (Βολφράνιο)	-	Δεν προσλαμβάνεται ουσιαστικά από τα φυτά, αλλά η ειδική ανεκτικότητά του είναι άγνωστη.
V (Βανάδιο)	0,10	Τοξικό σε πολλά φυτά σε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις.
Zn (Ψευδάργυρος)	2,00	Τοξικό σε πολλά φυτά σε συγκεντρώσεις που ποικίλουν. Η τοξικότητά του ελαττώνεται σε εδάφη με pH > 6, 0 και καλής υφής ή οργανικά εδάφη.

2.2.9 Περιεκτικότητα σε παθογόνα συστατικά

Τα σημαντικότερα παθογόνα συστατικά που έχουν άμεση σχέση με την προστασία της υγείας είναι τα παθογόνα βακτήρια, οι σκώληκες, τα πρωτόζωα και οι ιοί.

Τα σημαντικότερα παθογόνα βακτήρια είναι η Σαλμονέλα (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 κατόπιν επαφή με νερά ή και με ζώα που έχουν μολυνθεί.

Οι σημαντικότεροι σκώληκες που μπορεί να βρεθούν στα απόβλητα είναι τα *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, Αγγυλόστομα και *Taenia saginata*. Προκαλούν ασκαρίαση, σχιστοστομίαση και ταινίες, ακόμα και με τη μορφή προνυμφών (larvae) ή αυγών. Η μετάδοση των ασθενειών γίνεται συνήθως μετά από επαφή με μολυσμένα νερά.

Τα σημαντικότερα πρωτόζωα είναι τα *Gardia lamblia* και *Entamoeba histolytica*, που προκαλούν αμοιβικές δυσεντερίες και ηπατίτιδες. Η μετάδοση των ασθενειών γίνεται συνήθως κατόπιν επαφής με μολυσμένα νερά.

Από τους ιούς ιδιαίτερη σημασία έχουν οι εντερικοί ιοί, οι οποίοι εισέρχονται στον οργανισμό δια της στοματικής οδού. Προκαλούν την ηπατίτιδα Α, την πολιομυελίτιδα, καθώς και διαταραχές του αναπνευστικού και του πεπτικού συστήματος.

Για την προστασία της δημόσιας υγείας έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορες ανώτατες τιμές συγκεντρώσεων των παραπάνω βιολογικών χαρακτηριστικών στα ΕΥΑΑ. Αυτές οι τιμές θεωρείται ότι εξασφαλίζουν την εφαρμογή της άρδευσης με ΕΥΑΑ χωρίς δυσάρεστες επιπτώσεις παρόλο που δεν βασίζονται συνήθως σε κάποια επιδημιολογική έρευνα με την οποία μπορεί να εκτιμηθούν πλήρως οι κίνδυνοι στη δημόσια υγεία. Οι τιμές αυτές ποικίλλουν έντονα ανάλογα με τη χώρα, την περιοχή, τη μέθοδο άρδευσης, το είδος της καλλιέργειας, το βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων (από πρωτοβάθμια μέχρι τεταρτοβάθμια) και άλλους παράγοντες.

Στις αυστηρές περιπτώσεις ανήκουν οι απαιτήσεις της Πολιτείας της Καλιφόρνια, τμήμα των οποίων παρουσιάζεται στον Πίνακα 8. Για την άρδευση καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα τρώγονται ωμά, πάρκων, γηπέδων και γενικά εκτάσεων στις οποίες επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού, ΕΥΑΑ θα πρέπει να έχουν υποστεί επαρκή οξειδωση, διύλιση και απολύμανση με μέση συγκέντρωση (MPN) ολικών κολοβακτηρίων (TC) 2,2/100 ml. Η Πολιτεία της Αριζόνα προτείνει περιοριστικές τιμές και για τους εντερικούς ιούς (1 PFU/40 ml). Η Πολιτεία της Φλόριδα απαιτεί την έλλειψη ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων κολοβακτηρίων κοπρανωδών (FC), που ουσιαστικά επιτυγχάνεται με τεταρτοβάθμια επεξεργασία (διύλιση) και με χλωρίωση που εξασφαλίζει υπολειμματικό χλώριο 1 mg/l μετά από επαφή 30 λεπτών στη μέση παροχή.

Στις λιγότερο αυστηρές ανήκουν οι παλαιές τιμές που πρότεινε ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization, WHO), σύμφωνα με τον οποίο η μέγιστη συγκέντρωση των κολοβακτηρίων μπορεί να φτάνει τα 100/100 ml στο 80% των δειγμάτων.

Σε πιο πρόσφατη έκθεση της επιτροπής ειδικών επιστημόνων του WHO προτείνονται νέες τιμές. Όσον αφορά τα FC οι νέες τιμές είναι λιγότερο συντηρητικές (με το σκεπτικό ότι οι προηγούμενες τιμές υπερεκτιμούσαν τον κίνδυνο μόλυνσης), αλλά όσον αφορά τους σκώληκες (*Ascaris*, *Trichuris* και Αγκυλόστομα) και τις κύστες πρωτοζώων είναι περισσότερο αυστηρές. Έτσι, για την άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, πάρκων, σχολείων και γηπέδων προτείνεται το όριο των 1000/100 ml (γεωμετρικός μέσος) και το

όριο του 1 αυγού/lit (γεωμετρικός μέσος) για τους εντερικούς ιούς. Το όριο των κολοβακτηρίων προτείνεται να είναι αυστηρότερο (200/100 ml) στην περίπτωση άρδευσης πράσινων εκτάσεων, όπου επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού.

Για την περίπτωση της Ελλάδας και των άλλων μεσογειακών χωρών οι απαιτήσεις της Πολιτείας της Καλιφόρνια θεωρείται ότι είναι ιδιαίτερα αυστηρές και αντιοικονομικές. Τιμές συγκεντρώσεων κολοβακτηρίων της τάξης των 20-30/100 ml θεωρείται ότι μπορεί να αποτελέσουν ένα ικανοποιητικό αρχικό βήμα για την περίπτωση της χώρας μας μέχρι να πραγματοποιηθεί μια συστηματική έρευνα (Στάμου, 1995).

2.3 Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Τα δείγματα που λαμβάνονται για ποιοτικό έλεγχο πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά των ΕΥΑΑ που θα χρησιμοποιηθούν για άρδευση. Δεν υπάρχουν αυστηροί κανόνες για τη θέση, το χρόνο και τον τρόπο λήψης τους. Παρόλα αυτά, ορισμένες οδηγίες για τη διαδικασία δειγματοληψίας μπορεί να βοηθήσουν στην απόκτηση ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος.

Το δοχείο δειγματοληψίας πρέπει αρχικά να είναι καθαρό και πριν από τη συλλογή του δείγματος πρέπει να ξεπλυθεί δύο-τρεις φορές με το νερό από το οποίο θα συλλεχθεί το δείγμα. Στη συνέχεια το δείγμα πρέπει να μεταφερθεί στο εργαστήριο σε σύντομο χρόνο και εφόσον είναι δυνατό σε ισοθερμικό σκεύος, γιατί διαφορετικά είναι πιθανό να έχουμε μετατροπή ή/και απώλεια κάποιων μορφών αζώτου, μετατροπή διαλυτών όξινων ανθρακικών αλάτων σε ουδέτερα αδιάλυτα, οξείδωση ή αναγωγή των βαρέων μετάλλων, όπως του σιδήρου, του χρωμίου κλπ, καθώς και βιολογική δραστηριότητα. Υπάρχουν κάποιες αναλύσεις/μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιούνται μόνο επί τόπου (μόνο τότε είναι αξιόπιστες), όπως είναι η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου, του υπολειμματικού χλωρίου, της θερμοκρασίας κλπ.

Σε περιπτώσεις αναλύσεων για τον προσδιορισμό του μικροβιακού φορτίου, τα δοχεία δειγματοληψίας πρέπει να είναι αποστειρωμένα, τα δείγματα πρέπει να τοποθετούνται σε ισοθερμικό σκεύος και να μεταφέρονται το συντομότερο δυνατό στο εργαστήριο. Σε περίπτωση λήψης δείγματος χλωριωμένων αποβλήτων και εφόσον σκοπός των αναλύσεων είναι να βρεθεί το μικροβιακό φορτίο στο σημείο (και κατά το χρόνο) δειγματοληψίας, πρέπει να χρησιμοποιούνται ουσίες που σταματούν τη δράση του χλωρίου.

Όταν λαμβάνεται δείγμα για τον προσδιορισμό ιχνοστοιχείων, καλό είναι να ερωτάται το εργαστήριο για πιθανούς περιορισμούς στον τρόπο δειγματοληψίας και στο είδος των δοχείων. Γενικά, στην περίπτωση αυτή συνιστάται η χρήση πλαστικού δοχείου στο οποίο προστίθενται 1 ή 2 ml πυκνού νιτρικού οξέος για να παραμείνουν τα στοιχεία σε διάλυση.

Στην περίπτωση της γενικής χημικής ανάλυσης χρησιμοποιούνται γυάλινα ή πλαστικά δοχεία, αν και τα πλαστικά είναι προτιμότερα, επειδή ορισμένοι τύποι γυάλινων δοχείων εμπλουτίζουν το δείγμα με βόριο. Τα δοχεία δειγματοληψίας πρέπει να σημανθούν ανάλογα και τα στοιχεία αυτά να καταγράφονται στο βιβλίο των παρατηρήσεων. Τα στοιχεία που αναγράφονται στην ετικέτα του δείγματος πρέπει να περιλαμβάνουν ώρα, ημερομηνία, καιρικές συνθήκες, στάθμη, θερμοκρασία νερού καθώς και άλλα στοιχεία που κρίνονται απαραίτητα. Πριν από τη δειγματοληψία πρέπει να καθορισθεί η διαδικασία που θα ακολουθηθεί και ο όγκος του δείγματος που απαιτείται, επειδή ορισμένες αναλύσεις απαιτούν ειδική προετοιμασία δειγμάτων ή διανομή του ίδιου δείγματος σε περισσότερα δοχεία. Για παράδειγμα, δείγματα που λαμβάνονται για τον προσδιορισμό στοιχείων όπως είναι ο χαλκός, που απαιτεί προσθήκη οξέος κατά την ώρα της δειγματοληψίας, πρέπει να είναι σε χωριστά δοχεία από τα δείγματα στα οποία θα γίνει προσδιορισμός όξινων ανθρακικών και ανθρακικών ιόντων, αζώτου και pH.

Για την αποφυγή μετάδοσης ασθενειών κατά τη δειγματοληψία και τη διαχείριση των δειγμάτων πρέπει να λαμβάνονται οι κατάλληλες προφυλάξεις που συνίστανται σε μία σειρά από μέτρα, όπως: α) αποφυγή επαφής των αποβλήτων με γυμνά μέρη του σώματος, β) πλύσιμο των χεριών και του προσώπου μετά το πέρας της δειγματοληψίας, γ) καλό κλείσιμο των δοχείων και καθαρισμός της εξωτερικής τους επιφάνειας δ) φύλαξή τους σε ασφαλές μέρος έως την παράδοσή τους και ε) σήμανση των δοχείων με την ένδειξη **ΑΠΟΒΛΗΤΑ** για να είναι ενήμερο το προσωπικό του εργαστηρίου για την φύση του δείγματος.

Οι ημερήσιες διακυμάνσεις της ποιότητας των αποβλήτων δεν αποτελούν πρόβλημα στην περίπτωση χρήσης τους για αρδευτικούς σκοπούς (εφόσον δεν υπεισέρχονται εξωτερικοί παράγοντες, όπως είσοδος στο αποχετευτικό δίκτυο θαλασσινού νερού, κλπ) και επομένως δεν πρέπει να προβληματίζουν το χρήστη. Ωστόσο κατά το σχεδιασμό της χρήσης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς απαιτείται συστηματικό πρόγραμμα αναλύσεων προτού τα νερά αυτά χρησιμοποιηθούν για αρδεύσεις. Σε γενικές γραμμές απαιτείται κατάλληλος προγραμματισμός αναλύσεων ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση/γνώση των διακυμάνσεων (ιδιαίτερα στις διάφορες εποχές του έτους) κάποιων ζωτικών ποιοτικών παραμέτρων των αποβλήτων, όπως της αγωγιμότητας και της περιεκτικότητας σε άζωτο. Κάποιες από τις σημαντικές παραμέτρους για τη χρήση των αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς, όπως είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα, πιθανώς το υπολειμματικό χλώριο κλπ, είναι δυνατό να παρακολουθούνται τακτικά με σχετικά απλές και φθηνές συσκευές, εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο.

Γενικά, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζεται χωριστά από ειδικούς επιστήμονες, οι οποίοι ανάλογα με τις διακυμάνσεις της παροχής και της ποιότητας των αποβλήτων, τις αρδευτικές και καλλιεργητικές πρακτικές, τους τοπικούς πολιτισμικούς και κοινωνικούς παράγοντες, θα καθορίζουν το πρόγραμμα των δειγματοληψιών-αναλύσεων που θα εξασφαλίζει τους όρους για την ασφαλή και αποδεκτή χρήση των αποβλήτων στη γεωργία (Πανωράς και Ηλίας, 1999).

Κεφάλαιο 3.

Διαχείριση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων (ΕΥΑΑ)

Γενικά, η άρδευση γεωργικών και άλλων εκτάσεων αποτελούν την μαζικότερη χρήση νερού. Στις ΗΠΑ η άρδευση αντιπροσωπεύει το 34% της συνολικής χρήσης νερού. Οι εννέα υδατικές περιφέρειες των ΗΠΑ με πρωτοπόρο την Καλιφόρνια κατανάλωσαν το 91% της συνολικής ποσότητας νερού που χρησιμοποιήθηκε για άρδευση τα έτη 1980 και 1985. Επίσης στο Ισραήλ από τη συνολική κατανάλωση νερού 2,115 δισεκατ. m³ το 1987, ποσοστό 73,1% αντιπροσωπεύει τη γεωργική χρήση. Τέλος στην Ελλάδα η γεωργική χρήση εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 83,7% της συνολικής κατανάλωσης νερού, που για το 1980 ήταν περίπου 5,037 δισεκατ. m³. Σήμερα εκτιμάται ότι αυτή έχει αυξηθεί κατά 40% περίπου (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Η εγκατάσταση πληθυσμών σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές συνδυάστηκε με την ανάπτυξη των αρδεύσεων. Σε σχετικά υγρές περιοχές η άρδευση εφαρμόζεται συμπληρωματικά των βροχοπτώσεων, με σκοπό την καλύτερη ανάπτυξη και αύξηση της παραγωγικότητας των διαφόρων φυτικών καλλιεργειών. Επίσης η άρδευση εφαρμόζεται με σκοπό την ανάπτυξη και διατήρηση διαφόρων κοινόχρηστων εκτάσεων και χώρων αναψυχής, όπως είναι τα πάρκα και τα γήπεδα γκολφ. Η άρδευση τέτοιων εκτάσεων στο αστικό περιβάλλον με ΕΥΑΑ αποκτά όλο και περισσότερο ενδιαφέρον.

Οι βασικές συνιστώσες ενός συστήματος επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ για άρδευση είναι:

- (i) τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού,
- (ii) το είδος της καλλιέργειας,
- (iii) τα χαρακτηριστικά της περιοχής,
- (iv) η μέθοδος της άρδευσης και
- (v) η πρακτική της άρδευσης

Προϋπόθεση επαναχρησιμοποίησης των ΕΥΑΑ είναι η πρόσθετη-τεταρτοβάθμια επεξεργασία, με στόχο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της καλλιέργειας, όχι μόνο ποσοτικά, αλλά και ποιοτικά.

Ο στόχος αυτός πρέπει να επιτευχθεί χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις και με μια σειρά περιορισμούς που εξασφαλίζουν:

- (i) την προστασία της δημόσιας υγείας και
- (ii) την προστασία του αέριου, υγρού και εδαφικού περιβάλλοντος.

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

Διεθνώς οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ με τη σειρά όγκου του χρησιμοποιούμενου νερού είναι η γεωργική και κυρίως η άρδευση, η βιομηχανική, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και διάφορες άλλες. Από αυτές η γεωργία αντιπροσωπεύει στις μέρες μας αλλά ασφαλώς και στο προσεχές μέλλον τον πιο σημαντικό χρήστη νερού και προσφέρει σοβαρές δυνατότητες για απορρόφηση όλο και μεγαλύτερων ποσοτήτων ΕΥΑΑ. Το 1985 στην Καλιφόρνια, που είναι ο μεγαλύτερος χρήστης νερού για άρδευση, καταναλώθηκαν 117.35 δισεκ. m³/d, που αντιστοιχεί στο 22% της συνολικής κατανάλωσης νερού σ' όλες τις ΗΠΑ, για την άρδευση 230 εκατομ. στρεμμάτων. Αυτή είναι μεγαλύτερη και από τη συνολική κατανάλωση των αμέσως επόμενων μεγαλύτερων καταναλωτών νερού, Idaho και Colorado (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Ο επόμενος μεγάλος καταναλωτής ΕΥΑΑ είναι η βιομηχανία, κυρίως για ψύξη και μεταποίηση. Η βιομηχανική χρήση ποικίλει και σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται επεξεργασία πέραν από τη συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία.

Η τρίτη κατηγορία χρήσης υγρών αποβλήτων, που έχουν ανακτηθεί, είναι ο εμπλουτισμός υδροφορέων, είτε με την μέθοδο επιφανειακών λεκανών διήθησης είτε με αυτήν των γεωτρήσεων. Ο εμπλουτισμός των υδροφορέων περιλαμβάνει ενσωμάτωση-αφομοίωση της εκροής που χρησιμοποιείται για αντικατάσταση και αποθήκευση της στον υδροφόρα ή τη δημιουργία υδραυλικού φράκτη προστασίας του υπόγειου νερού από ανάμειξη του με αλμυρό νερό. Ο χρόνος αποθήκευσης και η απόσταση των σημείων εφαρμογής και λήψης είναι πολύ σημαντικές παράμετροι για την προστασία της δημόσιας υγείας.

Η τέταρτη κατηγορία χρήσης υγρών αποβλήτων, που έχουν ανακτηθεί, είναι διάφορες άλλες δραστηριότητες, που αφορούν κυρίως λίμνες αναψυχής, υδατοκαλλιέργειες, καθαρισμό τουαλετών και άλλες. Αυτές δεν αποτελούν σημαντικές εφαρμογές, τουλάχιστο σε όγκο ΕΥΑΑ, αφού σήμερα εκτιμάται ότι στις ΗΠΑ αντιπροσωπεύουν λιγότερο από 5% των συνολικά επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα οι σημερινές κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ, με τους δυνατούς περιορισμούς κατά χρήση, αναφέρονται στον [Πίνακα 10](#).

Στην περίπτωση της πολιτείας της Καλιφόρνια η κατανομή των διαφόρων κατηγοριών επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ δίδεται στον [Πίνακα 11](#). Σύμφωνα με αυτόν τον Πίνακα, η άρδευση αποτελεί την κύρια χρήση ΕΥΑΑ. Η αυξημένη ζήτηση νερού προξενεί ανάλογη αύξηση των εγκαταστάσεων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ. Μια επισκόπηση του Calif. State Water Resour. Control Board (1987) δείχνει ότι περισσότερα από 200 έργα ανάκτησης υγρών αποβλήτων σε 854 διαφορετικές περιοχές επαναχρησιμοποιούν περίπου 330 εκατ. m³ ανά έτος. Το 1995 άνω των 400 εκατ. m³ ανά έτος ΕΥΑΑ επαναχρησιμοποιούνταν και η ποσότητα αυτή αναμενόταν να προσεγγίσει το 1,0 δισεκατ. m³ ανά έτος το έτος 2000 ([Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995](#)).

Πίνακας 10:Κατηγορίες χρήσης ΕΥΑΑ και απαραίτητοι περιορισμοί (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Κατηγορία χρήσης	Περιορισμοί
1. Άρδευση γεωργικών εκτάσεων. α) φυτικές καλλιέργειες β) εμπορικά φυτώρια 2. άρδευση κοινοχρήστων-αναψυχής χώρων. α) πάρκα β)σχολικοί χώροι γ)εθνικοί δρόμοι δ)ιπποδρόμια ε) νεκροταφεία ζ) ελεύθεροι κοινοτικοί χώροι η) περιφερειακές ζώνες πρασίνου και άλλοι	-Ποιότητα νερού (κυρίως ως προς την επίδραση αλάτων στο έδαφος και φυτά) -Προστασία δημόσιας υγείας (κυρίως ως προς τα παθογόνα, όπως παράσιτα, βακτήρια και ιοί) - Μόλυνση επιφανειακών και υπόγειων νερών όταν δεν υφίσταται κατάλληλο σύστημα διαχείρισης. - Εμπορικότητα και δημόσια αποδοχή των παραγόμενων προϊόντων.
3. Βιομηχανική χρήση α) Ψύξη β) Μεταποίηση γ) Βαριά Βιομηχανία δ) Άλλες	-Συστατικά του νερού που ανακτάται και μπορούν να προξενήσουν διάβρωση, εναπόθεση, βιολογική ανάπτυξη ή γενικά προβλήματα ρύπανσης. -Δημόσια υγεία (ιδιαίτερα σε σχέση με μεταφερόμενα οργανικά ή παθογόνα με aerosols)
4. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων. α) Αναπλήρωση β) Προστασία γ) Ιζηματογενής έλεγχος	-Ίχνη οργανικών, άλλων χημικών και παθογόνων στο ανακτώμενο νερό υγρών αποβλήτων με υψηλό δυναμικό τοξικότητας. -Συνολικά διαλυμένα στερεά, μέταλλα και παθογόνα στο επεξεργασμένο νερό.
5. Αναψυχή και άλλες περιβαλλοντικές χρήσεις. α) Λίμνες και δεξαμενές β) Αποκατάσταση ελωδών χώρων γ) Αύξηση παροχής υδατορευμάτων δ) Ανάπτυξη αλιευτικών χώρων ε)Δημιουργία πάγου	-Προστασία δημόσιας υγείας από βακτήρια και ιούς. -Ευτροφισμός οφειλόμενος στο N και P. -Αισθητικές οχλήσεις συμπεριλαμβανομένων των οσμών.
6. Μη πόσιμες αστικές χρήσεις. α) Πυροπροστασία β) Κλιματισμός γ) Καθαρισμός WC	-Προστασία δημόσιας υγείας από τη μεταφορά παθογόνων με aerosols). -Ποιοτικές επιδράσεις σε εναπόθεση διάβρωση, βιολογική ανάπτυξη και γενικά ρύπανση. -Προβλήματα σε πιθανές διασταυρώσεις με το σύστημα υδροδότησης.
7. Πόσιμες χρήσεις. α) Προηγούμενη ανάμιξη με το νερό υδροδότησης β) απ' ευθείας χρήση	-Ίχνη οργανικών και άλλων χημικών στο ανακτώμενο νερό υγρών αποβλήτων με υψηλό δυναμικό τοξικότητας. -Δημόσια και αισθητική αποδοχή. - Προστασία δημόσιας υγείας κυρίως σε σχέση με τη μεταφορά παθογόνων και κυρίως ιών.

Πίνακας 11: Επαναχρησιμοποίηση προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην Καλιφόρνια το 1977 (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Κατηγορία χρήσης	Όγκοι νερού	% (εκατ. Μ ³ /έτος)
-Αρδευση		
Φυτά μεγάλης καλλιέργειας	128,71	58
Κοινόχρηστοι χώροι	29,50	13
Δενδρώδεις καλλιέργειες και άμπελοι	10,01	4
Άλλες καλλιέργειες	6,14	3
-Εμπλουτισμός υδροφορέων	32,06	14
-Βιομηχανική χρήση	10,63	5
-Αναψυχή	3,03	1
-Κατασκευές και έλεγχος σκόνης	0,23	<1
-Υδατοκαλλιέργειες	0,002	<1
-Άλλες	0,77	<1
Σύνολο	221,082	

Πίνακας 12: Τυπική σύσταση ανεπεξεργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (Πανωράς και Ηλίας, 1999)

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

α. Όλες οι τιμές εκφράζονται σε mg/l, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.

β. Οι τιμές πρέπει να αυξάνονται κατά ένα ποσό σε οικιακά απόβλητα.

γ. Από επιλεγμένες μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων στην Καλιφόρνια.

δ. Plaque forming units

3.1 Προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση.

Απαιτείται αρχικά, διαχωρισμός μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης άρδευσης βάση των αρδευόμενων καλλιέργειών και του τρόπου εφαρμογής του νερού. Η περιορισμένη άρδευση αφορά 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 όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια, θερμοκήπια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά. Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.

Η τυπική σύσταση των ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (Πανωράς και Ηλίας, 1999) φαίνεται στον Πίνακα 12. Η ελάχιστη επεξεργασία λυμάτων που απαιτείται για την περιορισμένη άρδευση είναι δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία για την παραγωγή εκροής με συγκεντρώσεις BOD₅ και SS χαμηλότερες από 25 και 35 mg/l αντίστοιχα, για το 95% των δειγμάτων και συγκεντρώσεις κοπρανωδών κολοβακτηρίων χαμηλότερες από 200 FC/100 ml, ως διάμεση τιμή και 800 FC/100 ml για το 95% των δειγμάτων.

Η ελάχιστη επεξεργασία που απαιτείται για απεριόριστη άρδευση είναι η δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, που ακολουθείται από τριτοβάθμια (συνήθως κροκίδωση, συσσωμάτωση, καθίζηση, διύλιση) και απολύμανση, για την παραγωγή εκροής με συγκεντρώσεις BOD₅ και SS μικρότερες από 10 mg/l για το 80% των δειγμάτων και τιμές θολότητας μικρότερες από 2 NTU ως διάμεση τιμή. Η συγκέντρωση των κοπρανωδών κολοβακτηρίων θα πρέπει να διατηρείται μικρότερη από 5 FC/100 ml για το 80% των δειγμάτων και μικρότερη από 15 FC/100 ml για το 95% των δειγμάτων χωρίς να υπερβαίνει την τιμή 100 FC/100 ml για κανένα δείγμα.

Οι απαιτήσεις ως προς την απομάκρυνση αζώτου είναι κοινές με τις αντίστοιχες στην περίπτωση της απεριόριστης άρδευσης, όπως και οι μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Άλλες μέθοδοι τριτοβάθμιας επεξεργασίας μπορεί να εφαρμοσθούν κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης και με δεδομένη την ποιότητα επεξεργασίας, η οποία πρέπει να είναι ισοδύναμη με το τυπικό σύστημα τριτοβάθμιας επεξεργασίας.

Τα όρια για περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση παρουσιάζονται στον Πίνακα 13

Επιπρόσθετα των ορίων του Πίνακα 13, θα πρέπει να τηρούνται και τα όρια μετάλλων του Πίνακα 14. Η καταλληλότητα του επεξεργασμένου νερού για σκοπούς άρδευσης θα πρέπει να επαληθευθεί βάσει των γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών του.

Για να χρησιμοποιηθούν τα απόβλητα για άρδευση θα πρέπει να ικανοποιούν τις τιμές των συγκεντρώσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Κάθε σύστημα επεξεργασίας που επιτυγχάνει την ικανοποίηση των τιμών αυτών θα πρέπει να θεωρείται αποδεκτό.

Αν και είναι θεωρητικά δυνατή η χρησιμοποίηση πρωτοβάθμια επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση, αυτό δε συνιστάται προς το παρόν για τις Ελληνικές συνθήκες. Γι' αυτό και η ανάπτυξη του θέματος έχει γίνει με την παραδοχή ότι τα απόβλητα έχουν υποστεί τουλάχιστον δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία κάνοντας όμως αναφορές, όπου αυτό κρίνεται σκόπιμο, στην περίπτωση που έχει πραγματοποιηθεί μόνο πρωτοβάθμια επεξεργασία.

Πίνακας 13: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και φυσικοχημικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση στην Ελλάδα. (http://www.anatoliki.gr/Life/gr/reuse/reuse_1.htm)

	Κοπρανώδη κολοβακτήρια /FC 100 ml	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
<p>Περιορισμένη άρδευση</p> <p>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 κατανάλωσή τους</p> <p>Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται</p>	200 διάμεση τιμή 800 για το 95% των δειγμάτων	25 για το 95% των δειγμάτων	35 για το 95% των δειγμάτων	-	<ul style="list-style-type: none"> Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία^α Απολύμανση^β
<p>Απεριόριστη άρδευση</p> <p>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</p>	5 για το 80% των δειγμάτων 15 για το 95% των δειγμάτων 100 μέγιστη τιμή	10 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	2 διάμεση τιμή	<ul style="list-style-type: none"> Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία^α Τριτοβάθμια επεξεργασία^β Απολύμανση^γ

α) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα όπως φυσικά και επί τόπου συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD/SS=25/35) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 30 mg/l, με εξαίρεση στις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση των λυμάτων σε ταμειυτήρες όπου οι συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου πρέπει να διατηρούνται σε 15 mg/l και 4 mg/l αντίστοιχα.

β) Το τυπικό σύστημα περιλαμβάνει: κροκίδωση, συσσωμάτωση, καθίζηση, διύλιση. Απευθείας διύλιση ή διύλιση επαφής μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου η δευτεροβάθμια εκροή περιέχει λιγότερα από 20 mg/l SS για το 80% των δειγμάτων.

γ) Χλωρίωση, οζόνωση ή άλλου είδους απολυμαντικές ενώσεις, υπεριώδεις ακτινοβολία (UV), μέθοδοι μεμβρανών.

Το είδος της βέλτιστης δευτεροβάθμιας επεξεργασίας εξαρτάται έντονα από τις τοπικές συνθήκες της κάθε χώρας, όπως π.χ. το επίπεδο της τεχνολογικής ανάπτυξης, το κόστος γης, τις υπάρχουσες προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιούν τα επεξεργασμένα απόβλητα κ.α. Έτσι, για μια χώρα με περιορισμένη τεχνολογική ανάπτυξη και υποδομή και χαμηλό κόστος γης η ιδανική βιολογική επεξεργασία μπορεί να είναι οι λίμνες φωτοσύνθεσης, εξαιτίας της οικονομικότητας και της απλότητάς τους. Το σύστημα των λιμνών προτείνεται ως μια ικανοποιητική μέθοδος, ιδιαίτερα όσον αφορά την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών. Για μια χώρα μέσης

τεχνολογικής ανάπτυξης, όπως θεωρείται η Ελλάδα, μπορεί η βέλτιστη λύση να είναι ένα σύστημα «υψηλότερης τεχνολογίας» όπως π.χ. εκείνο της Ενεργού Ιλύος (EI). Σε καμιά περίπτωση όμως δεν πρέπει να αποκλείονται και άλλες λύσεις, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε περίπτωσης.

Πίνακας 14: Προτεινόμενα μέγιστα όρια βαρέων μετάλλων σε ΕΥΑΑ (http://www.anatoliki.gr/Life/gr/reuse/reuse_1.htm)

Βαρέα Μέταλλα	Μέγιστη συγκέντρωση (µg/L)
Al (αργίλιο)	5000
As (αρσενικό)	100
Be (βηρύλιο)	100
Cd (κάδμιο)	10
Co (κοβάλτιο)	50
Cr (χρώμιο)	100
Cu (χαλκός)	200
F (φθόριο)	1000
Fe (σίδηρος)	5000
Li (λίθιο)	2500
Mn (μαγγάνιο)	200
Mo (μολυβδαίνιο)	10
Ni (νικέλιο)	200
Pb (μόλυβδος)	5000
Se (σελήνιο)	20
V (βανάδιο)	100
Zn (ψευδάργυρος)	2000
Hg (υδράργυρος)	5

Σε όλες τις περιπτώσεις ιδιαίτερη βαρύτητα έχει η εξασφάλιση της υψηλής αξιοπιστίας του συστήματος Εγκατάστασης Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων (ΕΕΑΑ)-πρόσθετης επεξεργασίας-άρδευσης, ώστε να ικανοποιούνται πάντα οι προδιαγραφόμενες απαιτήσεις των χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων λυμάτων και ιδιαίτερα αυτές που αφορούν τη δημόσια υγεία, δηλ. των παθογόνων βακτηρίων, των ιών, των πρωτοζώων και των σκωλήκων. Η μείωση των συγκεντρώσεων των τοξικών μετάλλων, αν και τεχνικά είναι δυνατή, είναι συνήθως και ιδιαίτερα αντικοινωνική.

3.2 Επεξεργασία αποβλήτων για χρήση ως αρδευτικό νερό

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν και θεωρώντας ότι τα απόβλητα που θα χρησιμοποιηθούν ως αρδευτικό νερό έχουν υποστεί κατ' ελάχιστον δευτεροβάθμια επεξεργασία, π.χ. με τη μέθοδο του Παρατεταμένου Αερισμού (ΠΑ), τότε για την ικανοποίηση των επιθυμητών τιμών των παθογόνων βακτηρίων, των ιών, των πρωτοζώων και των σκωλήκων θα πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

(i) οι τιμές των συγκεντρώσεων των SS και της θολότητας θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλές, ώστε να είναι αποτελεσματική η απολύμανση, δηλ. τα αιωρούμενα στερεά να μη λειτουργούν ως ασπίδες των παθογόνων μικροοργανισμών και οι απαιτήσεις χλωρίου να είναι ελάχιστες και

(ii) η δόση και ο χρόνος επαφής της απολύμανσης να εξασφαλίζει τα απαραίτητα όρια συγκεντρώσεων των παθογόνων μικροοργανισμών στην εκροή.

Η ικανοποίηση της πρώτης προϋπόθεσης εξασφαλίζεται με τη διεργασία της διύλισης, η οποία εφαρμόζεται για (i) την πρόσθετη απομάκρυνση των SS μετά από τη δευτεροβάθμια (ή τριτοβάθμια επεξεργασία), (ii) την πρόσθετη απομάκρυνση των οργανικών ενώσεων, οι οποίες μπορεί να αντιδράσουν με το απολυμαντικό μέσο, αυξάνοντας έτσι τις απαιτήσεις κατανάλωσης του απολυμαντικού μέσου και (iii) την ποιοτική αναβάθμιση της οπτικής εμφάνισης των επεξεργασμένων αποβλήτων, εξαιτίας της μείωσης της θολότητας.

Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται τυπικές τιμές απομακρύνσεων των συστατικών βιολογικά επεξεργασμένων αποβλήτων κατά τη διεργασία της διύλισης.

Πίνακας 15: Απομακρύνσεις συστατικών κατά τη διύλιση (Στάμου, 1995).

Συστατικό	Απομάκρυνση (%)	Συστατικό	Απομάκρυνση (%)
BOD	39	Φώσφορος	57
COD	34	Αρσενικό	67
TOC	33	Κάδμιο	32
NH ₃ –N	33	Χρώμιο	53
NO ₃ –N	56	Σίδηρος	56
Αλκαλικότητα	83	Μόλυβδος	16
Χρώμα	31	Μαγγάνιο	80
TSS	73	Σελένιο	90
Θολότητα	71	Υδράργυρος	33

Η ικανοποίηση της δεύτερης προϋπόθεσης εξασφαλίζεται με τη διεργασία της πρόσθετης απολύμανσης. Η χλωρίωση φαίνεται προς το παρόν ως επικρατέστερη εξαιτίας της αξιοπιστίας, της ευελιξίας, της απλότητας και της οικονομικότητάς της. Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος με ακτινοβολία UV κερδίζει συνεχώς έδαφος, αλλά δεν έχει ακόμα διαπιστωθεί αν μπορεί να επιτύχει πολύ υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης κολοβακτηρίων (π.χ. 2,2/ 100ml).

Έτσι η πρόσθετη επεξεργασία που μπορεί να εφαρμοστεί μετά από δευτεροβάθμια ή τριτοβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων με σκοπό αυτά να χρησιμοποιηθούν ως αρδευτικό νερό συνίσταται στις διεργασίες της διύλισης και της πρόσθετης απολύμανσης. Οι διεργασίες αυτές μπορεί να συνδυαστούν και με άλλες διεργασίες αποτελώντας την καλούμενη "τεταρτοβάθμια ή πρόσθετη επεξεργασία".

Ο συνδυασμός διεργασιών, που αποκαλείται "Διαδικασία του Title 22", επειδή συμπεριλαμβάνεται ως Title 22 στους Κανονισμούς της Πολιτείας της Καλιφόρνια προτάθηκε το 1978. Ο συνδυασμός αυτός συνίσταται από τις ακόλουθες διεργασίες :

(i) Προσθήκη χημικών (150 mg/l Θειικό αργίλιο και 0.2 mg/l πολυμερή)

- (ii) Κροκίδωση-συσσωμάτωση.
- (iii) Διύλιση.
- (iv) Καθίζηση.
- (v) Χλωρίωση με δόση χλωρίου 10 mg/l.

Το σύνολο των παραπάνω διεργασιών εξασφαλίζει την πλήρη απολύμανση των αποβλήτων στον επιθυμητό βαθμό που απαιτεί η Πολιτεία της Καλιφόρνια, δηλ. μέχρι μηδενικής συγκέντρωσης ιών. Παρόλο που ο συνδυασμός αυτός είναι ιδιαίτερα αντιοικονομικός, προϋποθέτει και τη συστηματικά υψηλή απόδοση της δευτεροβάθμιας ή τριτοβάθμιας επεξεργασίας που προηγείται στα επίπεδα των 14-22 mg/l SS, θολότητας 7-9 NTU και 40-80 mg/l COD. Όταν οι τιμές της θολότητας των ΕΥΑΑ είναι μικρότερες από 7-9 NTU, έχει παρατηρηθεί ότι επιτυγχάνεται στην εκροή θολότητα 2 NTU με διύλιση χωρίς τη χρήση χημικών. Η προσθήκη χημικών είναι όμως απαραίτητη, όταν η θολότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων υπερβαίνει τα 10 NTU. Στην περίπτωση όμως αυτή ο συνδυασμός των μονάδων προκύπτει συνήθως αντιοικονομικός. Γι'αυτό το λόγο συνιστάται η βελτίωση της υπάρχουσας δευτεροβάθμιας ή τριτοβάθμιας επεξεργασίας, ώστε να ικανοποιείται η κρίσιμη οριακή τιμή της θολότητας των 10 NTU.

Ο συνδυασμός των διεργασιών της Title 22 παρατηρήθηκε μετά από πειράματα με ιούς πολυομελίτιδας ότι επιτυγχάνει απομάκρυνσή τους κατά 5,2 δεκαδικούς λογαρίθμους, όταν ο χρόνος απολύμανσης είναι 2 ώρες και η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου είναι περίπου 5 mg/l. Χωρίς τη χρήση χημικών (κροκίδωση-καθίζηση) η απομάκρυνση των ιών ήταν 4,7 δεκαδικούς λογαρίθμους για υπολειμματικό χλώριο 5,2 mg/l και 4,9 δεκαδικούς λογαρίθμους για υπολειμματικό χλώριο 3,9 mg/l. Η αντικατάσταση της διύλισης με ενεργό άνθρακα δεν είχε σημαντική επίδραση και η απομάκρυνση των ιών ήταν κατά 5,1 δεκαδικούς λογαρίθμους, όταν το υπολειμματικό χλώριο ήταν 5,4 mg/l. Αυξάνοντας το υπολειμματικό χλώριο σε 10 mg/l παρατηρήθηκε ότι η απομάκρυνση των ιών ήταν περίπου η ίδια (5,2 δεκαδικοί λογαρίθμοι) για όλους τους συνδυασμούς (Στάμου, 1995).

Όσον αφορά τις ελληνικές συνθήκες, προς το παρόν και μέχρι να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες έρευνες, συνιστώνται τα ακόλουθα:

- (i) Να γίνεται προσπάθεια βελτίωσης της απόδοσης της δευτεροβάθμιας ή τριτοβάθμιας επεξεργασίας της ΕΕΑΑ στα επιθυμητά επίπεδα συγκεντρώσεων SS, COD και θολότητας που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η καλή απόδοση της ΕΕΑΑ θα πρέπει να εξασφαλίζεται σταθερά καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας και να περιορίζονται στο ελάχιστο οι πιθανότητες υπέρβασης των ορίων αυτών.
- (ii) Ως πρόσθετη επεξεργασία και για οικονομικούς λόγους μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς το παρόν η μέθοδος της κατευθείαν διύλισης (δηλ. χωρίς κροκίδωση-καθίζηση) με μικρή αν απαιτηθεί δόση χημικών (π.χ. Θεικού αργιλίου της τάξης των 2-5 mg/l), η οποία θα ακολουθείται από χλωρίωση (π.χ. με δόση 10 mg/l και χρόνο παραμονής 1,5 ώρες). Δεν συνιστάται η αφαίρεση των τοξικών μετάλλων κατά την δευτεροβάθμια ή τεταρτοβάθμια επεξεργασία, καθόσον αυτή αναμένεται να είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και μπορεί να εφαρμοστεί μόνο όταν δεν είναι δυνατή η αντικατάσταση της καλλιέργειας με άλλες ανθεκτικότερες.
- (iii) Εφόσον είναι οικονομικά εφικτό ή/και το επιβάλλει η πρακτική άρδευσης μπορεί να γίνεται και αποθήκευση μετά τη δευτεροβάθμια ή την τριτοβάθμια επεξεργασία (Στάμου, 1995).

3.2.1 Αποθήκευση

Η αποθήκευση των ΕΥΑΑ μπορεί να θεωρηθεί ως ένα στάδιο της τεταρτοβάθμιας επεξεργασίας, καθόσον συχνά αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο που συνδέει την ΕΕΑΑ με το αρδευτικό σύστημα.

Ως πιθανοί λόγοι χρησιμοποίησης της αποθήκευσης θεωρούνται οι ακόλουθοι:

- (i) Επίτευξη εξισορρόπησης των σχετικά μικρών (π.χ. ημερήσιων), αλλά και μεγάλων (π.χ. εποχιακών χειμερινών) μεταβολών της παροχής της ΕΕΑΑ με αποθήκευση της παροχής, που υπερβαίνει τη ζήτηση για άρδευση.
- (ii) Ικανοποίηση της ζήτησης για άρδευση, όταν αυτή υπερβαίνει την παροχή της ΕΕΑΑ.
- (iii) Εξασφάλιση του απαραίτητου χρόνου, για προγραμματισμένη αντίδραση σε περίπτωση προβλήματος στη λειτουργία της ΕΕΑΑ ή του αρδευτικού συστήματος.
- (iv) Πραγματοποίηση πρόσθετης επεξεργασίας, καθόσον τα SS, το άζωτο και οι μικροοργανισμοί μειώνονται κατά την αποθήκευση. Παράλληλα όμως, μειώνεται και το χλώριο.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σε έρευνα στο Ισραήλ κατά την αποθήκευση δευτεροβάθμια επεξεργασμένων αποβλήτων (73 ημέρες κατά το χειμώνα και 35 ημέρες κατά το καλοκαίρι) παρατηρήθηκε μείωση των FC, TC και στρεπτόκοκκων κατά 2-4 δεκαδικούς λογάριθμους. Οι εντερικοί ιοί μειώθηκαν από 1100/100 ml το χειμώνα και 200/100 ml το καλοκαίρι σε επίπεδα μη ανιχνεύσιμα (Στάμου, 1995).

3.3 Μέθοδοι άρδευσης

Η ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού είναι το κυρίαρχο ζήτημα στη γεωργία, άσχετα από την ποιότητα και τη προέλευση του. Στην περίπτωση της χρήσης ΕΥΑΑ για αρδευτικούς σκοπούς είναι αυτονόητο, ότι ο τρόπος εφαρμογής τους στον αγρό έχει ακόμα μεγαλύτερη σημασία, γιατί συνδέεται άμεσα με πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Όσο μικρότερος είναι ο βαθμός της αρδευτικής αποδοτικότητας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος ρύπανσης ή μόλυνσης εδάφους και νερών (επιφανειακών ή υπόγειων). Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου άρδευσης μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στην ορθολογική χρήση των ΕΥΑΑ που χρησιμοποιούνται για άρδευση.

Οι βασικότεροι μέθοδοι άρδευσης που εφαρμόζονται είναι οι ακόλουθες:

- (i) Άρδευση με καταιονισμό,
- (ii) Επιφανειακή άρδευση
- (iii) Τοπική άρδευση.
- (iv) Υπάρδευση

Στη μέθοδο του καταιονισμού το νερό εκτοξεύεται υπό πίεση από κατάλληλους εκτοξευτήρες και διαβρέχει, όπως η βροχή όλη την επιφάνεια του εδάφους ή τα φύλλα της καλλιέργειας. Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η δυνατότητα σχεδόν πλήρους αυτοματοποίησης, ενώ το βασικότερο μειονέκτημά της είναι η μεταφορά αερίων σταγονιδίων (aerosols) από τον άνεμο, που μπορεί να περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς. Κατά συνέπεια η εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί τη συστηματικά καλή ποιότητα των ΕΥΑΑ, που πρέπει να έχουν υποστεί τουλάχιστον δευτεροβάθμια επεξεργασία και πρόσθετη απολύμανση.

Η επιφανειακή άρδευση μπορεί να γίνει με κατάκλυση (το νερό διοχετεύεται σε επίπεδες λεκάνες και διηθείται κατακόρυφα), με περιορισμένη διήθηση (το νερό διοχετεύεται σε λωρίδες κάθετες στο αυλάκι προσαγωγής και διηθείται κατακόρυφα) ή με αυλάκια (το νερό διοχετεύεται σε αυλάκια με μικρή κατά μήκος κλίση και διηθείται κατακόρυφα και οριζόντια). Το σύστημα της επιφανειακής άρδευσης αυτοματοποιείται πολύ δύσκολα και έτσι απαιτεί την παρουσία εργατών. Παράλληλα, πρόβλημα αποτελεί η διάθεση των σημαντικών ποσοτήτων νερού που περισσεύουν μετά την άρδευση.

Η τοπική άρδευση μπορεί να γίνει με σταγόνες (στάγδην άρδευση) από κατάλληλες οπές (σταλλακτήρες) ή σταγονίδια με μικροεκτοξευτήρες. Το χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι υγραίνει μέρος μόνο της αρδευόμενης επιφάνειας, ώστε να γίνεται εύκολα η απορρόφηση του νερού από το ριζικό σύστημα των καλλιεργειών. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά ακριβή, αλλά έχει τα βασικά πλεονεκτήματα του μεγάλου βαθμού προστασίας της υγείας των ανθρώπων, της δυνατότητας πλήρους αυτοματοποίησής της μεθόδου και της πολύ υψηλής απόδοσης αυτής, εξαιτίας της περιορισμένης κατανάλωσης νερού. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται η πολύ καλή επεξεργασία των αποβλήτων, ώστε να μη φράζουν οι σταλλακτήρες ή οι μικροεκτοξευτήρες από την παρουσία των αιωρούμενων στερεών ή τη δημιουργία στρωμάτων βακτηρίων ή αλγών. Για το λόγο αυτό απαιτείται συχνά η απομάκρυνση των SS σε σημαντικό βαθμό, που επιτυγχάνεται συνήθως με διήθηση και η διοχέτευση χλωρίου στο σύστημα άρδευσης για την καταπολέμηση της δημιουργίας των βιολογικών στρωμάτων. Η μέθοδος αυτή συνιστάται αρχικά για τις ελληνικές συνθήκες, όχι μόνο για τον υψηλό βαθμό προστασίας που εξασφαλίζει, αλλά και για την οικονομία στην κατανάλωση αρδευτικού νερού, χαρακτηριστικό που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για χώρες με περιορισμένα αποθέματα νερού, όπως η Ελλάδα.

Στην υπάρδευση το νερό εφαρμόζεται κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος και ανέρχεται στο ριζόστρωμα με τριχοειδή ανύψωση. Βαθιά επιφανειακά κανάλια ή υπόγειοι σωλήνες χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό (Στάμου, 1995).

3.3.1 Επιλογή μεθόδου άρδευσης

Κάτω από κανονικές συνθήκες, η μέθοδος άρδευσης που θα επιλεγεί εξαρτάται από την παροχή και την ποιότητα του νερού, το κλίμα, το έδαφος, την καλλιέργεια, το κόστος της μεθόδου και την ικανότητα του αγρότη να διαχειρίζεται το σύστημα άρδευσης. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιούνται ΕΥΑΑ για άρδευση, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως η ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων, το είδος της καλλιέργειας (βιομηχανικά φυτά, δενδρώδεις καλλιέργειες, βοσκές, λαχανικά κλπ), η διαβροχή ή μη του φυλλώματος και των καρπών, ο τρόπος κατανομής νερού-αλάτων-ρυπαντών στο έδαφος, η δυνατότητα διατήρησης της εδαφικής υγρασίας σε υψηλά επίπεδα, η αποδοτικότητα εφαρμογής του νερού, η πιθανότητα πρόκλησης ζημιών στο αρδευτικό σύστημα, η πιθανότητα μόλυνσης αγροτών και καταναλωτών και η πιθανή ρύπανση του περιβάλλοντος. Τα χαρακτηριστικά των διαφόρων συστημάτων άρδευσης και οι προϋποθέσεις χρησιμοποίησής τους δίνονται στον Πίνακα 16.

Όταν χρησιμοποιούνται ΕΥΑΑ, ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για την επιλογή του συστήματος άρδευσης είναι η ελαχιστοποίηση ή εφόσον είναι δυνατό, η πλήρης αποφυγή των κινδύνων που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία. Η μέθοδος άρδευσης, το είδος της καλλιέργειας, ο βαθμός επεξεργασίας των ΕΥΑΑ και ο έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης αποτελούν ένα αλληλοεξαρτώμενο σύστημα, κάθε παράμετρος του οποίου επηρεάζει τις υπόλοιπες και επηρεάζεται από αυτές. Έτσι ένα ήδη υφιστάμενο σύστημα άρδευσης καθορίζει τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων (όπου αυτό είναι δυνατό να επιλεγεί), το βαθμό ελέγχου της ανθρώπινης έκθεσης και την επιλογή των καλλιεργειών. Αντίθετα οι δυνατότητες για την επιλογή ενός συστήματος άρδευσης περιορίζονται, όταν η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι δεδομένη (Πανωράς και Ηλίας, 1999).

Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά συστημάτων άρδευσης και προϋπόθεση χρησιμοποίησής τους (Πανωράς και Ηλίας, 1999)

Σύστημα άρδευσης	Καλλιέργεια	Κλίση εδάφους	Έδαφος	Νερό	Αποδοτικότητα εφαρμογής
Επιφανειακή άρδευση					
Λωρίδες μέχρι 30m πλάτους	Βοσκές, μηδική, σιτηρά, δενδρώδη	Κατά μήκος $\leq 1\%$ Εγκάρσια 0.2%	$T\Delta_{min} = 7.6^{\delta}$ $T\Delta_{max} = 150$ Βάθος: επαρκές	Ποσότητα: μεγάλη παροχή	65-85
Επίπεδες λωρίδες	Φυτά μεγάλης καλλιέργειας, ρύζι, δενδρώδη	Κατά μήκος 0% Εγκάρσια 0.2%	$T\Delta_{min} = 2.5$ $T\Delta_{max} = 150$ Βάθος: επαρκές	Ποσότητα: ενδιάμεση παροχή	75-90
Αύλακες ευθείς	Λαχανικά, δενδρώδη, αμπελώνες	Κατά μήκος 3% Εγκάρσια 10% (κίνδυνος διάβρωσης)	$T\Delta_{min} = 2.5$ $T\Delta_{max} = \text{ΧΠ}^{\gamma}$ όταν το μήκος των αυλάκων έχει καθοριστεί με βάση τη διηθητικότητα Βάθος: επαρκές	Ποσότητα: ενδιάμεση παροχή	70-80
Καταιονισμός					
Συστήματα που μετακινούνται χειρωνακτικά	Δενδρώδη, βοσκές, λαχανικά, αμπελώνες, φυτά μεγάλης καλλιέργειας	Κατά μήκος 20%	$T\Delta_{min} = 2$ $YI = 7.6^{\delta}$	Ποσότητα: ΧΠ Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
Συστήματα που μετακινούνται μηχανικά (δια τροχών)	Φυτά που δεν υπερβαίνουν σε ύψος το 1m	Κατά μήκος 15%	$T\Delta_{min} = 2$ $YI = 7.6$	Ποσότητα: ΧΠ Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
Μόνιμα συστήματα	ΧΠ	ΧΠ	$T\Delta_{min} = 1.3$	Ποσότητα: ΧΠ Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
Κεντρικά συστήματα με περιστρεφόμενη πλευρική γραμμή	Όλα τα φυτά με (εκτός από δενδρώδη και αμπελώνες)	Κατά μήκος 15%	$T\Delta_{min} = 7.6$ $YI = 5$	Ποσότητα: ΧΠ Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
Μετακινούμενος εκτοξευτής (κανόνι)	Βοσκές, μηδική, λαχανικά, φυτά μεγάλης καλλιέργειας	Κατά μήκος 15%	$T\Delta_{min} = 7.6$ $YI = 5$	Ποσότητα: 24-240 m ³ /h κατά μονάδα. Ποιότητα: υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
Τοπική άρδευση					
Στάγδην	Κηπευτικά, φυτωριακές καλλιέργειες, αμπελώνες, δενδρώδη	ΧΠ	$T\Delta_{min} = 5$	Ποσότητα: ΧΠ Ποιότητα: καλή έως άριστη για την αποφυγή εμφράξεων.	70-80

- α. Βασίζεται σε ορθολογική διαχείριση του νερού και στην επαναχρησιμοποίηση του νερού απορροής
 β. $T\Delta$ είναι η ταχύτητα ή ρυθμός διήθησης σε mm/h
 γ. ΧΠ σημαίνει χωρίς περιορισμό
 δ. YI είναι η υδατοϊκανότητα

3.3.2 Η πρακτική της άρδευσης

Το βασικότερο ίσως χαρακτηριστικό της πρακτικής της άρδευσης είναι το αν αυτή είναι περιορισμένη, δηλ. εφαρμόζεται για ορισμένα είδη καλλιεργειών ή απεριόριστη. Η περιορισμένη άρδευση, π.χ. για καλλιέργειες των οπθίων οι καρποί δεν τρώγονται ωμοί προστατεύει θεωρητικά τη δημόσια υγεία, αλλά είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί στην πράξη. Η εφαρμογή της περιορισμένης άρδευσης γίνεται όταν υπάρχουν οι ακόλουθες συνθήκες:

(i) Εφαρμόζονται αυστηρά οι υπάρχοντες σχετικοί νόμοι και ελέγχεται η εφαρμογή τους.

(ii) Υπάρχει ειδική κρατική υπηρεσία που ελέγχει τη διακίνηση των επεξεργασμένων αποβλήτων.

(iii) Υπάρχει κεντρική διαχείριση και έλεγχος του έργου άρδευσης.

(iv) Υπάρχει μεγάλη οικονομική απόδοση (έντονη ζήτηση και υψηλή τιμή πώλησης) των προϊόντων των περιορισμένων καλλιεργειών.

(v) Δεν υπάρχουν εναλλακτικές καλλιέργειες απεριόριστης άρδευσης με σχετικά σημαντική οικονομική απόδοση.

Είναι προφανές ότι η εφαρμογή της περιορισμένης άρδευσης είναι πολύ δύσκολη καθόσον απαιτεί την ύπαρξη αυστηρής νομοθεσίας, τη συνεχή παρακολούθηση και έλεγχο των έργων, καθώς και την αυστηρή εφαρμογή των σχετικών νόμων. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η σωστή ενημέρωση των γεωργών και η προσπάθεια υποβοήθησής τους με κάθε τρόπο ώστε να τους εξασφαλίζεται η σταθερή παραγωγή και η μεγαλύτερη απόδοση των περιορισμένων καλλιεργειών τους, ώστε να μην οδηγηθούν στην εφαρμογή καλλιεργειών απεριόριστης άρδευσης.

Για τις ελληνικές συνθήκες, δεν συνιστάται προς το παρόν η εφαρμογή της περιορισμένης άρδευσης. Κατά συνέπεια η προσπάθεια πρέπει αρχικά να στραφεί στην εξασφάλιση καλής ποιότητας αρδευτικού νερού, δηλ. ΕΥΑΑ μετά από τουλάχιστον δευτεροβάθμια, αλλά και πρόσθετη τριτοβάθμια (απολύμανση) και τεταρτοβάθμια επεξεργασία.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της πρακτικής της άρδευσης είναι το αν χρησιμοποιείται στο αρδευτικό δίκτυο νερό προέλευσης διαφορετικής από ΕΥΑΑ. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μίγμα των αρδευτικών νερών ή να εφαρμοστούν τα διαφορετικά είδη αρδευτικών νερών σε διαφορετικές περιόδους, ανάλογα με τις ανάγκες και τη διαθεσιμότητα του καθενός. Η ύπαρξη εναλλακτικής πηγής αρδευτικού νερού, ακόμα και με τη μορφή της εφεδρείας εξασφαλίζει και ψυχολογικά τον αγρότη ότι ακόμα και σε περίπτωση προβλήματος στη τροφοδότηση με ΕΥΑΑ, δε θα δημιουργηθεί πρόβλημα έλλειψης νερού στις καλλιέργειές του (Στάμου, 1995).

Κεφάλαιο 4.

Νομοθεσία για την διαχείριση ΕΥΑΑ

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των εκροών των ΕΥΑΑ στις ανεπτυγμένες χώρες δημιουργεί δύο κατηγορίες νομικών ζητημάτων. Οι κατηγορίες αυτές αναφέρονται:

(α) Στην προστασία του δικαιώματος των χρηστών νερού για τη χρήση του και στην αντίστοιχη θέση της κυβέρνησης ή των περιφερειακών αρχών να παραχωρούν δικαιώματα χρήσης νερού και

(β) Στην προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

(γ) Άλλα νομικά θέματα.

4.1 Προστασία των χρηστών νερού

Το αρδευτικό νερό συχνά προέρχεται από επιφανειακά νερά, όπως για παράδειγμα ποτάμια και άλλες επιφανειακές πηγές, που είναι φυσικοί αποδέκτες υγρών αποβλήτων. Η παροχέτευση υγρών αποβλήτων προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας μεταβάλλει τη ροή των αποβλήτων προς το φυσικό τους αποδέκτη στερώντας στους συνήθεις χρήστες τη συγκεκριμένη ποσότητα νερού. Μία εγκατάσταση ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ πιθανόν να στερήσει εξολοκλήρου τους συνήθεις χρήστες από την ποσότητα νερού, που χρησιμοποιούν, αφού το επεξεργασμένο και επαναχρησιμοποιούμενο νερό, πιθανόν διατίθεται σε νέους χρήστες (π.χ. βιομηχανίες) ή να προορίζεται σε νέες χρήσεις (π.χ. δημοτική χρήση).

Οι πρακτικές και το εθιμικό δίκαιο στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες και το γραπτό δίκαιο σε πολλές από αυτές, αναγνωρίζουν το κεκτημένο δικαίωμα ενός χρήστη νερού να χρησιμοποιεί μία συγκεκριμένη ποσότητα νερού υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Όταν παρέχεται μια ποσότητα νερού, συγχρόνως παρέχεται και το δικαίωμα στον χρήστη να διεκδικήσει είτε χρηματική αποζημίωση είτε συμπληρωματική ποσότητα νερού. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι τοπικές (δημοτικές) αρχές θα πρέπει να έχουν ειδική αρμοδιότητα, όσον αφορά τα παραπάνω δικαιώματα. Πάντως, όλα τα πρόσωπα που εμπλέκονται στο σχεδιασμό ενός έργου επαναχρησιμοποίησης θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους, να μελετούν και να ρυθμίζουν τις πιθανές επιπτώσεις του έργου στις υφιστάμενες χρήσεις νερού, καθώς επίσης να ορίσουν τα μέτρα που θα ληφθούν (όπως αποζημιώσεις και επιδοτήσεις) στις περιπτώσεις που το έργο παρεμβαίνει και διαφοροποιεί τις χρήσεις αυτές (Τσαγκαράκης *et al*, 2003).

4.1.2 Προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

Η χρήση του επεξεργασμένου νερού για αγροτικές καλλιέργειες, καθώς και η αστική του χρήση (όπως άρδευση αστικού και περιαστικού πρασίνου), μπορεί να συνεπάγεται προβλήματα, που σχετίζονται με τη δημόσια υγεία (όπως είναι η έκθεση των ανθρώπων σε παθογόνους οργανισμούς). Επίσης, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση μπορεί να έχει σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον όταν δεν εφαρμόζεται ορθά η διαθέσιμη τεχνολογία και τεχνογνωσία.

Ο σχεδιασμός έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ θα πρέπει να περιλαμβάνει την ανάπτυξη και εφαρμογή κανονισμών ή οδηγιών, που θα προλαμβάνουν τη δημιουργία κινδύνων, που συνδέονται με τη δημόσια υγεία και την πιθανή υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι κανονισμοί αυτοί θα πρέπει να περιλαμβάνουν:

(α) Σύστημα χορήγησης αδειών για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων καθώς και επιπλέον τεχνικούς ελέγχους, που αφορούν την αποτελεσματικότητα της απαιτούμενης συμπληρωματικής επεξεργασίας.

(β) Προδιαγραφές ποιότητας ανάλογα με την χρήση του επεξεργασμένου νερού.

- (γ) Ποιοτικούς ελέγχους που θα εξασφαλίζουν τη μη έκθεση σε κινδύνους των ανθρώπων που έρχονται σε επαφή με το επεξεργασμένο νερό, καθώς και περιορισμούς στις διάφορες χρήσεις του.
- (δ) Ελέγχους όσον αφορά την πρόσβαση στο σύστημα συλλογής και αποχέτευσης των υγρών αποβλήτων και προληπτικούς ελέγχους για την αποφυγή της σύνδεσης του δικτύου ύδρευσης και του δικτύου του επεξεργασμένου νερού.
- (ε) Μηχανισμούς που θα καθιστούν υποχρεωτικούς και θα δίνουν αναγκαστική ισχύ σε όλους τους παραπάνω κανονισμούς ή οδηγίες, συμπεριλαμβανομένων και των αρμοδιοτήτων για τη διενέργεια ελέγχων και επιβολή ποινών στις περιπτώσεις που διαπιστώνονται παραβιάσεις ή αποκλίσεις από αυτούς(Τσαγκαράκης *et al*, 2003).

4.1.3 Άλλα νομικά θέματα

Στις ανεπτυγμένες χώρες, μία σειρά από άλλα νομικά ζητήματα είναι πιθανόν να προκύψουν κατά την εφαρμογή της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ. Η Ομάδα Εργασίας των FAO/WHO που συστάθηκε για τα νομικά θέματα, που συνδέονται με τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και των υγρών αποβλήτων πρότεινε σε κάθε νομοθετικό κείμενο ή κανονισμό ή οδηγία για τη διαχείριση αποβλήτων να περιλαμβάνονται τα ακόλουθα :

- Ορισμός των εννοιών: "υγρά απόβλητα", "επεξεργασμένο νερό" και άλλων σχετικών όρων.
- Καθορισμός των δικαιούχων χρήσης του επεξεργασμένου νερού.
- Θέσπιση συστήματος χορήγησης αδειών για χρήση του επεξεργασμένου νερού.
- Καθορισμός του τρόπου με τον οποίο θα προστατεύονται τα πρόσωπα με κεκτημένα δικαιώματα χρήσης του νερού μετά από βλάβη, που οφείλεται στην μείωση της ποσότητας του νερού, εξαιτίας έργων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και επαναχρησιμοποίησης.
- Θέσπιση κανονισμών ή οδηγιών που θα διέπουν τις χρήσεις και την απαιτούμενη ποιότητα του επεξεργασμένου νερού με σκοπό την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος
- Θέσπιση νομοθετικών μηχανισμών, ώστε οι παραπάνω κανονισμοί ή οδηγίες να καταστούν υποχρεωτικοί.
- Ορισμός διαδικασιών τιμολόγησης του επεξεργασμένου νερού.
- Θέσπιση μηχανισμών για τη διοίκηση και διαχείριση των απαιτούμενων έργων.
- Ορισμός της νομικής και θεσμικής σχέσης μεταξύ των έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης και των υφισταμένων έργων ύδρευσης, αποχέτευσης και περιβαλλοντικής προστασίας(Τσαγκαράκης *et al*, 2003).

4.2 Ισχύον θεσμικό πλαίσιο

Περιορισμένος αριθμός χωρών, σε διεθνές επίπεδο έχει ήδη θεσπίσει κανονισμούς επαναχρησιμοποίησης τέτοιων νερών κατά χρήση, όπως είναι οι Η.Π.Α. (Καλιφόρνια, Αριζόνα και Φλόριδα), η Τυνησία, το Ισραήλ και η Ν. Αφρική. Την τελευταία δεκαετία, με την τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης εκρών ΕΥΑΑ, παρατηρείται μια έντονη και παράλληλη δραστηριότητα ανάπτυξης και θέσπισης τέτοιων κανονισμών και /ή οδηγιών, όπως στην Κύπρο, στην Ιαπωνία και στην Αυστραλία που έχουν αρχίσει διαδικασίες θέσπισης εθνικών κανονισμών. Επίσης σε άλλες χώρες

εκσυγχρονίζονται και αναθεωρούνται οι ισχύοντες κανονισμοί (Καλιφόρνια, Τέξας, Ισραήλ και άλλες).

Ο WHO έχει εκδόσει οδηγίες σχετικές με την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση ΕΥΑΑ. Οι οδηγίες αυτές βασίστηκαν στις επικρατούσες τάσεις σε αναπτυσσόμενες χώρες και ουσιαστικά θεωρούν όρια για τα κοπρανώδη κολοβακτήρια (1000 FC/100 ml) και τους εντερικούς νηματώδεις ($\leq 1/L$) για απεριόριστη χρήση τέτοιων νερών για άρδευση. Παρ' όλο, που οι οδηγίες αυτές δεν εξειδικεύονται για επιμέρους χρήσεις, ποιοτικές και άλλες παραμέτρους αποτελούν ένα θετικό βήμα σε περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης ανεπεξέργαστων ή πλημμελώς επεξεργασμένων αποβλήτων. Οι οδηγίες αυτές σήμερα ευρίσκονται σε στάδιο αναθεώρησης.

Γενικά η διαχείριση των ΕΥΑΑ στην Ελλάδα, όπως και στα υπόλοιπα κράτη μέλη της ΕΕ διέπεται από την οδηγία 91/271/EEC. Με την αριθ. 5673/400/14.3.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση, η επεξεργασία των ΕΥΑΑ στην Ελλάδα εναρμονίζεται πλήρως μ' αυτή της ΕΕ. Σύμφωνα με αυτήν, έχουν τεθεί χρονικά όρια προσαρμογής και τήρησης των όρων επεξεργασίας. Το άρθρο 4 της οδηγίας αυτής δηλώνει «Δίκτυα αποχέτευσης αστικών λυμάτων θα πρέπει να διαθέτουν οι οικισμοί:

-έως τις 31 Δεκεμβρίου 2000 οι οικισμοί με ισοδύναμο πληθυσμό (ι.π.) άνω των 15.000.

- έως τις 31 Δεκεμβρίου 2005, οι οικισμοί με ισοδύναμο πληθυσμό (ι.π.) μεταξύ 2000 και 15.000.

Εάν η διάθεση αστικών λυμάτων πραγματοποιείται σε υδάτινο αποδέκτη που έχει προσδιοριστεί ως «ευαίσθητες ζώνες» σύμφωνα με το άρθρο 5, οι αρμόδιες αρχές μεριμνούν για τη δημιουργία δικτύων αποχέτευσης έως 31 Δεκεμβρίου 1998 για οικισμούς με ισοδύναμο πληθυσμό άνω των 10.000». Ευρωπαϊκές οδηγίες για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών ΕΥΑΑ είναι βέβαιο ότι θα θεσπιστούν σύντομα. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στη διαφορετικότητα Νοτίων και Βορείων χωρών σε ότι αφορά τη διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων.

Στην Ελλάδα το νομοθετικό πλαίσιο των υδάτινων πόρων χαρακτηρίζεται από πολυνομία, αντιφατικότητα και έλλειψη εκσυγχρονισμού. Χαρακτηριστικό είναι ότι από το 1900 μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί περίπου 300 Νόμοι και νομοθετικά, βασιλικά και προεδρικά διατάγματα, γενικής, ειδικής και τοπικής έκτασης που συνθέτουν το νομικό πλαίσιο διαχείρισης των υδάτινων πόρων της χώρας.

Ο Ν. 1739/87 είναι το βασικότερο νομοθέτημα που έχει εκδοθεί στον τομέα διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Με τον Νόμο αυτό καταργούνται πολλές από τις διατάξεις των προαναφερθέντων νόμων και εκσυγχρονίζεται σε κάποιο βαθμό η ισχύουσα νομοθεσία σε ότι αφορά την ορθολογική διαχείριση του συστήματος "υδάτινος πόρος-χρήση του". Ο νόμος αυτός διαμορφώνει ένα νέο θεσμικό πλαίσιο και τους αναγκαίους μηχανισμούς για την ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων της χώρας μας και την αντιμετώπιση των προβλημάτων που ανακύπτουν.

Όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση των εκροών των ΕΥΑΑ δεν υπάρχει ειδικό νομοθέτημα στη χώρα μας. Θα μπορούσαμε, βεβαίως, να αρκесθούμε στην ενδεχόμενη έκδοση νομοθετήματος σε επίπεδο ΕΕ (Οδηγία ή Κανονισμός) με συνακόλουθη ενσωμάτωσή του στο εθνικό δίκαιο. Όμως, οι νομοθετικές διαδικασίες στην ΕΕ είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες. Έτσι λαμβανομένου υπόψη ότι οι ελλειμματικές περιοχές σε διαθέσιμους υδάτινους πόρους εντοπίζονται κυρίως στον Ευρωπαϊκό Νότο και όχι στο σύνολο των Χωρών μελών της ΕΕ, πιθανόν να υπάρξει σχετική ολιγωρία και καθυστέρηση νομοθετικής ρύθμισης.

Σήμερα το νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση των υδάτινων πόρων και την προστασία των οικοσυστημάτων που εξαρτάται από αυτούς στην ΕΕ διέπεται από την οδηγία 60/2000/EC. Στο άρθρο 9 της οδηγίας 60/2000/EC αναφέρεται: «Κάθε έργο ή δραστηριότητα, που μπορεί να προκαλέσει ρύπανση με απόρριψη υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον, οφείλει να εναρμονίζεται με τα

εγκεκριμένα Σχέδια Διαχείρισης, ώστε να επιτυγχάνεται η προστασία και η επίτευξη του στόχου της καλής οικολογικής κατάστασης των υδάτων». Παρόλο που στην οδηγία αυτή δεν δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση ΕΥΑΑ, πιστεύεται ότι η ευαισθητοποίηση των Ευρωπαίων πολιτών σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος θα συμβάλει θετικά στην προώθηση, ανάπτυξη και θέσπιση κριτηρίων για χρήση ποιοτικά υποβαθμισμένων νερών. Η προσαρμογή της Ελληνικής πολιτικής του τομέα υδάτινων πόρων σε αυτή της ΕΕ έγινε με την εφαρμογή του νόμου 3199 / Α / 9/12/2003.

Με το δεδομένο ότι τα επεξεργασμένα και επαναχρησιμοποιούμενα υγρά απόβλητα αποτελούν έναν νέο υδάτινο πόρο και μία σταθερή πηγή νερού για άρδευση, θα ήταν δυνατό αφενός να υπάρξει νομοθετική τροποποίηση του Ν. 1739/87, ώστε να προβλεφθεί η διαχείρισή τους με τρόπο που να εναρμονίζεται με τα προαναφερθέντα στη ενότητα των νομικών θεμάτων που συνδέονται με αυτά (σύστημα αδειοδότησης, περιορισμοί κατά χρήση, αποζημιώσεις, μηχανισμοί τιμολόγησης, έκδοση κανονισμών λειτουργίας και διαχείρισης για κάθε έργο ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης και άλλα) και αφετέρου να εκδοθεί υγειονομική διάταξη με βάση τη διεθνή εμπειρία και τεχνογνωσία για τις προδιαγραφές καταλληλότητάς τους.

Επιπλέον θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι μια νέα οδηγία προωθείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για τα βιοστερεά, που παράγονται από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Η ενσωμάτωση της παραπάνω Οδηγίας στο Ελληνικό δίκαιο θα μπορούσε να συμπεριλάβει και την επαναχρησιμοποίηση των εκροών, αφού και στις δύο περιπτώσεις πρόκειται για αξιοποίηση προϊόντων των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Είναι αξιοσημείωτο ότι στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κριτήρια διάθεσης για δευτεροβάθμια εκροή βάσει απόφασης των υπουργείων Εσωτερικών και Δημόσιας Υγείας του 1965, στα οποία δεν γίνεται αναφορά σε θέματα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης. Επίσης, όπως προαναφέρεται δεν υπάρχουν κανονισμοί για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων εκροών σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για να γίνει αυτή η φράση πραγματικότητα, απαιτείται διευκρίνιση για το τι θεωρείται κατάλληλο. Έτσι η ανάγκη για τη ανάπτυξη και εφαρμογή κανονισμών για την ανακύκλωση ΕΥΑΑ σε Εθνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο είναι εμφανής (Τσαγκαράκης *et al*, 2003).

Κεφάλαιο 5.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση ΕΥΑΑ και αντιμετώπιση τους

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από ένα σύστημα άρδευσης με απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια ή και τριτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να προέλθουν από:

- (i) τις μονάδες της τεταρτοβάθμιας επεξεργασίας,
- (ii) τη διαδικασία της άρδευσης,
- (iii) την πορεία των αρδευτικών νερών στο έδαφος και στις καλλιέργειες και
- (iv) τη συλλογή, διάθεση και κατανάλωση των προϊόντων των καλλιεργειών.

Οι επιπτώσεις αυτές αφορούν κυρίως:

- (i) τη ρύπανση του αέρα,
- (ii) τη ρύπανση του εδάφους,
- (iii) τη ρύπανση των υπόγειων νερών,
- (iv) τη βλάβη των καλλιεργειών και
- (v) τη βλάβη της δημόσιας υγείας (Στάμου, 1995).

5.1 Επιπτώσεις κατά την πρόσθετη επεξεργασία

Οι επιπτώσεις αυτές αφορούν τη λειτουργία των μονάδων της πρόσθετης επεξεργασίας και μπορεί να είναι οι ακόλουθες :

- (i) προσθήκη χημικών,
- (ii) κροκίδωση-συσσωμάτωση,
- (iii) διύλιση,
- (iv) καθίζηση
- (v) χλωρίωση και
- (vi) αποθήκευση.

Με το σωστό σχεδιασμό και λειτουργία των μονάδων δεν αναμένεται να υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αντίθετα, με τις μονάδες πρόσθετης επεξεργασίας πραγματοποιείται η βελτίωση των χαρακτηριστικών των ΕΥΑΑ για να χρησιμοποιηθούν αυτά για άρδευση χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Στάμου, 1995).

5.2 Επιπτώσεις στο έδαφος, στα επιφανειακά και υπόγεια νερά

Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να παρατηρηθούν

- (i) Κατά τη μεταφορά του νερού στο δίκτυο διανομής:
 - α) Διάβρωση των μεταλλικών ή τσιμεντένιων αγωγών εξαιτίας του χαμηλού pH των αποβλήτων ή της δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών. Αυτό έχει επίδραση στην ποιότητα του νερού, αλλά μπορεί σπάνια να συμβεί και μόνο στην περίπτωση των ανεπεξεργαστων αποβλήτων.
 - β) Λίμναση των νερών με αποτέλεσμα τη δημιουργία εστιών εντόμων.
- (ii) Κατά την άρδευση:
 - α) Δημιουργία και μεταφορά αερίων σταγονιδίων (aerosols), όταν η άρδευση γίνεται με καταιονισμό. Τα σταγονίδια έχουν επίδραση στη δημόσια υγεία. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την πρόσθετη επεξεργασία.
 - β) Έμφραξη των οπών με βακτηριδιακά στρώματα, άλγη και αιωρούμενα στερεά όταν η άρδευση γίνεται με σταγόνες ή με καταιονισμό. Η επίλυση του προβλήματος απαιτεί την παρουσία προσωπικού για επισκευή, με αποτέλεσμα την αύξηση του κινδύνου της δημόσιας υγείας. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την πρόσθετη επεξεργασία, την κατασκευή δεξαμενών ηρεμίας, τη χρησιμοποίηση ειδικών φίλτρων, την προσθήκη χημικών και την έκπλυση των αγωγών των δικτύων.

(iii) Κατά την κίνηση του νερού στο έδαφος:

- α) Υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους εξαιτίας των συστατικών των αποβλήτων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται το πρόβλημα της αλκαλίωσης του εδάφους, που παράλληλα προκαλεί (α) την έμφραξη των πόρων του εδάφους, (β) την αύξηση των απορροών και της έκπλυση των αρδευόμενων εκτάσεων, που οδηγούν στην υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών νερών στα οποία καταλήγουν, (γ) τη λίμναση των επιφανειακών νερών με αποτέλεσμα τη δημιουργία εστιών συγκέντρωσης εντόμων. Η επίλυση των προβλημάτων αυτών επιτυγχάνεται με την πρόσθετη επεξεργασία, αλλά και τη διαχείριση-επεξεργασία των εδαφών με κατάλληλες μεθόδους.
- β) Γρήγορη απώλεια του αρδευτικού νερού προς τα υπόγεια νερά, όταν την ευνοούν ειδικοί γεωλογικοί σχηματισμοί. Αυτό έχει δυσάρεστες επιπτώσεις στην ποιότητα των υπόγειων νερών και στις καλλιέργειες.
- γ) Υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων νερών τα οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως πόσιμο νερό. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα στη δημόσια υγεία.
- δ) Ως ευνοϊκή επίπτωση θεωρείται ο περιορισμός ή ακόμα και η κατάργηση της χρήσης των λιπασμάτων εξαιτίας της παρουσίας των θρεπτικών, κυρίως του αζώτου στα επεξεργασμένα απόβλητα(Στάμου, 1995).

5.3 Επιπτώσεις στις καλλιέργειες

Οι κυριότερες επιπτώσεις στις καλλιέργειες είναι (i) οι βλάβες στη φυτική μάζα, (ii) η μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών και (iii) η μόλυνση των καλλιεργειών με παθογόνους μικροοργανισμούς.

Οι βλάβες στα φυτά και στα φύλλα τους μπορεί να συμβούν εξαιτίας της παρουσίας τοξικών συστατικών, όπως είναι το βόριο, το νάτριο, το χλώριο, ορισμένα μέταλλα, τα αιωρούμενα συστατικά και το υπολειμματικό χλώριο. Η επίλυση των προβλημάτων αυτών επιτυγχάνεται με την πρόσθετη επεξεργασία, αλλά και με την επιλογή των κατάλληλων ανθεκτικών καλλιεργειών. Η αντιμετώπιση των αυξημένων συγκεντρώσεων υπολειμματικού χλωρίου (μεγαλύτερες από 1 mg/l) μπορεί να αντιμετωπιστεί με αποθήκευση των ΕΥΑΑ για μερικές ώρες σε ανοικτές δεξαμενές.

Το πρόβλημα της μόλυνσης των φυτών με παθογόνους μικροοργανισμούς μπορεί να δημιουργηθεί μέσω της άμεσης επαφής των φυτών με το αρδευτικό νερό ή με το μολυσμένο έδαφος. Η μεταφορά των παθογόνων μικροοργανισμών στα φυτά μπορεί να γίνει (i) με τον άνεμο (με τη σκόνη ή τα αέρια σταγονίδια), (ii) από τους εργάτες ή (iii) και τα έντομα. Η επίλυση των προβλημάτων αυτών επιτυγχάνεται με την πρόσθετη απολύμανση και με την τήρηση των κανόνων υγιεινής(Στάμου, 1995).

5.4 Επιπτώσεις στη δημόσια υγεία

Το θέμα της προστασίας της δημόσιας υγείας είναι ίσως το σημαντικότερο κατά την εφαρμογή της άρδευσης με ΕΥΑΑ. Οι ομάδες των ατόμων που είναι εκτεθειμένες στον κίνδυνο μόλυνσης είναι οι ακόλουθες:

- (i) Οι γεωργοί και οι οικογένειές τους.
- (ii) Τα άτομα που διακινούν τα προϊόντα των καλλιεργειών.
- (iii) Οι καταναλωτές των άμεσων και έμμεσων προϊόντων των καλλιεργειών (καρποί, κρέας και γάλα) και
- (iv) Οι περίοικοι.

Οι γεωργοί που εργάζονται στις καλλιέργειες είναι εφικτό να προστατευτούν από τη μόλυνση και από τους ιούς (π.χ. αγκυλόστομα) χρησιμοποιώντας κατάλληλα προστατευτικά ρούχα. Ο εμβολιασμός κατά των σκωλήκων και των

μικροοργανισμών που προκαλούν επιδημίες διάρροιας δεν είναι αποτελεσματικός. Αντίθετα, μπορεί να γίνει κατά του τυφοειδούς πυρετού, αλλά και της ηπατίτιδας Α. Επίσης η ύπαρξη φαρμάκων κατά των εντερικών διαρροιών μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της μόλυνσης.

Για τα άτομα που διακινούν τα προϊόντα συνιστάται η σωστή ενημέρωση και η ορθή διαχείριση των προϊόντων σύμφωνα με τους κανόνες της υγιεινής.

Για την προστασία των καταναλωτών συνιστάται η μη ωμή κατανάλωση, αλλά το μαγείρεμα των προϊόντων και η σωστή εφαρμογή των κανόνων υγιεινής (π.χ. καλό πλύσιμο των προϊόντων). Η σωστή ενημέρωση θεωρείται και εδώ σημαντική.

Για τους περιοίκους συνιστάται η αποφυγή πρόσβασης στις περιοχές των καλλιεργειών. Στο σημείο αυτό θεωρείται χρήσιμη η περιφράξη της αρδευόμενης περιοχής και η χρησιμοποίηση κατάλληλων προειδοποιητικών πινακίδων, ώστε να εμποδίζεται η ανεξέλεγκτη πρόσβαση.

Μόλυνση στους περίοικους μπορεί να προκληθεί από τα αιωρούμενα σταγονίδια (aerosols) τα οποία εκπέμπονται κατά την άρδευση με τη μέθοδο του καταιονισμού. Κατά τον καταιονισμό 0.1 - 2.0 % του αρδευόμενου νερού αεριοποιείται σε σταγονίδια μεγέθους 0.01 - 50 μm. Εξαιτίας του μεγέθους τους τα σταγονίδια μπορεί να περιέχουν ιούς και παθογόνα βακτήρια, τα οποία μπορεί να εισχωρήσουν κατευθείαν στον οργανισμό του ανθρώπου και των ζώων μέσω της αναπνευστικής οδού (ο περισσότερο συνηθισμένος τρόπος μόλυνσης) ή έμμεσα δηλ. αφού αποτεθούν πάνω στις επιφάνειες τροφίμων, καλλιεργειών και ενδυμάτων. Σε κατάλληλες συνθήκες δηλ. σε ισχυρούς ανέμους, χαμηλές θερμοκρασίες, ηλιοφάνεια και υψηλή υγρασία τα σταγονίδια μπορεί να μεταφερθούν σε μεγάλες σχετικά αποστάσεις. Από έρευνες που πραγματοποιούνται τα τελευταία χρόνια φαίνεται ότι ο κίνδυνος μόλυνσης κατά την άρδευση με καταιονισμό με βιολογικά ΕΥΑΑ είναι μικρός, ιδιαίτερα όταν τα απόβλητα έχουν υποστεί και απολύμανση. Αν και δεν έχει παρατηρηθεί στο παρελθόν κάποιο κρούσμα μόλυνσης περιοίκων από άρδευση ΕΥΑΑ με καταιονισμό, συνιστάται η εφαρμογή της ελάχιστης απόστασης των 50-100 m και η φύτευση υψηλών δέντρων στην περιφέρεια της αρδευόμενης έκτασης.

Μακροχρόνια προβλήματα στη δημόσια υγεία μπορεί να προκληθούν από τη μακροχρόνια εφαρμογή της άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα που περιέχουν τοξικά χημικά συστατικά. Τα χημικά συσσωρεύονται στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις τους στο εδαφικό νερό να μπορεί να φτάσουν σε τοξικά επίπεδα, να απορροφηθούν από τις καλλιέργειες και στη συνέχεια να μεταφερθούν στον άνθρωπο. Ακόμα όμως και αν δεν συσσωρευτούν στην ακόρεστη ζώνη καταλήγουν στα υπόγεια νερά και συσσωρεύονται εκεί δημιουργώντας ανάλογο πρόβλημα κατά την κατανάλωση των υπόγειων νερών. Αν και διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι στο έδαφος σε βάθος 30 cm κάτω από τη θέση εφαρμογής του αρδευτικού νερού οι συγκεντρώσεις των χημικών αυτών είναι αμελητέες, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα μελλοντικής αλλαγής της συμπεριφοράς των χημικών αυτών, όταν συσσωρευτούν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις (Στάμου, 1995).

Κεφάλαιο 6.

Διεθνής ανασκόπηση για την χρήση των ΕΥΑΑ για άρδευση

Αρκετές χώρες έχουν θεσπίσει ή έχουν αρχίσει διαδικασίες θέσπισης ποιοτικών κριτηρίων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των εκροών των υγρών αποβλήτων για άρδευση, εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που συνεπάγεται η επαναχρησιμοποίηση αυτών.

Γενικά, τα συστατικά των υγρών αποβλήτων, που θεωρούνται επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: βιολογικά και χημικά. Όταν τα ΕΥΑΑ χρησιμοποιούνται για άρδευση, το μικροβιακό φορτίο, στο οποίο περιλαμβάνονται πρωτόζωα, βακτήρια, ιοί και άλλοι παθογόνοι μικροοργανισμοί, θεωρούνται πιο σημαντικά.

6.1 Η κατάσταση στις ΗΠΑ.

Για την προστασία της δημόσιας υγείας έχει καταβληθεί προσπάθεια με σκοπό να καθορισθούν συνθήκες και κανονισμοί, που θα επιτρέπουν την ασφαλή χρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, που έχουν ανακτηθεί, για άρδευση. Στις ΗΠΑ, αν και δεν έχουν θεσπισθεί ενιαία ομοσπονδιακά κριτήρια ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων, αρκετές πολιτείες έχουν καθιερώσει κανονισμούς για την διάθεση και επεξεργασία με φυσικά συστήματα. Οι κανονισμοί ανάκτησης νερού υγρών αποβλήτων για ειδική αρδευτική χρήση βασίζονται στο βαθμό της ανθρώπινης επαφής με το νερό και την επιδιωκόμενη χρήση των αρδευόμενων φυτών. Ως παράδειγμα, αναφέρεται ότι στην πολιτεία της Καλιφόρνια, για ανεξέλεγκτη άρδευση με εκροές υγρών αποβλήτων, κοινοχρήστων εκτάσεων και χώρων αναψυχής, απαιτείται προωθημένη προεπεξεργασία τους (επαρκής οξειδωση, φιλτράρισμα, απολύμανση, κ.λπ.) και μέση συγκέντρωση ολικών κολοβακτηρίων μικρότερη από 2,2 MPN/100 cm³.

Τα κριτήρια ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης αποτελούν προϋποθέσεις, που έχουν σχέση με την προστασία της δημόσιας υγείας, αν και δε λαμβάνουν υπόψη πιθανές επιδράσεις στα φυτά ή στο έδαφος. Ως βασικά κριτήρια, στην εκτίμηση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, θεωρούνται ο μέσος πιθανός αριθμός κολοβακτηρίων και η θολότητα των εκροών. Διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στους κανονισμούς, που έχουν θεσπίσει άλλες πολιτείες των ΗΠΑ.

Πρόσθετα μέτρα ασφάλειας, που έχουν ληφθεί σε μη πόσιμες επαναχρησιμοποιήσεις προεπεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων είναι:

1. Εγκατάσταση ξεχωριστών αποθηκευτικών χώρων και συστημάτων διανομής από αυτά της υδροδότησης κατοικημένων περιοχών.
2. Χρησιμοποίηση εγχρώμων ταινιών για τον ασφαλή διαχωρισμό των σωλήνων υδροδότησης από αυτές άλλων χρήσεων.
3. Χρήση μηχανισμών ασφαλείας σε διασταυρώσεις και πιθανές θέσεις αντίστροφης ροής.
4. Χρησιμοποίηση βαφών σε ίχνη για τον προσδιορισμό πιθανής σύνδεσης και μόλυνσης δικτύου υδροδότησης κατοικημένων περιοχών.
5. Εφαρμογή αρδεύσεων κατά τις ώρες ανάπαυσης, με σκοπό την περαιτέρω ελαχιστοποίηση, δυνατής ανθρώπινης επαφής με τις χρησιμοποιούμενες εκροές (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

6.2 Η κατάσταση σε άλλες χώρες.

Τα ποιοτικά κριτήρια που έχει θεσπίσει το Συμβούλιο Νερού του Ισραήλ, για ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση ΕΥΑΑ για άρδευση, αναφέρονται στον Πίνακα 17. Στις αναπτυσσόμενες χώρες έχουν υιοθετηθεί ποιοτικά κριτήρια προστασίας της δημόσιας υγείας σχετικά με τα ΕΥΑΑ και τις δυνατότητες

ανάπτυξης και χρήσης άλλων υδάτινων πόρων με τη μεγαλύτερη δυνατή τους αξία από άποψη υγιεινής. Σε αρκετές, όμως, από αυτές τις χώρες δεν υπάρχουν καθορισμένα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και τα έργα ανάκτησης - επαναχρησιμοποίησης, ουσιαστικά, αποτελούν πηγές νερού και θρεπτικών στοιχείων. Σε άλλες, περισσότερο αναπτυγμένες χώρες, το κύριο πρόβλημα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων εντοπίζεται στην ελαχιστοποίηση των περιεχομένων στα ανεπεξεργαστα ή πλημμελώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα παθογόνων, όπως είναι οι εντερικοί έλμινθοι, κυρίως η ταινία των αγελάδων, τα παράσιτα της οικ. *Ancylostomatidae* και τα ασκάρια (*Ascaris íumbricoídes*).

Πίνακας 17: Απαιτούμενα κριτήρια εκροών ΕΥΑΑ διαφορετικού επιπέδου επεξεργασίας για άρδευση γεωργικών καλλιεργειών στο Ισραήλ. (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Παράμετροι	Ομάδα Φυτικών Καλλιεργειών		
	A	B	Γ
BOD ₅ (mg/L)	<60	<35	<15
Κολοβακτήρια (MPN/100 cm ³)	<250	<12	
Δείκτης βαθμού Επεξεργασίας ^α	1	2	3
	-Βαμβάκι -Σακχαρότευτλα - Σανοδοτικά - Σιτηρά -Φυτά για ενσίρωση	- Κτηνοτροφικά φυτά - Φυσικιά - Ελιά - Χουρμαδιά - Αμυγδαλιά - Εσπεριδοειδή - Pecan -Άλλα που καταναλώνονται αποφλοιωμένα - Δενδρώδη που αρδεύονται κάτω από την κόμη - Διάφορα άλλα ακόμη και λαχανικά που καταναλώνονται μετά από συντήρηση	Ανεξέλεγκτη άρδευση

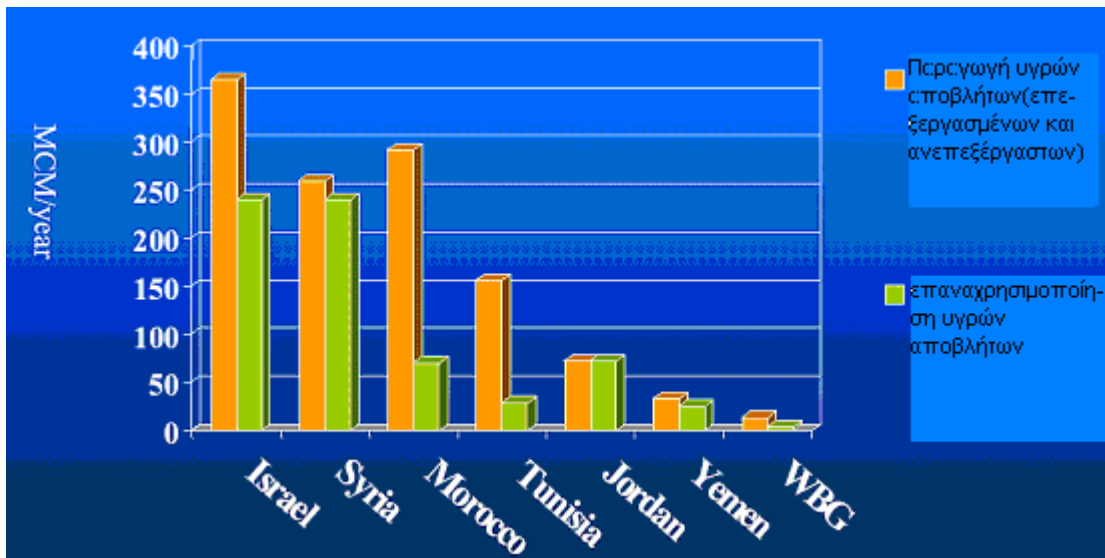
^α Δείκτης επιπέδου=0, σημαίνει ουδεμία επεξεργασία.

Στη Νότια Αφρική έχουν θεσπισθεί ποιοτικά κριτήρια ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ όμοια με αυτά σε μερικές πολιτείες των ΗΠΑ και τριτοβάθμια επεξεργασία με συγκεντρώσεις κοπρανών κολοβακτηρίων, που να επιτρέπουν μη πόσιμες χρήσεις χωρίς περιορισμούς (Πίν. 18).

Τα κριτήρια που συνιστώνται από τον WHO (παράγραφος 2.2.9) για άρδευση με προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα έχουν αποδεχτεί πολλές Μεσογειακές χώρες, κατά το σχεδιασμό και την εγκατάσταση σχετικών έργων. Σε μερικές χώρες της Μέσης Ανατολής, που διαθέτουν σύγχρονη τεχνολογία επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων (Διάγραμμα 3), τείνουν να υιοθετήσουν ακόμη αυστηρότερα ποιοτικά κριτήρια. Αυτή η υιοθέτηση αυστηρότερων ποιοτικών κριτηρίων, αποσκοπεί στην ασφαλέστερη προστασία της δημόσιας υγείας με την αποφυγή εισαγωγής παθογόνων στην τροφική αλυσίδα, έστω και με μεγαλύτερη οικονομική επιβάρυνση.

Πίνακας 18: Οδηγίες για επεξεργασία νερού υγρών αποβλήτων στη Νότιο Αφρική (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Επιχειρησιακή διαδικασία	Επίπεδο επεξεργασίας	Μέγ. Συγκέντρωση Κοπρανωδών κολοβακτ. (αριθμ./100 cm ³)
1. Άρδευση κτηνοτροφικών φυτών, καλλιεργειών για παραγωγή σπόρων, δένδρων και πάρκων με περιορισμένη προσπέλαση.	Πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία	<1000
2. Άρδευση φυτικών καλλιεργειών, που τα προϊόντα τους δεν καταναλώνονται νωπά, καλλωπιστικών φυτών, αμπελώνων, δένδρων, βοσκών και διαφόρων κοινοχρήστων χώρων με περιορισμένη προσπέλαση.	Πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Εκροές δεξαμενών οξείδωσης.	<1000
3. Άρδευση βοσκών που χρησιμοποιούνται από γαλακτοφόρα ζώα, χώρων αθλοπαιδιών, σχολικών κήπων και άλλων χώρων με απεριόριστη προσπέλαση.	Standard πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία.	0,0
4. Άρδευση φυτικών καλλιεργειών, που τα προϊόντα τους καταναλώνονται νωπά, φυτωρίων, λειμώνων, σχολικών κήπων και χώρων αθλοπαιδιών με προσπέλαση χωρίς περιορισμούς.	Πρωτοβάθμια επεξεργασία (γενικά standards πόσιμου νερού)	-
5. Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση.	Πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Εκροές δεξαμενών οξείδωσης.	<1000
6. Καθαρισμός WC και έλεγχος σκόνης.	Συνήθη πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία.	0,0
7. Κατευθείαν ανθρώπινη επαφή, ανθρώπινο πλύσιμο και καθαρισμός.	Πρωτοβάθμια επεξεργασία (γενικά standards πόσιμου νερού)	



Διάγραμμα 3: Παραγωγή και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στο Ισραήλ, στη Συρία, στο Μαρόκο, στη Τυνησία, στην Ιορδανία και στη Υεμένη (Source: Water Reuse in MENA, Summary Report of the Regional Workshop held in Cairo, July 2-5 2001, based on country submissions and other figures, όπως αναφέρεται από τον Manuel Schiffler, 2002).

6.3 Η κατάσταση στην Πορτογαλία

Από πειραματικά δεδομένα προκύπτει η προσπάθεια χρήσης των ΕΥΑΑ στην Πορτογαλία για την άρδευση γεωργικών καλλιεργειών.

Σε αγροτική περιοχή με αμμώδες έδαφος στο Santo Andre στη νότια Πορτογαλία επιλέχθηκαν 10 αγροτεμάχια με καλαμπόκι, από τα οποία τα μισά αρδεύτηκαν με νερό και τα υπόλοιπα με ΕΥΑΑ. Από τα κλιματικά δεδομένα (Πίνακας 19) φαίνεται ότι πρόκειται για περιοχή με περιορισμένες βροχοπτώσεις. Η ποιότητα των ΕΥΑΑ και του γλυκού νερού που χρησιμοποιούνται στην άρδευση των αγροτεμαχίων δίδονται στον Πίνακα 20.

Πίνακας 19: Μετεωρολογικά δεδομένα για το Santo Andre κατά τη διάρκεια Μάιο-Οκτώβριο 1988. (Vazquez-Montiel et al., 1988)

Μήνας	Θερμοκρασία(°C)	Βροχόπτωση(mm)	Εξάτμιση(mm)
Μάιος	16,3	33,4	64,5
Ιούνιος	18,4	26,4	44,6
Ιούλιος	19,1	29	72,4
Αύγουστος	18,7	0	58,5
Σεπτέμβριος	19,7	0	87
Οκτώβριος	18,3	47,9	90,5

Τα πειραματικά αγροτεμάχια ήταν εγκατεστημένα δίπλα στην εγκατάσταση επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και το καθένα ήταν διαστάσεων 8 x 4 μέτρα. Εμπορικά λιπάσματα προστέθηκαν στα αγροτεμάχια για να καλύψουν τις θρεπτικές ελλείψεις, σε σχέση με τις απαιτήσεις των σοδειών και την σύσταση του νερού άρδευσης στις εξής ποσότητες: στα αγροτεμάχια ποτισμένα με νερό - 120 Kg N/ha, 40 Kg K₂O/ha και στα αγροτεμάχια ποτισμένα με ΕΥΑΑ 25 Kg N/ha, 15 Kg K₂O/ha με στάγδην άρδευση. Δεν προστέθηκε καθόλου φώσφορος (P). Η αναμενόμενη απόδοση ήταν 8 t/ha. Η ίδια ποσότητα νερού εφαρμόστηκε σε όλα τα αγροτεμάχια από τον Ιούλιο ως τα μέσα Οκτώβρη (6000 m³/ha).

Τα δείγματα εδάφους και φυτών συλλέχθηκαν σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της φυτείας. Δέκα βασικά τμήματα εδάφους συλλέχθηκαν σε βάθος 20 cm κατά μήκος για να φτιαχτεί ένα σύνθετο δείγμα για κάθε αγροτεμάχιο σε κάθε στάδιο δειγματοληψίας. Στα δείγματα εδάφους μετρήθηκε το pH, η υγρασία, ο οργανικός άνθρακας, το οργανικό άζωτο(N), το αμμωνιακό άζωτο NH₄-N, το νιτρικό άζωτο NO₃-N και ο φώσφορος PO₄-P.

Τα αποτελέσματα των ποιοτικών παραμέτρων του νερού άρδευσης και των επεξεργασμένων αποβλήτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 20. Η μεγαλύτερη ποσότητα αζώτου στα ΕΥΑΑ ήταν με τη μορφή αμμωνίας με μέσο όρο συγκέντρωσης 30 mg/l ενώ η συγκέντρωση νιτρικών ήταν ελάχιστη. Η συγκέντρωση δεσμευμένου φωσφόρου σε ορθοφωσφορικά ιόντα ήταν το 45,47% του συνολικού φωσφόρου (P) (Πίνακας 21).

Πίνακας 20: Ποιότητα των νερών άρδευσης (τιμές σε mg/l) (Vazquez- Montiel *et al.*, 1988)

Παράμετρος	Γλυκό νερό	Εκροή
pH	7.55	8.05
EC(mmhos/cm)	0.81	1.51
Ca	79.05	76.81
Mg	29.18	30.68
Na	111.33	145.67
Cl	56.31	158.67
COD	10.80	122.39
Org-N	0.18	8.97
NH ₄ -N	0.06	30.00
NO ₃ -N	0.35	0.42
Total-P	0.07	20.50
Ortho-P	0.02	9.34
K	30.60	36.67

Οι τιμές του pH στο έδαφος στα αγροτεμάχια άρδευσης με ΕΥΑΑ ήταν χαμηλότερες από εκείνες των άλλων περιοχών (Διάγραμμα 4). Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στη βιοδιάσπαση μέσα στο έδαφος των οργανικών συστατικών των υγρών αποβλήτων.

Συγκριτικά, τα επίπεδα του νιτρικού αζώτου (NO₃-N) και του διαθέσιμου φωσφόρου επηρεάστηκαν σημαντικά στα αγροτεμάχια που αρδεύθηκαν με ΕΥΑΑ (Διάγραμμα 6), (Πίνακας 21).

Αυτή η μελέτη έδειξε ότι η άρδευση με ΕΥΑΑ όχι μόνο δεν προκαλεί βλάβες στο έδαφος αλλά μπορεί να αυξήσει την παραγωγή της σοδειάς και να μειώσει σημαντικά τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων εμπορικών λιπασμάτων. Ωστόσο, όσο οι κλιματικές αλλαγές της εποχής επηρεάζουν τις ιδιότητες του εδάφους και διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, τόσο θα απαιτούνται περισσότερες δοκιμαστικές περιοχές κάτω από διαφορετικές καταστάσεις, για να γίνει σαφές και ορατό ότι τέτοιου είδους οφέλη μπορούν να επιτευχθούν χωρίς να έχουν αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον.

Πίνακας 21: Αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους από πειραματική άρδευση αγροτεμαχίων (Vazquez-Montiel *et al.*, 1988)

Χρόνος μετά την εμφύτευση(ημέρες)	Νερό Άρδευσης	pH	Υγρασία %	Οργανικός Άνθρακας (mg/kg)	Οργανικό Άζωτο (mg/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	PO ₄ -P (mg/kg)
54	TW	6.85	0.77	0.44	0.021	2.35	7.76	7.28
	FW	6.55	0.67	0.47	0.035	2.82	8.96	5.76
	LSD	0.25	0.24	0.04	0.037	1.12	3.51	2.49
78	TW	6.47	2.58	0.45	0.091	2.15	7.23	7.71
	FW	6.44	1.54	0.42	0.149	2.72	8.41	6.86
	LSD	0.15	0.75	0.07	0.097	0.79	3.71	1.74
86	TW	6.49	2.41	0.48	0.067	3.86	11.54	6.87
	FW	6.59	1.47	0.46	0.075	4.25	7.34	6.26
	LSD	0.13	0.99	0.08	0.046	2.13	4.03	1.55
101	TW	6.57	2.56	0.47	0.062	8.84	10.70	6.46
	FW	6.64	1.09	0.46	0.045	8.92	5.25	5.70
	LSD	0.14	0.80	0.06	0.057	6.96	3.87	1.39
131	TW	6.60	5.00	0.44	0.006	3.49	12.38	7.06
	FW	6.83	4.53	0.42	0.007	4.32	5.03	5.53
	LSD	0.17	1.20	0.04	0.014	0.93	3.38	2.08

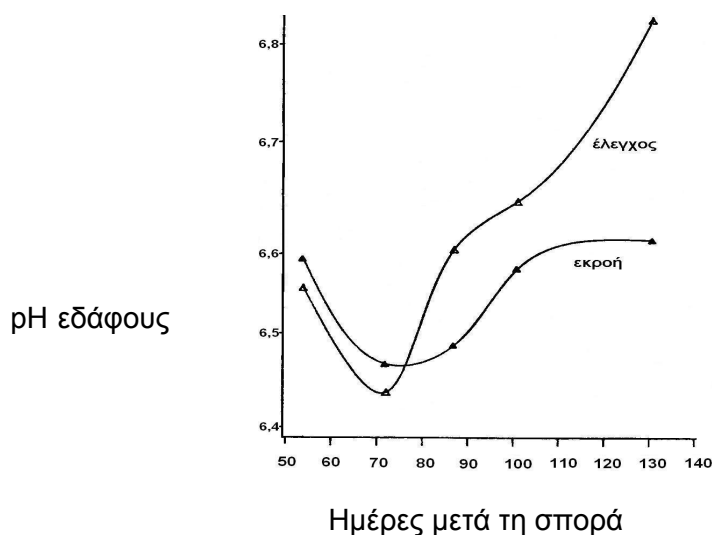
TW= ΕΥΑΑ (Treated Wastewater)

FW=γλυκό νερό (Fresh Water)

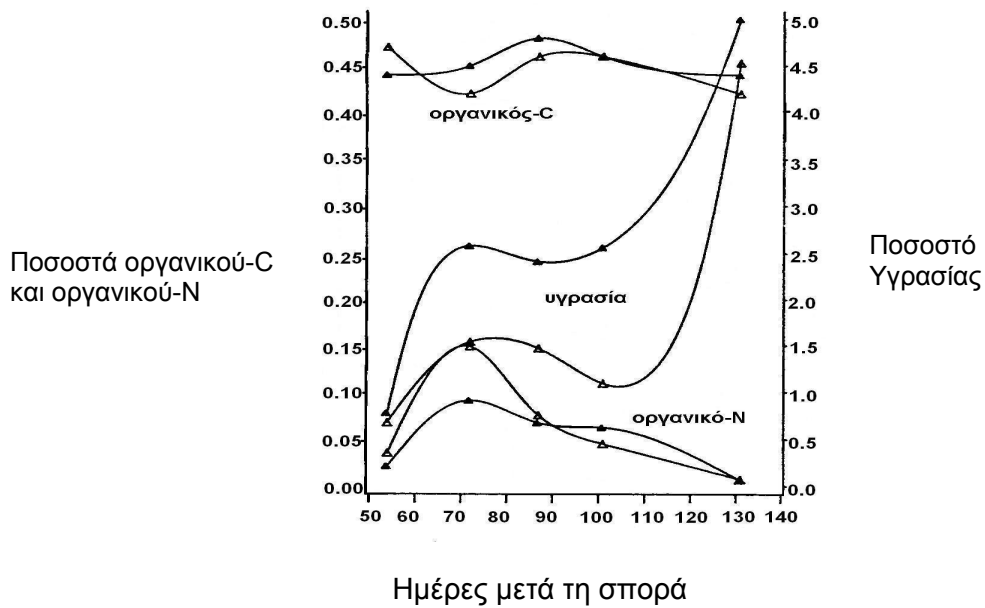
LSD=ελάχιστα σημαντική διαφορά κατά 95% του επιπέδου εμπιστοσύνης.

Πίνακας 22: Σοδειές του καλαμποκιού και συγκεντρώσεις του αζώτου και του φωσφόρου (Vazquez-Montiel *et al.*, 1988)

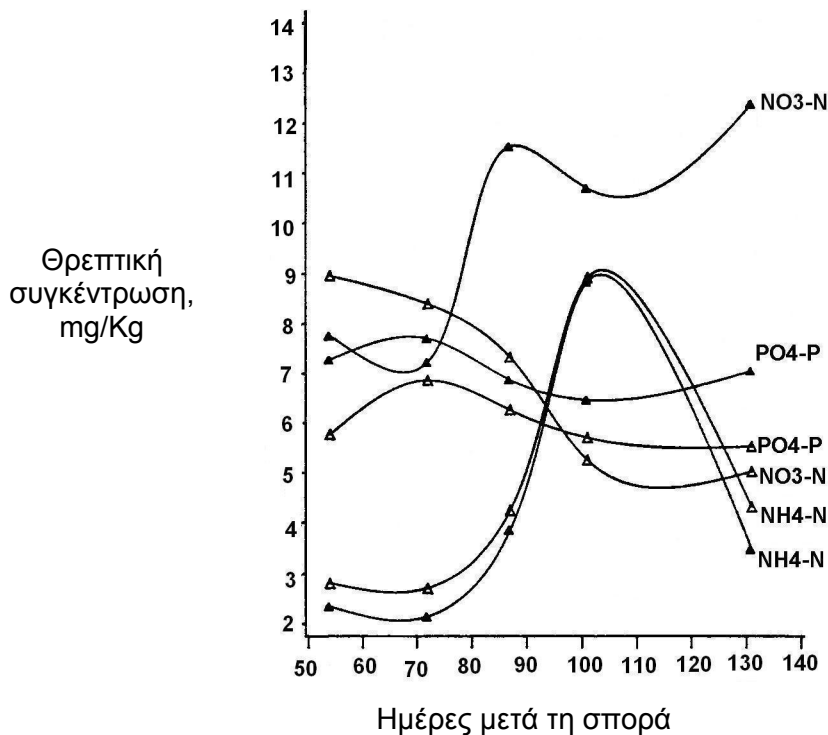
Αγροτεμάχιο	Σοδειά(t/ha)	N(g/kg)	P(g/kg)
Εκροή	10.12	18.72	1.02
Ελεγχόμενο	7.48	12.50	0.98
LSD	2.17	1.70	0.10



Διάγραμμα 4: Επίδραση της άρδευσης των ΕΥΑΑ στο pH του εδάφους (Vazquez - Montiel *et al.*, 1988).



Διάγραμμα 5: Η επίδραση των ΕΥΑΑ, που χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση, στον οργανικό C,N, και την υγρασία. (Ανοιχτά σύμβολα= ελεγχόμενες περιοχές, στερεά σύμβολα = περιοχές ποτισμένες με ΕΥΑΑ) (Vazquez-Montiel *et al.*, 1988).



Διάγραμμα 6: Επίδραση των ΕΥΑΑ στις εδαφολογικές θρεπτικές συγκεντρώσεις. (Ανοιχτά σύμβολα= ελεγχόμενες περιοχές, στερεά σύμβολα = περιοχές ποτισμένες με ΕΥΑΑ) (Vazquez-Montiel, *et al.*, 1988).

6.4 Η κατάσταση στην Ελλάδα

6.4.1 Άρδευση πάρκου στην νήσο Πασά Χαλκίδας

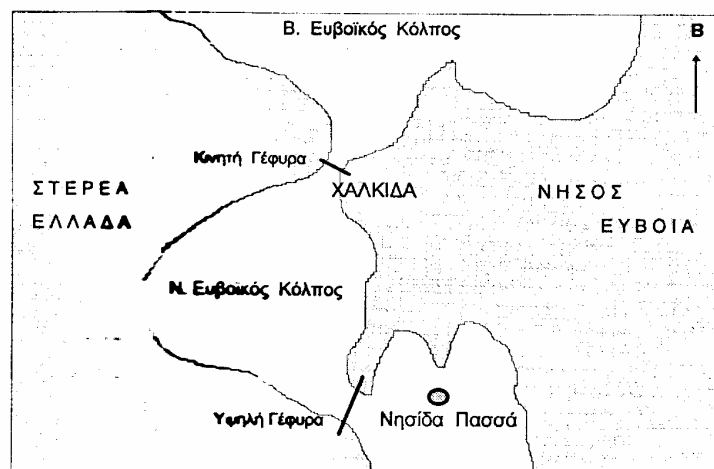
Η Χαλκίδα, πρωτεύουσα του Ν.Ευβοίας με περίπου 80.000 κάτοικους, έχει ιστορική παράδοση στα συστήματα διανομής νερού (διασώζεται μέχρι σήμερα τμήμα του Ρωμαϊκού υδραγωγείου). Οι υδρευτικές ανάγκες της πόλης καλύπτονται από το νερό γεωτρήσεων και πηγαδιών που υπάρχουν κατά μήκος του ποταμού Λήλαντα και από νερό γεωτρήσεων στην περιοχή της λίμνης Παραλίμνης. Η ευρύτερη περιοχή της πόλης διαθέτει βιομηχανικές μονάδες και υπάρχει σχετική γεωργική δραστηριότητα.

Το αποχετευτικό δίκτυο μήκους 110 km και δυνατότητας αποχέτευσης του 70% του πληθυσμού καταλήγει στη μονάδα ΕΥΑΑ που ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1986 και με την ολοκλήρωση της επέκτασης το 1994 έχει την δυνατότητα επεξεργασίας 9.350 μ³/ημέρα αστικών υγρών αποβλήτων και 1.600 μ³/ημέρα βοθρολυμάτων με επιπλέον δυνατότητα απομάκρυνσης αζώτου και φωσφόρου. Σήμερα η μονάδα επεξεργάζεται 6.500 μ³/ημέρα αστικά υγρά απόβλητα και περίπου 1.000 m³/ημέρα βοθρολύματα.

Η επαναχρησιμοποίηση των ΕΥΑΑ είναι μια τεχνική που εφαρμόζεται κυρίως σε προηγμένες χώρες για την κάλυψη των διαρκώς αυξανόμενων αναγκών και λόγω της γενικής στρατηγικής για την προστασία και βελτίωση του περιβάλλοντος. Η ΔΕΥΑ Χαλκίδας (ΔΕΥΑΧ) προχώρησε στη μελέτη και εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑΑ με δένδροφύτευση της Νησίδας Πασά του Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου (Σχήμα 5).

Η μονάδα επεξεργασίας στο τμήμα της Ευβοϊκής ακτής περιλαμβάνει προεπεξεργασία (εσχάρωση, εξάμμωση και απολίπανση), δεξαμενές εξισορρόπησης αστικών υγρών αποβλήτων και βοθρολυμάτων, ενώ στη νησίδα Πασά υπάρχουν δύο παράλληλες γραμμές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και δύο ιλύος. Η κάθε μία γραμμή των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει πάχυνση, πρωτοβάθμια αναερόβια μεσόφιλη χώνευση, δευτεροβάθμια αναερόβια χώνευση και αφυδάτωση με ταινιοφιλτρόπρεσσα.

Αναλύσεις που έγιναν στην εκροή της μονάδας από την ΔΕΥΑΧ έδειξαν τα τελικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των ΕΥΑΑ και της αφυδατωμένης ιλύος (Πίνακας 23, Πίνακας 24). Επιπλέον πριν την δένδροφύτευση έγιναν κατάλληλες εδαφολογικές αναλύσεις που έδειξαν τα χαρακτηριστικά του εδάφους της νησίδας Πασά (Πίνακας 25).



Σχήμα 5: Περιοχή της πόλης της Χαλκίδας (Κουκουλίθρας και Κουτσαουλής, 1999).

Πίνακας 23: Ποιότητα εκροής τελικής διάθεσης (Κουκουλίθρας και Κουτσαυλής, 1999).

Παράμετρος	Χειμώνας	Καλοκαίρι
pH	7.4	7.6
Αιωρούμενα στερεά (mg/L)	13	10
Ολικά διαλυμένα (mg/L)	2300	2400
COD (mg/L)	54	50
BOD (mg/L)	22	20
Αμμωνία (mg NH ₄ ⁺ /L)	12.5	3.5
Νιτρικά (mg NO ₃ /L)	5	10
Φώσφορος (mg P/L)	5.5	5
Ολική σκληρότητα(mg CaCO ₃ /L)	850	815
Ελεύθερο χλώριο(mg Cl ₂ /L)	0.7	0.7
Βαρέα μέταλλα		
Χαλκός (mg Cu /L)	6	
Νικέλιο(mg Ni /L)	620	
Μόλυβδος (mg Pd /L)	70	
Κάδμιο (mg Cd /L)	47	
Μέση παροχή (m ³ /h)	270	

Πίνακας 24: Χαρακτηριστικά αφυδατωμένης ιλύος (Κουκουλίθρας και Κουτσαυλής, 1999).

Άζωτο % N	2,09
Φώσφορος % P	1,5
Ολικά στερεά %	22
Απώλεια καύσης %	66
pH πολτού	7,8
Βαρέα μέταλλα	
Χαλκός (ppm Cu)	300
Μαγγάνιο(ppm Mn)	185
Ψευδάργυρος (ppm Zn)	1960
Κάδμιο (ppm Cd)	3

Πίνακας 25: Χαρακτηριστικά εδάφους νησίδας Πασσά (Κουκουλίθρας και Κουτσαυλής, 1999).

Άμμος%	60
Άργιλος %	23
Ιλύς %	15
Χαρακτηρισμός	SCL
Υδατοκορεσμός %	45
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (dS/cm)	<3
Συνολικά άλατα %	<0.1
pH πολτού	7.5
Ανθρακικό ασβέστιο %	38
Οργανική ουσία %	3
Αφομιώσιμος Φώσφορος (mg P/ kg)	60
Αφομιώσιμο Κάλιο (meq K/ 100 g)	0.85
Βαρέα μέταλλα	
Μαγγάνιο(ppm)	425
Χαλκός(ppm)	36.5
Ψευδάργυρος (ppm)	70
Κάδμιο (ppm)	90
Άζωτο (mg) N %	82

Η ανάπτυξη του δικτύου άρδευσης έγινε μετά από φύτευση σε ομόκεντρους κύκλους με αγωγούς πολυαιθυλενίου 6 Atm. Στις θέσεις φύτευσης τοποθετήθηκαν ρυθμιζόμενοι σταλακτήρες και χρησιμοποιήθηκε αντλία παροχής 50 μ³/ώρα μενομετρικού 50 m. Ο κεντρικός αγωγός είναι 150 μ. Φ63 και οι κύκλοι/διακλαδώσεις :1000 μ. Φ32, 2500 μ. Φ25 και 4000 μ. Φ16.

Τα δενδρύλλια φυτεύτηκαν από 13-11-96 έως 6-12-96. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα ποτίστηκαν μόνο από το νερό της βροχής και την άνοιξη τοποθετήθηκε το δίκτυο ποτίσματος. Για την ενίσχυση της γονιμότητας του βραχώδους εδάφους χρησιμοποιήθηκε αφυδατωμένη ιλύς αφού πρώτα αναμίχθηκε με χώμα. Μια έκταση 2,5 στρέμματα εμπλουτίστηκε με 15 τόνους αφυδατωμένης ιλύος και κατασκευάστηκαν περιφερειακά αναχώματα ώστε να αποφευχθεί διαφυγή στη θάλασσα δια μέσου αποπλύσεων. Η μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα αφυδατωμένης ιλύος υπολογίστηκε σε 75 τόν./εκτάριο και έτος.

Η διάθεση της ιλύος στη γεωργία καθορίζεται από την υπ' αριθμόν 80568/4225/7-8-91 Υπουργική Απόφαση, όπου τα μέγιστα επιτρεπτά όρια περιεκτικότητας βαρέων μετάλλων στην ιλύ και οι μέγιστες επιτρεπόμενες δόσεις έχουν ως εξής:

Πίνακας 26: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές βαρέων μετάλλων στην ιλύ και οριακές τιμές ιλύος (Κουκουλίθρας και Κουτσαυλής, 1999).

Βαρέα μέταλλα	Οριακές τιμές mg/kg ξηράς ιλύος	Οριακές τιμές διάθεσης (*)
Κάδμιο(Cd)	20-40	0,15
Χαλκός(Cu)	1.000-1.750	12
Ψευδάργυρος (Zn)	2.500-4.000	30

(*) οριακές τιμές διάθεσης ιλύος σε Kg/εκτάριο/έτος για τις ποσότητες των βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ' έτος στα καλλιεργούμενα εδάφη για διάστημα 10 ετών.

Η συνολική ποσότητα αφυδατωμένης ιλύος που χρησιμοποιήθηκε στη νησίδα Πασσά σε διάστημα περίπου ενός έτους ήταν 15 τόνοι αφυδατωμένης ιλύος σε 2,5 στρέμματα (για 23% ξηρότητα έχουμε: 15x23%=3,45 τόνους στερεών ή 13,8 τόνους στερεών ανά εκτάριο). Έτσι από τα χαρακτηριστικά της ιλύος για βαρέα μέταλλα έχουν διατεθεί στη νησίδα Πασσά:

α)Κάδμιο(Cd)0,003kg/τόνοx 13,8τόνοι/εκτάριο=0.04kg Cd/εκτάριο/έτος (<0.15)

β) Χαλκός(Cu) 0,3 kg/τόνο x 13,8 τόνοι/εκτάριο=4.14 kg Cu/εκτάριο/έτος (<12)

γ)ψευδάργυρος(Zn)1,96 kg/τόνοx13,8τόνοι/εκτάριο=27 kg Zn/εκτάριο/έτος (<30)

Όπως φαίνεται οι τιμές διάθεσης των βαρέων μετάλλων είναι κάτω από τα όρια που αναφέρονται στον Πίνακα 26.

Λίγο χρόνο μετά από την φύτευση και την άρδευση με νερό τελικής διάθεσης το μεγαλύτερο μέρος των δενδρυλλίων είχε προσαρμοσθεί και άρχισαν να αναπτύσσονται αλλάζοντας την όψη της νησίδας και του χώρου των εγκαταστάσεων με τα δένδρα και τα λουλούδια που ανθίζουν από την άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο.

Ορισμένα είδη δεν προσαρμόσθηκαν και υπήρξαν απώλειες ιδιαίτερα σε μεγάλοι μεγέθους δένδρα (λεύκες), και σε φυτά που είχαν φυτευτεί σε βραχώδες ή σαθρό έδαφος. Επίσης επειδή η άγρια βλάστηση της νησίδας φθάνει σε ύψος 1,5-2 m έως της αρχές του Ιουνίου, καλύπτοντας τα δίκτυα και τα μικρού μεγέθους δένδρα, αυτό εμπόδιζε τον έλεγχο της άρδευσης και των σταλακτήρων που είχαν συχνές εμφράξεις από άλατα και άγλη εξαιτίας και της αναξιόπιστης λειτουργίας των απλών φίλτρων στερεών που χρησιμοποιήθηκαν στο δίκτυο άρδευσης. Η υποστήριξη, η άρδευση και γενικά η επίβλεψη γινόταν και γίνεται από το προσωπικό της ΔΕΥΑΧ που εργάζεται στη Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων (ΜΕΑΥΑ) παρ' όλα όμως τα παραπάνω προβλήματα και παρά το γεγονός ότι δε χρησιμοποιήθηκε άλλο λίπασμα ούτε έγινε ραντισμός για ζιζάνια από τα περίπου 3.000 δενδρύλλια που φυτεύτηκαν, σήμερα ευδοκούν περίπου τα 2.400 (Κουκουλίθρας και Κουτσαυλής, 1999).

Η μελέτη και η παρατήρηση της δενδροφύτευσης συνεχίζονται με σκοπό τη συμπλήρωση και με άλλα είδη δένδρων αλλά και τη δενδροφύτευση της ευρύτερης περιοχής των λόφων των Εργατικών Κατοικιών, Αγ. Μαρίνας, Βαθροβούνι, Τσιμέντων Χαλκίδος και Βούρκου, με παράλληλη εγκατάσταση δικτύου ποτίσματος και μεταφορά με υποθαλάσσιους αγωγούς, ενώ θα είναι δυνατή η παροχή νερού και στις βιομηχανίες της περιοχής. Αυτό το έργο επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνει και τη κατασκευή μονάδας τριτοβάθμιας επεξεργασίας του τελικού νερού διάθεσης στη νησίδα Πασσά χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα με 430.000.000 δρχ. και είναι πρωτοπόρο σε πανελλήνια κλίμακα.

Ο πληθυσμός της πόλης δεν έχει πρόσβαση στη νησίδα. Η απολύμανση του νερού γίνεται με αέριο χλώριο με τελική περιεκτικότητα περίπου 1 mg/L ελευθέρου Cl₂ ενώ οι τυχόν απορροές νερού και ιλύος περιορίζονται με αναχώματα. Οι μικροβιολογικές αναλύσεις του θαλάσσιου νερού, οι αναλύσεις σε όστρακα που έγιναν από την Δ/ση Κτηνιατρικής της Νομαρχίας Ευβοίας και οι αναλύσεις παράκτιων φυκιών που έγιναν από το Τμήμα Περιβαλλοντικής Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών δεν έδειξαν καμία άμεση επίδραση από τη χρήση του νερού και της ιλύος στη θαλάσσια ζωή και την ποιότητα του θαλασσινού νερού.

Η προσπάθεια αξιοποίησης των εκρών και της ιλύος της ΜΕΑΥΑ Χαλκίδας κατέληξε σε επιτυχή αποτελέσματα και αποτελεί μια πρωτοπόρο ενέργεια στον τομέα ευρείας εξοικονόμησης υδάτινων πόρων και διαχείρισης του περιβάλλοντος στη χώρα μας.

6.4.2 Άρδευση ρυζιού με επεξεργασμένα αστικά λύματα στη περιοχή της Θεσσαλονίκης

Στην περιοχή του αρδευτικού δικτύου Σίνδου-Χαλάστρας Θεσσαλονίκης μελετήθηκε για δύο έτη (1999, 2000) η δυνατότητα χρήσης των ΕΥΑΑ για άρδευση του ρυζιού. Δοκιμάστηκαν τρεις επεμβάσεις που αφορούσαν το συνδυασμό νερού άρδευσης-λίπανσης. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση του ρυζιού εκροές της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Θεσσαλονίκης (ΕΕΛΘ) χωρίς λίπανση του εδάφους και με επιφανειακή αζωτούχο λίπανση. Ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε νερό από το δίκτυο άρδευσης της περιοχής με πλήρη λίπανση του εδάφους.

Η άρδευση γινόταν με κατάκλυση η οποία άρχιζε δύο ημέρες πριν τη σπορά και τελείωνε 15 ημέρες πριν τη συγκομιδή. Η κατάκλυση ήταν συνεχής με εξαίρεση το διήμερο που προηγούνταν της επιφανειακής λίπανσης όπου το νερό απομακρυνόταν. Το ύψος του νερού κυμαινόταν μεταξύ 5 και 10 cm.

Στις επεξεργασμένες εκροές της ΕΕΛΘ., που χρησιμοποιήθηκαν για την άρδευση του πειράματος, έγινε φυσικοχημική και μικροβιολογική ανάλυση και τα δύο έτη, σε 22 δείγματα (ένα δείγμα ανά εβδομάδα) σε κάθε αρδευτική περίοδο δηλαδή από 20 Μαΐου έως 5 Οκτωβρίου. Επίσης, μικροβιολογική ανάλυση έγινε και στο νερό του δικτύου άρδευσης (μάρτυρας) για το έτος 1999 σε 12 δείγματα (ένα δείγμα ανά δεκαήμερο). Επιπλέον το έτος 2000 πραγματοποιήθηκε μια εβδομάδα πριν το θερισμό (19/10/2000), στο στάδιο της φυσιολογικής ωρίμανσης του καρπού, μικροβιολογική ανάλυση σε δείγματα φυτικών ιστών φυτών τα οποία αρδεύτηκαν με νερό των επεξεργασμένων εκρών της ΕΕΛΘ.

Όσον αφορά την καταμέτρηση των μικροβιολογικών δεικτών εφαρμόστηκε η μέθοδος των πολλαπλών αραιώσεων MPN (Most Probable Number), η οποία περιλαμβάνει ενοφθαλμισμό κάθε δεκαδικής αραιώσης σε τριάδες σωλήνων που περιέχουν ειδικό θρεπτικό υπόστρωμα. Το θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην καταμέτρηση των ολικών κολοβακτηρίων (total coliforms) ήταν το McBroth, ενώ των κοπρανωδών κολοβακτηρίων (faecal coliforms) το EC Broth και της *E. coli* το tryptone water.

Οι τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων των επεξεργασμένων εκροών της ΕΕΛΘ αφορούν τις αρδευτικές περιόδους 1999 και 2000 που πραγματοποιήθηκε το πείραμα και μαζί με τις αντίστοιχες συνήθεις-μέγιστες τιμές για το αρδευτικό νερό δίνονται στον Πίνακα 27. Τα απόβλητα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα στο σύστημα έδαφος-φυτό. Το μοναδικό πρόβλημα εντοπίζεται στην αυξημένη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που οφείλεται στην εισροή θαλασσινού νερού στο δίκτυο και σε πιθανές παράνομες συνδέσεις. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού μπορεί να γίνει με τη βελτίωση των παράκτιων αγωγών και την ολοκλήρωση των έργων επέκτασης.

Πίνακας 27: Χημική σύσταση των επεξεργασμένων εκροών της ΕΕΛΘ στη διάρκεια των αρδευτικών περιόδων και συνήθεις ⁽¹⁾-μέγιστες ⁽²⁾ συγκεντρώσεις στο αρδευτικό νερό (Ντάνος Δ. *et al.*, 2002)

Παράμετρος	Μονάδα	Εκροές Ε.Ε.Λ.Θ. Effluents of WTP					Αρδευτικό νερό
		Μέσος Όρος	Αριθμός Δειγμάτων	Μέγ/Ελάχ	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	
BOD ₅	mgO ₂ /l	16.5	296	44/2.0	16.0	7.2	
COD	mgO ₂ /l	82.3	212	183/19.0	83.0	28.2	
TSS	mgO ₂ /l	17.6	209	74/1.0	18.0	12.0	
pH	mg/l	7.7	212	8.1/7.1	7.7	0.2	6.5-8.5 ⁽¹⁾
EC	dS/m	4.9	205	13.6/0.7	4.4	1.9	0-3 ⁽¹⁾
SAR	(me/l) ^{1/2}	13.8					0-15 ⁽¹⁾
NH ₄ -N	mgN/l	30.9	204	73/0.3	36.5	22.0	
NO ₃ -N	mgN/l	2.8	204	12.8/0.2	1.1	2.9	0-10 ⁽¹⁾
NO ₂ -N	mgN/l	0.4					
Ptotal	mgP/l	3.9					
K	mg/l	44.1					0-2 ⁽¹⁾
B	mg/l	0.5					0-2 ⁽¹⁾
Cd	mg/l	<0.001	9				0.01 ⁽²⁾
Cu	mg/l	<0.1	9				0.2 ⁽²⁾
Fe	mg/l	<0.1					5 ⁽²⁾
Pb	mg/l	<0.01	9	0.017/ <0.001			5 ⁽²⁾
Mn	mg/l	<0.03					0.2 ⁽²⁾
Ni	mg/l	<0.01					0.2 ⁽²⁾
Zn	mg/l	0.30	9	0.64/0.12	0.25	0.16	2 ⁽²⁾

Πίνακας 28: Μικροβιολογική ανάλυση ΕΥΑΑ της ΕΕΛΘ κατά την αρδευτική περίοδο για τα δύο έτη του πειραματισμού 1999-2000 (Ντάνος Δ. *et al.*, 2002)

Παράμετρος	Μονάδα	1999			2000		
		Γ.Μ.Ο. ¹	Μέγιστος Αριθμός/δείγμα	<2000/100ml	Γ.Μ.Ο. ¹	Μέγιστος Αριθμός/δείγμα	<2000/100ml
Ολικά κολοβακτήρια (Total coliforms)	#/100 ml	239	4300	----	803	7000	----
Κολοβακτήρια κοπρανώδη (Faecal coliforms)	#/100 ml	87	2400	95%	360	3900	77%

1: Γ.Μ.Ο., Γεωμετρικός μέσος όρος

Πίνακας 29: Μικροβιολογική ανάπτυξη στο φυτικό ιστό στο στάδιο της φυσιολογικής ωρίμανσης (Ντάνος Δ. *et al.*, 2002).

Μεταχειρίσεις	Φυτικός ιστός	Total coliforms/100 ml	Faecal coliforms/100 ml
Εκροές Ε.Ε.Λ.Θ. χωρίς λίπανση	Στελέχη	1500	<3
	Σπόροι	1500	<3
Εκροές Ε.Ε.Λ.Θ. Επιφ. λίπανση	Στελέχη	9300	4
	Σπόροι	9300	<3

Οι επεξεργασμένες εκροές της ΕΕΛΘ πληρούν, σε γενικές γραμμές, τα κυριότερα μικροβιολογικά κριτήρια που έχουν θεσπίσει διάφορες προηγμένες χώρες για την επαναχρησιμοποίηση των ΕΥΑΑ για άρδευση ορυζώνα (Πίν. 28). Οι αυξημένες τιμές των κολοβακτηρίων για το έτος 2000 πιθανόν να οφείλονται στην αύξηση από την ΕΕΛΘ της επεξεργασμένης ποσότητας υγρών αποβλήτων, σε σχέση με το έτος 1999, με συνέπεια να εμφανισθούν πρόσκαιρα προβλήματα προσαρμογής κατά τη φάση της απολύμανσης. Τα προβλήματα αυτά αναμένεται να αντιμετωπισθούν με την πάροδο του χρόνου καθώς οι συστηματικές μετρήσεις του μικροβιακού φορτίου θα έχουν ως αποτέλεσμα το σωστό προσδιορισμό της αναγκαίας ποσότητας του χλωρίου που απαιτείται για την απολύμανση.

Η μικροβιολογική ανάλυση των επεξεργασμένων εκροών της ΕΕΛΘ (Πίνακας 28) και του φυτικού ιστού (Πίνακας 29) έδειξε ότι οι επεξεργασμένες εκροές πληρούν τα κυριότερα κριτήρια καταλληλότητας χρήσης που έχουν καθοριστεί από προηγμένες χώρες για άρδευση ορυζώνα (Ντάνος Δ. *et al.*, 2002). Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους δε διέφεραν μεταξύ του μάρτυρα και των δύο επεμβάσεων. Επίσης δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων και του μάρτυρα για κανένα από τα αγροκομικά και ποιοτικά γνωρίσματα τον ρυζιού, που μελετήθηκαν. Υπολογίσθηκε ότι το κόστος παραγωγής τον ρυζιού θα μπορούσε να μειωθεί τουλάχιστον κατά 9% με τη χρήση των ΕΥΑΑ για την άρδευση του. Η δυνατότητα επέκτασης της άρδευσης στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης, με ολική διάθεση των επεξεργασμένων εκροών της ΕΕΛΘ, φαίνεται δυνατή υπό προϋποθέσεις.

Συνεπώς τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας αυτής έδειξαν ότι η άρδευση του ρυζιού με ΕΥΑΑ δεν επηρέασε την απόδοση σε καρπό και τα ποιοτικά του γνωρίσματα σε σχέση με το μάρτυρα.

6.4.3 Άρδευση στο Ακρωτήριο Χανίων

Η έλλειψη νερού που υπάρχει στην περιοχή του Ακρωτηρίου και η μικρή δυνατότητα άρδευσης γεωργικών εκμεταλλεύσεων αφήνει αναξιοποίητες τις ευκαιρίες για αγροτικές καλλιέργειες στην περιοχή αυτή (Βουρδουμπάς, 1994).

Παρουσιάζεται ενδιαφέρουσα από τεχνικής οικονομικής και περιβαλλοντικής άποψης η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων με βιολογικό καθαρισμό λυμάτων της πόλης των Χανίων για την άρδευση της γειτονικής του Κουμπελή ανατολικής περιοχής του Ακρωτηρίου.

Τα βασικά προβλήματα που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων οικιακών λυμάτων για άρδευση είναι τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά.

Τα τεχνικά προβλήματα συνδέονται με την αξιοπιστία της εγκατάστασης καθαρισμού των λυμάτων και σχετίζονται με την ποιότητα εκροής. Η υπεύθυνη λειτουργία του βιολογικού εργοστασίου από τις υπηρεσίες του Δήμου Χανίων εγγυάται τον επαρκή καθαρισμό των λυμάτων σε βαθμό που να μην δημιουργείται κανένα πρόβλημα στις αρδευόμενες καλλιέργειες.

Η περιεκτικότητα των λυμάτων σε άζωτο και φώσφορο εμπλουτίζει ταυτόχρονα το έδαφος με θρεπτικά συστατικά εξοικονομώντας έτσι τις απαραίτητες ποσότητες λιπασμάτων. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με τη διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση αφορούν το μικροβιακό τους φορτίο και τα χημικά τους συστατικά. Έτσι ενώ στην εγκατάσταση επεξεργασίας των λυμάτων γίνεται σημαντική μείωση του αριθμού των μικροοργανισμών παραμένει τελικά ένα μέρος μετά την απολύμανση.

Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα των λυμάτων σε άζωτο και φώσφορο δεν υπερβαίνει τα 35 και 10 ppm αντίστοιχα, η άρδευση με 3 m³ ετησίως επεξεργασμένων λυμάτων προσθέτει στο έδαφος 38 χλγ. αζώτου και 11 χλγ. φωσφόρου ετησίως, ποσότητες που δεν θα δημιουργήσουν περιβαλλοντικό πρόβλημα στα υπόγεια νερά της περιοχής του Ακρωτηρίου.

Στον κάμπο της Αγιάς οι παραγωγοί εσπεριδοειδών χρησιμοποιούν άφθονα λιπάσματα με αποτέλεσμα σε ένα στρέμμα με 40 δένδρα να χρησιμοποιούνται κατά μέσο όρο 5 χλγ. λιπασμάτων ετησίως ανά δένδρο δηλαδή 200 χλγ. ανά στρέμμα.

Μάλιστα, αν η χημική σύσταση των λιπασμάτων αυτών ποικίλει, η λίπανση των εσπεριδοειδών προσθέτει στο έδαφος 30 χλγ. αζώτου και 10 χλγ. φωσφόρου ετησίως. Η προσθήκη δε αυτή γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα έτσι που τα θρεπτικά αυτά συστατικά δεν αφομοιώνονται σωστά και μεγάλο ποσοστό τους καταλήγει στον αβαθή υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Συμπερασματικά η άρδευση με ΕΥΑΑ κάποιας περιοχής του Ακρωτηρίου δεν θα προσθέσει στο έδαφος περισσότερα θρεπτικά χαρακτηριστικά από αυτά που προστίθενται σήμερα στον καλλιεργούμενο κάμπο των Χανίων που ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ αβαθής. Έτσι τα λύματα του Δήμου Χανίων εξερχόμενα από το βιολογικό καθαρισμό αντί να διοχετεύονται στη θάλασσα στον Κουμπελή και μετά από τους σχετικούς ελέγχους θα μπορούσαν με την πραγματοποίηση σχετικά απλών έργων να χρησιμοποιούνται για άρδευση 3.000-4.000 στρεμμάτων στο Ακρωτήριο που υποφέρει από νερό. Άλλωστε στα Χανιά, μια περιοχή με ξηροθερμικό κλίμα, θα πρέπει να γίνουν έργα εξοικονόμησης νερού και επαναχρησιμοποίησης του αξιοποιώντας τις εμπειρίες άλλων χωρών. Έξαλλου το διαθέσιμο νερό θα γίνεται όλο και πιο σπάνιο προς το τέλος του αιώνα.

Τα σχετικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων δεν είναι πολύπλοκα και όπως αναφέρθηκε η ρύπανση των υπόγειων νερών με άζωτο και φώσφορο δεν εκτιμάται να είναι σημαντική σε περιοχές βαθέων υδροφόρων οριζόντων όπως στο Ακρωτήριο.

Φυσικά απαραίτητη προϋπόθεση είναι η σωστή λειτουργία του σταθμού επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων Χανίων και η προηγούμενη μελέτη της επίδρασης τόσο του μικροβιακού φορτίου όσο και των περιεχομένων βαρέων μετάλλων στις αρδευόμενες καλλιέργειες.

Έχοντας υπόψη την ανάγκη μεγάλων ποσοτήτων νερού σε διάφορα σημεία του νομού, όπως για υδροβόρες δραστηριότητες στην περιοχή Ακρωτηρίου, στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εργαστηριακή εφαρμογή άρδευσης εδάφους με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (Βουρδουμπάς 1994).

Κεφάλαιο 7

Αξιολόγηση της μικροβιολογικής επιβάρυνσης του εδάφους μετά από την άρδευση με ΕΥΑΑ

Τα ΕΥΑΑ αποτελούν σημαντικό υδατικό πόρο που πρέπει να αξιοποιηθεί ώστε να ικανοποιηθούν επιτακτικές ανάγκες. Αρχικά η αξιοποίηση για άρδευση μπορεί να δώσει λύση στις περιοχές που η έλλειψη αρδευτικού νερού είναι έντονη. Ιδιαίτερη προσοχή όμως πρέπει να δοθεί στην μικροβιακή επιβάρυνση των ΕΥΑΑ πριν την άρδευση. Σημαντικοί κίνδυνοι μπορούν να προκύψουν για την υγεία χρηστών – αγροτών αλλά και καταναλωτών σε περίπτωση που τα ΕΥΑΑ δεν έχουν απαλλαχθεί από το επικίνδυνο για την υγεία μικροβιακό φορτίο τους. Αυτή η περίπτωση εξετάζεται στη συνέχεια καθώς τα ΕΥΑΑ του Δήμου Χανίων που δεν είχαν δεχθεί χλωρίωση, χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση εδάφους. Με συνεχείς δειγματοληψίες αξιολογήθηκε το μικροβιακό φορτίο (ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια) που αναπτύσσεται στο έδαφος. Με την εργαστηριακή αυτή εφαρμογή έγινε προσπάθεια να μελετηθεί ο πιθανός κίνδυνος από την άρδευση αγροτικών καλλιεργειών με ΕΥΑΑ τα οποία για κάποιο λόγο θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν χωρίς επαρκή χλωρίωση.

7.1 Υλικά και μέθοδοι

Εγκατάσταση πειράματος.

Το πείραμα έγινε σε γλάστρες με χώμα που ποτίστηκε με συγκεκριμένη ποσότητα επεξεργασμένων λυμάτων, ώστε οι συνθήκες να προσομοιάζουν με τις συνθήκες αγρού. Με δειγματοληψίες εδάφους μετρήθηκε η συγκέντρωση των ολικών και των κοπρανωδών κολοβακτηρίων.

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν ΕΥΑΑ από την έξοδο της δευτεροβάθμιας δεξαμενής καθίζησης της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων του Δήμου Χανίων καθώς και ΕΥΑΑ μετά την χλωρίωσή τους, πριν την έξοδό τους στον τελικό αποδέκτη (κόλπος Χανίων). Τα υγρά απόβλητα μεταφέρθηκαν με πλαστικές φιάλες από τις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού Χανίων και χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση σε λιγότερο από μία ώρα. Η μέτρηση των χαρακτηριστικών των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε εφαρμογή γινόταν σε λιγότερο από 30 min από την παραλαβή τους.

Ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε πόσιμο νερό του δικτύου της πόλης των Χανίων.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση των καιρικών συνθηκών το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε δύο περιόδους, καλοκαιρινή (Ιούλιο και Αύγουστο 2003) και φθινοπωρινή πριν την έναρξη των βροχών (Νοέμβριος 2003), εντός του εργαστηρίου και σε υπαίθριο χώρο.

Οι γλάστρες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν καφέ χρώματος, διαμέτρου 22 cm και ύψους 21cm (όγκου 8,348 lt) στις οποίες προστέθηκε χώμα μέχρι το ύψος των 17cm.

Το χώμα προερχόταν από πρόσφατη εσκαφή πορτοκαλεώνα και ήταν απαλλαγμένο από οποιασδήποτε μορφής απόβλητα. Τα κύρια χαρακτηριστικά του εδάφους που αξιολογήθηκαν ήταν pH= 8,5 και αγωγιμότητα=1165 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Για την μέτρηση του pH χρησιμοποιήθηκε μείγμα αναλογίας εδάφους : νερού 1:2. (Σινάνης, 1997). Ζυγίστηκαν 15 gr εδάφους στα οποία προστέθηκαν 30 ml απιονισμένο νερό και μετά την ανάδευση το μίγμα παρέμεινε σε ηρεμία για 10 min. Ακολούθησε 2^η ανάδευση και το μίγμα παρέμεινε σε ηρεμία για 5 min ακόμη. Μετά το πέρας του χρόνου παραμονής, μετρήθηκε το pH του αιωρήματος (πεχάμετρο HACH -18 sensionTM156).

Η μέτρηση της αγωγιμότητας έγινε ως ακολούθως με τη χρήση του διηθήματος από την πάστα κορεσμού (Σινάνης, 1997). Σε 100 gr εδάφους προστέθηκε νερό ώστε να δημιουργηθεί πάστα κορεσμού η οποία παρέμεινε σε ηρεμία για 2 ώρες. Ακολούθησε διήθηση με χωνί Bouchner και φίλτρο 11cm x 45 μm.

Πριν την έναρξη του πειράματος υπολογίσθηκε η απαιτούμενη ποσότητα αποβλήτων ώστε να καλύπτεται η υδατοχωρητικότητα του εδάφους της γλάστρας. Δοκιμές με συγκεκριμένο όγκο νερού που προστέθηκε σε μικρές δόσεις και μέχρι την έναρξη απορροής από τον πυθμένα της γλάστρας έδειξαν ότι η απαιτούμενη ποσότητα αποβλήτων για τις ανάγκες του πειράματος ήταν κατά μέσο όρο 1000 ml. Ο συγκεκριμένος όγκος αποβλήτων προστέθηκε μόνο κατά την έναρξη του κάθε πειράματος, σε κάθε πειραματική γλάστρα, ενώ κατά την διάρκεια της πειραματικής περιόδου κάθε γλάστρα αρδευόταν με μικρές δόσεις πόσιμου νερού έτσι ώστε να διατηρηθεί η υγρασία του εδάφους στο επίπεδο της υδατοχωρητικότητας και να εξασφαλιστεί συνεχώς ευνοϊκό περιβάλλον για την διατήρηση και ανάπτυξη των κολοβακτηρίων. Οι γλάστρες του μάρτυρα περιείχαν ίδιο χώμα και αρδεύτηκαν ανάλογα με πόσιμο νερό του δικτύου της πόλης των Χανίων.

Κατά την διάρκεια της πρώτης εφαρμογής του πειράματος (Ιούλιος 2003) η γλάστρα παρέμεινε συνεχώς στο χώρο του εργαστηρίου όπου η θερμοκρασία ήταν σχετικά σταθερή στους 28°C όπως μετρήθηκε με ηλεκτρονικό θερμόμετρο (Huger, digital thermometer) κατά την διάρκεια της ημέρας.

Κατά την διάρκεια της δεύτερης εφαρμογής του πειράματος (Αύγουστος 2003) οι γλάστρες παρέμειναν σε χώρο του εργαστηρίου και σε υπαίθριο χώρο όπου η θερμοκρασία ήταν σχετικά σταθερή στους 27°C και 32°C αντίστοιχα όπως μετρήθηκε με ηλεκτρονικό θερμόμετρο κατά την διάρκεια της ημέρας.

Κατά την διάρκεια της τρίτης εφαρμογής (Νοέμβριος 2003) οι γλάστρες παρέμειναν και πάλι σε χώρο του εργαστηρίου και σε υπαίθριο χώρο. Η θερμοκρασία στο χώρο του εργαστηρίου, όπως μετρήθηκε με ηλεκτρονικό θερμόμετρο κατά την διάρκεια της ημέρας, ήταν σχετικά σταθερή στους 24°C. Η θερμοκρασία στις γλάστρες που τοποθετήθηκαν στον υπαίθριο χώρο κυμάνθηκε στην διάρκεια του 24ώρου μεταξύ 17°C και 36°C όπως καταγράφηκε από data logger (ESCORT, Junior 121).

Προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά των κολοβακτηρίων σε ξηρό έδαφος, έγινε η παρακάτω εφαρμογή. Χώμα που απομονώθηκε από τη γλάστρα μετά την άρδευση (Ιούλιος 2003) αφέθηκε για 2 ημέρες εντός του εργαστηρίου να ξηραθεί πλήρως μέχρι τελικού σταθερού βάρους. Αναλύσεις ακολούθησαν για να διαπιστωθεί η επιβίωση των κολοβακτηρίων.

Δειγματοληψίες

Κατά την πρώτη πειραματική εφαρμογή (Ιούλιος 2003) μία γλάστρα ποτίστηκε με ΕΥΑΑ, παρέμεινε εντός του εργαστηρίου σε όλη την διάρκεια του πειράματος (15 ημέρες) και ακολουθήθηκε πρόγραμμα αναλύσεων του εδάφους ανά δύο ημέρες (48 ώρες). Η πρώτη μέτρηση (μηδενικός χρόνος) πραγματοποιήθηκε αμέσως μετά την άρδευση του εδάφους της γλάστρας.

Στην επανάληψη του πειράματος κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Αύγουστος 2003), χρησιμοποιήθηκαν δύο γλάστρες ποτισμένες με ΕΥΑΑ και μια γλάστρα ποτισμένη με νερό βρύσης, η οποία αποτελούσε τον μάρτυρα. Η μία γλάστρα ποτισμένη με ΕΥΑΑ μαζί με την γλάστρα του μάρτυρα παρέμειναν εντός του εργαστηρίου ενώ η άλλη γλάστρα ποτισμένη με ΕΥΑΑ παρέμεινε σε υπαίθριο χώρο σε όλη την διάρκεια του πειράματος (20 ημέρες). Η πρώτη ανάλυση έγινε στο μηδενικό χρόνο, η δεύτερη ανάλυση 15 ημέρες μετά την άρδευση με απόβλητα και επαναλήφθηκε 5 ημέρες αργότερα (20^η μέρα του πειράματος). Οι γλάστρες ποτίζονταν καθημερινά έτσι ώστε το έδαφος στις γλάστρες να περιέχει

συνεχώς σταθερή ποσότητα υγρασίας που να ικανοποιεί την υδατοχωρητικότητά του.

Στην επανάληψη του πειράματος κατά την φθινοπωρινή περίοδο (Νοέμβριος 2003) τοποθετήθηκαν έξι γλάστρες εντός του εργαστηρίου και έξι γλάστρες σε υπαίθριο χώρο. Τρεις γλάστρες ποτίστηκαν με νερό βρύσης (μάρτυρας) και άλλες τρεις με ΕΥΑΑ πριν τη χλωρίωση. Σε όλα τα πειράματα παρακολουθήθηκε η ανάπτυξη των κολοβακτηρίων με ταυτόχρονη καταγραφή της θερμοκρασίας του εδάφους με τη βοήθεια κατάλληλου καταγραφικού θερμοκρασίας.

Αναλύσεις

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στα απόβλητα αμέσως μετά την παραλαβή τους από την ΔΕΥΑΧ ήταν pH, θερμοκρασία, αγωγιμότητα, BOD₅, COD, ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο, δεσμευμένο υπολειμματικό χλώριο, ολικό υπολειμματικό χλώριο, αριθμός ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων. Στην πρώτη προσπάθεια που έγινε να αναλυθούν ΕΥΑΑ μετά την απολύμανση, κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου, μετρήθηκαν οι παραπάνω παράμετροι καθώς και η συγκέντρωση ορθοφωσφορικών, αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων.

Οι αναλύσεις στο έδαφος σε κάθε δειγματοληψία την περίοδο μετά την άρδευση περιελάμβαναν μέτρηση αριθμού ολικών κολοβακτηριδίων (Total coliforms) και θερμοανθεκτικών κοπρανωδών κολοβακτηρίων (Faecal coliforms) προκειμένου να εκτιμηθεί το μικροβιακό φορτίο του.

Μεθοδολογίες

Οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν για την μέτρηση των παραπάνω παραμέτρων στα απόβλητα ήταν οι ακόλουθες :

α) pH

Το pH αποτελεί ένα μέτρο ισορροπίας όξινων και βασικών ενώσεων. Υπάρχει μια κλίμακα μέτρησης του pH με εύρος από 0 – 14. Στην κλίμακα αυτή το 7 σημαίνει ουδέτερο διάλυμα, κάτω από 7 το διάλυμα είναι όξινο και πάνω από 7 αλκαλικό.

Για τη μέτρηση του pH χρησιμοποιήθηκε πεχάμετρο (HACH sension™156) εφοδιασμένο με ηλεκτρόδιο υάλου (sension Gel-filled pH electrode w/temp 5-pin). Πριν από κάθε μέτρηση δείγματος γινόταν βαθμονόμηση του οργάνου, με δύο ρυθμιστικά διαλύματα (buffer solutions) με pH 7 και pH 4 αντίστοιχα.

Προσοχή πρέπει να δίνεται ώστε το ηλεκτρόδιο πριν και μετά τη χρήση του με το εκάστοτε ρυθμιστικό διάλυμα ή το δείγμα να ξεπλένεται καλά με απιονισμένο νερό και να σκουπίζεται το στέλεχος και όχι ο υαλός του ηλεκτροδίου.



Εικόνα 1: Πολυόργανο HACH, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα για τη μέτρηση του pH και της αγωγιμότητας.

Εικόνα 2: Πλήκτρα του πολυοργάνου της εταιρίας HACH.

β) αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα ορίζεται ως το αντίστροφο της αντίστασης R ($L=1/R$) και εκφράζει την ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσα από τους διάφορους αγωγούς.

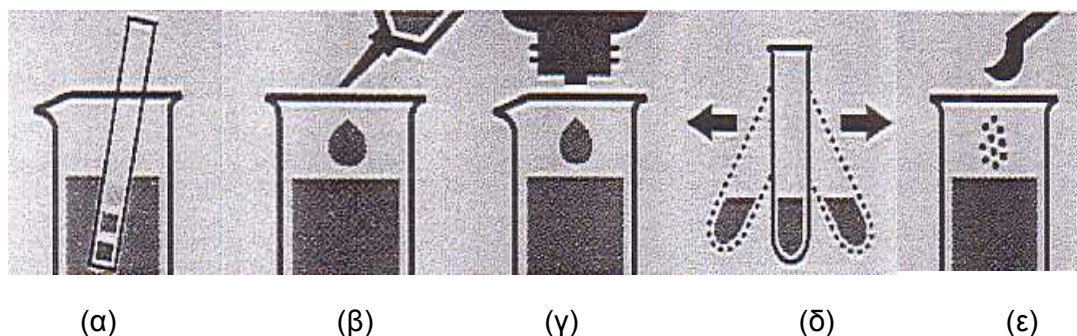
Για τη μέτρηση της **αγωγιμότητας** χρησιμοποιήθηκε αγωγιμόμετρο (HACH sension™156) με δύο ηλεκτρόδια πλατίνας (sension conductivity electrode). Πριν την έναρξη μέτρησης δειγμάτων γινόταν βαθμονόμηση του οργάνου με το πρότυπο διάλυμα KCl 0,1M. Στη συνέχεια το στέλεχος του αγωγιμόμετρου βυθιζόταν στο ποτήρι που περιείχε το δείγμα και μετά την σταθεροποίηση λαμβάνονταν η ένδειξη του οργάνου που ήταν η αγωγιμότητα του δείγματος σε $\mu\text{S}/\text{cm}$.

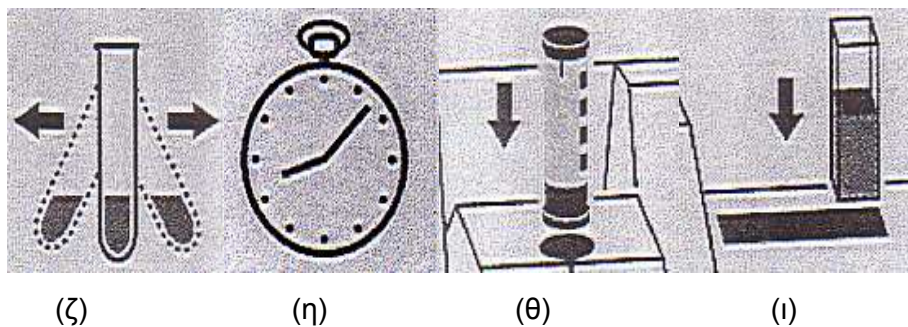
γ) συγκέντρωση ορθοφωσφορικών

Για την μέτρηση συγκέντρωσης **ορθοφωσφορικών** χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit (Phosphate Test 14848, MERCK) με εύρος ανάλυσης $0.010\text{--}5.00\text{mg}/\text{lt PO}_4\text{-P}$ ή $0.03\text{--}15.3\text{mg}/\text{lt PO}_4\text{-}^3$.

Η μέθοδος των kit που χρησιμοποιήθηκαν βασίζεται στην αντίδραση που λαμβάνει χώρα σε ένα διάλυμα που έχει οξινοστεί με θειικό οξύ, όπου τα ορθοφωσφορικά ιόντα αντιδρούν με μολυβδαινικά ιόντα και σχηματίζουν μολυβδοφωσφορικό οξύ το οποίο ανάγεται, από ασκορβικό οξύ, σε φωσφόρο-μολυβδαινικό σύμπλοκο του αντιμονίου μπλε χρώματος, η συγκέντρωση του οποίου προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Πριν την διαδικασία μέτρησης ελέγχεται το pH του δείγματος ώστε να είναι μεταξύ 0-10 (Εικόνα 3α). Εφόσον απαιτηθεί, το pH διορθώνεται με H_2SO_4 ή NaOH . Στον δοκιμαστικό σωλήνα του kit προστίθενται 5 ml δείγματος (Εικόνα 3β) και 5 σταγόνες του αντιδραστήριου P-1A (Εικόνα 3γ) και το μίγμα αναμιγνύεται (Εικόνα 3δ). Μετά την ανάμιξη προστίθεται 1 μπλε μικροκουταλιά του αντιδραστήριου P-2A (Εικόνα 3ε). Ακολουθεί ζωηρή ανάδευση ώσπου το ίζημα να διαλυθεί (Εικόνα 3ζ). Χρόνος αντίδρασης 5 min (Εικόνα 3η). Το διάλυμα μεταφέρεται σε κυψελίδα και πραγματοποιείται φωτομετρική μέτρηση με το φωτόμετρο (MERCK Spectroquant® NOVA60). Τοποθετείται στο φωτόμετρο η κυψελίδα αναγνώρισης $\text{PO}_4\text{-}^3$ 14848 (Εικόνα 3θ), ώστε στην οθόνη να εμφανιστεί η ένδειξη $\text{PO}_4\text{-}^3$. Σε ειδική πλαστική κυψελίδα* εισέρχεται το δείγμα προς μέτρηση και η κυψελίδα τοποθετείται στο φωτόμετρο (Εικόνα 3ι) και στην οθόνη φαίνεται η συγκέντρωση ορθοφωσφορικών ιόντων του δείγματος (mg/lt).



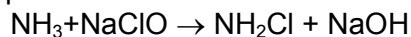


Εικόνα 3: Σχηματική αναπαράσταση διαδικασίας μέτρησης των ορθοφωσφορικών ιόντων (Manual Spectroquant® NOVA60, MERCK).

δ) συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων

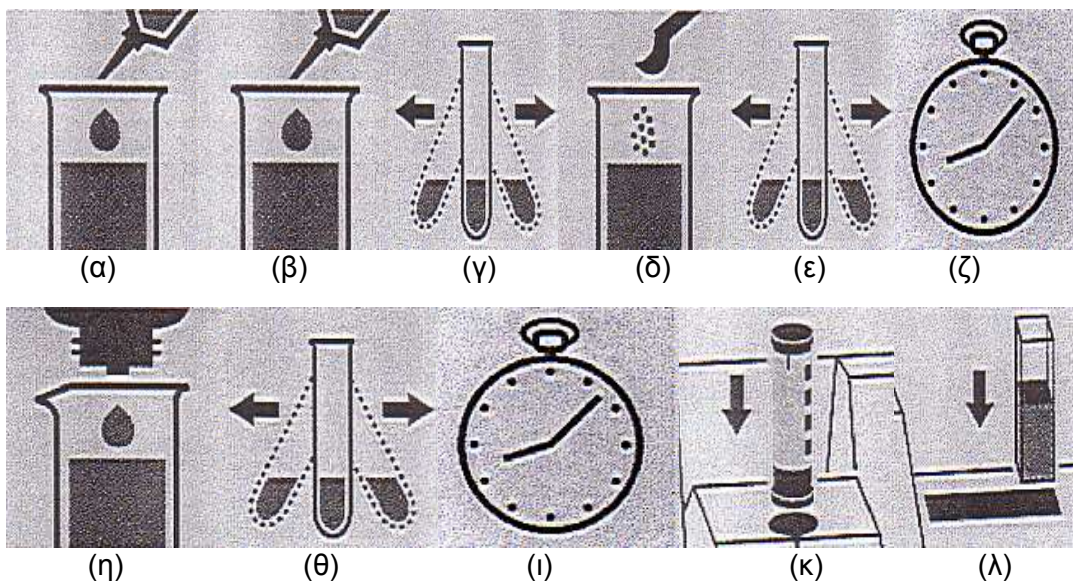
Για την μέτρηση της συγκέντρωσης **αμμωνιακών** ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιοσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit (Ammonium Test 14752, MERCK) με εύρος ανάλυσης 0.010 – 3.00 mg/lit NH₄-N ή 0.010 – 3.90 mg/lit NH₄⁺.

Η μέθοδος με kit που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει τη διόρθωση του pH δείγματος στο 13 και βασίζεται στην αντίδραση στη συνέχεια της αμμωνίας με υποχλωριώδες άλας (αντιδραστήριο NH₄-2B) οπότε σχηματίζεται μονοχλωραμίνη, σύμφωνα με την αντίδραση



Η μονοχλωραμίνη σχηματίζει μια χρωστική ουσία μπλε ινδοφαινόλης, παρουσία καταλύτη, με θυμόλη (αντιδραστήριο NH₄-3B) που προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Σε δοκιμαστικό σωλήνα προστίθενται 10 ml δείγματος (Εικόνα 4α) και 1.3 ml του αντιδραστήριου NH₄-1B (Εικόνα 4β) και το μίγμα αναμιγνύεται (Εικόνα 4γ). Μετά την ανάμιξη προστίθεται 2 μπλε μικροκουταλιές του αντιδραστήριου NH₄-2B (Εικόνα 4δ). Το μίγμα αναδεύεται ζωηρά ώσπου να διαλυθεί το ίζημα (Εικόνα 4ε). Ο χρόνος αντίδρασης είναι 5 min (Εικόνα 4ζ). Έπειτα προστίθενται 8 σταγόνες από το αντιδραστήριο NH₄-3B (Εικόνα 4η) και το μίγμα αναμιγνύεται (Εικόνα 4θ). Ο χρόνος αντίδρασης είναι 5 min (Εικόνα 4ι). Το διάλυμα μεταφέρεται σε κυψελίδα και ακολουθεί φωτομετρική μέτρηση με το φωτόμετρο (MERCK Spectroquant® NOVA60). Τοποθετείται στο όργανο η κυψελίδα αναγνώρισης NH₄⁺ 14752 (Εικόνα 4κ), ώστε στην οθόνη να εμφανιστεί η ένδειξη NH₄⁺. Σε ειδική πλαστική κυψελίδα* εισέρχεται το δείγμα προς μέτρηση, η κυψελίδα τοποθετείται στο φωτόμετρο (Εικόνα 4λ), όπου οπότε την οθόνη φαίνεται η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων του δείγματος (mg/lit).



Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση διαδικασίας που ακολουθείται για τη μέτρηση των αμμωνιακών ιόντων (Manual Spectroquant® NOVA60, MERCK).

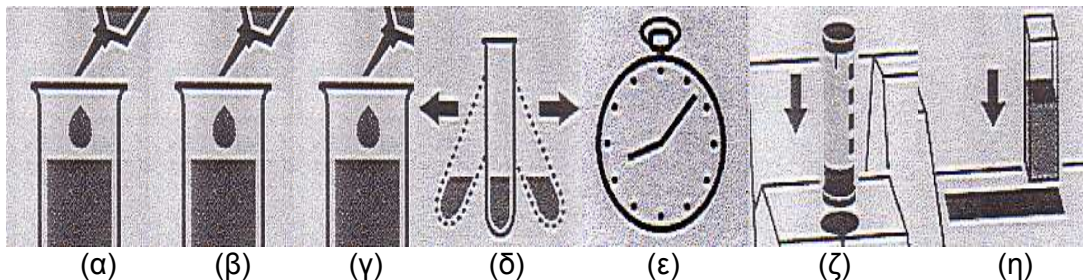
ε) συγκέντρωση νιτρικών ιόντων

Για την μέτρηση της συγκέντρωσης **νιτρικών ιόντων** χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit (Nitrate Test 09713, MERCK) με εύρος ανάλυσης 0.10 – 25.0 mg/lit $\text{NO}_3\text{-N}$ ή 0.45 – 111.0 mg/lit NO_3^- .

Η μέθοδος βασίζεται στην αντίδραση νιτρικού άλατος (σε διάλυμα που έχει προηγουμένως οξυνιστεί (pH 1-3) με θειικό και φωσφορικό οξύ) με 2,6-διμεθυλοφαινόλη και σχηματισμό 4-νιτρο-2,6-διμεθυλοφαινόλη πορτοκαλί χρώματος που προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Σε δοκιμαστικό σωλήνα προστίθενται 4ml από το αντιδραστήριο $\text{NO}_3\text{-1}$ (Εικόνα 5α) και 0.5 ml από το δείγμα (Εικόνα 5β), το μίγμα δεν αναμιγνύεται. Έπειτα προστίθεται 0.5 ml από το αντιδραστήριο $\text{NO}_3\text{-2}$ (Εικόνα 5γ) και ακολουθεί ανάδευση (Εικόνα 5δ), η οποία πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή γιατί η κυψελίδα ζεσταίνεται. Ο χρόνος αντίδρασης είναι 10 min (Εικόνα 5ε). Το διάλυμα μεταφέρεται σε κυψελίδα και ακολουθεί φωτομετρική μέτρηση με το φωτόμετρο (MERCK, Spectroquant® NOVA60). Τοποθετείται στο όργανο η κυψελίδα αναγνώρισης NO_3^- 09713, ώστε στην οθόνη να εμφανιστεί η ένδειξη NO_3^- (Εικόνα 5ζ). Σε ειδική γυάλινη κυψελίδα* εισέρχεται το δείγμα προς μέτρηση, η κυψελίδα τοποθετείται στο φωτόμετρο (Εικόνα 5η) και στην οθόνη φαίνεται η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων του δείγματος (mg/lit).

* Η κυψελίδα πρέπει να είναι απόλυτα στεγνή και να σκουπίζεται καλά πριν τοποθετηθεί στο φωτόμετρο γιατί πιθανή θαμπάδα θα επηρεάσει το φωτόμετρο και θα δώσει λάθος τιμές.



Εικόνα 5: Σχηματική αναπαράσταση διαδικασίας μέτρησης των νιτρικών ιόντων (Manual Spectroquant® NOVA60, MERCK).

στ) μέτρηση του COD

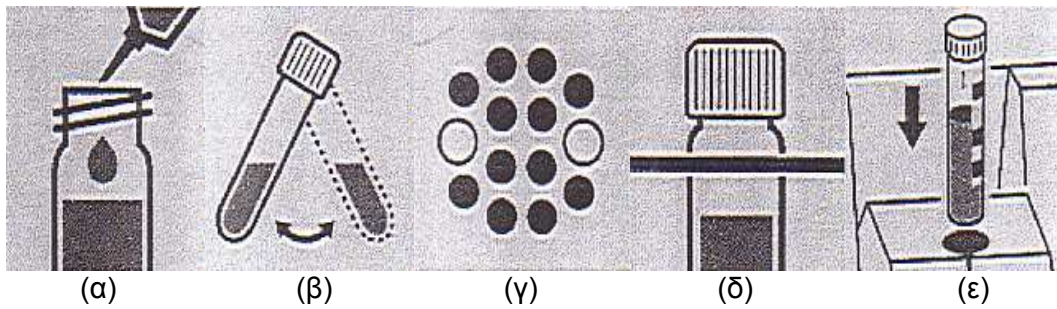
Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξειδωση (σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον) των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα υδάτων ή αποβλήτων.

Για την μέτρηση του **COD** χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit (COD 14560, MERCK) με εύρος μέτρησης 10 - 150 mg/lit.

Η μέθοδος βασίζεται στην αντίδραση οξείδωσης του δείγματος νερού με ένα ζεστό διάλυμα διχρωμικού καλίου με θειικό άργυρο ως καταλύτη. Το χλώριο εξουδετερώνεται με νιτρικό υδράργυρο. Η συγκέντρωση των ιόντων $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ κίτρινου χρώματος που δεν καταναλώθηκαν προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Σε φιαλίδια του COD προστίθενται 3 ml από το δείγμα (Εικόνα 6α) και αναδεύεται (Vortex) (Εικόνα 6β), (πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή γιατί το φιαλίδιο θερμαίνεται έντονα). Το φιαλίδιο μεταφέρεται στο θερμοαντιδραστήρα (Εικόνα 6γ) ο οποίος έχει τεθεί σε λειτουργία έγκαιρα ώστε να βρίσκεται σε θερμοκρασία 148 °C (αναβοσβήνει λυχνία). Το μίγμα αφήνεται για 2 ώρες στο θερμοαντιδραστήρα. Μετά την παρέλευση των 2 ωρών αφήνεται το φιαλίδιο εκτός θερμοαντιδραστήρα για μισή ώρα (Εικόνα 6δ) ώστε να αποκτήσει θερμοκρασία δωματίου. Το φιαλίδιο του COD, αφού σκουπιστεί καλά για να μην

υπάρχουν τυχόν υδρατμοί τοποθετείται στο φωτόμετρο (MERCK, Spectroquant® NOVA60) (Εικόνα 7) και λαμβάνεται η μέτρηση (mg/l) (Εικόνα 6ε).



Εικόνα 6: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας μέτρησης του COD.



Εικόνα 7: Φωτόμετρο MERCK Spectroquant® NOVA60 το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των kit του COD και άλλων kit.



Εικόνα 8: Θερμοαντιδραστήρας της εταιρίας VELP, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στην διαδικασία μέτρησης του COD.

ζ) μέτρηση του BOD

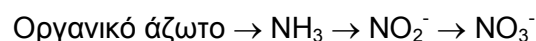
Η μέτρηση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) αποτελεί ένα σημαντικό έλεγχο για την επίδραση των οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και στους επιφανειακούς αποδέκτες.

Τα απόβλητα περιέχουν εκτός των άλλων και οργανικές αζωτούχες ενώσεις, οι οποίες οξειδώνονται σε νιτρώδη και νιτρικά από νιτροποιητικά βακτήρια με αργούς ρυθμούς.

Η οξείδωση όλων των οργανικών ενώσεων των αποβλήτων δίνεται παραστατικά από τον τύπο:

Οργανικές ενώσεις + O₂ + μικροοργανισμοί → CO₂ + H₂O + ενέργεια + νέοι μικροοργανισμοί

Η διαδικασία της νιτροποίησης δίνεται παραστατικά από τον ακόλουθο τύπο:



Για την μέτρηση του **BOD** χρησιμοποιήθηκαν ειδικές σκουρόχρωμες φιάλες με κεφαλές - ψηφιακούς αισθητήρες (Lovibond), διάλυμα KOH 45% και διάλυμα αναστολέα νιτροποίησης (Nitrifikationshemmer B), μαγνητάκια, θερμοστατούμενος θάλαμος επώασης (Lovibond).

Αρχικά γίνεται διόρθωση του pH του δείγματος, εφόσον απαιτείται, ώστε να βρίσκεται εντός του ορίου 6.5-7.5, με την προσθήκη σταγόνων H_2SO_4 (μείωση) και με $NaOH$ (αύξηση). Στην συνέχεια το δείγμα μεταφέρεται στην ογκομετρική φιάλη υπερχειλίσσης 428 ml, προσεκτικά με χωνί ώστε να ξεχειλίσει. Τα 428 ml μεταφέρονται στο μπουκάλι του BOD και προστίθεται ένα μαγνητάκι. Στο μπουκάλι του BOD προστίθενται 10 σταγόνες από το αντιδραστήριο αναστολής νιτροποίησης προκειμένου να αποφευχθεί η νιτροποίηση των αμμωνιακών ιόντων μέσα στο μπουκάλι. Στις μαύρες θήκες από καουτσούκ προστίθενται 2 σταγόνες διάλυμα KOH 45%. Το KOH χρησιμοποιείται για την δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται κατά την οξείδωση επιτρέποντας τη δημιουργία αρνητικής πίεσης στη φιάλη και τη δυνατότητα καταγραφής της αλλαγής σε πίεση στην κεφαλή –ψηφιακό αισθητήρα. Αφού τοποθετηθεί η μαύρη θήκη στο μπουκάλι και βιδωθεί η κεφαλή, αναγράφεται ετικέτα με τα στοιχεία του διαλύματος και του χρήστη πάνω στη φιάλη. Τέλος, πιέζονται ταυτόχρονα τα δύο κουμπάκια της κεφαλής μέχρι να δείξει την ένδειξη 00 και το μπουκάλι τοποθετείται στο θάλαμο επώασης ($20\text{ }^\circ\text{C}$). Η κεφαλή καταγράφει τις τιμές των 5 πρώτων ημερών αυτόματα και τις αποθηκεύει ενώ η τιμή της 20^{15} ημέρας λαμβάνεται ακριβώς την 20^1 ημέρα πατώντας το κουμπάκι M της κεφαλής-ψηφιακού αισθητήρα. Οι τιμές των 5 πρώτων ημερών λαμβάνονται πατώντας το κουμπάκι S διαδοχικά 5 φορές. Η μονάδα μέτρησης είναι $mg\ O_2/lt$.



Εικόνα 9 : Μπουκάλια (1), κεφαλές- ψηφιακοί αισθητήρες αισθητήρες (2), θήκες από καουτσούκ (3), ογκομετρική φιάλη υπερχειλίσσης όγκου 428 ml και 157 ml (4) μαγνητικές ράβδοι ανάδευσης (5) (Lonibond) για τη μέτρηση του BOD.



Εικόνα 10: Βάση στήριξης και ανάδευσης μπουκαλιών BOD.

Παρατηρήσεις:

- Τα μπουκάλια του BOD πλένονται καλά με σαπουνόνερο και έπειτα ξεπλένονται με απιονισμένο νερό.
- Η μέτρηση του BOD πρέπει να γίνεται γρήγορα μετά τη δειγματοληψία γιατί πραγματοποιείται φωτοσύνθεση όσο περνάει η ώρα.
- Τα μπουκάλια δειγματοληψίας πρέπει να είναι σκουρόχρωμα ή τυλιγμένα με αλουμινόχαρτο.
- Τα δείγματα με το διορθωμένο pH χρησιμοποιούνται MONO για το BOD.
- Η επιλογή του όγκου της ογκομετρικής φιάλης υπερχειλίσσης γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του οργάνου BOD, καθώς ανάλογα με την τιμή του BOD που αναμένεται να βρεθεί χρησιμοποιείται ο κατάλληλος υπερχυλιστής και η τιμή

πολλαπλασιάζεται με ανάλογο συντελεστή. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται περισσότερο κατανοητή με τον ακόλουθο πίνακα 30.

Πίνακας 30: Υπολογισμός όγκου δείγματος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, ανάλογα με την αναμενόμενη τιμή BOD και αντίστοιχος συντελεστής ο οποίος πολλαπλασιάζεται με την ένδειξη του οργάνου για την λήψη της τελικής τιμής του BOD (mg/l).

Εύρος μέτρησης του BOD (mg/l)	Όγκος δείγματος (ml)	Συντελεστής
0-40	428	1
0-80	360	2
0-200	244	5
0-400	157	10
0-800	94	20
0-2000	56	50
0-4000	21.7	100



Εικόνα 11: Μπουκάλι και κεφαλή- ψηφιακός αισθητήρας (Lonibond) που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του BOD.



Εικόνα 12: Θάλαμος επώασης του BOD.

η) μέτρηση του υπολειμματικού χλωρίου

Η μέτρηση του **υπολειμματικού χλωρίου** έγινε με ημιποσοτική χρωματομετρική μέθοδο με kit Chlorine test for swimming pools (14801, MERCK). Για την μέτρηση του υπολειμματικού χλωρίου χρησιμοποιήθηκαν ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών αλάτων για τη ρύθμιση του pH (Cl₂-1B), διάλυμα δείκτη N,N-διαίθυλ-ρ-φαινοδιαμίνη(DPD) (Cl₂-2B) και διάλυμα ιωδιούχου καλίου για αποδέσμευση του δεσμευμένου χλωρίου και μετατροπής του σε ελεύθερο χλώριο (Cl₂-3B).

Η μέθοδος προσδιορισμού του ολικού υπολειμματικού χλωρίου στηρίζεται στην αντίδραση της χημικής ένωσης (DPD) και τη δημιουργία χαρακτηριστικού κόκκινου χρώματος παρουσία χλωρίου, υποχλωριώδους οξέως και υποχλωριώδων ιόντων. Στη συνέχεια η προσθήκη διαλύματος ιωδιούχου καλίου απελευθερώνει το δεσμευμένο υπολειμματικό χλώριο (που βρίσκεται με τη μορφή χλωραμινών), το οποίο αντιδρά με την ένωση DPD που προϋπάρχει στο διάλυμα και το οποίο αναπτύσσει πιο έντονο κόκκινο χρώμα.

Αρχικά ξεπλένονται καλά τα δύο φιαλίδια με απιονισμένο νερό και προστίθενται 3 σταγόνες αντιδραστήριου Cl₂-1B στο ένα φιαλίδιο. Έπειτα προστίθεται 1 σταγόνα αντιδραστήριου Cl₂-2B στο ίδιο φιαλίδιο, και αναδεύεται το φιαλίδιο ελαφρά. Χρησιμοποιώντας τη σύριγγα προστίθενται 6 ml δείγματος στο φιαλίδιο και άμεσα αναδεύεται. Συγκρίνεται το χρώμα που έχει αναπτυχθεί στο φιαλίδιο με τα αντίστοιχα της κλίμακας και προσδιορίζεται έτσι η συγκέντρωση του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου. Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του ολικού υπολειμματικού χλωρίου προστίθεται 1 σταγόνα αντιδραστήριου Cl₂-3B στο ίδιο φιαλίδιο και αναδεύεται ελαφρά. Έπειτα από ένα λεπτό συγκρίνεται το χρώμα που έχει αναπτυχθεί στο φιαλίδιο με το αντίστοιχο της κλίμακας και τέλος προσδιορίζεται το δεσμευμένο υπολειμματικό χλώριο από την εξής σχέση:

Δεσμευμένο υπολειμματικό χλώριο = ολικό – ελεύθερο

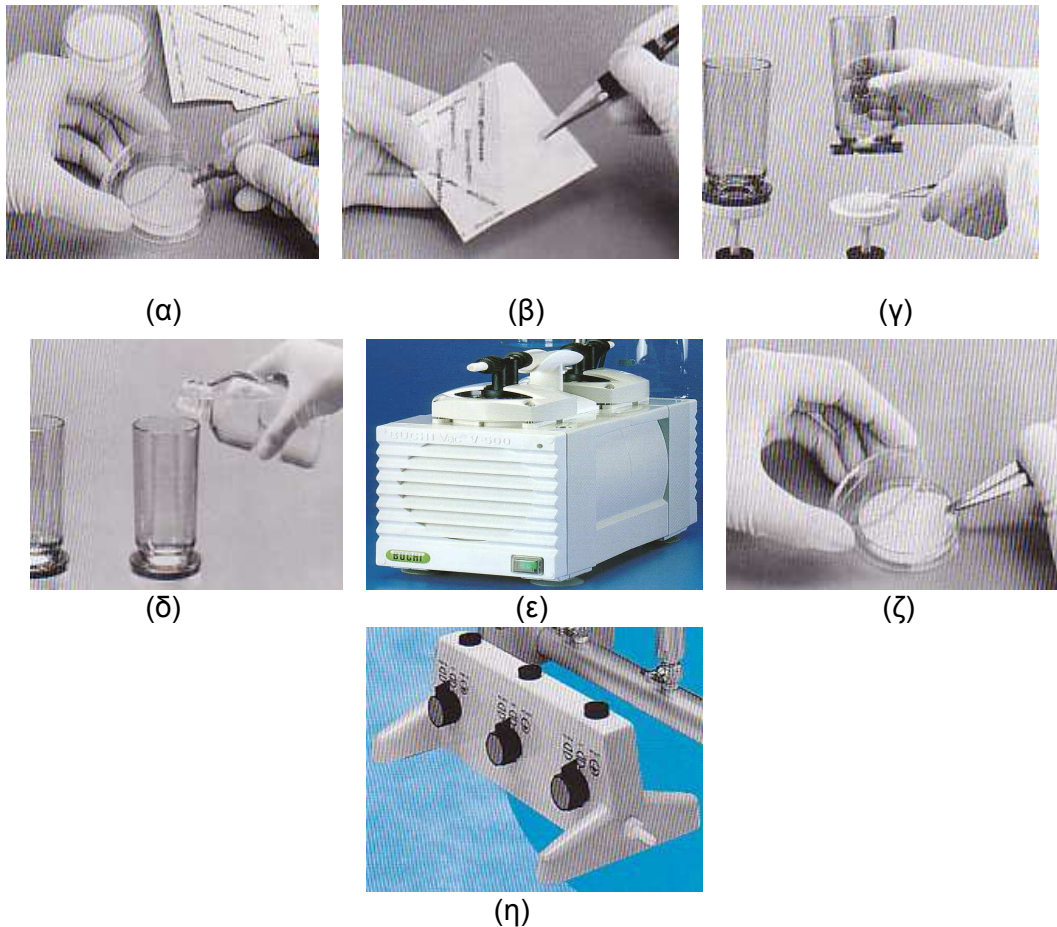
Η μονάδα μέτρησης είναι mgCl₂/lt.

θ) προσδιορισμός θερμοανθεκτικών κοπρανών και ολικών κολοβακτηρίων

Για τον προσδιορισμό των κοπρανών και ολικών κολοβακτηρίων χρησιμοποιήθηκαν : αντλία κενού (Buchi Vac® V-500), αμπούλες με θρεπτικό υπόστρωμα για τα κοπρανώδη κολοβακτήρια (Diagnostic kit M-FC, Gelman 4302), αμπούλες με θρεπτικό υπόστρωμα για τα ολικά κολοβακτήρια (Diagnostic kit MF-Endo Broth, Gelman 68105), τρυβλία (Dishe tissue culture with pad, 50x9 mm Gelman 7245), αποστειρωμένα φίλτρα 47 mm - 0.45 μm (Pall GN-6 mertical® Grid), ποτήρι με μαγνητικό φίλτρο 300 ml (PN 4241, Pall), μεταλλική λαβίδα, φούρνο επώασης (G[®]-cell 075) και (Heraeus Kentro UB6) ρυθμισμένοι σε θερμοκρασία 44,5°C και 35°C αντίστοιχα.

Το θρεπτικό υπόστρωμα, το οποίο περιέχεται σε αμπούλες, αδειάζεται στα τρυβλία (Εικόνα 13α) και με λαβίδα αποστειρωμένη στα άκρα της (με οινόπνευμα και φλόγα), (Εικόνα 13β) τοποθετείται ένα φίλτρο στο μαγνητικό ποτήρι. (Εικόνα 13γ). Στο ποτήρι ρίχνονται 30 ml απιονισμένο νερό (Εικόνα 13δ), ανοίγεται η αντλία (Εικόνα 13ε) και όταν το νερό απορροφηθεί το φίλτρο λαμβάνεται με την λαβίδα, της οποίας τα άκρα έχουν πάλι αποστηρωθεί, και τοποθετείται στο τρυβλίο (Εικόνα 13ζ) πάνω στο οποίο έχει αναγραφεί το όνομα μάρτυρας, ημερομηνία και όνομα χρήστη. Ακολουθείται ίδια διαδικασία και για τα δείγματα προσθέτοντας πάντα στο τέλος 30 ml απιονισμένο νερό για το ξέπλυμα του ποτηριού. Πριν η αντλία κλείσει πάντα εκτονώνεται το κενό, μετακινώντας την βαλβίδα από την ένδειξη vacuum στην ένδειξη release (Εικόνα 13η). Τέλος, τα τρυβλία για τα ολικά κολοβακτηρίδια τοποθετούνται σε θάλαμο στους 35 °C ,ενώ τα τρυβλία για τα κοπρανώδη σε θάλαμο στους 44,5 °C για 22 – 24 ώρες. Ο ολικός αριθμός κολοβακτηρίων που περιέχονται ανά 100 ml υπολογίζονται από τον τύπο: Ολικός αριθμός κολοβακτηρίων/100 ml= αποικίες κολοβακτηρίων που μετρήθηκαν*(αραίωση)/ ml δείγματος που διηθήθηκαν. Κατά την διάρκεια των αναλύσεων κρίθηκε απαραίτητη η αραίωση των δειγμάτων. Οι αραιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: καθόλου αραίωση, 1:10, 1:100, 1:1000. Κατά την διάρκεια των πρώτων αναλύσεων της πρώτης πειραματικής εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν και οι τρεις αραιώσεις και τελικά διαπιστώθηκε ότι τα κολοβακτήρια μπορούσαν να παρατηρηθούν και να μετρηθούν καλύτερα με την

αραίωση 1:1000. Στην δεύτερη εφαρμογή του πειράματος καλύτερα αποτελέσματα έδωσαν οι μικρότερες αραιώσεις 1:100 και 1:10 ενώ στην τελευταία πειραματική εφαρμογή η συνθέστερη αραιωση ήταν 1:10 και καθόλου αραιωση. Στην γλάστρα Μάρτυρας δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ αραιωση.



Εικόνα 13: Σχηματική αναπαράσταση διαδικασίας προσδιορισμού ολικών και κοπροκυανιδίων κολοβακτηρίων.

η) προσδιορισμός κολοβακτηρίων στο έδαφος

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τη μέτρηση των μικροβιολογικών παραμέτρων στο έδαφος έγιναν σύμφωνα με την μέθοδο των Kouraa *et al* (2001). Λαμβάνονται 10 gr εδάφους το οποίο εκχυλίζεται με 90 ml φυσιολογικού διαλύματος 0,5 % NaCl (Süssmuth *et al*, 1999). Μετά από 25 λεπτά στη συσκευή ανάδευσης, αφήνεται το μίγμα να ηρεμήσει ώστε να κατακαθίσει το χώμα και να διαχωριστούν οι επιφάνειες έδαφος-νερό. Το στρώμα επιφάνειας του νερού υποβάλλεται σε βακτηριακή ανάλυση.

Προκειμένου να υπολογιστεί η ποσότητα του νερού άρδευσης των γλαστρών υπολογίστηκε αρχικά η ποσότητα νερού για την πάστα κορεσμού. Ζυγίστηκαν 68,315 gr τα οποία απαιτήσαν 13 ml απιονισμένο νερό για τη δημιουργία πάστας κορεσμού. Με αναγωγή στη γλάστρα απαιτούνται για 5620 gr εδάφους 1069,5 ml νερού. Η ποσότητα του νερού όμως που τελικά χρησιμοποιήθηκε ήταν μόνο 1000 ml (μετά άρχξε η απορροή από την γλάστρα) καθώς στόχος ήταν να καλύπτεται η υδατοχωρητικότητα του εδάφους και να διατηρείται σταθερό το ποσοστό υγρασίας. Άρα καλύφθηκε $X = 100 \cdot 1000 \text{ ml} / 1069,5 \text{ ml} = 93,5\%$ της κατάστασης κορεσμού όπως προκύπτει με βάση την πάστα κορεσμού.

Μικροβιολογική ανάλυση πραγματοποιήθηκε και σε ξηρό έδαφος, το οποίο πρώτα είχε ποτιστεί με ΕΥΑΑ που δεν είχαν απολυμανθεί. Έτσι την περίοδο του

Ιουλίου ελήφθησαν 148,630 gr εδάφους, τοποθετήθηκαν σε αλουμινοχαρτο και αφέθηκαν να ξηραθούν σε συνθήκες δωματίου για 48 ώρες. Σκοπός ήταν να υποβληθεί το αποξηραμένο έδαφος σε όμοια βακτηριακή ανάλυση με την παραπάνω, ώστε να διαπιστωθεί αν μετά την αποξήρανση το έδαφος φέρει ακόμα μικροβιακό φορτίο.

Μετά από δύο μέρες πραγματοποιήθηκε η μικροβιακή ανάλυση του ξηρού εδάφους σε ποσότητα που υπολογίστηκε έτσι ώστε η μάζα του εδάφους να είναι ίση με εκείνη που απαιτήθηκε για την ανάλυση στην περίπτωση του υγρού εδάφους :

$$m_{\text{αρχ.}} - m_{\text{τελ.}} = 148,630 \text{ gr} - 129,830 \text{ gr} = 18,8 \text{ gr}$$

όπου $m_{\text{αρχ.}}$ = μάζα υγρού εδάφους που αφέθηκε να ξηραθεί

$$m_{\text{τελ.}} = \text{μάζα ξηρού εδάφους}$$

$$\Sigma \text{ε } 148,630 \text{ gr} \rightarrow 18,8 \text{ gr}$$

$$\underline{100} \qquad \qquad \qquad \underline{X;}$$

$$X = 18,8 * 100 / 148,630 = 12,65\%$$

Το ποσοστό υγρασίας του εδάφους ήταν 12,65. Στις αναλύσεις υγρού εδάφους η ποσότητα χώματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν 10 gr. Στην περίπτωση ξηρού εδάφους ζυγίστηκαν : 10 – 1,265 = 8,7 gr

Ανάλογα υπολογίστηκε ο όγκος του NaCl που χρησιμοποιήθηκε σε ποσότητα 78,3 ml.

7.2 Αποτελέσματα

Στο αρχικό στάδιο της πειραματικής εργασίας μελετήθηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ΕΥΑΑ της ΔΕΥΑ Χανίων μετά την απολύμανση (Πίνακας 31). Από τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων παρατηρήθηκε μηδενικό μικροβιακό φορτίο, γεγονός το οποίο δε θα μπορούσε να βοηθήσει στην μελέτη της συμπεριφοράς των κολοβακτηρίων στο έδαφος. Συνεπώς το ενδιαφέρον στράφηκε σε δευτεροβάθμια ΕΥΑΑ χωρίς χλωρίωση, των οποίων τα ποιοτικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 32. Η εκτίμηση της καταλληλότητας των ΕΥΑΑ που χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση βασίστηκε στο σύστημα των Ayers και Westcot (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995). Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή το νερό έχει pH με εύρος 7,03-7,23 (αποδεκτό εύρος 6.5-8.5), και αγωγιμότητα με εύρος 713-845 $\mu\text{S/cm}$ (αποδεκτό εύρος <0.7 dS/m) δεν παρουσιάζει κανένα βαθμό περιορισμού στη χρήση.

Σε κάθε πειραματική εφαρμογή οι τιμές των συγκεντρώσεων των ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων στο νερό άρδευσης ήταν διαφορετικές, παρατηρώντας όμως μια σχετική αναλογία μεταξύ τους. Έτσι κατά την πρώτη εφαρμογή υπήρξε μια αναλογία περίπου 1:1,5 (34500 αποικίες/100ml για τα TC έναντι 23500 αποικίες/100ml για τα FC). Στην δεύτερη πειραματική εφαρμογή η αναλογία ήταν 1:20 (20000 αποικίες/100ml για τα TC και 10000 αποικίες/100ml για τα FC). Στην τρίτη εφαρμογή του πειράματος η αναλογία ήταν 1:12 (60000 αποικίες/100ml για τα TC και 5000 αποικίες/100ml για τα FC) και στην τέταρτη εφαρμογή 1:40 (20000 αποικίες/100ml για τα TC και 500 αποικίες/100ml για τα FC) (Πίνακας 32).

Στην πρώτη πειραματική εφαρμογή (Ιούλιος 2003), διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηρίων (TC) στο έδαφος παρέμεινε υψηλή τις πρώτες 7 ημέρες μετά την άρδευση (50000-75000 αποικίες/100ml). Η ύπαρξη υψηλότερου αριθμού TC στο έδαφος (70000 αποικίες/100ml) σε σύγκριση με τα αρδευόμενα ΕΥΑΑ που περιείχαν χαμηλότερη συγκέντρωση ολικών κολοβακτηρίων (34500 αποικίες/100ml) δηλώνει τον γρήγορο πολλαπλασιασμό των κολοβακτηρίων στο έδαφος. Την 9^η ημέρα του πειράματος η συγκέντρωση των TC υποδεκαπλασιάστηκε (5000 αποικίες/100ml) απότομα και συνέχισε να μειώνεται χωρίς να μηδενιστεί μέχρι την τελευταία ημέρα του πειράματος (15^η

ημέρα) (1800 αποικίες/100ml). Η συγκέντρωση των θερμοανθεκτικών κοπρανωδών κολοβακτηρίων (FC) μειώθηκε στην διάρκεια της πρώτης πειραματικής εφαρμογής (15 ημέρες) από 8000 αποικίες /100ml σε 480 αποικίες/100ml (Σχήμα 6 και Πίνακας 34 στο παράρτημα). Το αποτέλεσμα αυτό δεν επαναλήφθηκε κατά τη διάρκεια των δύο επόμενων επαναληπτικών πειραματικών εφαρμογών.

Διαφορετικά ήταν τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων στο έδαφος κατά τη διάρκεια της δεύτερης εφαρμογής (Αύγουστος 2003). Μετρήθηκε αξιόλογο μικροβιακό φορτίο FC και TC (500 και 1500 αποικίες/100ml αντίστοιχα) στον μηδενικό χρόνο (μετά την άρδευση της γλάστρας) το οποίο όμως μηδενίστηκε 15 ημέρες αργότερα (Πίνακας 33 και Σχήμα 7). Επιπλέον παρατηρήθηκε στα υποστρώματα των FC η ανάπτυξη ροζ αποικιών, οι οποίες δεν ταυτοποιήθηκαν περαιτέρω (Εικόνα 14 και 15). Στα θρεπτικά υποστρώματα των TC παρατηρήθηκαν αποικίες μικρότερης διαμέτρου από την αναμενόμενη και χωρίς μεταλλική λάμψη, οι οποίες δεν ταυτοποιήθηκαν και πιθανόν ανήκουν στην κατηγορία των εντεροβακτηρίων (Εικόνα 16). Η συγκέντρωση των TC και FC στο μάρτυρα ήταν συνεχώς μηδενική (Σχήμα 7 και Πίνακας 33).

Στην τρίτη και τέταρτη εφαρμογή του πειράματος (Νοέμβριος 2003), η συγκέντρωση του αριθμού FC και TC ήταν μηδενική αμέσως μετά την άρδευση (μηδενικός χρόνος) (Σχήμα 8) παρά το ότι στις μικροβιολογικές αναλύσεις που έγιναν στο νερό, αμέσως μετά την παραλαβή του από την ΔΕΥΑΧ, παρατηρήθηκε μικροβιολογικό φορτίο (Πίνακας 32).

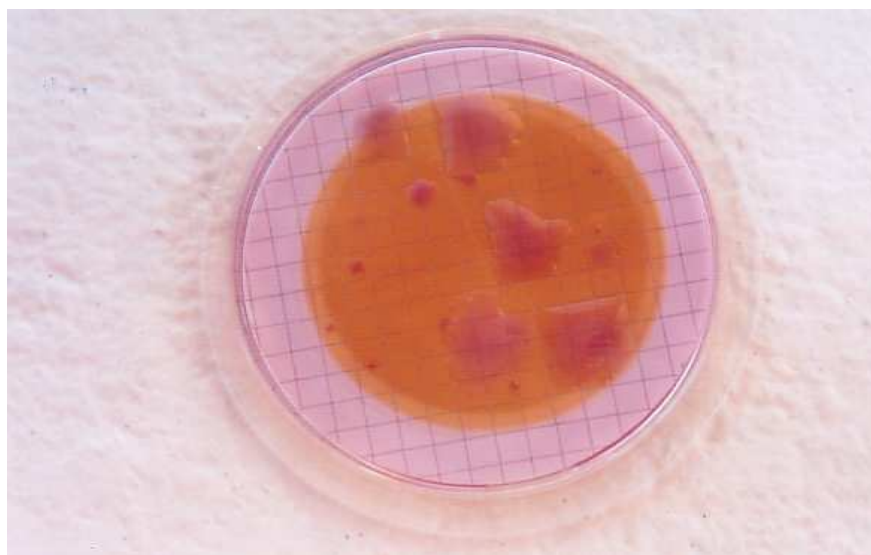
Η επίδραση της διακοπής της άρδευσης του εδάφους μελετήθηκε μετά από άρδευση με ΕΥΑΑ και ξήρανση του εδάφους για 2 ημέρες σε θερμοκρασία δωματίου. Η μικροβιολογική ανάλυση πριν την ξήρανση έδειξε την ύπαρξη υψηλού αριθμού TC και FC (27000 και 28000 αποικίες/100 ml) ο οποίος εξαφανίστηκε 2 μετά την ξήρανση (Σχήμα 9 και Πίνακας 35 στο παράρτημα).

Πίνακας 31: Αναλύσεις παραμέτρων ποιότητας δείγματος ΕΥΑΑ μετά την απολύμανση και αμέσως μετά την παραλαβή τους από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του νομού Χανίων την καλοκαιρινή περίοδο του Ιουλίου.

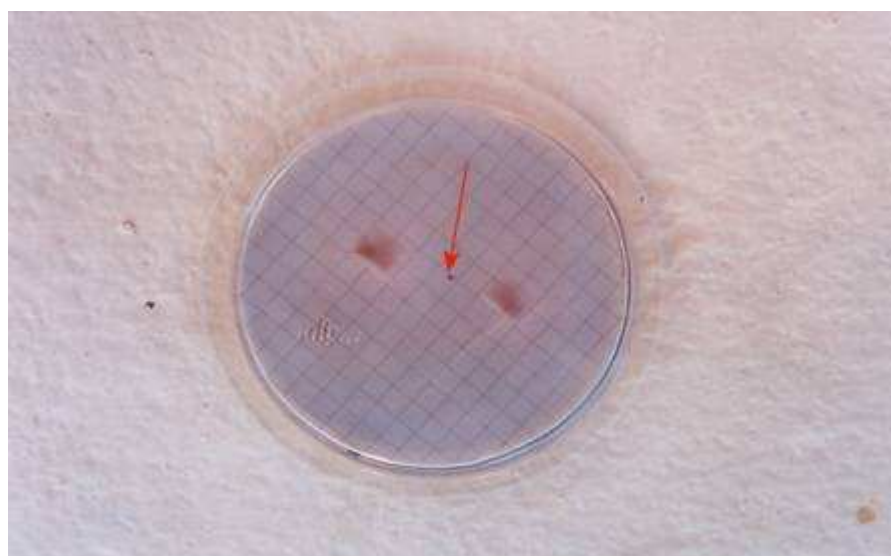
pH	7,38
Θερμοκρασία	27,6 °C
Αγωγιμότητα	728 μS/cm
BOD ₅	7 mg/l
BOD ₂₀	10 mg/l
COD	26 mg/l
Φωσφορικά	3,70 mg/l
Αμμωνιακά	0,31 mg/l
Νιτρικά	3,8 mg/l
Ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο	0,1 mg/l
ολικό υπολειμματικό χλώριο	0,2 mg/l
Δεσμευμένο υπολειμματικό χλώριο	0,1 mg/l
Ολικά κολοβακτηρίδια	0/100 ml
Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια	0/100 ml

Πίνακας 32: Αναλύσεις παραμέτρων ποιότητας δείγματος ΕΥΑΑ πριν την απολύμανση, αμέσως μετά την παραλαβή από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του νομού Χανίων και πριν χρησιμοποιηθεί για άρδευση.

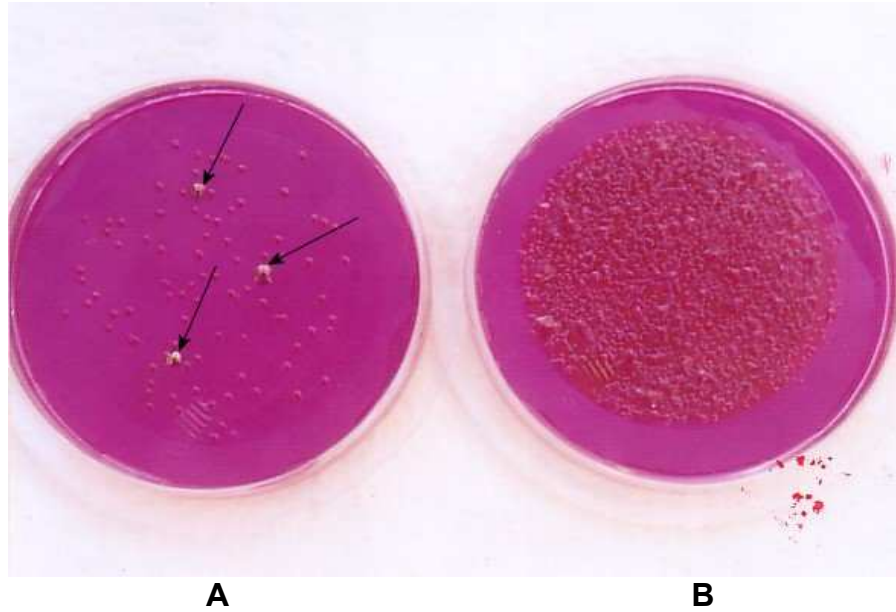
	pH	T(°C)	Αγωγιμότητα μS/cm	BOD ₅ mg/lt	BOD ₂₀ mg/lt	COD mg/lt	Total coliforms αποικίες /100 ml	Faecal coliforms αποικίες /100 ml
18/07/03	7.23	27,9	713	8	10	34	34500	23500
19/08/03	7.20	27,9	780	9	12	-	200000	10000
1/11/03	7.04	24,2	814	8	12	36	60000	5000
03/11/03	7.03	23,6	845	8	11	37	20000	500



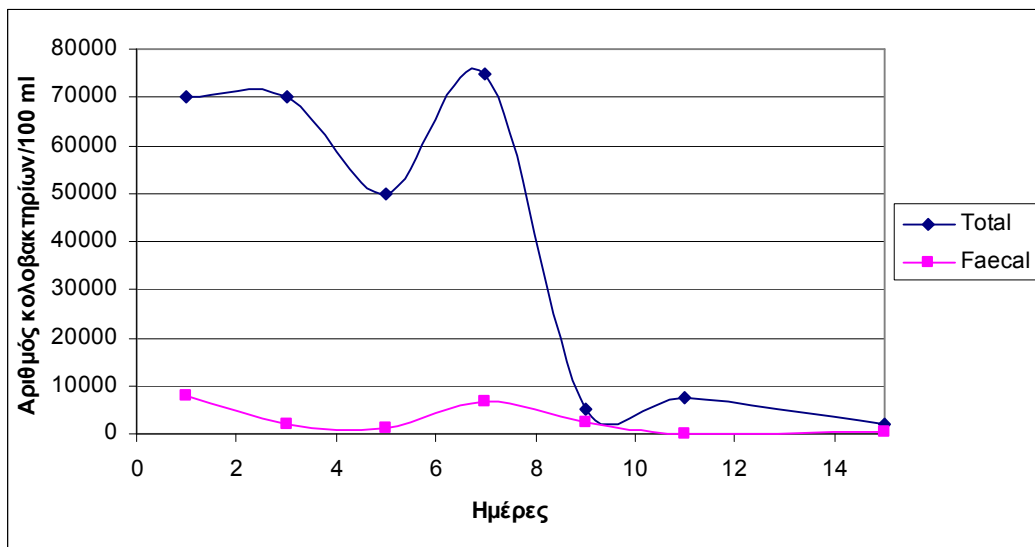
Εικόνα 14: Εμφάνιση μη ταυτοποιήσιμων με τη χρησιμοποιηθείσα μέθοδο αποικιών βακτηρίων χρώματος ροζ, πάνω σε υπόστρωμα για κοπρανώδη βακτήρια σε δείγμα εδάφους ποτισμένο με νερό βρύσης (μάρτυρας).



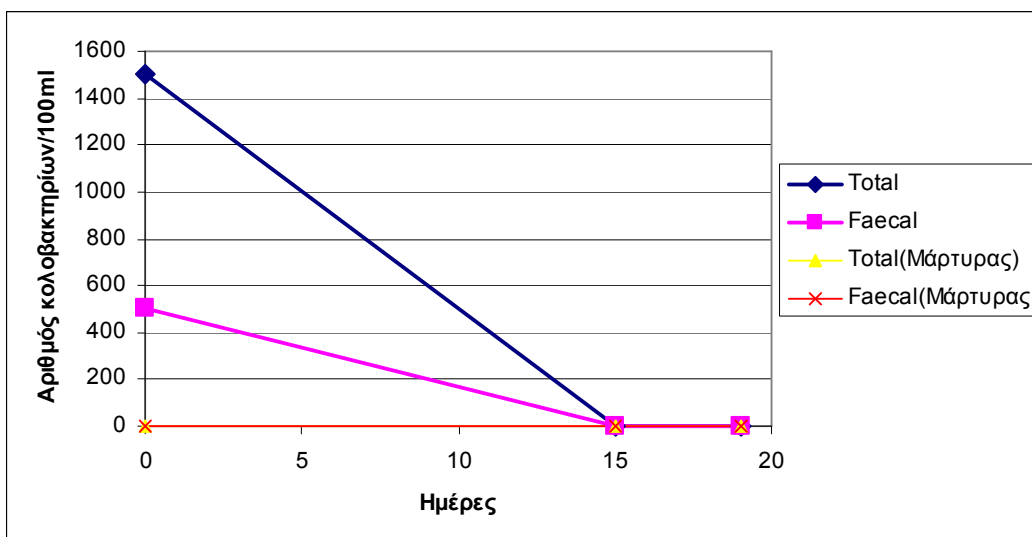
Εικόνα 15: Εμφάνιση μίας αποικίας FC (μέσον) και δύο αγνώστων αποικιών βακτηρίων χρώματος ροζ σε δείγμα εδάφους ποτισμένο με ΕΥΑΑ.



Εικόνα 16: Α)Εμφάνιση τριών αποικιών ολικών κολοβακτηρίων και άλλων μη ταυτοποιήσιμων αποικιών μικρότερης διαμέτρου χωρίς μεταλλική λάμψη (αριστερά) σε δείγμα εδάφους ποτισμένο με ΕΥΑΑ. Β)Έλλειψη ολικών κολοβακτηρίων και ταυτόχρονη εμφάνιση μη ταυτοποιήσιμων με τη χρησιμοποιηθείσα μέθοδο αποικιών βακτηρίων (δεξιά) σε δείγμα εδάφους ποτισμένο με νερό βρύσης (μάρτυρας)



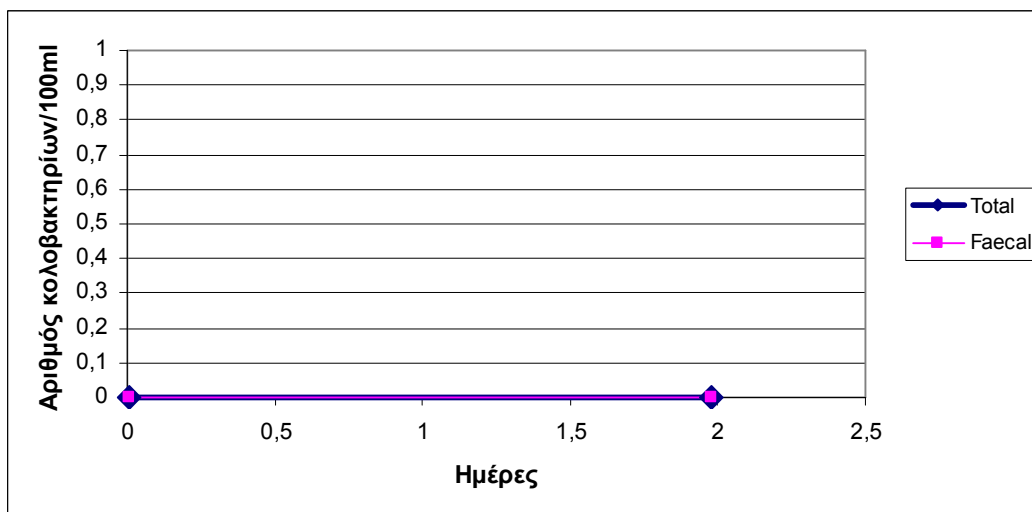
Σχήμα 6: Αριθμός ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων (ανά 100 ml) σε δείγματα εδάφους γλάστρας που αρδεύτηκε με ΕΥΑΑ και παρέμεινε στο χώρο του εργαστηρίου κατά την πρώτη εφαρμογή (από 21/7/03 έως 4/8/03).



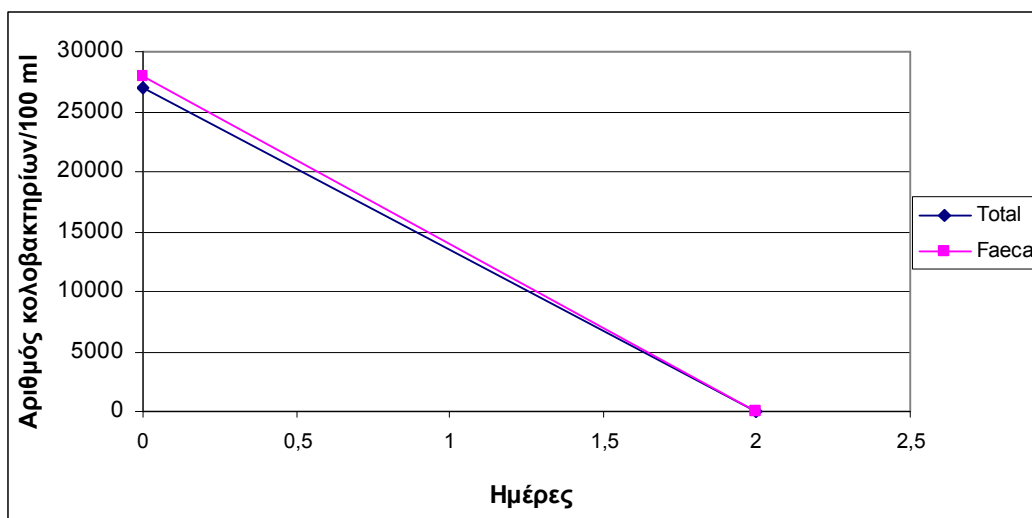
Σχήμα 7: Αριθμός ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων (ανά 100 ml) σε δείγματα εδάφους γλάστρας που αρδεύτηκε με ΕΥΑΑ και σε δείγματα εδάφους γλάστρας που αρδεύτηκε με νερό δικτύου (μάρτυρας) σε εξωτερικές συνθήκες κατά τη δεύτερη πειραματική εφαρμογή (από 19/8/03 έως 8/9/03).

Πίνακας 33: Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο έδαφος κατά την δεύτερη πειραματική εφαρμογή την καλοκαιρινή περίοδο σε εξωτερικές συνθήκες.

	Έδαφος με νερό βρύσης		Έδαφος με μολυσμένο νερό	
	Total coliforms	Faecal coliforms	Total coliforms	Faecal coliforms
19/8/03	0/100 ml ή 0/gr εδάφους	[5 μη ταυτοποιήσιμες ροζ αποικίες διαμέτρου περίπου 1 cm και 10 μικρότερες]	1500/100 ml ή 150 /gr εδάφους	500/100 ml και 2 άγνωστες αποικίες ή 50/gr εδάφους
3/9/03	0/ 100 ml ή 0/gr εδάφους	1 ροζ αποικία	0/100 ml ή 0/gr εδάφους	0/100ml ή 0/gr εδάφους και 1 αποικία [διαμέτρου ενός τριβλίου με ροζ κέντρο και πράσινο περίγραμμα]
8/9/03	0/100 ml ή 0/gr εδάφους	0/100 ml ή 0/gr εδάφους	0/100 ml ή 0/gr εδάφους	0/100 ml ή 0/gr εδάφους



Σχήμα 8: Αριθμός ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων (ανά 100 ml) σε δείγματα εδάφους γλαστρών που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ και παρέμειναν σε εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες κατά την τρίτη και τέταρτη εφαρμογή του πειράματος (από 1/11/03 έως 3/11/03).



Σχήμα 9: Αριθμός ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων (ανά 100 ml) σε δείγμα εδάφους που αρδεύτηκε με ΕΥΑΑ και στη συνέχεια αφέθηκε να στεγνώσει μέχρι ξήρανσης (από 29/7/03 έως 31/7/03).

7.3 Συζήτηση

Η εργαστηριακή εφαρμογή της άρδευσης με ΕΥΑΑ που παρουσιάζεται είχε σκοπό την αξιολόγηση της περίπτωσης εφαρμογής των αποβλήτων χωρίς την τελική χλωρίωση σε περιπτώσεις μη επαρκούς απολύμανσης λόγω τεχνικών προβλημάτων.

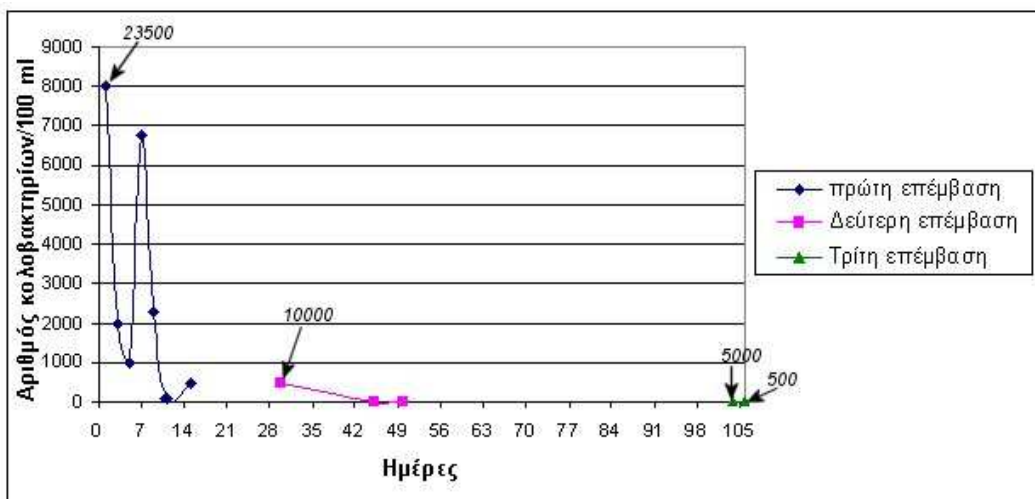
Η συγκέντρωση των ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων στο έδαφος μετά από την άρδευση με τα ΕΥΑΑ μεταβλήθηκε σημαντικά ανάλογα με το χρόνο μετά την εφαρμογή και φαίνεται ότι επηρεάστηκε σημαντικά από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως θερμοκρασία ηλιακή ακτινοβολία, σχετική υγρασία κ.α.

Δημοσιεύσεις σχετιζόμενες με την επίδραση θερμοκρασίας στην επιβίωση των κολοβακτηρίων στο έδαφος αναφέρουν ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων παρατηρούνται σε θερμοκρασίες μεταξύ 20-40°C και μειώνονται σε θερμοκρασίες <20°C (Josie Siakantu, 2003). Χαμηλότερη θερμοκρασία αναφέρεται σε δημοσίευση του Gantzer (2001) που παρατήρησε μεγαλύτερη επιβίωση των κολοβακτηρίων στο έδαφος σε θερμοκρασίες μεταξύ 8-22°C από ότι σε θερμοκρασίες μικρότερες των 8°C.

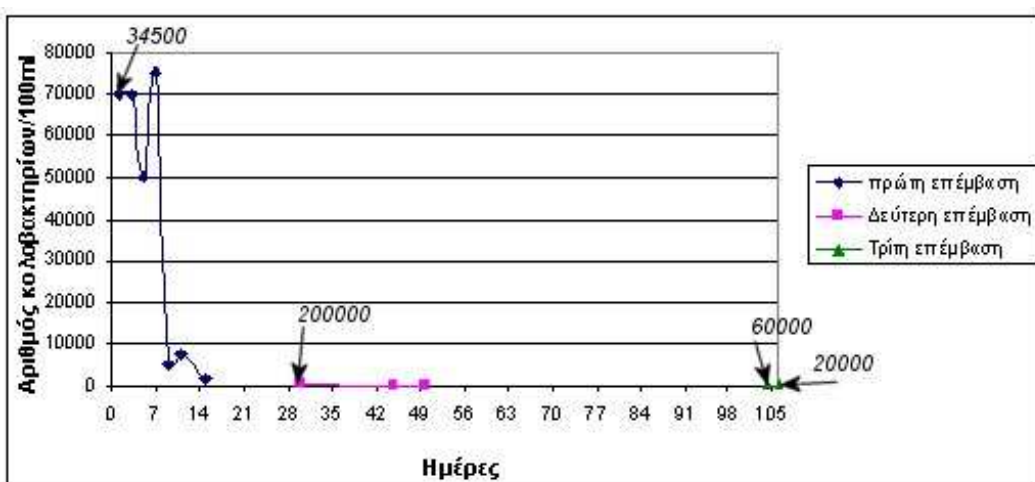
Η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος πιθανόν να επηρέασε στην παρούσα εργασία την μείωση της συγκέντρωσης των κολοβακτηρίων όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της εφαρμογής των αποβλήτων σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους (Σχήματα 10 και 11). Στις εν λόγω περιόδους εφαρμογής (Ιούλιος, Αύγουστος, Νοέμβριος) οι μέσες θερμοκρασίες διέφεραν σημαντικά λόγω εποχής (28 °C κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, 27 °C σε συνθήκες εντός εργαστηρίου και 32 °C σε συνθήκες υπαίθριου χώρου κατά τη διάρκεια του Αυγούστου, 24 °C εντός εργαστηριακού χώρου και ημερήσια διακύμανση 17 °C - 36 °C σε υπαίθριο χώρο κατά την τελευταία πειραματική εφαρμογή του Νοεμβρίου.

Από τα δεδομένα διαπιστώνεται αυξημένη συγκέντρωση ολικών κολοβακτηρίων κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, η οποία μειώνεται κατά τη διάρκεια του Αύγουστου και εξαφανίζεται στις τελευταίες επεμβάσεις του Νοεμβρίου. Τα αποτελέσματα της πρώτης εφαρμογής, Ιούλιος, είναι πιθανόν να οφείλονται στο γεγονός ότι αυτή η πειραματική εφαρμογή έγινε σε συνθήκες εντός του εργαστηρίου, σε συνθήκες ευνοϊκές για την επιβίωση των κολοβακτηρίων, εφόσον υπήρχε απουσία ηλιακής ακτινοβολίας και σταθερή θερμοκρασία και υγρασία. Κατά τη διάρκεια της φθινοπωρινής περιόδου επανάληψης του πειράματος παρατηρήθηκε γρήγορη και απότομη μείωση της συγκέντρωσης των ολικών κολοβακτηρίων στο έδαφος ακόμη και στον μηδενικό χρόνο ποτίσματος (αναλύσεις που γινόταν αμέσως μετά την άρδευση) πιθανόν λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών της περιόδου εφαρμογής με ημερήσια διακύμανση από 17° έως 36°C. Η απώλεια του μικροβιακού φορτίου παρατηρήθηκε τόσο στις γλάστρες εκτός όσο και εντός του εργαστηρίου.

Ανάλογα αποτελέσματα έχουν δημοσιευθεί μετά την εφαρμογή δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο της στάγδην άρδευσης στην επιφάνεια και υποεπιφάνεια περιοχών του Ισραήλ (Oron, 1993) όπου φάνηκε αρχικά η ύπαρξη των βακτηρίων και στη συνέχεια η σταδιακή μείωση τους μέχρι την εξαφάνισή τους από το έδαφος.



Σχήμα 10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αποικιών κοπρανωδών κολοβακτηρίων (ανά 100 ml) κατά τις τρεις επαναλήψεις του πειράματος από (21/7/03 έως 3/11/03). Με βέλη συμβολίζονται οι αρδεύσεις με ΕΥΑΑ και οι αντίστοιχες αρχικές τιμές FC στο νερό άρδευσης σε μονάδες αποικίες/100ml.



Σχήμα 11: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αποικιών ολικών κολοβακτηρίων (ανά 100 ml) κατά τις τρεις επαναλήψεις του πειράματος (από 21/7/03 έως 3/11/03). Με βέλη συμβολίζονται οι αρδεύσεις με ΕΥΑΑ και οι αντίστοιχες αρχικές τιμές TC στο νερό άρδευσης σε μονάδες αποικίες/100ml.

Η σημαντικότητα της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας φάνηκε από την επίδραση στην επιβίωση των TC και FC στο έδαφος τα οποία εξαφανίστηκαν 2 ημέρες μετά την άρδευση και την επακόλουθη ξήρανση του εδάφους.

Αξιολογώντας συνολικά τα αποτελέσματα από τις εφαρμογές της παρούσης εργασίας προκύπτουν ενδεικτικά μόνον δεδομένα για την μεταβολή της συγκέντρωσης του μικροβιολογικού φορτίου εδάφους που αρδεύεται άπαξ με ΕΥΑΑ που δεν έχουν απολυμανθεί με χλωρίωση.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προκύπτει το συμπέρασμα ότι η επιβίωση των κολοβακτηρίων στο έδαφος μειώνεται με αυξανόμενο χρόνο επώασης.

Θεωρώντας την εργασία αυτή ως την πρώτη προσπάθεια, κατά την οποία δοκιμάστηκαν οι τεχνικές εφαρμογής ΕΥΑΑ και ανάλυσης του μικροβιακού φορτίου κρίνεται απαραίτητη η επανάληψη των μετρήσεων όλες τις εποχές με ταυτόχρονη παρακολούθηση των μεταβολών των συνθηκών του περιβάλλοντος προκειμένου να διευκρινιστεί ποιός ήταν ο περιοριστικός παράγοντας της μείωσης των TC και FC στο έδαφος (θεωρούμε πιθανούς περιοριστικούς παράγοντες την ηλιακή ακτινοβολία και την θερμοκρασία).

Παραπέρα συστηματική έρευνα θα δώσει την δυνατότητα να εξαχθούν χρήσιμα και εφαρμόσιμα συμπεράσματα για την αξιοποίηση του επεξεργασμένου υδατικού πόρου που προέρχεται από τις εγκαταστάσεις ΕΥΑΑ.

Παράρτημα

Πίνακας 34: Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο έδαφος κατά την πρώτη επέμβαση την καλοκαιρινή περίοδο σε συνθήκες εργαστηρίου (δεδομένα σχήματος 6).

	21/7/03	23/7/03	25/7/03	27/7/03	29/7/03	31/7/03	4/8/03
Total coliforms/100 ml	70000 ή 7000/gr εδάφους	70000 ή 7000/gr εδάφους	50000 ή 5000/gr εδάφους	75000 ή 7500/gr εδάφους	5000 ή 500/gr εδάφους	7500 ή 750/gr εδάφους	1800 ή 180/gr εδάφους
Faecal coliforms/100 ml	8000 ή 800/gr εδάφους	2000 ή 200/gr εδάφους	1000 ή 100/gr εδάφους	6750 ή 675/gr εδάφους	2300 ή 230/gr εδάφους	100 ή 10/gr εδάφους	480 ή 48/gr εδάφους

Πίνακας 35: Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο ξηρό έδαφος σε συνθήκες εργαστηρίου (δεδομένα σχήματος 9).

	Total coliforms	Faecal coliforms
29/7/03	27000/100 ml ή 2700/gr εδάφους	28000/100 ml ή 2800/gr εδάφους
31/7/03	0/100 ml ή 0/gr εδάφους	0/100 ml ή 0/gr εδάφους

Παράρτημα γραφικών παραστάσεων και αποτελεσμάτων του καταγραφικού θερμοκρασίας (ESCORT, Junior 121) το οποίο χρησιμοποιήθηκε κατά την τρίτη πειραματική εφαρμογή (1/11/03-3/11/03).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγγελάκης Α. Ν. και G. Tchobanoglous. 1995. Υγρά απόβλητα. Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκρών. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Σελ. 174-199
- Βουρδουμπάς Ι. 1994. Τρόπος για την εξασφάλιση της άρδευσης μερικών χιλιάδων στρεμμάτων στο Ακρωτήρι. ΧΑΝΙΩΤΙΚΑ ΝΕΑ – 10/12/1994. σελ 6.
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο, Αρ. Φύλλου 641, Κοινή Υπουργική Απόφαση, αρ. οικ. 80568/4225/91. Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων.
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας Διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις. Νόμος 1739 / ΦΕΚ Α/201/87.
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. Κοινή Υπουργική Απόφαση, αρ. 5673/400/97. Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων. ΦΕΚ Β/192/1997,
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. Προστασία και διαχείριση των υδάτων. Νόμος 3199 / ΦΕΚ Β/208/2000. Εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000.
- Gantzer, L. Gillerman, M. Kuznetsov and G. Oron, 2001. Adsorption and survival of faecal coliforms, somatic coliphages and F-specific RNA phages in soil irrigated with wastewater. *Water Science & Technology* Vol 43 No 12 pp 117-124.
(Διαθέσιμο: <http://www.iwaponline.com/wst/toc.htm>)
- Κουκουλίθρας Κ. και Κουτσαυλής Α. 1999. Αξιοποίηση εκρών και ιλύος της μονάδας επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων Χαλκίδας για δένδροφύτευση. Εισ: Διαχείριση αστικών υγρών και στερεών αποβλήτων με έμφαση στα Έργα Αποχέτευσης, Επεξεργασίας και Διάθεσης Υγρών Αποβλήτων και Διαχείριση των Παραγόμενων Βιοστερεών. Αγγελάκης Ανδρέας & Ευάγγελος Διαμαντόπουλος Έκδοση Ε.Δ.Ε.Υ.Α. Σελ.142-146. Λάρισα.
- Kouraa A., F. Fethi, A. Fahde, A. Lahlou and N. Ouazzani, 2001. Reuse of urban wastewater treated by a combined stabilisation pond system in Benslimane (Morocco). *Urban Water* Volume 4, Issue 4, Pages 373-378 (Διαθέσιμο: <http://www.sciencedirect.com/>)
- Ντάνος Δ., Παπαδόπουλος Φ., Σουπίλας Α., Κουτρούμπας Σ., Παπαδόπουλος Α., Μεταξά Ε., Παρισόπουλος Γ., Ζδράγκας Α., Φιλίππου Ν. και Αναστασιάδης Ε. 2002. Άρδευση ρυζιού με επεξεργασμένα αστικά λύματα. *Αγροτική έρευνα* : 25(2) Σελ. 21-28
- Oron G. 1993. Soil Enrollment in wastewater Reuse under subsurface and onsurface drip irrigation. Πρακτικά σεμιναρίου: Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων για άρδευση (Διεθνής πρακτική). Στα πλαίσια του προγράμματος ENVIREG Αθήνα, 4-7 Σεπτεμβρίου,. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε), Αθήνα.

- Πανωράς Α.Μ., Α. Ηλίας Μ. 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδ Γιαχούδη- Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη. Σελ. 33 – 46
- Σινάνης Κωνσταντίνος, 1997. Εργαστηριακές ασκήσεις εδαφολογίας. Σελ. 88.
- Στάμου Ι. Αναστάσιος. 1995. Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων Με παρατεταμένο αερισμό και βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών. Εκδ Παπασωτηρίου. Αθήνα. Σελ. 177-206
- Süssmuth R., Eberspächer J., Haag R., and Springer W. Mikrobiologisch-Biochemisches praktikum. 2. Völlig überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.1999. pp 473.
- Schiffler M. 2002. Reuse of Wastewater in the Middle East and North Africa, Water Forum, The World Bank .
- Tsagarakis K.P., D.D.Mara, N.J.Horan, and A.N.Angelakis. 2000. Small municipal wastewater treatment plants in Greece. Water Science and Technology vol. 41 (1) :42-43.
- Tsagarakis K.P., D.d.Mara, N.J.Horan, A.N Angelakis. 2001(α). Institutional status and structure of wastewater quality management in Greece. Water Policy 3 : 84-97.
- Tsagarakis K.P., D.D.Mara, and A.N.Angelakis. 2001(β). Wastewater management in Greece: experience and lessons for developing countries. Water Science and Technology Vol 44 (6) :163-165.
- Tsagarakis K., Tsoumanis P., Chartzoulakis K., Angelakis N.A. 2001(γ). Water Resources Status Including Wastewater Treatment and Reuse in Greece. Related Problems and Perspectives Regional Foundation for Agricultural Research of Crete, Greece. Water international, Volume 26 (26):252-258.
- Τσαγκαράκης Κ.Π., Παρανυχιανάκης Ν. και Αγγελάκης Α.Ν. 2003. Προτεινόμενα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα. Πρακτικά 4^{ου} Συνεδρίου για τη τεχνολογία περιβάλλοντος - HELECO '03. Αθήνα Σελ. 256-260.
- Vazquez-Montiel O., D.D.Mara and M.H. Marecos do Monte. I. 1988. Wastewater irrigation of maize. Chem.E.Symposium, Series 116:139-147.

Πηγές Internet:

Ανατολική, ενημερωτικό φυλλάδιο. Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Διαμόρφωση προδιαγραφών LIFE99/ENV/GR/000590
 Διαθέσιμο:http://www.anatoliki.gr/Life/gr/reuse/reuse_1.htm.

Siakantu Josy B. 2003. Survival of faecal coliforms in wastewater storage and soil in relation to irrigation with wastewater by the small scale vegetable growers in Zambia. Διαθέσιμο:
<http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/students/siakantu.htm>

Συντομογραφίες

ΕΕΑΑ	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων
ΕΥΑΑ	Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα
ΕΙ	Ενεργός Ιλύς
ΕΤ	Ταχύτητα Εξατμισοδιαπνοής
ΠΑ	Παρατεταμένος Αερισμός

Biochemical oxygen demand (BOD), βιοχημική απαίτηση οξυγόνου

Chemical oxygen demand (COD), χημική απαίτηση οξυγόνου

Electrical Conductivity(EC), ηλεκτρική αγωγιμότητα

Faecal coliforms (FC),κοπρανώδη κολοβακτήρια

Most probable number (MPN), πιθανότερος αριθμός (βακτηρίων)

Sodium Absorption Ratio, (SAR) λόγος απορρόφησης νατρίου

Suspended solids (SS), αιωρούμενα στερεά

Total coliforms (TC), ολικά κολοβακτήρια

Total dissolved solids (TDS), ολικά διαλυμένα στερεά

Total organic carbon (TOC), ολικός οργανικός άνθρακας

SUMMARY

The reuse of treated wastewater for irrigation

The treated wastewater consist important water resource, which has to be utilized, so as to satisfy compulsory needs. Initially, the utilization for irrigation may give a solution in territories with intensive lack of irrigation water. Though, special attention must be given in microbiological contamination of treated wastewater before the irrigation. Water born diseases are the major danger for the human health in case that treated wastewater has not been efficiently disinfected. In the frame of the present thesis the potential risk of the use of treated non chlorinated municipal wastes for irrigation was studied. Experimental pots were irrigated and the number of total and faecal coliforms were measured periodically after irrigation. This laboratory implementation is an attempt to study the possible danger from the irrigation agriculture cultivations with treated wastewater which for some reason they could be used without sufficient chlorinating. In order to evaluate the influence of the weather, the experiment accomplished in two eras summer (July and August 2003) and autumn (November 2003), indoors and outdoors. The results showed increased number of total and faecal coliforms during July, which diminishes during of August and disappears with the latest trial of November.

Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη στο σημείο αυτό μετά το πέρας της παρούσας πτυχιακής εργασίας να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σταυρουλάκη Γεώργιο, ο οποίος στάθηκε υποστηρικτής με την αμέριστη κατανόηση και σημαντική βοήθεια του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής.

Επίσης από τη θέση αυτή οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους καθηγητές κα Κατσιβέλα Ελευθερία, κ. Λυδάκη Νικόλαο, κ. Μιχόπουλο Νικόλαο και κ. Τερζή Ευάγγελο, οι οποίοι συνέβαλαν στην εκπλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας με τις προσωπικές τους παρατηρήσεις, προτάσεις και την ευγενή ανταπόκριση τους ως προς την επίλυση κάθε σχετικής απορίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων του Δήμου Χανίων για την βοήθεια του στις απαραίτητες δειγματοληψίες για τις ανάγκες του πειράματος.

Τέλος θα ήθελα να συμπεριλάβω στις ευχαριστίες μου τους συμφοιτητές μου Καλημέρη Μαρία, Κατσοπρινάκη Στέλλα, Κηρύκου Ματούλα και Τζινευράκη Στέφανο για τη βοήθεια τους κατά την εκτέλεση του αναλυτικού μέρους και την ηθική υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια της υλοποίησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.