



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ – ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΙΕΙΝΗ :
ΠΟΙΟΤΗΤΑ – ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΛΕΩΝΙΔΑ ΤΣΙΑΜΑΝΤΑΣ

Μηχανικός Αντιρρύπανσης ΑΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας

ΛΑΡΙΣΑ 2012

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΜΑΥΡΙΔΟΥ ΑΘΗΝΑ

Βιολόγος PhD

Καθηγήτρια ΤΕΙ Αθηνών, Τμήμα Ιατρικών Εργαστηρίων

ΘΕΟΔΩΡΑΤΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Χημικός Μηχανικός Υγιεινολόγος

Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Αθηνών, Τμήμα Δημόσιας Υγιεινής

Δρ. ΚΡΙΚΕΛΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Ιατρικών Εργαστηρίων

Στην οικογένεια μου...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της μελέτης είναι η εκτίμηση της μικροβιολογικής κατάστασης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που επαναχρησιμοποιούνται για γεωργικές χρήσεις (άρδευση) με σκοπό την εξοικονόμηση υδάτινων πόρων, σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία (ΔΥΓ2/Γ.Π.οικ.133551 τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης Ε1β/221/1965 η οποία αντικαταστάθηκε με την ΚΥΑ 145116/2010) και τις Ευρωπαϊκές οδηγίες (2008/98/ΕΚ).

Στη μελέτη συμπεριλήφθηκε δείγμα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνταν για άρδευση από βιολογικούς καθαρισμούς αστικών λυμάτων, βιομηχανιών τροφίμων (σφαγεία, κονσερβοποιία κλπ) και κτηνοτροφικών μονάδων (χοιροστάσια, βουστάσια). Πραγματοποιήθηκε αυτοψία στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας και λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων επεξεργασμένων αποβλήτων για εργαστηριακό έλεγχο των παραμέτρων που ορίζει η νομοθεσία (Ολικά κολοβακτηριοειδή, κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή, *E.coli*).

Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων τα οποία έχουν υποστεί μη αποτελεσματική επεξεργασία, το περιεχόμενο σε αυτά ρυπαντικό φορτίο ενδέχεται να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στους φυσικούς αποδέκτες και σοβαρούς κινδύνους για τη Δημόσια Υγεία και το περιβάλλον. Ελλιπής εφαρμογή των διατάξεων της Ελληνικής νομοθεσίας αναφορικά με τα όρια της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the microbiological condition of the treated wastewater reused for agricultural purposes (irrigation) to save water resources, according to Greek law (ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ. 133551 amendment of Health Provision Ε1β/221/1965 which replaced by ΚΥΑ 145116/2010 and European directives (2008/98/EC).

The study included a sample of treated wastewater used for irrigation of municipal wastewater biological treatment, food industry (slaughterhouses, canneries, etc.) and livestock production (pig, cow). An autopsy at the treatment works and the taking of representative samples of treated waste for laboratory testing parameters prescribed by law (Total coliforms, fecal coliforms, *E. coli*).

Reuse of treated wastewater that has undergone an ineffective treatment, the content in waste load may cause significant problems in the natural recipients and serious risks to public health and the environment. Incomplete implementation of the provisions of Greek legislation regarding the limits of reuse of treated wastewater

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
Α ΜΕΡΟΣ.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	2
1.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά.....	2
1.1.1 Ολικά Στερεά.....	3
1.1.2 Οσμή.....	4
1.1.3 Θερμοκρασία.....	5
1.1.4 Πυκνότητα.....	6
1.1.5 Χρώμα.....	6
1.1.6 Θολότητα.....	7
1.2 Χημικά Χαρακτηριστικά.....	7
1.2.1 Οργανικό Υλικό.....	8
1.2.2 Ανόργανο Υλικό.....	11
1.3 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΟΣ.....	13
1.3.1 Παθογόνα και παράσιτα που βρίσκονται στα απόβλητα.....	14
1.3.2 Παθογόνα βακτήρια.....	14
1.3.2.1 <i>Salmonella</i>	15
1.3.2.2 <i>Shigella</i>	15
1.3.2.3 <i>Vibrio cholerae</i>	16
1.3.2.4 <i>Escherichia Coli</i>	16
1.3.2.5 <i>Yersinia</i>	16
1.3.2.6 <i>Campylobacter</i>	17
1.3.3 Παθογόνοι ιοί.....	17
1.3.3.1 <i>Hepatitis</i>	17
1.3.3.2 Ίική γαστρεντερίτιδα.....	18
1.3.4 Πρωτόζωα.....	18
1.3.4.1 <i>Giardia</i>	18
1.3.4.2 <i>Cryptosporidium</i>	19
1.3.4.3 <i>Helminth</i>	20
1.3.5 Οργανισμοί – δείκτες.....	20
1.3.6 Ολικά κολοβακτηριοειδή (<i>Total Coliforms</i>).....	21
1.3.7 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (<i>Faecal coliform</i>).....	22

1.3.8 <i>Escherichia coli</i>	23
1.3.9 Εντερόκοκκοι.....	24
1.3.10 Βακτηριοφάγοι.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	27
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	27
2.2 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	28
2.2.1 ΕΣΧΑΡΙΣΜΟΣ.....	28
2.2.2 ΑΛΕΣΗ - ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	30
2.2.3 ΕΞΑΜΜΩΣΗ - ΛΙΠΟΣΥΛΛΟΓΗ.....	31
2.2.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ.....	32
2.2.5 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ.....	32
2.3 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	36
2.3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ.....	37
2.3.2 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ.....	39
2.4 ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	41
2.4.1 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ.....	41
2.4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΛΥΟΣ.....	45
2.4.3 ΠΑΧΥΝΣΗ ΛΑΣΠΗΣ.....	47
2.4.4 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΛΑΣΠΗΣ.....	47
2.4.5 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΛΑΣΠΗΣ – ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	51
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	51
3.2 Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, παράμετροι ποιότητας.....	54
3.2.1 Παρακολούθηση των παθογόνων.....	56
3.2.2 Απαιτήσεις επεξεργασίας και παρακολούθησης ποιότητας ανακυκλωμένου λύματος.....	60
3.3 Εναλλακτικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης ιλύος και λυμάτων...	62
3.4 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	68
3.5 Ανασκόπηση διεθνούς θεσμικού πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων.....	73
3.5.1 Οδηγία Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) και εθνικές νομοθεσίες χωρών.....	73
3.7 Εκτίμηση και διαχείριση κινδύνων δημόσιας υγείας που απορρέουν από τη χρήση ανακυκλωμένου νερού.....	85
3.7.1 Στόχοι για τη προστασία της δημόσιας υγείας.....	86

3.7.2 Ταυτοποίηση ζημιογόνων παραγόντων και παθογόνα αναφοράς.....	87
3.7.3 Σχέσεις δόσης - απόκρισης	89
3.7.4 Καθορισμός της έκθεσης σε ζημιογόνους παράγοντες	91
3.7.5 Χαρακτηρισμός κινδύνου	94
3.7.6 Μέτρα επίτευξης των στόχων προστασίας της δημόσιας υγείας	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	95
4.1 Ποιότητα αρδευτικού νερού	95
4.2 Αρδευτικά ύδατα ως πηγή παθογόνων μικροοργανισμών	95
4.3 Το αρδευτικό νερό και η μεταφορά των παθογόνων	96
4.4 Συγκεντρώσεις των παθογόνων μικροοργανισμών και οργανισμών – δεικτών στα αρδευτικά ύδατα.....	97
4.4.1 Επιβίωση των τροφιμογενών παθογόνων στο αρδευτικό νερό.....	99
4.4.2 Παθογόνα που απομονώθηκαν ή σχετίζονται με φρούτα και λαχανικά	101
4.5 Το αρδευτικό νερό ως πηγή τροφιμογενών παθογόνων	103
4.6 Κρούσματα που οφείλονται σε μολυσμένα φρούτα και λαχανικά	105
4.6.1 Κρούσμα <i>Salmonella saint-paul</i> σχετιζόμενη με φασόλια (Αγγλία, 1988).....	105
4.6.2 Κρούσμα <i>E.coli</i> από κατανάλωση μαρουλιού (Μοντάνα, 1995).....	106
4.6.3. Κρούσμα <i>E.coli</i> O157:H7 από κατανάλωση μη παστεριωμένου ποτού μήλου (Κονέκτικατ, 1996).....	106
4.6.4 Κρούσμα <i>Calicivirus</i> από κατανάλωση κατεψυγμένων βατόμουρων (Φινλανδία, 1998)	106
4.6.5. Κρούσμα <i>Hepatitis A</i> από πράσινα κρεμμύδια (Οχάιο, 1998)	107
4.6.6. Κρούσμα <i>E.coli</i> O157:H7 από μαρούλι (Σουηδία, 2005)	107
4.6.7. Σειρά κρουσμάτων <i>Norovirus</i> από εισαγόμενα κατεψυγμένα βατόμουρα (Δανία, 2005).....	107
4.7 Μειώνοντας το κίνδυνο της μεταφοράς των τροφιμογενών παθογόνων στο νερό άρδευσης.....	108
Β ΜΕΡΟΣ	111
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	111
5.1 ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	111
5.2 ΥΛΙΚΟ ΜΕΛΕΤΗΣ	113
5.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	114

5.3.1 Ανίχνευση Ολικών Κολοβακτηριοειδών	114
5.3.2 Ανίχνευση <i>Escherichia coli</i>	115
5.3.3 Τύποι καλλιεργειών που αρδεύονται από τα ανακυκλωμένα λύματα.115	
5.4 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	116
5.5 Βιολογικοί καθαρισμοί αστικών λυμάτων.....	121
5.6 Ξενοδοχειακές Μονάδες.....	123
5.7 Κτηνοτροφικές Μονάδες	126
5.8 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	130

ΠΙΝΑΚΕΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ	Στήλη1	Στήλη2
A/A	ΤΙΤΛΟΣ ΠΙΝΑΚΑ	ΣΕΛΙΔΑ
1	Τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών απολύμανσης σε σύγκριση με το χλώριο	50
2	Σύγκριση διαφορετικών επεξεργασιών απολύμανσης	53
3	Είδη και πληθυσμός παθογόνων και δεικτών σε μη επεξεργασμένα αστικά απόβλητα, διάμεσος τιμή μόλυνσης και ασθένειες που συνδέονται με αυτά	66
4	Τυπική απομάκρυνση μικροοργανισμών δεικτών και άλλων ομάδων παθογόνων με διάφορες τεχνολογίες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων	69
5	Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων και θέματα/περιορισμοί που μπορεί να προκύψουν σε επίπεδο κοινότητας	74
6	Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία κατά Π.Ο.Υ	84
7	Σύγκριση Οδηγίας Π.Ο.Υ., νομοθεσίας Καλιφόρνια και Η.Π.Α. για την ποιότητα του επεξεργασμένου λύματος στην άρδευση	85
8	Στόχοι προστασίας της δημόσιας υγείας κατά την χρήση εκρών υγρών αποβλήτων στη γεωργία	86
9	Νομοθεσία Ισπανίας για τη μικροβιολογική ποιότητα του αρδευόμενου λύματος	87
10	Νομοθεσία Γαλλίας για τη μικροβιολογική ποιότητα του αρδευόμενου λύματος	88
11	Εθνικά και τοπικά κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία	89
12	Κριτήρια Κύπρου για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία	90
13	Η μικροβιολογική ποιότητα των τάξεων της ιλύος από την νομοθεσία των Η.Π.Α	91
14	Τα δυο είδη επεξεργασίας που ορίζει το σχέδιο νόμου της Ε.Ε για χρήση ιλύος στη γεωργία	92
15	Χρήσεις ιλύος στη διευρυμένη (advanced) και κλασική (conventional) επεξεργασία Working document on sludge 3 rd draft (EU) Brussels, 27 April 2000	93
16	Σχέσεις δόσης – απόκρισης για τα παθογόνα αναφοράς	100
17	Περίληψη αποτελεσμάτων QMRA για κινδύνους μόλυνσης από <i>Rotavirus</i> ^a από διαφορετικά επίπεδα έκθεσης	102
18	Παραδείγματα παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν σε ωμά λαχανικά	111

Στήλη1	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ	Στήλη2
A/A	ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
1	Δείγματα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων προς διάθεση για άρδευση	124
2	Είδος καλλιεργειών που αρδεύονται από ανακυκλωμένα λύματα	127
3	Ολικά Κολοβακτηριοειδή σε δείγματα αποβλήτων τυροκομείων	128
4	<i>E.coli</i> σε δείγματα αποβλήτων τυροκομείων	128
5	. Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων <i>E .coli</i> τυροκομείων	129
6	Ολικά κολοβακτηριοειδή σε λύματα γαλακτοβιομηχανιών	130
7	<i>E. coli</i> σε δείγματα αποβλήτων γαλακτοβιομηχανιών	131
8	Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων για <i>E. coli</i> γαλακτοβιομηχανιών	131
9	Σύγκριση αποτελεσμάτων <i>E. coli</i> τυροκομείων – γαλακτοβιομηχανιών	132
10	Ολικά κολοβακτηριοειδή βιολογικών καθαρισμών	133
11	Αποτελέσματα <i>E. coli</i> από βιολογικούς καθαρισμούς	133
12	Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων βιολογικών καθαρισμών	134
13	Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων ξενοδοχειακών μονάδων	135
14	Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων <i>E. coli</i> ξενοδοχειακών μονάδων	135
15	Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων Ξενοδοχειακών Μονάδων	136
16	Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων κτηνοτροφικών μονάδων	137
17	Αποτελέσματα <i>E. coli</i> κτηνοτροφικών μονάδων	137
18	. Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων Κτηνοτροφικών Μονάδων	138
19	Συνολικό ποσοστό ακατάλληλων δειγμάτων	141

Α ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οδηγία 91/271/ΕΟΚ «για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων», εφεξής καλούμενη «Οδηγία», αφορά τη συλλογή, την επεξεργασία και την διάθεση των αστικών λυμάτων και συγκεκριμένων βιομηχανικών αποβλήτων. Η Οδηγία καθορίζει τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας, που πρέπει να παρέχεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Ε.Ε.Λ), καθώς και το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης των απαιτούμενων έργων ανάλογα με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό (εκφραζόμενο σε μονάδες Ισοδύναμου Πληθυσμού – Μ.Ι.Π.- κατά την Οδηγία) και τον χαρακτηρισμό της περιοχής στην οποία απορρίπτονται τα λύματα.

Κύριος στόχος της Οδηγίας, η οποία θεσμοθετήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση το 1991, είναι η **προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιπτώσεις που προκαλεί η διάθεση ανεπεξέργαστων ή ανεπαρκώς επεξεργασμένων αστικών λυμάτων και των παραπροϊόντων τους (ιλύς)**, καθώς και η απόρριψη υγρών αποβλήτων στο δίκτυο αποχέτευσης από ορισμένους βιομηχανικούς κλάδους.

Η Οδηγία περιλαμβάνει μια σειρά από ορισμούς που βοηθούν στην κατανόηση της.

Αστικά Λύματα : Τα οικιακά λύματα ή το μείγμα οικιακών με βιομηχανικά λύματα ή/και όμβρια ύδατα.

Οικιακά Λύματα : Τα λύματα από περιοχές κατοικίας και υπηρεσιών που προέρχονται κυρίως από τον ανθρώπινο μεταβολισμό και τις εμπορικές δραστηριότητες.

Βιομηχανικά Λύματα : Οποιαδήποτε λύματα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα, και τα οποία δεν είναι οικιακά ή όμβρια ύδατα.

Δίκτυο Αποχέτευσης : Το σύστημα των αγωγών που διοχετεύει τα αστικά λύματα

1 Μ.Ι.Π.(Μονάδα Ισοδύναμου Πληθυσμού) : Το αποικοδομήσιμο οργανικό φορτίο που παρουσιάζει βιομηχανικές ανάγκες σε οξυγόνο πέντε ημερών (BOD₅) ίσες προς 60 gr/ημέρα.

Πρωτοβάθμια Επεξεργασία : Η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με φυσική ή /και χημική μέθοδο που περιλαμβάνει την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών, ή με άλλες μεθόδους με τις οποίες το BOD₅ των εισερχόμενων λυμάτων μειώνεται τουλάχιστον κατά 20% πριν από την απόρριψη και το συνολικό φορτίο των αιωρούμενων στερεών στα

εισερχόμενα λύματα μειώνεται κατά 50% τουλάχιστον.

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία : Η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με μέθοδο που, κατά κανόνα περιλαμβάνει βιολογική επεξεργασία με δευτεροβάθμια καθίζηση, ή με άλλες μεθόδους δια των οποίων τηρούνται οι απαιτήσεις που καθορίζονται.

Κατάλληλη Επεξεργασία : Η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με μέθοδο ή/και σύστημα διάθεσης που επιτρέπει στα ύδατα υποδοχής να ανταποκρίνονται στους σχετικούς ποιοτικούς στόχους και στις συναφείς διατάξεις της παρούσας οδηγίας και άλλων κοινοτικών οδηγιών.

Ιλύς : Το κατάλοιπο ιλύος, επεξεργασμένο ή όχι, που προέρχεται από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων

Ευτροφισμός : Ο εμπλουτισμός των υδάτων με θρεπτικά συστατικά, κυρίων ενώσεις αζώτου ή/και φωσφόρου, που προκαλεί την ταχύτερη ανάπτυξη φυκιών και ανωτέρων μορφών φυτικής ζωής, με συνακόλουθη ανεπιθύμητη διαταραχή της ισορροπίας των οργανισμών που ζούνε στα ύδατα και υποβάθμιση της ποιότητας των εν λόγω υδάτων.

Εκβολές Ποταμών : Η μεταβατική ζώνη στο στόμιο ενός ποταμού, μεταξύ γλυκών και παράκτιων υδάτων. Τα κράτη μέλη ορίζουν τα εξωτερικά (προς τη θάλασσα) όρια των εκβολών για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, σύμφωνα με τις διατάξεις της.

Παράκτια Ύδατα : Τα ύδατα πέραν της γραμμής της αμπώτιδας ή του εξωτερικού ορίου των εκβολών ενός ποταμού. (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η κατανόηση της φύσης των υγρών αποβλήτων είναι ουσιαστική για το σχεδιασμό και τη διαχείριση συλλογής, επεξεργασίας και εγκαταστάσεων εναπόθεσης τους.

Για το λόγο αυτό θα γίνει αναφορά καταρχήν σε έννοιες και μεγέθη που σχετίζονται με το χαρακτήρα των υγρών αποβλήτων και τα οποία διαχωρίζονται σε

- A) Φυσικά
- B) Χημικά και
- Γ) Βιολογικά

1.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά

Το πιο σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό των υγρών αποβλήτων είναι τα **Ολικά Στερεά (TTS – Total Solids)**, των οποίων το περιεχόμενο αποτελείται από επιπλέον υλικό, καθιζάμενο υλικό, κολλοειδές υλικό και υλικό σε διάλυμα.

1.1.1 Ολικά Στερεά

Τα ολικά στερεά συστατικά (Total Solids, TS) βρίσκονται αιωρημένα (αιωρημένα στερεά, Suspended Solids – SS) ή διαλυμένα (διαλυμένα στερεά, Dissolved Solids – DS) στη μάζα των αποβλήτων και αποτελούνται από οργανικά (ή εξαερώσιμα) στερεά (Volatile Solids – VS) και ανόργανα (αδρανή, σταθερά ή μη εξαερώσιμα, Non – Volatile ή Fixed Solids – FS) στερεά (Στάμου, 2004)

Ως ολικά στερεά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα ορίζεται όλο το υλικό που απομένει ως υπόλειμμα μετά από εξάτμιση στους 103-105 °C. Ορισμένες ουσίες που απομακρύνονται με την εξάτμιση είναι πτητικές.

Καθιζάμενα στερεά είναι αυτά που καθιζάνουν στον πυθμένα ενός κωνικού περιεχομένου (κώνος Imhoff) στη διάρκεια 60 λεπτών. Τα καθιζάμενα στερεά εκφράζονται σε ml/l και αποτελούν την κατά προσέγγιση μέτρηση της λάσπης που θα αφαιρεθεί στην πρωτοβάθμια καθίζηση. (Metcalf & Eddy, 1991)

Από άποψης ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος μεγάλη σημασία έχουν τα SS, γιατί κατά την διάθεση των αποβλήτων σε ένα υδάτινο φορέα συσσωρεύονται στο πυθμένα δημιουργώντας στρώμα λάσπης και ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες για το οικοσύστημα του φορέα. Τα DS προκαλούν τη θολότητα του υδάτινου αποδέκτη (Στάμου, 2004)

Καθεμία από τις κατηγορίες στερεών μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω με βάση την πτητικότητα τους, αυτό γίνεται με πύρωση στους 550±50 °C οπότε προσδιορίζονται τα σταθερά και τα πτητικά ολικά στερεά (fixed and volatile solids). Λόγω του ότι κατά την πύρωση οξειδώνονται οι οργανικές ουσίες, η απώλεια σε καύση που προσδιορίζει τα πτητικά προσδιορίζει και τα οργανικά, αν και μέρος ανόργανων φεύγουν ως πτητικά.

Ακόμα οργανικά και ανόργανα υλικά που περιέχονται στα απόβλητα προσδιορίζονται ως αιωρούμενα και διαλυμένα (suspended and dissolved solids – SS, DS). Αιωρούμενα ονομάζονται τα στερεά που συγκρατούνται με δύλιση από συγκεκριμένο ηθμό. Η διαφορά μεταξύ των ολικών και των αιωρούμενων μας δίνει τα διαλυμένα στερεά (DS = TTS – SS).

Τα αιωρούμενα στερεά (SS – Suspended Solids) διακρίνονται σε καθιζάνοντα και μη καθιζάνοντα (settleable and non settleable solids). Η διαφορά των καθιζανόντων από τα αιωρούμενα μας δίνει τα μη καθιζάνοντα. (Metcalf & Eddy, 1991)

1.1.2 Οσμή

Η οσμή του νερού, και γενικά η οσμή, είναι μια υποκειμενική παράμετρος η οποία όμως κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να εκτιμηθεί. Όταν το αίσθημα που προκαλείται από την οσμή είναι δυσάρεστο τότε συνήθως μιλάμε για παρουσία δύσοσμων ουσιών. (Κουϊμτζής, 1994)

Η οσμή προκαλείται από αέρια που απελευθερώνονται με την διάσπαση της οργανικής ύλης. Η οσμή γίνεται πιο έντονη με την πάροδο του χρόνου. Κύριες ενώσεις που προκαλούν δυσοσμία είναι : αμμίνες, αμμωνία, διαμίνες, υδρόθειο, μερκαπτάνες (πχ CH_3SH), οργανικά σουλφίδια, σκατόλη ($\text{C}_8\text{H}_5\text{NHCH}_3$) και άλλα.

Τα οικιακά λύματα περιέχουν 3 – 6 mg/l οργανικό θείο, που προκύπτουν κυρίως από πρωτεϊνούχο υλικό, συν ~ 4 mg/l σουλφονικά άλατα που περιέχονται στα απορρυπαντικά οικιακής χρήσης. (Boon, 1995)

Επιπλέον περιέχεται και 30 – 60 mg/l ανόργανο θείο (θειικά άλατα) (Gostelow and Parsons, 2000)

Πολλές διαφορετικές θεωρίες έχουν αναπτυχθεί, αλλά το φαινόμενο της οσμής δεν έχει ακόμη εξηγηθεί επιστημονικά. Πρόβλημα παρουσιάζει το γεγονός ότι ο συσχετισμός μοριακής δομής και οσμής δεν είναι προφανής.

Για τον έλεγχο των οσμών είναι απαραίτητη η μέτρηση και η ποσοτικοποίηση τους. Αν είναι γνωστή η σύνθεση του ρεύματος αερίων, είναι δυνατόν με τη χρήση χημικών και αναλυτικών μεθόδων, να καθορισθεί αναλυτικά η συγκέντρωση των συστατικών που προκαλούν δυσοσμία. Όταν οι ελάχιστες συγκεντρώσεις αερίων (κάτω όριο, threshold) που προκαλούν οσμές σας είναι γνωστές για τα διάφορα συστατικά, τότε μπορεί να καθορισθεί και η απαιτούμενη μέθοδος επεξεργασίας. Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί σε βιομηχανικές διεργασίες, όπου ο αριθμός των συστατικών των αερίων είναι περιορισμένος. Οι περισσότερες πηγές οσμών, ωστόσο, χαρακτηρίζονται από ευρύ φάσμα συστατικών, που η σύνθεση τους είναι συνήθως άγνωστη. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, το οσφρητικό σύστημα του ανθρώπου αποτελεί το μοναδικό αποδεκτό μέσο για την ανίχνευση και τον καθορισμό της έντασης της δυσοσμίας (οργανοληπτικές μέθοδοι). Το σύστημα αυτό, είναι γενικά τρεις τάξεις μεγέθους πιο ευαίσθητο από τα μέχρι τώρα διαθέσιμα χημικά και μηχανικά συστήματα. Επίσης, είναι ευαίσθητο σε μεγάλη ποικιλία χημικών συνθέσεων. (Λυμπεράτος, 2004)

Οι περισσότερες οργανοληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση των οσμών βασίζονται στην αραίωση σ' ένα ελάχιστο όριο συγκέντρωσης. Η πιο διαδεδομένη απ' αυτές αναφέρεται ως « τεχνική ομάδας οσμής» (odor panel technique). Κατ' αυτήν, ομάδα υποκειμένων (5-10 άτομα) εκτίθενται σε οσμές (Λυμπεράτος, 2004), οι οποίες έχουν αραιωθεί με άοσμο αέρα και σημειώνεται ο αριθμός των αραιώσεων που απαιτούνται για την ελάττωση μιας οσμής στη μικρότερη ανιχνεύσιμη οριακή συγκέντρωση

(minimum detectable threshold odor concentration, MDTOC). Η ανιχνεύσιμη συγκέντρωση οσμών εκφράζεται ως ο αριθμός των αραιώσεων προς την MDTOC, κοινώς ονομαζόμενη D/T (dilution to threshold, αραιώσεις / οριακή συγκέντρωση). Έτσι, αν τέσσερις μονάδες όγκου ενός αραιωμένου αέρα πρέπει να προστεθούν σε μια μονάδα όγκου ενός δείγματος αέρα του οποίου επιθυμούμε τη μείωση της οσμής στην MDTOC, τότε η συγκέντρωση οσμών θα εκφράζεται ως τέσσερις αραιώσεις / MDTOC. Άλλος ορισμός που χρησιμοποιείται συχνά για το χαρακτηρισμό της οξύτητας της οσμής είναι ο ED₅₀. Η τιμή του ED₅₀ υποδηλώνει τον αριθμό των αραιώσεων ενός δύσοσμου δείγματος αέρα που πρέπει να γίνουν, ώστε ο μέσος άνθρωπος (δηλ. το 50% των ανθρώπων) μόλις που να μπορεί να ανιχνεύσει μια οσμή σε ένα αραιωμένο δείγμα. (Metcalf & Eddy, 2006)

1.1.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι ένας σημαντικός παράγοντας του βιολογικού και χημικού χαρακτήρα τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει γρηγορότερη ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια επιτάχυνση των βιοχημικών αντιδράσεων. Παράλληλα, επιφέρει και μείωση του βαθμού διαλυτότητας των αερίων (πχ του διαλυμένου οξυγόνου) στη μάζα των αποβλήτων (Στάμου, 2004)

Η θερμοκρασία των λυμάτων συνήθως είναι μεγαλύτερη από αυτή του νερού παροχής, εφόσον σε αυτό προστίθεται ζεστό νερό από τα νοικοκυριά και βιομηχανικές δραστηριότητες. Καθώς η ειδική θερμότητα του νερού είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του αέρα, οι τιμές θερμοκρασίας των λυμάτων έχει παρατηρηθεί ότι είναι μεγαλύτερες από αυτές του αέρα κατά την διάρκεια των θερμότερων (καλοκαιρινών) μηνών. Αναλόγως της γεωγραφικής θέσης, η μέση ετήσια θερμοκρασία των λυμάτων ποικίλλει από (περίπου) 10 – 21,1°C, 15.6°C είναι μια αντιπροσωπευτική τιμή.

Η θερμοκρασία αποτελεί μια σημαντική παράμετρο λόγω της επίδρασης που έχει στις χημικές αντιδράσεις και το ρυθμό αντίδρασης, την υδρόβια ζωή καθώς στην καταλληλότητα του νερού για ωφέλιμες χρήσεις. Για παράδειγμα, η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στα είδη ψαριών που υπάρχουν στον υδάτινο αποδέκτη. (Metcalf & Eddy, 1991)

Επιπρόσθετα, το οξυγόνο είναι λιγότερο διαλυτό στο θερμό νερό από ότι στο ψυχρό. Εάν μάλιστα συνδυασθεί η αύξηση του ρυθμού των βιοχημικών αντιδράσεων, η οποία συνοδεύει την αύξηση της θερμοκρασίας, με τη μείωση της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου σε επιφανειακά νερά, συχνά μπορεί να παρατηρηθούν σημαντικές πτώσεις των συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου, ειδικά κατά τους θερινούς μήνες. Όταν λοιπόν σημαντικά μεγάλες ποσότητες θερμού νερού εκβάλλουν σε φυσικούς υδάτινους αποδέκτες, οι ανωτέρω επιδράσεις μεγεθύνονται. Θα πρέπει επίσης να γίνει κατανοητό ότι μια ξαφνική

αλλαγή της θερμοκρασίας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αυξημένου ρυθμού θνησιμότητας των υδάτινων οργανισμών. Επιπλέον, ασυνήθιστα μεγάλες θερμοκρασίες μπορεί να επιταχύνουν την ανάπτυξη ανεπιθύμητων υδρόβιων φυτών και μυκήτων.

Οι βέλτιστες θερμοκρασίες για βακτηριακή δραστηριότητα κυμαίνονται από 25 έως 35°C. Η αερόβια χώνευση, καθώς και η νιτροποίηση σταματούν όταν η θερμοκρασία φτάσει στους 50°C. Όταν η θερμοκρασία πέσει στους 15°C, τα βακτήρια που παράγουν μεθάνιο γίνονται ανενεργά και στους 5°C περίπου τα αυτότροφα αζωτοποιητικά βακτήρια στην ουσία αναστέλλουν τη λειτουργία τους. Στους 2°C ακόμη και τα χημειοετερότροφα βακτήρια μετατρέπονται σε ανενεργά. (Metcalf & Eddy, 2006)

1.1.4 Πυκνότητα

Η πυκνότητα (ρ_w , kg/m^3) αποτελεί σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό των υγρών αποβλήτων λόγω του δυναμικού που υπάρχει για την δημιουργία ρευμάτων πυκνότητας στις δεξαμενές καθίζησης και σε άλλες μονάδες επεξεργασίας. Η πυκνότητα των οικιακών λυμάτων τα οποία δεν περιέχουν σημαντική ποσότητα βιομηχανικών λυμάτων, είναι ουσιαστικά η ίδια με αυτή του νερού, στην ίδια θερμοκρασία. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η ειδική βαρύτητα των λυμάτων S_w (ορίζεται ως $s_w = \rho_w/\rho_o$), όπου ρ_o = πυκνότητα του νερού), αντί της πυκνότητας τους ρ_w . Η πυκνότητα ρ_w καθώς και η ειδική βαρύτητα s_w των λυμάτων, εξαρτώνται από την θερμοκρασία και κυμαίνονται σε σχέση με την συγκέντρωση των ολικών στερεών στα απόβλητα. (Metcalf & Eddy, 1991)

1.1.5 Χρώμα

Ο όρος κατάσταση των λυμάτων, μαζί με αυτούς της σύνθεσης και της συγκέντρωσης, χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα λύματα από πλευράς ηλικίας τους. Ποιοτικά η ηλικία των λυμάτων ορίζεται από το χρώμα και την οσμή. Τα φρέσκα λύματα έχουν ανοιχτό καφέ – γκρι χρώμα. Καθώς αυξάνει ο χρόνος συλλογής των λυμάτων και επομένως σε αυτό το χρόνο αναπτύσσονται αναερόβιες συνθήκες, το χρώμα των λυμάτων αλλάζει σταδιακά από γκρι σε σκούρο γκρι και καταλήγει σε μαύρο. Όταν το χρώμα των λυμάτων είναι μαύρο, τότε αυτά αναφέρονται ως σηπτικά. Τα βιομηχανικά λύματα προσθέτουν χρώμα στα οικιακά απόβλητα. Στις περισσότερες περιπτώσεις το γκρι, το σκούρο γκρι και το μαύρο χρώμα των λυμάτων οφείλεται στο σχηματισμό μεταλλικών σουλφιδίων (θειούχων ενώσεων), που σχηματίζονται καθώς τα σουλφίδια που παράγονται κάτω από αναερόβιες συνθήκες αντιδρούν με τα μέταλλα που βρίσκονται στα λύματα. (Metcalf & Eddy, 1991)

1.1.6 Θολότητα

Η θολότητα (turbidity), ένα μέτρο της ικανότητας του νερού για εκπομπή φωτός, συνιστά μια άλλη ανάλυση που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ποιότητας των αποβλήτων και των φυσικών νερών και σχετίζεται κυρίως με τα κολλοειδή υλικά και τα υπολείμματα των αιωρούμενων υλικών. Η μέτρηση της θολότητας βασίζεται στη σύγκριση της έντασης του φωτός που υφίσταται διάχυση περνώντας διαμέσου ενός δείγματος, με το φως που υφίσταται διάχυση κατά τη διέλευση του από ένα πρότυπο αιώρημα, κάτω από τις ίδιες συνθήκες (Standard Methods, 1998).

Χρησιμοποιούνται συμβατικά αιωρήματα, όπως ορίζονται στις πρότυπες μεθόδους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θολότητας εκφράζονται σε μονάδες νεφελομετρικής θολότητας (NTU – Nephelometric Turbidity Unit). Τα κολλοειδή υλικά διαχέουν ή απορροφούν φως και έτσι εμποδίζουν τη μετάδοση του. Θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι η παρουσία αέριων φυσαλίδων στο υγρό μπορεί να προκαλέσει εσφαλμένες μετρήσεις θολότητας. Γενικά δεν υπάρχει σχέση μεταξύ της θολότητας και της συγκέντρωσης των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων σε ανεπεξέργαστα απόβλητα. Υπάρχει, ωστόσο, μια λογική σχέση μεταξύ της θολότητας και των ολικών αιωρούμενων εκροών που προέρχονται από δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος και έχουν διηθηθεί. (Metcalf & Eddy, 2006)

1.2 Χημικά Χαρακτηριστικά

Τα χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων μπορεί να διαχωριστούν σε :

- Οργανικό υλικό
- Ανόργανο υλικό

Η μέτρηση του οργανικού περιεχομένου μελετάται χωριστά από το οργανικό υλικό, λόγω της σημασίας της τόσο στο σχεδιασμό όσο και στη λειτουργία μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων και στη διαχείριση ποιότητας του νερού.

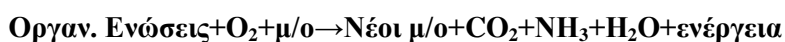
1.2.1 Οργανικό Υλικό

Τα οργανικά συστατικά αποτελούνται συνήθως από ένα συνδυασμό άνθρακα, υδρογόνου και οξυγόνου, μαζί με άζωτο σε ορισμένες περιπτώσεις. Το οργανικό υλικό των υγρών αποβλήτων αποτελείται κυρίως από πρωτεΐνες (40 – 60%), υδρογονάνθρακες (25 – 50%) και λίπη και έλαια (8 – 12%). Η ουρία, ένα βασικό χαρακτηριστικό των ούρων, είναι ένα άλλο σημαντικό οργανικό συστατικό που συμμετέχει στα υγρά απόβλητα. Επειδή η ουρία διασπάται γρήγορα, αυτή συναντάται σπάνια σε άλλα εκτός από φρέσκα υγρά απόβλητα. Επίσης τα υγρά απόβλητα εκτός από τις πρωτεΐνες, τους υδρογονάνθρακες, τα λίπη, τα έλαια και την ουρία, περιέχουν συνήθως και μικρές ποσότητες ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών συνθετικών οργανικών μορίων, με δομές που διαφέρουν από τις πολύ απλές μέχρι τις εξαιρετικά περίπλοκες. Όλα αυτά τα χρόνια, ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών αναλύσεων αναπτύχθηκε για την εύρεση του οργανικού περιεχομένου των υγρών αποβλήτων. Σε γενικές γραμμές, οι αναλύσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε εαυτές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση συσσωματωμένου οργανικού υλικού, το οποίο αποτελείται από οργανικά συστατικά με παρόμοια χαρακτηριστικά και τα οποία δε μπορούν να διαχωριστούν, και σε αυτές που χρησιμοποιούνται για τη ποσοτικοποίηση των μεμονωμένων οργανικών συστατικών. (Standard Methods, 1998)

Σε γενικές γραμμές, οι αναλύσεις που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση συσσωματωμένου οργανικού υλικού μπορούν να διαχωριστούν σε εκείνες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μεγάλων συγκεντρώσεων οργανικού υλικού, μεγαλύτερων του 1 mg/L, και σε εκείνες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση ελάχιστων συγκεντρώσεων στη κλίμακα από 10^{-12} έως 10^0 mg/L. Οι εργαστηριακές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κυρίως σήμερα για τη μέτρηση μεγάλων ποσοτήτων οργανικού υλικού (τυπικά μεγαλύτερο από 1 mg/L) στα υγρά απόβλητα, περιλαμβάνουν

1. Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων από μικροοργανισμούς (μ/ο) σε αερόβιες συνθήκες. Η οξείδωση αυτή δίνεται παραστατικά από την αντίδραση



Η διαδικασία αυτή είναι σχετικά αργή και ολοκληρώνεται πρακτικά (οξείδωση σε τελικά προϊόντα 95 – 99%) σε 20 ημέρες, οπότε το προσδιοριζόμενο απαιτούμενο οξυγόνο καλείται τελικό BOD (BOD_L).

Στη συνηθισμένη πρακτική έχει επικρατήσει ο προσδιορισμός του BOD στις 5 ημέρες (BOD₅), στις οποίες οξειδώνονται οι απλές οργανικές ουσίες που αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό 60 – 70% των συνολικών οργανικών ουσιών. Τα απόβλητα περιέχουν και οργανικά αμμωνιακά συστατικά που οξειδώνονται σε νιτρώδη και νιτρικά από ειδικά νιτροποιητικά βακτηρίδια με σχετικά αργό ρυθμό. Η οξείδωση αυτή (νιτροποίηση) αρχίζει να γίνεται σημαντική μετά από 8 – 12 ημέρες, όταν τα νιτροποιητικά βακτηρίδια έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλους σχετικά αριθμούς. Το BOD που εκφράζει τη ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την αερόβια βιολογική οξείδωση των αμμωνιακών οργανικών συστατικών λέγεται BOD δευτέρου σταδίου. Ο πειραματικός προσδιορισμός του BOD γίνεται με τη τοποθέτηση δείγματος αποβλήτων σε φιάλες μέσα σε ειδική συσκευή, σε κατάλληλες συνθήκες και τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου που καταναλώνεται σε ορισμένα χρονικά διαστήματα. Με τη μέτρηση του BOD σε διάφορα χρονικά διαστήματα είναι δυνατός ο προσδιορισμός του ρυθμού κατανάλωσης των οργανικών ουσιών, αλλά και του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς, κάτι που δεν μπορεί να γίνει με τις άλλες παραμέτρους μέτρησης των οργανικών συστατικών των αποβλήτων. (Στάμου, 2004)

Μετά την επώαση, το διαλυμένο οξυγόνο του δείγματος μετράται και το BOD υπολογίζεται από την εξίσωση

Όταν το νερό διάλυσης δεν είναι εμβολιασμένο:

$$\text{BOD, mg/L} = D_1 - D_2 / P$$

Όταν το νερό διάλυσης είναι εμβολιασμένο

$$\text{BOD, mg/L} = (D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) * f / P$$

Όπου D₁ = διαλυμένο οξυγόνο του δείγματος αμέσως μετά τη προετοιμασία, mg/L

D₂ = διαλυμένο οξυγόνο του δείγματος αμέσως μετά από επώαση 5 ημερών, mg/L

B₁ = διαλυμένο οξυγόνο του εμβολίου πριν την επώαση, mg/L

B₂ = διαλυμένο οξυγόνο του εμβολίου μετά την επώαση, mg/L

f = κλάσμα όγκου του εμβολιασμένου νερού διάλυσης στο δείγμα προ του όγκου του εμβολιασμένου νερού διάλυσης στο πρότυπο διάλυμα

P = κλάσμα όγκου του δείγματος αποβλήτων προς το συνολικό όγκο

(Metcalf & Eddy, 2006)

2. Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD)

Το COD παριστά την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων, οι οποίες περιέχονται στα νερά. Η οξείδωση γίνεται με διχρωμικό κάλιο σε όξινο περιβάλλον και τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg O₂/L νερού. Το προσδιοριζόμενο δείγμα νερού δε πρέπει να περιέχει περισσότερο από 2 gr/L χλωριούχων ιόντων, επειδή οξειδώνονται σε χλώριο και καταναλώνουν διχρωμικό κάλιο. Υπάρχουν ακόμη ορισμένες οργανικές ενώσεις που, ενώ επιβαρύνουν βιολογικά το νερό, δε προσδιορίζονται με τη μέθοδο αυτή (πχ. το οξικό οξύ) ενώ άλλες που επιβαρύνουν βιολογικά το νερό συμπροσδιορίζονται (πχ. η κυτταρίνη). Με τη προσθήκη καταλύτου Ag₂SO₄, η πρώτη κατηγορία αντιδρά αποτελεσματικά. Η οξείδωση των οργανικών ενώσεων είναι δεκτό να γίνει και με υπερμαγγανικό κάλιο. Στη περίπτωση αυτή το COD είναι γνωστό σαν τιμή υπερμαγγανικού.

Οι τιμές COD έχουν ιδιαίτερη αξία για απόβλητα που περιέχουν τοξικές ουσίες, έτσι ώστε δεν είναι δυνατό να προσδιορισθεί το BOD επειδή νεκρώνονται οι μικροοργανισμοί. Έτσι μόνο με το COD ή το προσδιορισμό του ολικού άνθρακα, μπορεί να προσδιορισθεί η ολική φόρτιση σε οργανικές ενώσεις ενός τοξικού απόβλητου. (Φυτιανός κα., 2009)

3. Τον ολικό οργανικό άνθρακα (Total Organic Carbon, TOC)

Έκτος από το οξυγόνο χρησιμοποιείται και ο άνθρακας σαν μέτρο των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου, επειδή είναι το κύριο συστατικό τους και η βασική πηγή απαίτησης οξυγόνου. Ο άνθρακας εκφράζεται με τις παραμέτρους TOC και ThOC (είναι το αντίστοιχο του ThOD αλλά με βάση τον άνθρακα). Το TOC βασίζεται στη μέτρηση του CO₂ που παράγεται κατά τη πλήρη οξείδωση του άνθρακα των οργανικών ουσιών σε υψηλή θερμοκρασία και με παρουσία καταλύτη. Η μέτρηση του TOC γίνεται σε ειδική συσκευή σε λιγότερο από 10 λεπτά, και δεν είναι δυνατό να προσδιορίσει τις βιολογικά διασπάσιμες ουσίες. Λόγω της πολύπλοκης σύνθεσης των αποβλήτων δεν υπάρχει μια γενική σχέση μεταξύ των διάφορων παραμέτρων μέτρησης των οργανικών ουσιών τους. Σχέσεις που αναφέρονται για ανεπεξέργαστα αστικά απόβλητα είναι BOD₅/COD = 0.4 – 0.8 και BOD₅/TOC = 1 – 1.6 και για απόβλητα μετά από πρωτοβάθμια καθίζηση BOD₅/COD = 0.4 – 0.55 και BOD₅/TOC = 0.9 – 1.1 (Στάμου κα, 1994)

Ως συμπλήρωμα των παραπάνω αναλύσεων χρησιμοποιείται και το θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο (Theoretical Oxygen Demand, ThOD), το οποίο ορίζεται με βάση το χημικό τύπο του οργανικού υλικού. (Metcalf & Eddy, 2004)

1.2.2 Ανόργανο Υλικό

Τα ανόργανα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων συνοψίζουμε στα εξής

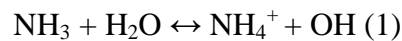
a. **pH**: Το pH είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των αποβλήτων, από το οποίο εξαρτάται ένα πλήθος φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών που γίνονται στο υδάτινο περιβάλλον. Οι αυξομειώσεις του μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις διεργασίες αυτές δημιουργώντας ανεπιθύμητες καταστάσεις. Το pH επηρεάζει σχεδόν όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας (χημική και βιολογική επεξεργασία, απολύμανση, επεξεργασία λάσπης κτλ.) και μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα φθοράς (διάβρωσης) σε αγωγούς, μηχανολογικό εξοπλισμό κλπ. Επειδή πολλές διαδικασίες απαιτούν ορισμένες τιμές pH για τη βέλτιστη απόδοση τους κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος του τόσο στο σχεδιασμό όσο και για την ομαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. (Στάμου κα, 1994)

b. **Χλωριούχα** : Περιέχονται στα αστικά απόβλητα από το πόσιμο νερό και τα ανθρώπινα απόβλητα (περίπου 6 gr/κατ), αλλά και σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα. Η διοχέτευσή τους σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί στην ένωση τους με ορισμένα οργανικά συστατικά. Το προϊόν της αντίδρασης αυτής είναι τοξικές ενώσεις που έχουν μακροπρόθεσμα αρνητικά αποτελέσματα στη ποιότητα των νερών του φορέα. Η παρουσία τους σε μεγάλες συγκεντρώσεις, και όταν το νερό του φορέα χρησιμοποιείται για ύδρευση, δίνει στο νερό υφάλμυρη γεύση. Στις διαδικασίες επεξεργασίας η κύρια επίδραση της παρουσίας των χλωριούχων στα απόβλητα είναι η μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου. Επίσης επηρεάζουν το προσδιορισμό του COD. (Standard Method, 1980)

c. **Αλκαλικότητα** : Η αλκαλικότητα των υγρών αποβλήτων οφείλεται στη παρουσία υδροξειδίων [OH], ανθρακικών ιόντων [CO₃²⁻], και όξινων ανθρακικών ιόντων [HCO₃⁻] στοιχείων όπως το ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο, ή αμμωνίας. Από αυτά, το όξινο ανθρακικό ασβέστιο και το όξινο ανθρακικό μαγνήσιο είναι τα πιο κοινά. Τα άλατα του βορικού οξέος, του πυριτικού οξέος και τα φωσφορικά συνεισφέρουν επίσης στην αλκαλικότητα. Η αλκαλικότητα στα υγρά απόβλητα συνεισφέρει στην αντίσταση ενάντια στις αλλαγές του pH που προκαλούνται από τη προσθήκη οξέων. Τα υγρά απόβλητα είναι συνήθως αλκαλικά, αποκτώντας αυτή την αλκαλικότητα τους από το πόσιμο νερό, το υπόγειο νερό και τα υλικά που προστίθενται λόγω οικιακής

χρήσης. Η γνώση της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων είναι σημαντική, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν χημικές και βιολογικές διεργασίες επεξεργασίας, στη βιολογική απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών και στις περιπτώσεις όπου η αμμωνία απομακρύνεται με αερισμό. (Metcalf & Eddy, 1991)

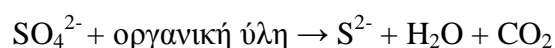
d. **Το άζωτο** : σημαντικό γιατί απαιτείται για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Περίσσεια αζώτου οδηγεί σε ανάπτυξη φυκών (ευτροφισμός), ενώ έλλειψη αζώτου οδηγεί σε ακατάλληλο νερό για την ανάπτυξη μικροβίων (βιολογικός καθαρισμός). Το άζωτο, κυρίως βρίσκεται σε αστικά υγρά απόβλητα υπό την μορφή αμμωνίας η οποία βρίσκεται σε ισορροπία με ιόντα αμμωνίου σύμφωνα με την αντίδραση :



Για $\text{pH} > 7$ (αλκαλικό διάλυμα) η ισορροπία στην (1) μετατοπίζεται προς τα αριστερά. Η μέτρηση γίνεται με βρασμό μετά από αύξηση του pH και φασματοσκοπική μέτρηση της αμμωνίας που περιέχεται στο απεσταγμένο νερό. Εκτός από αμμωνία, τα απόβλητα περιλαμβάνουν και οργανικό άζωτο που προσδιορίζεται με τη μέθοδο Kjeldahl (TKN). Τα οργανικό άζωτο μετατρέπεται αργά σε αμμωνία. Τέλος, το άζωτο βρίσκεται σε ιόντα NO_2^- (τυπικά σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1 mg/l μιας και γρήγορα οξειδώνονται σε νιτρικά) και NO_3^- τα οποία σε συγκεντρώσεις άνω των 45 mg/l είναι επικίνδυνα για την υγεία. (Λυμπεράτος, 2004)

e. **Φώσφορος** : Ο φώσφορος είναι και αυτός απαραίτητος για την ανάπτυξη των φυκών και άλλων βιολογικών οργανισμών. Εξαιτίας της ανάπτυξης των φυκών, η οποία θεωρείται επιβλαβής για τα επιφανειακά νερά, εμφανίζεται σήμερα μεγάλο ενδιαφέρον σχετικά με τον έλεγχο της ποσότητας του φωσφόρου που εισέρχεται σε επιφανειακά νερά από εκροές οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων και από τις φυσικές απορροές. Τα οικιακά υγρά απόβλητα, για παράδειγμα, μπορεί να περιέχουν από 4 έως 16 mg/L φωσφόρου. Οι συνήθειες μορφές του φωσφόρου που συναντώνται σε υδατικά διαλύματα περιλαμβάνουν τα ορθοφωσφορικά, τα πολυφωσφορικά και τα οργανικά φωσφορικά. (Metcalf & Eddy, 2006)

f. **Θείο** : Το θείο είναι βασικό συστατικό των ζώντων οργανισμών και βρίσκεται στα αστικά απόβλητα σε διάφορες μορφές. Η σημαντικότερη από τις ενώσεις του θείου είναι τα θειϊκά, γιατί η παρουσία τους στα απόβλητα δημιουργεί προβλήματα που οφείλονται στο σχηματισμό υδρόθειου και θειϊκού οξέος. Σε αναερόβιες συνθήκες τα θειϊκά ανάγονται σε θειούχα και στη συνέχεια σε υδρόθειο και θειϊκό οξύ από ειδικά βακτηρίδια



Βασικό πρόβλημα που δημιουργεί η παρουσία του υδρόθειου είναι η έκλυση δυσάρεστων οσμών που είναι δυνατόν να συμβεί στο αποχετευτικό δίκτυο και

στις ΕΕΑΑ. Όταν στη μάζα των αποβλήτων περιέχεται σίδηρος, αυτός ενώνεται με το υδρόθειο σχηματίζοντας θειούχο σίδηρο, που δίνει ένα μαύρο χρώμα στα απόβλητα και στη παραγόμενη λάσπη. Το κύριο πρόβλημα της παρουσίας του θειϊκού οξέος είναι η διάβρωση που προκαλεί στους αγωγούς αποχέτευσης. (Στάμου, 2004)

γ. **Βαρέα Μέταλλα** : Περιέχονται κυρίως στα βιομηχανικά απόβλητα αλλά και στα αστικά (πόσιμο νερό). Διάφορα ιόντα όπως των στοιχείων Cu, Pb, Cr, As, Bo, Ag, Ni, Mn, Cd, Zn, Fe, Hg πάνω από ορισμένες συγκεντρώσεις είναι τοξικά για διάφορους οργανισμούς, όπως ακριβώς και διάφορες οργανικές ενώσεις που περιέχονται σε εντομοκτόνα, φυτοφάρμακα κ.λπ. Σημειώνεται πάντως ότι πολλά από τα παραπάνω ιόντα σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις όχι μόνο δεν είναι τοξικά, αλλά είναι και απαραίτητα για τη ζωή σημαντικών ειδών μικροοργανισμών. Η διοχέτευση τοξικών ουσιών σε ένα οικοσύστημα, είτε αυτό είναι ένας υδάτινος φορέας είτε κάποια βιολογική διεργασία επεξεργασίας, επιφέρει το θάνατο πολλών οργανισμών με τις ανάλογες συνέπειες. (Στάμου κα, 1994)

1.3 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΟΣ

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν διάφορους μικροοργανισμούς, ορισμένοι εκ των οποίων μπορεί να είναι παθογόνοι. Η απόρριψη των αποβλήτων από δημοτικές αποχετεύσεις είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα της ποιότητας του νερού σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα δημοτικά λύματα περιέχουν ανθρώπινα περιττώματα, το νερό είναι μολυσμένο από αυτά τα λύματα που μπορεί να περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς, και κατά συνέπεια είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. Η κοπρανώδους μόλυνση του νερού εντοπίζεται από μικροβιολογική ανάλυση. Η προσέγγιση που έχει υιοθετηθεί είναι η ανάλυση των οργανισμών – δεικτών που βρίσκονται στο έντερο σε μεγάλους αριθμούς και απεκκρίνονται από τα ανθρώπινα κόπρανα. Η παρουσία αυτών των οργανισμών – δεικτών στο νερό είναι απόδειξη κοπρανώδους μόλυνσης και, ως εκ τούτου κίνδυνο από τα παρόντα παθογόνα. Αν οι οργανισμοί – δείκτες είναι παρόντες σε μεγάλους αριθμούς η μόλυνση θεωρείται πρόσφατη και\ ή σοβαρή. Τα περισσότερα βακτήρια που μεταδίδονται από το νερό μολύνουν το γαστρεντερικό σωλήνα και αποβάλλονται με τα κόπρανα των μολυσμένων ανθρώπων και άλλων ζώων. Εντούτοις, υπάρχουν μερικά παθογόνα βακτήρια, όπως η *Legionella*, *Burkholderia pseudomallei* και άτυπα μυκοβακτήρια, που μπορούν να αναπτυχθούν στο νερό και στο έδαφος. Η μετάδοση των ασθενειών μπορεί να αποδοθεί σε ελλιπή επεξεργασία των αποθεμάτων νερού, αποτυχία σε λειτουργία και εποπτεία ή ελλείψεις στην παρακολούθηση της ποιότητας. Στην πραγματικότητα αυτό μπορεί θεωρητικά να υποστηριχτεί ότι όλες οι μεταδιδόμενες ασθένειες που προέρχονται από το νερό μπορούν να προληφθούν με την κατάλληλη παρακολούθηση και διορθωτικά μέτρα που έχουν ληφθεί στο σωστό χρόνο. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι μπορούμε να

περιμένουμε να δούμε την πρακτική ασφαλείας σε περίπτωση βλάβης ή την εξάλειψη της ανθρώπινης αποτυχίας ή σφάλμα στην εποπτεία και στην λειτουργία των συστημάτων επεξεργασίας, η κατάλληλη παρακολούθηση της μικροβιολογικής ποιότητας θα παραμείνει ένα απαραίτητο στοιχείο των στρατηγικών ελέγχου των ασθενειών που μεταδίδονται από το νερό. Η τακτική επιθεώρηση της υγιεινής των φυσικών πηγών νερού, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας και τα δίκτυα διανομής είναι ένα σημαντικό στοιχείο των προγραμμάτων παρακολούθησης της ποιότητας, και είναι ιδιαίτερα σημαντικό όσον αφορά τους παθογόνους οργανισμούς, όπως οι ιοί και τα πρωτόζωα που δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμα στο νερό.

1.3.1 Παθογόνα και παράσιτα που βρίσκονται στα απόβλητα

Διάφοροι παθογόνοι μικροοργανισμοί και παράσιτα συνήθως βρίσκονται στα οικιακά απόβλητα όπως στις εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων. Οι τρεις κατηγορίες των παθογόνων που συναντάμε στο περιβάλλον είναι: (Leclerc et al., 2002)

- Παθογόνα βακτήρια: Μερικά από αυτά τα παθογόνα (πχ. *Salmonella*, *Shigella*) είναι εντερικά βακτήρια. Άλλα (πχ. *Legionella*, *Mycobacterium avium*, *Aeromonas*) είναι υδάτινα βακτήρια
- Παθογόνοι ιοί: Υπάρχουν και αυτοί μέσα σε υδάτινα περιβάλλοντα αλλά είναι ανίκανοι να πολλαπλασιαστούν εκτός των ξενιστών. Η μολυσματική τους δόση, γενικά είναι κατώτερη από αυτή των παθογόνων βακτηρίων.
- Πρωτόζωα: Αυτά απελευθερώνονται σε υδάτινα περιβάλλοντα σαν κύστες ή ωοκύστες, τα οποία είναι αρκετά ανθεκτικά στο περιβαλλοντικό στρες και στην απολύμανση, και δεν πολλαπλασιάζονται εκτός των ξενιστών τους.

1.3.2 Παθογόνα βακτήρια

Η περιττωματική ύλη περιέχει πάνω από 10^{12} βακτήρια ανά γραμμάριο. Το βακτηριακό περιεχόμενο των κοπράνων αντιπροσωπεύει το 9% του υγρού βάρους. (Dean & Lund, 1981)

16S r-RNA ομάδων στοχευόντων γονιδίων, χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύσουν και να ταυτοποιήσουν τα υπερέχοντα βακτήρια στα ανθρώπινα κόπρανα. Από τα 300 βακτήρια που απομονώνονται στα κόπρανα από 6 υγιή

άτομα, 74% ανήκουν στο *Bacteroides fragilis* γκρουπ, *Bifidobacterium*, *Clostridium coccooides* γκρουπ, και *Prevotella*. (Matsuki et al., 2002)

Τα βακτήρια χαρακτηρίζονται και ανήκουν στα παρακάτω γκρουπ:

- Gram – αρνητικά αναερόβια βακτήρια: πχ. *Aeromonas*, *Plesiomonas*, *Vibrio*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* και *Shigella*
- Gram – αρνητικά αερόβια βακτήρια: πχ. *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*
- Gram – θετικά σπορογόνα βακτήρια: πχ. *Bacillus spp*
- Gram – θετικά μη σπορογόνα βακτήρια: πχ. *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Rhodococcus*

1.3.2.1 *Salmonella*

Η *Salmonella* ανήκει στα enterobacteriaceae και είναι ευρέως διαδεδομένη στο περιβάλλον και περιλαμβάνουν περισσότερους από 2000 ορότυπους. Το εύρος του αριθμού της *Salmonella* που βρίσκεται στα απόβλητα κυμαίνεται από 8000 οργανισμοί / 100 ml, είναι τα κυρίως υπερέχοντα βακτήρια στα απόβλητα, και προκαλούν τυφοειδή και παρατυφοειδή πυρετό, και γαστρεντερίτιδα. Ο αριθμός της *Salmonellas* στις Ηνωμένες Πολιτείες κυμαίνεται από $10^2 - 10^4$ οργανισμοί/ 100 ml, αλλά πιο υψηλές συγκεντρώσεις έχουν αναφερθεί (πάνω από 10^9 /100 ml) σε αναπτυσσόμενες χώρες. (Jimenez & Chavez, 2000)

1.3.2.2 *Shigella*

Η *Shigella* είναι ο κύριος παράγοντας δυσεντερίας ή συγκέλωσης, μια μόλυνση του παχέως εντέρου η οποία οδηγεί σε κράμπες, διάρροια και πυρετό. Αυτή η αρρώστια επιφέρει αίμα στα κόπρανα σαν αποτέλεσμα ερεθισμού και τραυματισμού του εντερικού σωλήνα. Παγκοσμίως, αυτό το παθογόνο είναι υπεύθυνο για περίπου 1 εκατομμύριο θανάτους και 163 εκατομμύρια περιπτώσεις δυσεντερίας ετησίως, με το 99% των περιπτώσεων να σημειώνονται σε αναπτυσσόμενες χώρες. (Torres, 2002). Το παθογόνο αυτό μεταδίδεται σε απευθείας μετάδοση από μολυσμένο άτομο, το οποίο μπορεί να αποβάλλει πάνω από 10^9 οργανισμούς ανά γραμμάριο κοπράνων. Η μολυσματική δόση είναι σχετικά μικρή και μπορεί να είναι κάτω από 10 οργανισμούς. Ωστόσο η επαφή άτομο με άτομο είναι ο κύριος τρόπος μετάδοσης του παθογόνου, τροφιμογενείς (μέσω σαλάτας, ωμών λαχανικών) και υδατογενείς μεταδόσεις έχουν επίσης αναφερθεί. Δεν υπάρχει διαθέσιμο εμβόλιο έναντι της *Shigella*.

1.3.2.3 *Vibrio cholerae*

Το *Vibrio cholera* είναι ένα gram-αρνητικό καμπυλωτό, ραβδωτό βακτήριο το οποίο είναι αυτόχθον μέλος της υδατικής μικροβιακής κοινότητας. Το βακτήριο αυτό είναι ο κύριος παράγοντας της χολέρας. Το 1854 ο John Snow πρώτος απέδειξε ότι το μολυσμένο πόσιμο νερό ήταν η αιτία της χολέρας. Το παθογόνο αυτό απελευθερώνει μια εντεροτοξίνη η οποία προκαλεί ήπια προς βαριά διάρροια, εμετό και ταχεία απώλεια υγρών το οποίο μπορεί να είναι αποτέλεσμα θανάτου σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Μολυσματική δόση *V.cholera* είναι ανάμεσα 10^4 και 10^6 κύτταρα. Ανάμεσα από 200 γνωστά ορογκρούπ μόνο δυο (O1 και O139) είναι γνωστά ότι προκαλούν την αρρώστια και μπορούν να ανιχνευθούν χρησιμοποιώντας δοκιμαστικό ορό συγκόλλησης ή μονόκλωνα αντισώματα. (Huk et al., 2002)

Αυτό το παθογόνο βρέθηκε σε απόβλητα και σε επίπεδα $10-10^4$ οργανισμοί/ανά 100 ml κατά τη διάρκεια επιδημίας χολέρας η οποία είχε αναφερθεί. (Kott and Betzer, 1972)

1.3.2.4 *Escherichia Coli*

Αρκετά στελέχη του *E.coli*, τα περισσότερα από τα οποία είναι άκακα βρίσκονται στον γαστρεντερικό σωλήνα των ανθρώπων και στα ζώα. Υπάρχουν μερικές κατηγορίες των στελεχών των *E.coli*, ωστόσο, τα οποία είναι παράγοντες που προκαλούν διάρροια. Αυτά είναι το εντεροτοξικό (*ETEC*), εντεροπαθογονικό (*EPEC*), εντεροαιμοραγικό (*EHEC*), εντεροεπιδρομικό (*EIEC*), εντεροεπιθετικό (*EAggEC*), είναι τύποι του *E.coli* (Guerrant and Thielman, 1995; Levine, 1987).

Το εντεροτοξικό *E.coli* προκαλεί γαστρεντερίτιδα με υδαρής διάρροια συνοδευόμενη από ναυτία, υπογαστρικές κράμπες και εμετό. Περίπου 2-8% του *E.coli* το οποίο είναι παρών στο νερό, βρίσκεται το εντεροπαθογονικό *E.coli*, το οποίο προκαλεί τη διάρροια του ταξιδιώτη. Η τροφή και το νερό είναι σημαντικά στη μετάδοση αυτού του παθογόνου. Ωστόσο, η μολυσματική δόση για αυτό το παθογόνο είναι σχετικά υψηλή, εύρους 10^6-10^9 οργανισμούς.

1.3.2.5 *Yersinia*

Η *Yersinia enterocolitica* είναι υπεύθυνη για οξεία διάρροια με εισβολή τελικής μορφής ειλεού. Τα γουρούνια είναι τα κύρια ζωικά υπόδοχα αλλά πολλά οικόσιτα και άγρια ζώα μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως υπόδοχα για αυτό το παθογόνο. Ο ρόλος του στο νερό είναι άγνωστος αλλά υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες αυτό το παθογόνο ήταν ύποπτο αιτίας μετάδοσης υδατογενής γαστρεντερίτιδας. (Schiemann, 1990)

1.3.2.6 *Campylobacter*

Αυτό το παθογόνο (π.χ., *Campylobacter fetus* και *Campylobacter jejuni*) είναι γνωστό ότι μολύνει ανθρώπους, άγρια και οικόσιτα ζώα. Βρίσκεται παντού σε οικιακά απόβλητα και σε εκροές από εγκαταστάσεις σφαγείων πουλερικών. Η σχετικά χαμηλή μολυσματική δόση περίπου 500 οργανισμοί (για *C.jejuni*) είναι η πρώτη αιτία τροφιμογενών μολύνσεων με περίπου 4,000,000 *C.jejuni* μολύνσεις ανά χρόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το *Campylobacter* είναι η συχνότερη αιτία διάρροιας στις Ηνωμένες Πολιτείες και Ηνωμένο Βασίλειο. (Schwartzbrod et al., 2002). Αυτές οι μολύνσεις μπορούν να οδηγήσουν στο σύνδρομο Guillain - Barre σε 1 από 1000 ασθενείς, το οποίο είναι μια οξεία παραλυτική ασθένεια. (Altekruse et al., 1997)

Επίσης είναι κοινή αιτία οξείας γαστρεντερίτιδας (πυρετός, ναυτία, υπογαστρικοί πόνοι, αιματηρή διάρροια, εμετός) και μεταδίδεται στους ανθρώπους από μολυσμένα τρόφιμα, κυρίως από μη μαγειρεμένο κοτόπουλο, μη παστεριωμένο γάλα, μολυσμένο πόσιμο νερό, και νερό πηγές βουνών. (Mentzing, 1981; Palmer et al., 1983; Taylor et al., 1983)

Το *Campylobacter* έχει ανιχνευθεί σε επιφανειακά νερά, απόβλητα, αλλά κανένας δεν έχει επιβιώσει από χωνευμένη λάσπη. (Andrin & Schwartzbrod, 1992; Stathopoulos & Vagionas – Arvanitidou, 1990; Stelzer, 1990)

1.3.3 Παθογόνοι ιοί

Το νερό και τα απόβλητα μπορούν να μολυνθούν από περίπου 140 είδη εντερικών ιών. Αυτοί οι ιοί εισέρχονται στο ανθρώπινο σώμα μέσω της στοματικής οδού, πολλαπλασιάζονται στο γαστρεντερικό σωλήνα και αποβάλλονται σε μεγάλους αριθμούς στα κόπρανα των μολυσμένων ατόμων. Πολλοί από τους εντερικούς ιούς προκαλούν μη εμφανείς μολύνσεις που είναι δύσκολο να ανιχνευτούν. Είναι υπεύθυνοι για ένα ευρύ φάσμα από αρρώστιες όπως πυρετός, δερματικά εξανθήματα, αναπνευστικές μολύνσεις και συνδέονται με γαστρεντερίτιδα και παράλυση. Η παρουσία ιών στα απόβλητα της κοινωνίας αντανάκλα τις μολύνσεις από ιούς ανάμεσα στο πληθυσμό. Οι εντερικοί ιοί είναι παρών σε σχετικά μικρούς αριθμούς στο νερό και στα λύματα. Ωστόσο, περιβαλλοντικά δείγματα από 10 – 1000 λίτρα πρέπει να συγκεντρώνονται ως κανόνας για την ανίχνευση αυτών των παθογόνων.

1.3.3.1 *Hepatitis*

Ο ιός της *Hepatitis A* προκαλεί ζημιά στο συκώτι, με ερεθισμό και νέκρωση.

Μετά την αρχική μόλυνση, η περίοδος επώασης μπορεί να διαρκέσει πάνω από 6 εβδομάδες. Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά συμπτώματα είναι ο ίκτερος. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, περίπου 140000 άτομα ετησίως προσβάλλονται από *HAV*. (Berge et al., 2000)

Η Hepatitis A μεταδίδεται μέσω της κοπρανοστοματικής οδού είτε από απευθείας άτομο σε άτομο, υδατογενώς ή τροφιμογενώς. (Jehl – Pietri, 1992; Myint et al., 2002). Η συγκέντρωση *HAV* στα κόπρανα μπορεί να φτάσει 10^7 έως 10^9 γραμμάρια.

1.3.3.2 Ίικη γαστρεντερίτιδα

Η γαστρεντερίτιδα προφανώς είναι η πιο κύρια υδατογενής αρρώστια. Προκαλείται από πρωτόζωα και από βακτηριακά και ιικά παθογόνα (πχ. *Rotaviruses*, *Norwalk – like viruses*, *Adenoviruses*, *Astroviruses*). (Williams & Akin, 1986)

1.3.4 Πρωτόζωα

Τα περισσότερα από τα πρωτόζωα παράγουν κύστες, οι οποίες είναι ικανές να επιζήσουν έξω από τους ξενιστές τους και κάτω από δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες. Η εγκύστωση ενεργοποιείται από παράγοντες όπως έλλειψη θρεπτικών, συσσώρευση τοξικών μεταβολιτών, ή να περιμένει ανοσολογική ανταπόκριση του ξενιστή. Κάτω από κατάλληλες συνθήκες, ένας νέος τροφοζώιτης απελευθερώνεται από την κύστη. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται απεκύστωση. (Rubin et al., 1983)

1.3.4.1 *Giardia*

Αυτό το μαστιγοφόρο πρωτόζωο παράσιτο, ο τροφοζώιτης του έχει σχήμα αχλαδιού (9-21 μm μήκος) και ο ωοειδής κύστη φάση (8-12 μm μήκος και 7-10 μm πλάτος). Ένα μολυσμένο άτομο μπορεί να αποβάλει πάνω από $1-5 \times 10^6$ ανά γραμμάριο κοπράνων (Jakubowski and Hoff, 1979; Lin, 1985). Τα οικιακά απόβλητα είναι σημαντική πηγή της *Giardia*, και άγρια και οικόσιτα ζώα δρύνε ως σημαντικά υπόδοχα για τις *Giardia* κύστες. Αυτό το παράσιτο είναι ενδημικό σε ορεινές περιοχές στις Ηνωμένες Πολιτείες και μολύνει ανθρώπους και οικόσιτα και άγρια ζώα (π.χ. κάστορες, μοσχοπόντικες, σκύλοι, γάτες). Η μόλυνση προκαλείται από κατάποση των κυστών που βρίσκονται στο νερό. Περνάνε μέσο του στομαχιού και απελευθερώνουν τους τροφοζώιτες, τα οποία επιτίθενται στα επιθηλιακά κύτταρα στο άνω μέρος του λεπτού εντέρου και αναπαράγονται μέσο δυαδικής σχάσης. Στους ανθρώπους οι μολύνσεις μπορεί

να διαρκέσουν μήνες έως χρόνια. Η *Giardia* έχει περίοδο επώασης 1-8 εβδομάδες και προκαλεί διάρροια, υπογαστρικούς πόνους, ναυτία, κόπωση και απώλεια βάρους. Ωστόσο, giardiasis είναι σπανίως θανατηφόρα. Επιπλέον ο συνήθης τρόπος μετάδοσης είναι από άνθρωπο σε άνθρωπο ή από τρόφιμα, η *Giardia* αναγνωρίζεται έως ένας από τους πιο σημαντικούς αιτιολογικούς παράγοντες για κρούσματα υδατογενών επιδημιών . (Craun, 1979; 1984 b)

1.3.4.2 *Cryptosporidium*

Αυτό κοκκώδες πρωτόζωο παράσιτο πρώτη φορά περιγράφηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Είναι γνωστό ότι μολύνει κυρίως ζωικά είδη (μοσχάρια, αρνιά, κοτόπουλα, γαλοπούλες, ποντίκια, γουρούνια, σκύλους, γάτες), αλλά μόλυνση σε ανθρώπους έχει αναφερθεί μόνο κατά την διάρκεια του 1970 σε ένα ανοσοεπαρκές παιδί. Το *Cryptosporidium parvum* είναι από τα πιο κύρια είδη που ευθύνονται για μολύνσεις σε ανθρώπους και ζώα (Adal et al., 1995; Current, 1987; Rose, 1990). Η μολυσματική φάση αυτού του πρωτόζωου αποτελείται από μια ωοκύστη από παχιά τοιχώματα (5-6 μm σε μέγεθος) οι οποία έχει άριστη αντοχή κάτω από δυσμενής συνθήκες. Ένα μολυσμένο άτομο μπορεί να αποβάλλει πάνω από 10⁹ ωοκύστες την ημέρα. Μετά από κατάποση από ικανό ξενιστή οι ωοκύστες υφίστανται απεκύστωση και απελευθερώνουν μολυσματικούς σποροζωίτες, οι οποίοι παρασιτούν κυρίως στα επιθηλιακά κύτταρα του γαστρεντερικού σωλήνα του ξενιστή. Μοντέλα ζώων έδειξαν ότι 1-10 ωοκύστες μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση (Kwa et al., 1993; Miller et al., 1986; Rose, 1988), ενώ μια μελέτη με 29 υγιής εθελοντές έδειξε μια κατώτατη μολυσματική δόση 30 ωοκύστες και μια μέση μολυσματική δόση από 132 ωοκύστες *C.parvum*. (DuPont et al., 1995) Το παράσιτο προκαλεί υδαρής διάρροια η οποία τυπικά διαρκεί 10-14 ημέρες σε ανοσοεπαρκής ξενιστές και συχνά σχετίζεται με απώλεια βάρους και μερικές φορές εμετό και δέκατα. (Current, 1988) Φαρμακευτική αγωγή για τον έλεγχο αυτού του παρασίτου δεν είναι διαθέσιμη ακόμη.

1.3.4.3 *Helminth*

Παρόλο που η ελμίνθες δεν έχουν μελετηθεί από μικροβιολόγους η παρουσία της στα απόβλητα, μαζί με βακτήρια ιούς και πρωτόζωα, παρόλο αυτά χρειάζεται μεγάλη προσοχή στην ανθρώπινη υγεία. Υπολογίζεται περίπου ότι του 69% του κινέζικου πληθυσμού έχει μολυνθεί με ένα ή περισσότερα παράσιτα, ειδικά με τα *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, και παράσιτα του εντέρου, *Ancylostoma duodenale* και *Necator americanus*. Οι περισσότερες από αυτές τις μολύνσεις έχουν τροφιμογενής προέλευση. (Hotez et al., 1997; Xu et al., 1995)

Τα αυγά αυτά έχουν μεγάλη αντοχή στο περιβαλλοντικό στρες και στη χλωρίωση από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. (Little, 1986) Η συγκέντρωση των αυγών σε ανεπεξέργαστα απόβλητα από το Μαρακές του Μαρόκου ποικίλουν ανάμεσα από 0-120 αυγά ανά λίτρο, με μια ετήσια μέση τιμή των 32 αυγών ανά λίτρο. (Mandi et al., 1992)

1.3.5 Οργανισμοί – δείκτες

Επειδή είναι πρακτικά αδύνατο να ελεγχθεί το νερό για κάθε μια περίπτωση από την μεγάλη ποικιλία παθογόνων που μπορεί να υπάρχουν, η μικροβιολογική παρακολούθηση της ποιότητας του νερού βασίζεται κατά κύριο λόγο σε δοκιμές οργανισμών – δεικτών. Δεν υπάρχει ένας ενιαίος οργανισμός – δείκτης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για όλους τους σκοπούς εποπτείας της ποιότητας του νερού. Τα μικροβιολογικά πρότυπα της ποιότητας του νερού βασίζονται στους οργανισμούς δείκτες, αν και όχι παθογόνα, τεκμαίρεται ότι σχετίζονται με παθογόνους παράγοντες διευκολύνοντας έτσι την εκτίμηση της πιθανότητας να είναι παρόντα τα πιθανά παθογόνα. Ένας μεγάλος αριθμός των μικροοργανισμών έχουν προταθεί και δοκιμάζονται ως δείκτες (Ashbolt et al., 2001). Τα πρώτα πρότυπα χρησιμοποιούσαν τα ολικά κολοβακτηριοειδή για δείκτη οργανισμό (U.S.EPA, 1973).

Ωστόσο, εξαιτίας της κοπρανώδους μόλυνσης θεωρήθηκε το να είναι η πιθανή πηγή των παθογόνων στα ύδατα, έτσι οι μικροοργανισμοί στα κόπρανα επιλέχθηκαν ως οι πιο κατάλληλοι δείκτες. Ακολούθως τα πρότυπα βασίστηκαν στα θερμοανθεκτικά κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή, ένα υποσύνολο των ολικών κολοβακτηριοειδών τα οποία έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται, να ζυμώνουν τη λακτόζη, με παραγωγή αερίου και οξέος στους 44,5°C. Πιο πρόσφατα επιλέχθηκε το *E.coli* ως δείκτης – οργανισμός και σε ορισμένες περιπτώσεις οι περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι. Επιπρόσθετα πρότυπα έχουν θεσπιστεί και περιλαμβάνουν νηματοειδή και αβγά ελμίνθων (Blumenthal et al., 2000).

Τα μικροβιολογικά πρότυπα της ποιότητας των υδάτων για άρδευση θα πρέπει να περιλαμβάνουν διακρίσεις μεταξύ των πηγών νερού, τη μέθοδο άρδευσης, το είδος καλλιέργειας και τη χρήση της γης (Blumenthal et al., 2000 & Marr, 2001). Μερικές πολιτείες στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής δεν

επιτρέπουν την άρδευση των καλλιεργειών με απόβλητα οποιασδήποτε ποιότητας.

1.3.6 Ολικά κολοβακτηριοειδή (*Total Coliforms*)

Τα κολοβακτηριοειδή, που αναφέρονται ως ολικά κολοβακτηριοειδή για να αποφεύγεται σύγχυση με άλλα της ίδιας συνομολοξίας δεν είναι ένας δείκτης περιττωματικής μόλυνσης ή παράγοντας κινδύνου, αλλά μπορούν και παρέχουν βασικές πληροφορίες της ποιότητας του νερού. Τα ολικά κολοβακτηριοειδή εδώ και καιρό χρησιμοποιούνται ως μικροβιακό μέτρο της ποιότητας του πόσιμου νερού ευρέως επειδή είναι εύκολη η ανίχνευση και η καταμέτρηση τους στο νερό.

Παραδοσιακά ορίζονται σε σχέση με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την απαρίθμηση της ομάδας και ως εκ τούτου, έχουν υπάρξει πολλές παραλλαγές που εξαρτώνται από την μέθοδο της καλλιέργειας. Σε γενικές γραμμές, οι ορισμοί έχουν βασιστεί πάνω στα ακόλουθα χαρακτηριστικά : Gram – αρνητικά, μη παραγωγή σπορίων, ραβδοειδούς μορφής βακτήρια ικανά να αναπτυχθούν με την παρουσία χολικών αλάτων ή άλλους επιφανειακούς δράσης παράγοντες με παρόμοιες ιδιότητες αναστολής της ανάπτυξης, οξειδάση αρνητική, ζύμωση της λακτόζης στους 35 – 37°C με παραγωγή οξέος, αερίου και αλδεύδης εντός 24 – 48 ωρών. Οι ορισμοί αυτοί λαμβάνονται ως δεδομένοι για τις μεθόδους ταυτοποίησης και καταμέτρησης. Υπήρξε πρόσφατα μια κίνηση προς την κατεύθυνση ενός γονοτυπικού ορισμού, βασιζόμενος στην αναγνώριση ότι για να προκαλούν ζύμωση της λακτόζης, οι οργανισμοί πρέπει να διαθέτουν β-γαλακτοσιδάση. Χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση τα ολικά κολοβακτηριοειδή ορίζονται ως μέλη ενός γένους ή είδη της οικογένειας *Enterobacteriaceae* ικανά να αναπτυχθούν στους 37° C και να διαθέτουν β-γαλακτοσιδάση.

Τα ολικά κολοβακτηριοειδή θεωρήθηκαν ότι ανήκουν στο γένος *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* και *Klebsiella*. Ωστόσο ανεξάρτητα από το ορισμό που υιοθετήθηκε, η ομάδα είναι ετερογενής. Περιλαμβάνει βακτήρια που ζυμώνουν την λακτόζη, όπως *Enterobacter cloacae* και *Citrobacter freundii* τα οποία μπορούν να βρεθούν στα κόπρανα και στο περιβάλλον (πλούσια νερά σε συστατικά, χώμα, σαθρό φυτικό υλικό), καθώς και στο πόσιμο νερό που περιέχει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών. Περιλαμβάνει επίσης τα μέλη του γένους *Budvicia* και *Rahnella*, τα οποία δεν βρίσκονται ποτέ σε κόπρανα θηλαστικών.

Επειδή τα ολικά κολοβακτηριοειδή δεν έχουν κοπρανώδη προέλευση μπορούν να υπάρχουν σε φυσικά νερά, η παρουσία τους περιστασιακά μπορεί να είναι ανεκτή σε μη επεξεργασμένο νερό εν ελλείψει πιο ειδικών δεικτών. Όπου μπορεί να αποδειχτεί ότι τα κολοβακτηριοειδή στο νερό δεν είναι κοπρανώδους προέλευσης κατά συνέπεια δεν είναι υγειονομικής σημασίας, δαπάνες για την επίτευξη της εξάλειψης τους μπορεί να θεωρηθεί ασήμαντο και πολλά στάνταρ απαιτούν απουσία των ολικών κολοβακτηριοειδών από το 95% των δειγμάτων μέσα από τα συστήματα διανομής. Ωστόσο, αν χρησιμοποιείται ως δείκτης της

αποδοτικότητας της επεξεργασίας, τα ολικά κολοβακτηριοειδή δεν θα πρέπει να ανιχνεύονται στο νερό και σε αυτές τις περιπτώσεις η ανίχνευσή τους θα πρέπει να προκαλέσει άμεση διερεύνηση και διορθωτικές ενέργειες.

Είναι ανιχνεύσιμα με απλές, χαμηλού κόστους μεθόδων καλλιέργειας που απαιτούν βασικές εργαστηριακές μικροβιολογικές εγκαταστάσεις, αλλά και καλά καταρτισμένο και ικανό προσωπικό. Παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων δεδομένου των καλών προτύπων υγιεινής του εργαστηρίου. (Payment et al., 2003)

1.3.7 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (*Faecal coliform*)

Ο όρος κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή που συχνά χρησιμοποιείται δεν είναι σωστός, η σωστή ορολογία για αυτούς τους οργανισμούς είναι «θερμοάντοχα κολοβακτηριοειδή». Ορίζονται έτσι όπως η ομάδα των ολικών κολοβακτηριοειδών γιατί είναι ικανά να ζυμώνουν την λακτόζη στους 44 – 45°C. Αυτά περιλαμβάνουν το γένος *Escherichia* και , σε μικρότερο βαθμό τα είδη της *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*. Από αυτούς τους οργανισμούς μόνο η *Escherichia coli* θεωρείται ότι είναι κοπρανώδης προέλευσης αφού είναι πάντα παρών σε μεγάλες ποσότητες στα κόπρανα των ανθρώπων, άλλων θηλαστικών, στα πουλιά και σπάνια αν όχι ποτέ βρίσκεται στο νερό ή στο έδαφος σε εύκρατα κλίματα που δεν έχουν υποστεί περιττωματική μόλυνση (ωστόσο υπάρχει η πιθανότητα ανάπτυξης σε ζεστό περιβάλλον, Fujioca et al., 1999).

Άλλα θερμοανθεκτικά κολοβακτηριοειδή εκτός της *E.coli* μπορεί να προέρχονται από οργανικά εμπλουτισμένα νερά, όπως τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα ή από την αποσύνθεση φυτικών υλικών και εδαφών. Τα θερμοανθεκτικά κολοβακτηριοειδή είναι ένας λιγότερο αξιόπιστος δείκτης σχετικά με την *Escherichia coli* αν και ,στις περισσότερες περιπτώσεις και ειδικά στις εύκρατες περιοχές, σε επιφανειακά ύδατα οι συγκεντρώσεις τους έχουν άμεση σχέση με τη *E.coli* .Η χρήση τους για την εξέταση της ποιότητας του νερού είναι αποδεκτή όταν δεν υπάρχει άλλη μέθοδος διαθέσιμη. Τα θερμοάντοχα κολοβακτηριοειδή είναι εύκολα ανιχνεύσιμα και μια ποικιλία από τυποποιημένες μεθόδους και μέσα είναι διαθέσιμα (ISO 9308-1:ISO9308-2).

Οι μέθοδοι δοκιμής που χρησιμοποιούνται είναι οι πολλαπλοί σωλήνες και διήθηση μέσω μεμβράνης και επώαση για 24 ώρες σε θερμοκρασία 44,5°C. Στην μεμβράνη διήθησης οι αποικίες μπορούν να εντοπιστούν και η παρουσία της *E.coli* παρέχει ισχυρά αποδεικτικά στοιχεία περιττωματικής μόλυνσης. Αυτές οι μέθοδοι απαιτούν βασικές μικροβιολογικές εργαστηριακές εγκαταστάσεις αλλά και καλά καταρτισμένο και ικανό προσωπικό. Παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων δεδομένου των καλών προτύπων υγιεινής του εργαστηρίου.

1.3.8 *Escherichia coli*

Η *E.coli* ανήκει ταξινομικά στην οικογένεια Enterobacteriaceae και χαρακτηρίζεται από τα ένζυμα β-γαλακτοσιδάση και β-γλουκορονιδάση. Αναπτύσσεται στους 44-45°C, ζυμώνει τη λακτόζη και παράγει οξύ και αέριο. Επίσης και ινδόλη από τρυπτοφάνη. Ωστόσο κάποια στελέχη μπορούν να αναπτυχθούν στους 37°C και όχι στους 44-45°C μερικά δεν παράγουν αέριο. Η *E.coli* δεν παράγει οξειδάση ούτε υδρολύει την ουρία. Πλήρης αναγνώριση του οργανισμού είναι υπερβολική για χρήση ρουτίνας, αλλά μια σειρά δοκιμών έχει αναπτυχθεί για την ταχεία και αξιόπιστη ταύτιση με ένα αποδεκτό βαθμό ακρίβειας. Μερικές από αυτές τις μεθόδους έχουν τυποποιηθεί και εγκριθεί σε διεθνές και εθνικό επίπεδο για χρήση ρουτίνας, ενώ άλλες βρίσκονται ακόμα υπό ανάπτυξη ή αξιολογούνται. Η *E.coli* είναι άφθονη σε ανθρώπινα και ζωικά κόπρανα και σε νωπά κόπρανα μπορεί να υπάρχει και σε συγκεντρώσεις 10^9 ανά γραμμάριο. Βρίσκεται σε αποχετεύσεις, επεξεργασμένα λύματα και σε όλα τα φυσικά νερά και εδάφη που υπόκεινται σε πρόσφατη μόλυνση από κόπρανα είτε από τους ανθρώπους, τα άγρια ζώα ή γεωργική δραστηριότητα. Έχει διατυπωθεί η άποψη ότι η *E.coli* μπορεί να υπάρχει ή και να πολλαπλασιάζεται σε τροπικά ύδατα τα οποία δεν υπάγονται σε περιττωματική μόλυνση (Fujioka et al. 1999). Ωστόσο, ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές κοπρανόδους μόλυνσης από άγρια ζώα, συμπεριλαμβανομένων και των πτηνών δεν μπορεί να αποκλειστεί αυτή η πρόταση και απαιτεί περαιτέρω έρευνα.

Επειδή τα ζώα μπορούν να μεταδώσουν παθογόνους μολυσματικούς παράγοντες στον άνθρωπο η παρουσία της *E.coli* δεν θα πρέπει να αγνοείται επειδή μαζί με την παρουσία των θερμοάντοχων κολοβακτηριοειδών, η υπόθεση παραμένει ότι το νερό έχει μολυνθεί από κόπρανα και η επεξεργασία ήταν αναποτελεσματική. Η *E.coli* προτιμάται ευρέως ως δείκτης περιττωματικής μόλυνσης. Επίσης χρησιμοποιείται ευρέως σαν δείκτης αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας του νερού αν και όπως με άλλους κολοβακτηριοειδής δείκτες είναι ευαίσθητη στην απολύμανση σε σύγκριση με πολλούς παθογόνους οργανισμούς (συγκεκριμένα ιούς και πρωτόζωα). Η ανίχνευση της *E.coli* στο νερό είναι της ίδιας σημασίας όπως και κάθε άλλου κολοβακτηριοειδή οργανισμού αλλά η απουσία της δεν αποδεικνύει απαραίτητα ότι και τα παθογόνα έχουν εξαλειφθεί. Επειδή η *Escherichia coli* είναι ενδεικτική των πρόσφατων περιττωματικών μολύνσεων οποιαδήποτε θετική διαπίστωση πρέπει να αντιμετωπίζεται προσεκτικά για την προστασία των καταναλωτών. Αυτές οι μέθοδοι απαιτούν βασικές μικροβιολογικές εργαστηριακές εγκαταστάσεις αλλά και καλά καταρτισμένο και ικανό προσωπικό. Παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων δεδομένου των καλών προτύπων υγιεινής του εργαστηρίου.

1.3.9 Εντερόκοκκοι

Οι εντερόκοκκοι είναι μια ομάδα βακτηρίων που σχετίζονται πιο στενά με την περιττωματική μόλυνση απ' ό,τι τα ολικά κολοβακτηριοειδή. Αυτά τα Gram - θετικά βακτήρια έχουν την τάση να είναι πιο ανθεκτικά στο χλωριούχο νάτριο (NaCl) και σε αλκαλικό περιβάλλον απ' ό,τι τα ολικά κολοβακτηριοειδή (Gram – αρνητικά). Είναι ανιχνεύσιμα από πρακτικές τεχνικές όπως διήθηση μέσω μεμβράνης χρησιμοποιώντας m – *Enterococcus* άγαρ και επώαση στους 44,5°C ή στους 37°C για 48 ώρες. Η ομάδα αποτελείται κατά κύριο λόγο από τα στελέχη *E.faecalis*, *E.faecium*, *E.durans*, *E.hirae*. Τα περισσότερα από τα είδη των εντεροκόκκων προέρχονται από περιττωματική μόλυνση και γενικά μπορούν να θεωρηθούν ειδικοί δείκτες για την ανθρώπινη κοπρανώδη μόλυνση για πρακτικούς λόγους. Οι εντερόκοκκοι αναγνωρίζονται από την ικανότητα να υδρολύουν 4 methyl – umbelliferyl – β – glukoside (MUD) παρουσία thallium acetate, ναλιδιξικού οξέος και 2,3,5 triphenyl – 2H – tetrazolium chloride (TTC), με αποτέλεσμα την απελευθέρωση fluorogen το οποίο κάτω από υπεριώδες φως είναι εύκολα ανιχνεύσιμο.

1.3.10 Βακτηριοφάγοι

Οι βακτηριοφάγοι (φάγοι), είναι ιοί που προσβάλλουν βακτήρια. Οι φάγοι όπως και τα βακτήρια υπάρχουν σε όλο το φυτικό περιβάλλον και ο αριθμός τους είναι συνάρτηση του αριθμού βακτηρίων στο ίδιο το περιβάλλον. Ανιχνεύονται συχνά στο χώμα και είναι παράγοντες εξέλιξης των βακτηρίων. Όσον αφορά το μέγεθος, τη δομή, την μορφολογία και την σύνθεση, μοιάζουν πολύ με τους ανθρώπινους ιούς. Η συμπεριφορά των φάγων στο νερό και σε συναφή περιβάλλοντα, παρουσιάζουν αντοχή σε αντίξοες συνθήκες, σε θερμοκρασίες 60 – 80°C και επιπλέον είναι πιο ανθεκτικοί σε υψηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τους εντεροϊούς καθώς και με την *Salmonella choleraesuis* και με τη *Escherichia coli* ως εκ τούτου παρουσιάζουν ομοιότητες με αυτών των ανθρώπινων ιών από τους βακτηριδιακούς δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης. Οι φάγοι μπορούν να προσβάλλουν μόνο συγκεκριμένα βακτήρια που συνεπάγεται οι φάγοι της *E.coli* είναι σχετικοί με κοπρανώδη μόλυνση. Οι φάγοι συνήθως χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση ποιότητας του νερού. Τρεις κατηγορίες φάγων που προσβάλλουν εντερικά βακτήρια χρησιμοποιούνται ως δείκτες ποιότητας του νερού και ως αποτέλεσμα των λυμάτων και των βίο- λυμάτων. Οι αριθμοί των τριών αυτών φάγων είναι σχετικά σταθεροί στα ακατέργαστα λύματα παγκοσμίως καθώς και οι αντίστοιχοι αριθμοί των βακτηρίων – παθογόνων δεικτών, κατά μέση τιμή, οι φάγοι δείκτες ανιχνεύονται πιο συχνά σε σχέση με τα περισσότερα παθογόνα βακτήρια. Η περιεκτικότητα σε φάγους των λυμάτων και των νερών βασίζεται στην επεξεργασία αυτών αλλά συνήθως αυτοί οι φάγοι ανιχνεύονται

πάντα στα λύματα. Οι τρεις κατηγορίες φάγων είναι :

•Οι Σωματικοί κολιφάγοι

Αυτοί μολύνουν κυρίως το *E.coli*, αλλά μερικοί μπορούν να μολύνουν και άλλα *enterobacteriaceae*. Οι κολιφάγοι είναι όμοιοι με τους εντερικούς ιούς, αλλά είναι πιο γρήγορα και εύκολα ανιχνεύσιμοι στα περιβαλλοντικά δείγματα και βρίσκονται σε υψηλότερους αριθμούς από τους εντερικούς ιούς στα απόβλητα και σε άλλα περιβάλλοντα. (Bitton, 1980a; Goyal et al., 1987; Grabow, 1986)

Οι φάγοι μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν ως βιοδείκτης για να εξακριβωθούν πηγές μόλυνσης στα επιφανειακά νερά και στον υδροφόρο ορίζοντα. (Harvey, 1997b; McKay et al., 1993; Paul et al., 1995)

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες αξιολόγησης της αποδοτικότητας απομάκρυνσης παθογόνων στο νερό και στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων (Bitton, 1987), όπως και στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες όσο αφορά την απόδοση των διαδικασιών επεξεργασίας νερού όπως τη πήξη, τη κροκίδωση, τη διήθηση άμμου, την απορρόφηση του ενεργού άνθρακα ή των απολύμανση. (Payment, 1991)

•Οι F – ειδικοί RNA

Επειδή οι F – ειδικοί φάγοι σπάνια ανιχνεύονται στα ανθρώπινα κόπρανα και δεν δείχνουν άμεσα το επίπεδο της περιβαλλοντικής μόλυνσης, δεν μπορούν να θεωρηθούν σαν δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης. (Havelaar et al., 1990a; Leclerc et al., 2000; Morinigo et al., 1992b)

Η παρουσία τους σε υψηλό αριθμό στα λύματα και η σχετικά υψηλή αντοχή τους στη χλωρίωση συμβάλλει στη θεώρηση τους ως δείκτες μόλυνσης από απόβλητα. (Nasser et al, 1993)

•Οι βακτηριοφάγοι που μολύνουν τον *Bacteroides fragilis*

Οι φάγοι που μολύνουν τον *Bacteroides fragilis* στελέχους HSP40 είναι ιδιαίτερα εξειδικευμένοι για τα ανθρώπινα κόπρανα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διάκριση μεταξύ ανθρώπινης και ζωικής κοπρανώδης προέλευση (Grabow et al. 1994b).

Αυτοί οι δείκτες δεν πολλαπλασιάζουν περιβαλλοντικά δείγματα (Tartera et al., 1989), είναι πολύ ανθεκτικοί στο χλώριο από άλλους βακτηριδιακούς δείκτες (*S.faecalis*, *E.coli*) ή από ιούς (*poliovirus* type 1, *rotavirus* SA11, *coliphage* f2) αλλά είναι λιγότερο ανθεκτικοί από το κολιφάγο f2 στην UV ακτινοβολία. (Bosch et al., 1989)

Έρευνες υποστηρίζουν την αξία των φάγων σαν δείκτη και η ένταξη τους στη ποιότητα των πρωτοκόλλων ποιότητας κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος.

Τον αριθμό των βακτηριδίων προσδιορίζουμε τυπικά με τις ακόλουθες μεθόδους :

1.M.P.N (Most Probable Number)

Καθορισμένες ποσότητες νερού (πχ. 10 ml, 1 ml κλπ) μιας ή περισσότερων αραιώσεων προστίθενται σε σειρές σωλήνων οι οποίες περιέχουν ένα θρεπτικό ζωμό. Συνήθως έχουμε τόσες σειρές σωλήνων (3,5,10 κλπ) όσες και οι δεκαδικές αραιώσεις τις οποίες κάνουμε. Κάθε σειρά σωλήνα εμβολιάζεται με το δείγμα της ίδιας αραιώσης. Θεωρείται ότι κατά τον εμβολιασμό κάθε σωλήνα θα δεχθεί, μαζί με το δείγμα νερού, το μικροοργανισμό – στόχο της ανάλυσης. Ο μικροοργανισμός αυτός θα επιφέρει ειδικά χαρακτηριστικά αλλοίωσης της μορφής του ζωμού (πχ θολερότητα, αλλαγή χρώματος, παραγωγή αερίου κλπ). Για να έχουμε τον MPN μικροοργανισμών – στόχων ανά μονάδα όγκου (συνήθως 100 ml) πρέπει η ανάλυση να δείξει αρνητικούς και θετικούς σωλήνες. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συνήθως επιβεβαιώνονται με ανακαλλιέργεια τω θρεπτικών σωλήνων σε επιβεβαιωτικά, υγρά ή στερεά, θρεπτικά υποστρώματα. Τα αποτελέσματα των πρωταρχικών και των επιβεβαιωτικών δοκιμών ανάγονται στους πίνακες πολλαπλών σωλήνων και υπολογίζεται το MPN ανά μονάδα όγκου του δείγματος.

2.Τεχνική Μεμβράνης – Φίλτρου

Με τη μέθοδο της διήθησης δια μεμβράνης ικανή ποσότητα νερού διηθείται δια μεμβράνης κατασκευασμένης από διάφορα υλικά (πχ εστέρες κυτταρίνης, νάιλον κλπ) με διάμετρο πόρων τέτοια που να κατακρατεί τους προς έλεγχο μικροοργανισμούς (0,2 – 0,45 μm). Τα χρησιμοποιούμενα φίλτρα θα πρέπει να είναι σταθερά στη χρήση και να μην αναστέλλουν ή ερεθίζουν τον πολλαπλασιασμό. Η μεμβράνη τοποθετείται επί εκλεκτικού στερεού θρεπτικού υποστρώματος όπου μετά από επώαση αριθμούνται χαρακτηριστικού χρώματος και μορφολογίας αποικίες του ζητούμενου βακτηρίου. Οι υπόλοιποι μικροοργανισμοί είτε δεν αναπτύσσονται είτε εμφανίζουν διαφορετική μορφολογία και χρώμα αποικιών. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε αριθμό αποικιών/μονάδα όγκου δείγματος. (Μαυρίδου κα., 1995)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η επεξεργασία καθαρισμού των λυμάτων αποβλέπει την απομάκρυνση, εξουδετέρωση ή κατάλληλη τροποποίηση των επιβλαβών χαρακτηριστικών τους, ώστε να εξαλειφθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη (έδαφος, επιφανειακά νερά κ.λπ.) συνέπειες. Τα αστικά λύματα, αν δεν περιέχουν μεγάλο ποσοστό βιομηχανικών αποβλήτων, είναι σχετικά σταθερής ποιότητας και μπορούν να υποβληθούν σε τυποποιημένες μεθόδους επεξεργασίας καθαρισμού με δοκιμασμένα ικανοποιητικά αποτελέσματα. (Μαρκαντωνάτος, 1990)

Η επεξεργασία των αστικών λυμάτων έχει σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και της δημόσιας υγείας από επιβαρυντικούς ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι κύριοι στόχοι της επεξεργασίας των λυμάτων είναι η μείωση του BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand) και του αριθμού των μικροοργανισμών. Ως προς την μείωση των μικροοργανισμών η επιτυχία της επεξεργασίας εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως τον τύπο της επεξεργασίας, τον αριθμό και τα είδη των παθογόνων μικροοργανισμών, την θερμοκρασία και τη χημική σύσταση του λύματος κ.λπ. Η φιλοσοφία της βελτίωσης της μικροβιολογικής ποιότητας του λύματος, πριν αποδοθεί στο περιβάλλον, είναι ο μικροβιακός πληθυσμός του λύματος, ο οποίος αποτελείται κυρίως από μικροοργανισμούς κοπρανόδους προέλευσης, να μετατραπεί και να αποτελείται από μικροοργανισμούς των επιφανειακών νερών. (Μαυρίδου κ.α.,1995)

Αντίθετα τα βιομηχανικά απόβλητα παρουσιάζουν ιδιαίζοντα χαρακτήρα και ποικιλία ποιοτήτων. Περιέχουν πολλές φορές δύσκολα βιοαποδομήσιμες ή τοξικές ουσίες, που παρεμποδίζουν την κανονική ανάπτυξη του βιολογικού παράγοντα. Γι' αυτό είναι πολλές φορές απαραίτητο τα βιομηχανικά απόβλητα, προτού οδηγηθούν στο γενικό δίκτυο συλλογής, να υποστούν μέσα στο εργοστάσιο ειδική προεπεξεργασία για την απομάκρυνση ή εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων ειδικών χαρακτηριστικών. (Μαρκαντωνάτος, 1990)

2.2 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Τα αστικά υγρά απόβλητα, εισέρχονται στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, και αφού διέλθουν από αυλάκι Parshall (για μέτρηση της παροχής), οδηγούνται με τη χρήση αντλιοστασίου στη γραμμή προεπεξεργασίας. Με την προεπεξεργασία στοχεύουμε να προστατεύσουμε τις κυρίως διεργασίες της μονάδας από ορισμένα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που ενδέχεται να δημιουργήσουν πρόβλημα στην λειτουργία τους.

Οι διεργασίες που περιλαμβάνονται είναι :

- Εσχαρισμός
- Άλεση/Πολτοποίηση
- Αμμοσυλλογή
- Λιποσυλλογή
- Εξισορρόπηση Παροχής

Ο εσχαρισμός απομακρύνει τα χονδρά στερεά, τα οποία θα μπορούσαν να δημιουργήσουν πρόβλημα σε διάφορα μηχανικά εξαρτήματα (αεριστήρες, αντλίες, ταινιοφιλτράρες και άλλα) ή και ανεπιθύμητες εναποθέσεις με συνεπακόλουθες διάφορες αποφράξεις. Τα εσχαρίσματα μπορούν να πολτοποιηθούν ή να αλεστούν και να επαναφερθούν στο υγρό ρεύμα, ή να οδηγηθούν σε χώρο υγειονομικής ταφής στερεών αποβλήτων. Από την σχάρα, τα απόβλητα οδηγούνται σε αμμοσυλλέκτη, ο οποίος απομακρύνοντας τα χαλίκια και τη χονδρή άμμο, προστατεύει όπως και η σχάρα τις επακόλουθες διεργασίες. Ο λιποσυλλέκτης αφαιρεί τα λίπη και έλαια, τα οποία εμποδίζουν τη δημιουργία ιλύος με καλές ιδιότητες καθίζησης και προξενούν ανεπιθύμητο αφρισμό. Τέλος, η δεξαμενή εξισορρόπησης παροχής εξουδετερώνει τις ημερήσιες διακυμάνσεις, προσφέροντας σταθερή παροχή στις επόμενες διεργασίες, οι οποίες με αυτό τον τρόπο ελέγχονται ευκολότερα. (Λυμπεράτος, 2004)

2.2.1 ΕΣΧΑΡΙΣΜΟΣ

Η πρώτη φυσική διεργασία που γενικά συναντάται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι η εσχάρωση. Η σχάρα είναι μια διάταξη με ανοίγματα, συνήθως με ομοιόμορφο μέγεθος, που έχει ως σκοπό την κατακράτηση των στερεών που υπάρχουν στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα στην εγκατάσταση επεξεργασίας ή στην υπερχειλίση κατά τη διάρκεια καταιγίδων, στην περίπτωση παντορροικών συστημάτων συλλογής των αποβλήτων. (Metcalf & Eddy, 2006)

Σκοπός της εσχάρωσης είναι η απομάκρυνση των ογκωδών στερεών των αποβλήτων (κουρέλια, κομμάτια ξύλων, κλαδιά κ.λπ.) που μπορεί να φράξουν και να καταστρέψουν τις αντλίες και τον άλλο μηχανολογικό εξοπλισμό των ΚΕΑ. Σκοπός επίσης της εσχάρωσης στα άλλα στάδια επεξεργασίας είναι η

απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Η απομάκρυνση των στερεών γίνεται με τη συγκράτηση τους σε σχάρες κατά τη διέλευση των αποβλήτων από αυτές. (Στάμου κ.α., 1994)

Οι σχάρες αποτελούνται συνήθως από παράλληλες σιδερένιες ράβδους με διάκενα και διακρίνονται σε:

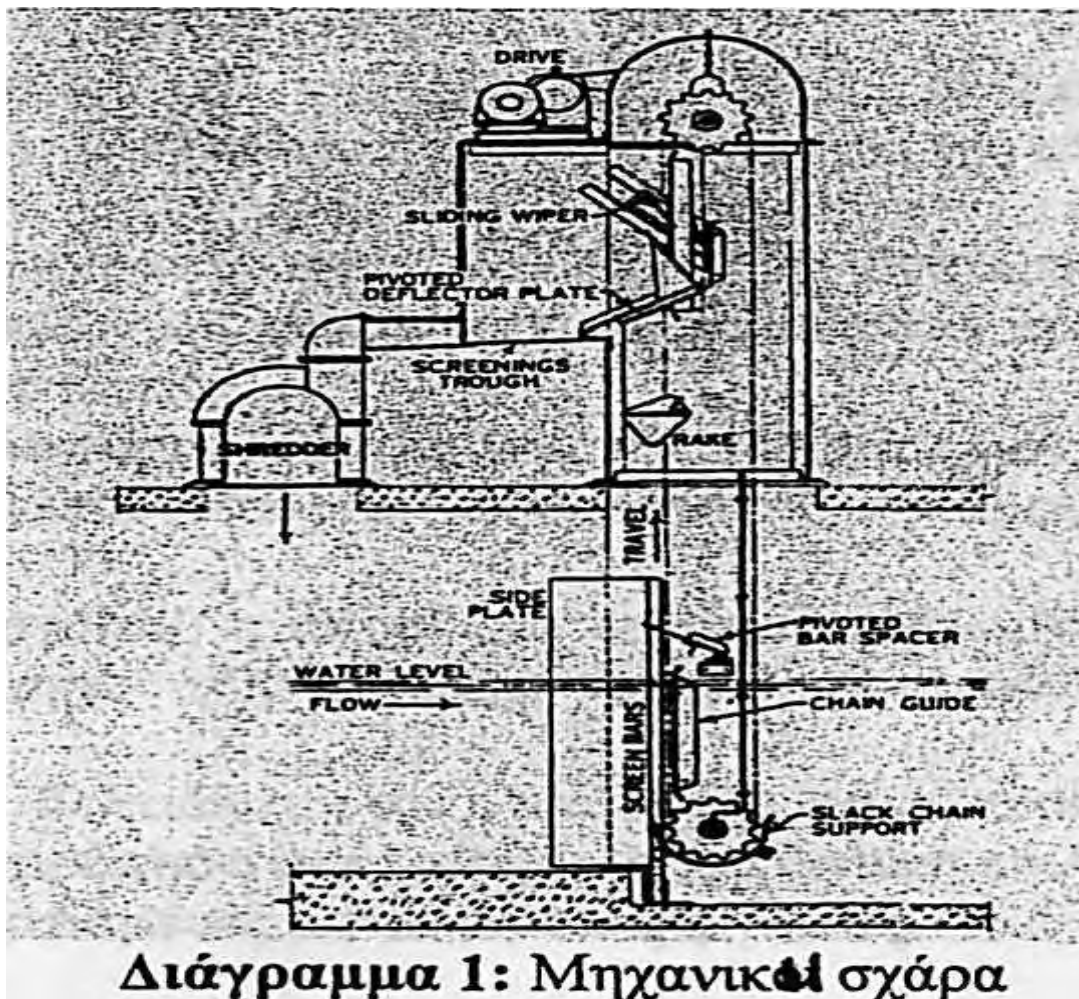
- Χοντρές με καθαρά ανοίγματα 40-150 mm
- Μέσες με καθαρά ανοίγματα 20-40 mm
- Λεπτές με καθαρά ανοίγματα 5-20 mm

Η ταχύτητα προσεγγίσεως των λυμάτων στις σχάρες πρέπει να μην είναι μικρότερη των 0,3-0,50m/sec, ενώ η ταχύτητα διελύσεως μέσα από τα κενά μεγαλύτερη από 0,7-1,0 m/sec. Οι σχάρες είτε καθορίζονται με τσουγκράνα, οπότε η κλίση τους είναι περίπου 30⁰ με το έδαφος, είτε αυτόματα (μηχανικά), οπότε είναι σχεδόν κατακόρυφες. (Μαρκαντωνάτος, 1990)

Τα συγκρατούμενα στερεά (εσχαρίσματα) τυπικά έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: πυκνότητα 600-1000 kg/m³, υγρασία 75-90%, πτητικά στερεά 80-90%, απόδοση ενέργειας κατά την καύση 13,000-18,000 KJ/kg. Η τυπική ποσότητα στερεών είναι 0,01-0,03 m³/d για 1000 κατοίκους, για διάκενα 25-75 mm. Τα παραγόμενα στερεά μπορούν να διαθέτουν (ή να τυχόν επεξεργασίας) με ένα από τους ακόλουθους τρεις τρόπους: (α) Επιστροφή στην ροή μετά από πολυτοποίηση/άλεση, (β) Ταφή (για μικρές εγκαταστάσεις), και (γ) αποτέφρωση. Οι μηχανικές σχάρες είναι κατάλληλες για παροχές πάνω 1000 m³/d. Χαρακτηρίζονται από αυτόματη απομάκρυνση στερεών με κατάλληλη κτένα της οποίας τα δόντια μπαίνουν στα διάκενα. (Λυμπεράτος, 2004)

Τα εσχαρίσματα συλλέγονται σε μεταφορική ταινία και οδηγούνται σε πρέσσα εσχαρισμάτων για την απομάκρυνση του νερού και τη μείωση του όγκου, απορρίπτονται σε κάδους αποθήκευσης και αποκομίζονται περιοδικά για να οδηγηθούν σε χώρους υγειονομικής ταφής στερεών αποβλήτων.

Ολόκληρη η εγκατάσταση της εσχάρωσης, στεγάζεται εντός αποσμούμενου κτιρίου για την αποφυγή έκλυσης οσμών στο περιβάλλον.



2.2.2 ΑΛΕΣΗ - ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΣΗ

Ο πολτοποιητής αποτελεί συμπλήρωμα του εσχαρίσματος. Τα εσχαρίσματα πολτοποιούνται και πιθανόν επαναφέρονται στη ροή για περαιτέρω επεξεργασία. Έτσι, δεν παρίσταται ανάγκη χωριστής διάθεσης. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται παρέχονται τυποποιημένα από διάφορους κατασκευαστές. Τυπικά περιλαμβάνουν περιστρεφόμενους κόπτοντες δίσκους σε απόσταση. Το είδος που πρέπει να προμηθευτεί κάποιος εξαρτάται από τις διαστάσεις του καναλιού, τη παροχή και τις απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια. (Λυμπεράτος, 2004)

2.2.3 ΕΞΑΜΜΩΣΗ - ΛΙΠΟΣΥΛΛΟΓΗ

Σκοπός της εξάμμωσης είναι η απομάκρυνση κόκκων άμμου, σωματιδίων αργίλου ή άλλων σωματιδίων γεωλογικής ή όχι υφής, διαμέτρου μεγαλύτερης από 200 μm που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη, γιατί η παρουσία τους δημιουργεί προβλήματα όπως εναπόθεση φερτών υλικών στο πυθμένα αγωγών, φράξιμο σωληνώσεων, φθορά του μηχανολογικού εξοπλισμού (αντλίες κλπ.) και μείωση της απόδοσης σημαντικών μονάδων επεξεργασίας (πχ τους αναερόβιους χωνευτές λάσπης η συσσώρευση άμμου προκαλεί μείωση του ωφέλιμου όγκου τους και κατά συνέπεια της απόδοσής τους). Η εξάμμωση γίνεται σε ειδικές δεξαμενές (εξαμμωτές) με τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών ροής που ευνοούν τη καθίζηση και απομάκρυνση της άμμου (και των άλλων ανόργανων σωματιδίων) αλλά όχι και των οργανικών στερεών. (Στάμου κα., 1994)

Η αφαίρεση της άμμου γίνεται από μια αεραντλία άμμου για κάθε μονάδα φερόμενη από ενιαία παλινδρομική γέφυρα και η αμμολάσπη οδηγείται σε κοχλία πλύσης και στράγγισης για την αφαίρεση του νερού, ενώ η άμμος φορτώνεται σε ειδικό container συλλογής απ' όπου αποκομίζεται περιοδικά για τελική διάθεση στον Χ.Υ.Τ.Α.

Λιποσυλλέκτης

Ο λιποσυλλέκτης διαμορφώνεται σαν παγίδα για τη συγκράτηση των επιπλεόντων γενικά υλικών και ουσιών, μεταξύ των οποίων λίπη και λάδια. Δεν είναι πάντα απαραίτητος, αν δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα επιπλεόντων και η δεξαμενή καθιζήσεως έχει κατάλληλο μηχανισμό για τον εξαφρισμό. Πάντως σε μονάδες με σχετικά μεγάλες ποσότητες λίπους (εστιατόρια, σφαγεία, βιομηχανίες λιπαρών τροφίμων κ.λπ.) τοποθετούνται συνήθως λιποσυλλέκτες αμέσως μετά την εγκατάσταση. Η χωρητικότητα τους υπολογίζεται με χρόνο παραμονής 3-5 λεπτά και με δυναμικότητα αποθηκεύσεως 40 l λίπους ανά 1/sec παροχή. Η θερμοκρασία στην έξοδο πρέπει να είναι μικρότερη από 35⁰C. Η απόδοση φθάνει τα 80-90% στη συγκράτηση του λίπους, που πρέπει να απομακρύνεται τακτικά. Σε εγκαταστάσεις με λάδια ή εύφλεκτα υγρά (σταθμοί αυτοκινήτων, καθαριστήρια, δουλιστήρια πετρελαίου κ.λπ.) χρησιμοποιούνται ειδικοί ελαιοδιαχωριστήρες. Τέλος σε μεγάλες επεξεργασίες αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αεριζόμενος εξαφριστήρας, που εξασφαλίζει μαζί με την καλύτερη απομάκρυνση των επιπλεόντων και είδος προαερισμού των αποβλήτων. Παλαιότερα ο χρόνος προαερισμού ήταν 3-5 λεπτά με κατανάλωση αέρα 220 l/m³ λυμάτων, τώρα όμως κυμαίνεται από 10'-45' με κατανάλωση αέρα 0,75-3,0 m³/m³ λυμάτων. Ο όγκος των εξαφρισμάτων των αστικών λυμάτων κυμαίνεται από 0,1-5 l/ατ.-χρ.. (Μαρκαντωνάτος, 1990)

2.2.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ

Σκοπός της μέτρησης παροχής είναι ο υπολογισμός της παροχής που διέρχεται από την ΕΕΑΑ, με βάση την οποία ρυθμίζεται η λειτουργία σημαντικών μονάδων. Με το σήμα της παροχής ρυθμίζεται συνήθως η λειτουργία της διάταξης συλλογής, απομάκρυνσης και στράγγισης της άμμου του αεριζόμενου εξαρτήματος, των αντλιών ανακυκλοφορίας και των μονάδων που χρησιμοποιούνται χημικά (π.χ. συνδυασμένη βιολογική – χημική απομάκρυνση φωσφόρου, απολύμανση κ.α.). (Στάμου, 2004)

Για της μεγάλες εγκαταστάσεις είναι απαραίτητη για τον έλεγχο της εισερχόμενης παροχής λυμάτων και για την σωστή ρύθμιση των διεργασιών και τη δόση των απαιτούμενων χημικών. Η μέτρηση της παροχής γίνεται σε δυο παράλληλα κανάλια που διαθέτουν διαύλους τύπου Parshall (0.50 m) και έναντι αυτού είναι εγκατεστημένοι μετρητές παροχής υπερήχων που μετρούν την προκαλούμενη ανύψωση της στάθμης έναντι του διαύλου απ' όπου προκύπτει η παροχή των υγρών.

2.2.5 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Οι πρώτες μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων που αναπτύχθηκαν περιλάμβαναν μια απλή δεξαμενή καθίζησης και μια δεξαμενή χλωρίωσης για απολύμανση των αποβλήτων. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των αιωρούμενων στερεών και των παθογόνων μικροοργανισμών που περιείχε το απόβλητο, αλλά μόνο μερική μείωση του οργανικού φορτίου και μικρή μείωση των θρεπτικών συστατικών.

Η δεξαμενή καθίζησης αποτελεί την πρώτη βασική μονάδα καθαρισμού ύστερα από την προκαταρκτική επεξεργασία στις προηγούμενες εγκαταστάσεις. Η αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στη σημαντική ελάττωση της ταχύτητας ροής των λυμάτων ($U_{op} \leq 5 \text{ cm/sec} = 180 \text{ m/h}$, $U_k = 1.0-2.0 \text{ m/h}$), οπότε ελαττώνεται και η συρτική ικανότητα, με αποτέλεσμα τα μεγαλύτερα και βαρύτερα αιωρούμενα (όχι διαλυμένα) υλικά να καθιζάνουν στον πυθμένα. (Μαρκαντωνάτος, 1990)

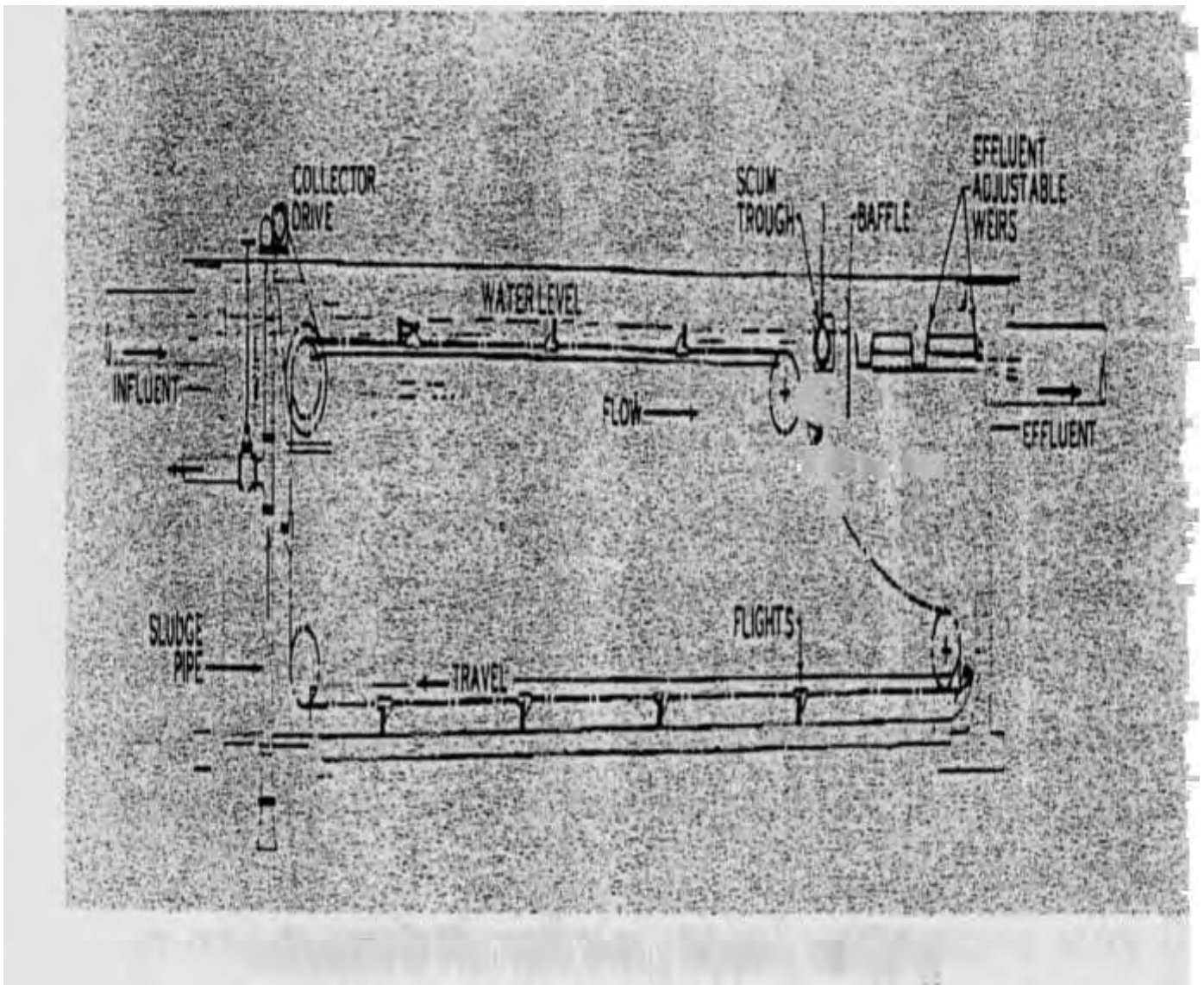
Η καθίζηση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση άμμου, των TSS σε εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης, για την απομάκρυνση βιολογικών κροκίδων σε δεξαμενές καθίζησης ενεργούς ιλύος και για την απομάκρυνση χημικών κροκίδων όταν χρησιμοποιείται η διεργασία της χημικής κροκίδωσης. Η καθίζηση χρησιμοποιείται επίσης για την πύκνωση των στερεών σε παχυντές λάσπης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο πρωταρχικός σκοπός είναι η παραγωγή μιας διαυγασμένης εκροής, ενώ είναι επίσης σημαντικό να παραχθεί λάσπη με μια συγκέντρωση στερεών που να μπορεί να διαχωριστεί και να επεξεργαστεί εύκολα.

Ο στόχος της επεξεργασίας με καθίζηση είναι να απομακρυνθούν τα στερεά

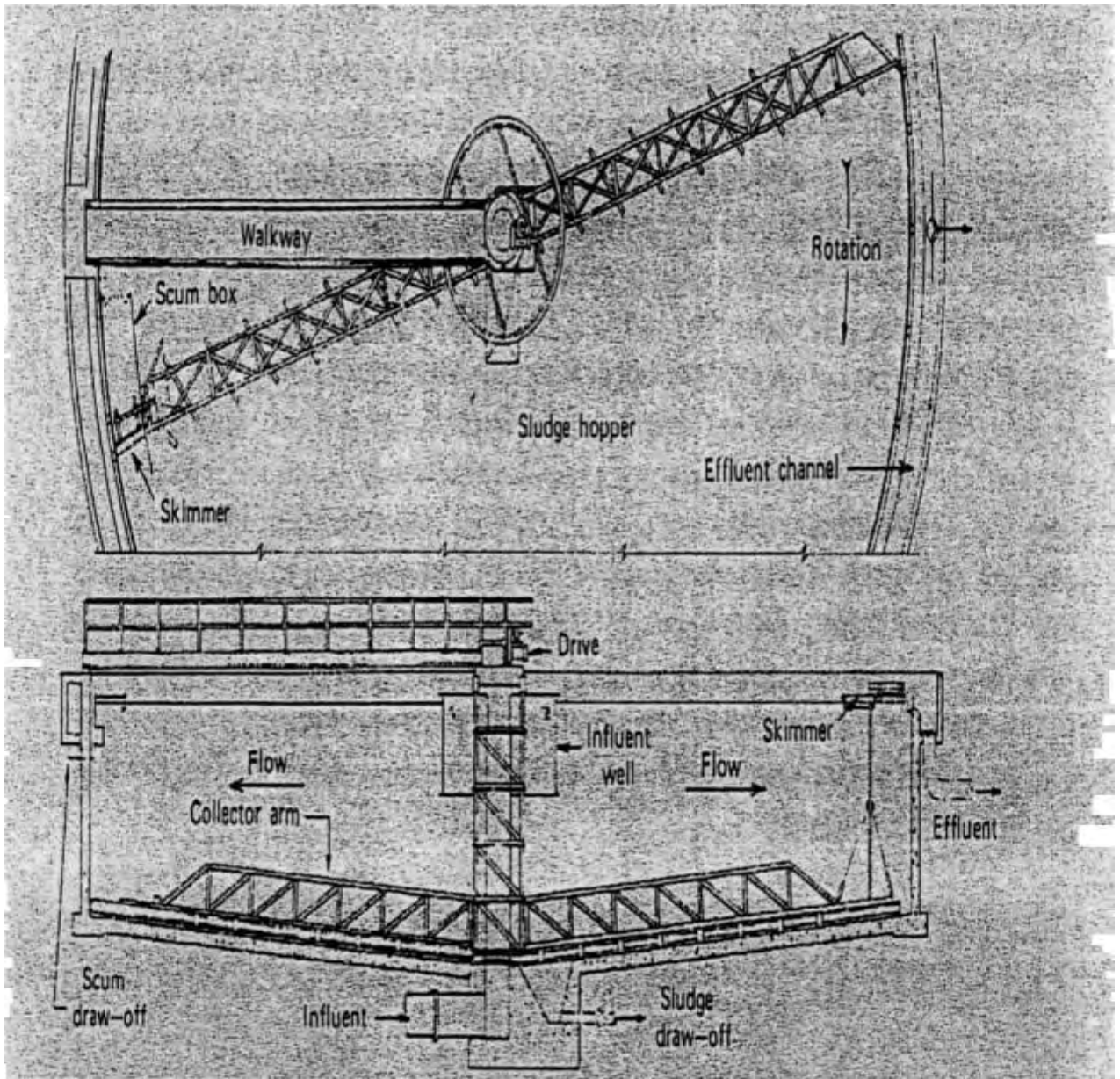
που καθιζάνουν εύκολα και τα επιπλέοντα υλικά και να μειωθεί έτσι η περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά. Οι δεξαμενές καθίζησης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί ως δεξαμενές κατακράτησης των όμβριων υδάτων, σχεδιασμένες ώστε να παρέχουν ένα μέσο χρόνο παραμονής (10 ως 30 min) για την υπερχειλίση από παντοροϊκό σύστημα ή από σύστημα συλλογής όμβριων. Ο σκοπός της καθίζησης είναι να απομακρυνθεί ένα σημαντικό μέρος των οργανικών στερεών τα οποία διαφορετικά θα αποβάλλονταν απευθείας στους υδάτινους αποδέκτες. Οι δεξαμενές καθίζησης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για να δοθεί ένας επαρκής χρόνος παραμονής για την αποτελεσματική απολύμανση των υπερχειλίσεων. (Metcalf & Eddy, 2004)

Μετά την απομάκρυνση των μεγάλων στερεών αντικειμένων με εσχάρωση, τα λύματα εισέρχονται σε δεξαμενές καθίζησης διαφόρων τύπων που παραμένουν αρκετό χρόνο (συνήθως 2-6 ώρες). Η πρωτογενής ιλύς που δημιουργείται συλλέγεται για επεξεργασία και απόθεση. Με την πρωτογενή καθίζηση απομακρύνεται κατά μέσον όρο το 55% των αιωρούμενων στερεών και το 35% του ολικού BOD. Δεν γίνονται βιολογικές διεργασίες σε αυτή την φάση. Τα κοπρανώδη βακτήρια μειώνονται κατά 10% περίπου σε αυτό το στάδιο, οι ιοί σχεδόν καθόλου, ενώ η μείωση των παρασίτων εξαρτάται από το μέγεθος των ωών και των κύστεων. (Μαυρίδου κ.α., 1995)

Γενικά, διακρίνουμε δύο τύπους δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης, την ορθογώνια και την κυκλική. Η πιο συνηθισμένη είναι η κυκλική δεξαμενή. Η τροφοδοσία του αποβλήτου γίνεται κεντρικά. Τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν στον πυθμένα, ο οποίος έχει κλίση και ξέστρο για διευκόλυνση της συλλογής της πρωτοβάθμιας ιλύος. Το ξέστρο είναι τμήμα ευρύτερης μηχανικής διάταξης, η οποία περιλαμβάνει και γέφυρα επίσκεψης στην επιφάνεια της δεξαμενής, καθώς και βραχίονα με κλίση (ως προς την ακτίνα) για τη συλλογή των επιπλεόντων (φύλλων και άλλων). Η εκροή εξέρχεται από την επιφάνεια ακτινωτά μέσω υπερχειλιστή και συλλέγεται με τη βοήθεια αυλακιού που διατρέχει την περίμετρο της δεξαμενής. Είναι βασικό, για την καλή λειτουργία των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης να μην υπάρχουν σοβαρές θερμοκρασιακές διαφορές για να αποφεύγεται η δημιουργία ρευμάτων. (Λυμπεράτος, 2004)



Διάγραμμα 1: Ορθογωνική δεξαμενή καθίζησης



Διάγραμμα 2: Κυκλική δεξαμενή καθίζησης

2.3 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Τα λύματα που έχουν καθοριστεί στην πρώτη βαθμίδα και που περιέχουν ακόμη κυρίως οργανικές ουσίες, κατευθύνονται στις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού. Εκεί λαμβάνει χώρα μια διεργασία αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών. Οι μικροοργανισμοί που είναι κυρίως βακτήρια αποικοδομούν τις διαλυμένες ακαθαρσίες. Για το σκοπό αυτό παλαιότερα χρησιμοποιούνταν τα βιολογικά φίλτρα, ενώ σήμερα οι δεξαμενές ενεργού ιλύος. Στη μέθοδο της ενεργού ιλύος, οι μικροοργανισμοί αιωρούνται στο νερό της δεξαμενής. Το απαραίτητο οξυγόνο εισάγεται με τουρμπίνες ανάδευσης ή με πεπιεσμένο αέρα. Η παραμονή των λυμάτων στις δεξαμενές ενεργού ιλύος κυμαίνεται από 2 – 8 ώρες, ανάλογα με το φορτίο ρύπανσης και τη θερμοκρασία. Κατά το στάδιο βιολογικού καθαρισμού οι πρωτεΐνες και άλλες οργανικές ουσίες που περιέχουν άζωτο διασπώνται σε αμινοξέα, αμμωνία, νιτρικά, αλκοόλες και οργανικά οξέα. Οι υδατάνθρακες διασπώνται σε αλκοόλες και λιπαρά οξέα, ενώ τα λίπη και συγγενείς ουσίες πότε σε αλκοόλες και κατώτερα λιπαρά οξέα. Οι αλκοόλες και τα οξέα διασπώνται κατόπιν σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Μετά τη βιολογική αποικοδόμηση το μείγμα των λυμάτων και της ενεργού ιλύος διοχετεύεται στις δεξαμενές δευτερογενούς καθίζησης που γίνεται και ο διαχωρισμός τους. Η ικανότητα καθορισμού μιας εγκατάστασης που περιλαμβάνει πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία κυμαίνεται μεταξύ 90 – 95%. (Φυτιανός κα., 2009)

Κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία το διαλυμένο οργανικό φορτίο των αποβλήτων οξειδώνεται από μ/ο και μετατρέπεται στα τελικά προϊόντα CO₂, H₂O, NH₃, CH₄ κ.α. Πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο οι βιοαποικοδομήσιμοι ρύποι δύνανται να οξειδωθούν. Οι υπόλοιποι εξέρχονται ανέπαφοι, και συνεπώς όσο αυξάνεται ο λόγος BOD/COD, τόσο μειώνεται ο βαθμός απόδοσης της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Για λόγους πάνω από 1.5/1 είναι αναγκαία μια χημική επεξεργασία των αποβλήτων για την οξείδωση των μη βιοαποικοδομήσιμων ρύπων. Οι μικροοργανισμοί που λαμβάνουν χώρα σε αυτές τις βιοχημικές διεργασίες είναι πολλοί και ποικίλουν ανάλογα με το είδος, το pH και τη θερμοκρασία των αποβλήτων. Σε όξινο περιβάλλον, όπως αυτό που απαντάται στα περισσότερα βιομηχανικά απόβλητα, υπερισχύουν οι μύκητες, ενώ στα αστικά απόβλητα που έχουν σχεδόν ουδέτερο pH υπερισχύουν διάφορα είδη βακτηριδίων. Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς το χειμώνα υπερισχύουν οι ψυχρόβιοι μικροοργανισμοί, ενώ το καλοκαίρι υπερισχύουν μικροοργανισμοί που πολλαπλασιάζονται πιο γρήγορα σε υψηλές θερμοκρασίες (>25°C). (Παπαπολυμέρου, 1999)

Κατά την βιολογική επεξεργασία των αστικών λυμάτων αναπτύσσονται αερόβιοι σαπροφυτικοί μικροοργανισμοί οι οποίοι καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των λυμάτων αφενός σαν τροφή για την αναπαραγωγή τους (σύνθεση κυτταρικού υλικού) και αφετέρου μέσω της βιοχημικής οξείδωσης χρησιμοποιούν την εκλυόμενη ενέργεια. Ακόμα εφόσον η παραμονή της βιολογικής ιλύος είναι αρκετή (πάνω από ημέρες) αναπτύσσονται αυτότροφοι

μικροοργανισμοί (νιτροβακτήρια) τα οποία επιτελούν την βιοχημική οξειδωση της αμμωνίας σε νιτρικά (νιτροποίηση) κάτω από αερόβιες συνθήκες. Τέλος κάτω από ανοξικές συνθήκες (απουσίας οξυγόνου αλλά παρουσίας νιτρικών) μπορεί να επιτευχθεί από ορισμένους ετερότροφους μικροοργανισμούς η αναγωγή των νιτρικών σε αέριο άζωτο (απονιτροποίηση), οπότε επέρχεται μια συνολική μείωση των άζωτούχων ενώσεων.

Η βιολογική επεξεργασία πραγματοποιείται μέσα σε μια δεξαμενή, το βιοαντιδραστήρα, όπου διοχετεύονται τα απόβλητα, αφού σε προηγούμενη βαθμίδα έχει γίνει κατακράτηση των στερεών υλών. Τα λύματα έρχονται σε επαφή με ένα μίγμα μικροοργανισμών (βιομάζα) που βρίσκεται με την μορφή αιωρούμενων συσσωματωμάτων (βιοκροκίδων), σε μια αεριζόμενη δεξαμενή και σε καθεστώς πλήρης μίξης. Στο βιοαντιδραστήρα υπάρχει μεγάλος αριθμός ετεροτροφικών μικροοργανισμών, που αποτελούν την βιολογική ιλύ (λάσπη) ενώ παράλληλα, μέσω ενός συστήματος αερισμού, διοχετεύεται στη μάζα των αποβλήτων αέρας, που είναι απαραίτητος για την διεργασία και γίνεται συνεχής ανάδευση του νερού και της βιολογικής μάζας. Συχνά αντί για αέρας διοχετεύεται στο απόβλητα καθαρό οξυγόνο, που αυξάνει την απόδοση του βιοαντιδραστήρα, δηλαδή την ικανότητα επεξεργασίας αποβλήτων ανά μονάδα όγκο του. Οι μικροοργανισμοί διασπών τους οργανικούς ρύπους και τρέφονται από αυτούς, ενώ ταυτόχρονα πολλαπλασιάζονται. Όταν πλέον καταναλώσουν όλη την ποσότητα των οργανικών ουσιών που έχουν την ικανότητα να διασπάσουν και ολοκληρωθεί η βιολογική διεργασία, αρχίζουν να καταναλώνουν το δικό τους οργανικό υλικό, οπότε μειώνεται η συνολική τους μάζα. Μετά την δεξαμενή αερισμού το μίγμα λυμάτων, μικροοργανισμών και προσροφημένων αδρανών στερεών, που ονομάζεται ανάμικτο υγρό και συμβολίζεται συνήθως ως MLSS, εισέρχεται στην δεξαμενή τελικής καθίζησης. (Ανδρεαδάκης κ.α., 1993)

2.3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ

Η διεργασία της ενεργού ιλύος (activated sludge) αναπτύχθηκε το 1914 στην Αγγλία από τους Arden και Lockett, όπου μέχρι σήμερα χάρη στην ιδιαίτερη ευελιξία της εφαρμογής της ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις, έχει αναπτυχθεί ένας σημαντικός αριθμός παραλλαγών της.

Η διεργασία της ενεργού ιλύος τυπικά περιλαμβάνει μια δεξαμενή αερισμού (Δ.Α) όπου γίνεται η βιολογική οξειδωση των οργανικών και μια δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης (Δ.Δ.Κ.) όπου καθιζάνουν οι μικροοργανισμοί. Το οξυγόνο παρέχεται είτε με διαχυτήρες είτε με επιφανειακούς αεριστήρες. Η παροχή αερισμού εξασφαλίζει και την καλή ανάμιξη του υγρού που ονομάζεται ανάμικτο υγρό (mixed liquor). (Λυμπεράτος, 2004)

Το σύστημα ενεργού ιλύος (E.I.) αποτελείται από την δεξαμενή αερισμού (Δ.Α.) η οποία είναι και ο αντιδραστήρας συνεχούς ροής πλήρους ανάδευσης και την δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης (Δ.Δ.Κ.). Στην δεξαμενή αερισμού λαμβάνουν μέρος οι βιολογικές διαδικασίες και οι μικροοργανισμοί

καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες και προσλαμβάνουν οξυγόνο από το διάλυμα. Το οξυγόνο διοχετεύεται στην δεξαμενή αερισμού με ειδικές διατάξεις οι οποίες είναι είτε επιφανειακοί διαχυτήρες οι οποίοι δημιουργούν δίνες στον όγκο των αποβλήτων, είτε σωληνώσεις σε όλο τον όγκο των αποβλήτων απ' όπου με πίεση διοχετεύεται αέρας που ανέρχεται στην επιφάνεια ως φυσαλίδες. Η ανάμιξη, η οποία είναι συνήθως πολύ καλή, επιτυγχάνεται από την ροή των αποβλήτων και το σύστημα οξυγόνωσής των. Στη ΔΔΚ οι μικροοργανισμοί καθιζάνουν (ιλύς) και ένα μέρος της ιλύος πλούσιο σε ενεργούς μικροοργανισμούς χρησιμοποιείται ως επανακυκλοφορία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη μεγάλων συγκεντρώσεων ενεργών μικροοργανισμών έτος της Δ.Α., που οδηγεί σε πολύ γρήγορους ρυθμούς κατανάλωσης των οργανικών ουσιών και συνεπώς μειώνει σημαντικά τον απαιτούμενο όγκο του αντιδραστήρα (Δ.Α.), Το υπόλοιπο μέρος της ιλύος απομακρύνεται για περαιτέρω επεξεργασία (επεξεργασία ιλύος). (Παπαπολυμέρου, 1999)

Στη δεξαμενή αερισμού, τα εισερχόμενα λύματα έρχονται σε επαφή με αιωρούμενα συσσωματώματα μικροοργανισμών (βιοκροκίδες), υπό αερόβιες συνθήκες και υπό πλήρη ανάμιξη. Μέρος του οργανικού φορτίου οξειδώνεται σε απλά τελικά προϊόντα όπως CO_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2O ενώ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε νέα κυτταρική ύλη. Στη συνέχεια, το μείγμα αποβλήτων και βιομάζας (μεικτό υγρό) οδηγείται στη δεξαμενή καθίζησης, όπου υπό συνθήκες ηρεμίας οι βιοκροκίδες διαχωρίζονται με καθίζηση (ιλύς). Μέρος της ιλύος ανακυκλοφορεί στη δεξαμενή αερισμού για τη διατήρηση επαρκούς συγκέντρωσης βιομάζας για την αποδόμηση των λυμάτων, ενώ το υπερκείμενο υγρό οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία ή καταλήγει στον τελικό αποδέκτη.

Για τα αστικά λύματα ο λόγος αυτός κυμαίνεται γύρω στο 1,05-1,2, ενώ για ορισμένα είδη βιομηχανικών τοξικών αποβλήτων ο λόγος TOC/BOD προσεγγίζει το 15. Βιομηχανίες επίσης επεξεργασίας τροφίμων όπως φρούτων και λαχανικών, καθώς και επεξεργασία γάλακτος έχουν υψηλό BOD (>1000 mg/l), αλλά το φορτίο είναι σχεδόν πλήρως βιοδιασπάσιμο και ο λόγος TOC/BOD κυμαίνεται κοντά στη μονάδα. Αντιθέτως τα απόβλητα ελαιουργείων περιέχουν σημαντικό φορτίο που δεν είναι βιοδιασπάσιμο και συνεπώς μία βιολογική επεξεργασία δεν είναι αποτελεσματική. Απόβλητα από βυρσοδεψία έχουν λόγο TOC/BOD περίπου 2,5 με 3 και γι' αυτά τα απόβλητα επίσης μία βιολογική επεξεργασία δεν είναι αποτελεσματική. Ως παράμετρος έκφρασης των μικροοργανισμών στην Δ.Α. χρησιμοποιείται το "οργανικό μέρος" των αιωρούμενων στερεών της Δ.Α.. Αυτά τα στερεά ονομάζονται MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids). Το οργανικό μέρος των στερεών ονομάζεται MLVSS και εκφράζει κατά προσέγγιση την συγκέντρωση των μικροοργανισμών στην Δ.Α.. (Παπαπολυμέρου, 1999)

2.3.2 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ

Η ενεργός ιλύς περιέχει διάφορα είδη αερόβιων οργανισμών οι οποίοι οξειδώνουν τις θρεπτικές ουσίες του λύματος. Ο όρος ενεργός ιλύς χρησιμοποιείται για κάθε επεξεργασία στην οποία η βιομάζα έχει την μορφή αιωρούμενων συσσωματωμάτων. Τα συσσωματώματα αποτελούνται από κύτταρα που βρίσκονται εγκλωβισμένα σε εξωκυτταρική, ζελατινώδη ουσία και έχουν διάμετρο 0,2-1 mm. (Μαυρίδου κ.α., 1995)

Η ενεργός ιλύς είναι ένα σύνθετο οικολογικό σύστημα, που αποτελείται από διάφορα είδη μικροοργανισμών, όπως βακτήρια (*bacteria*), μύκητες (*fungi*), πρωτόζωα (*protozoa*) και νηματώδεις (*nematodes*). Η επιλογή των μικροοργανισμών που θα επικρατήσουν σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος βασίζεται σε τρία κύρια κριτήρια. Το πρώτο αφορά στην ικανότητα των μικροοργανισμών να σχηματίζουν βιοκροκίδες. Με τον τρόπο αυτό οι μικροοργανισμοί παραμένουν στο σύστημα μέσω της ανακυκλοφορίας της ιλύος. Το δεύτερο αφορά στην εμφάνιση ρυθμού ανάπτυξης μεγαλύτερου από τον ρυθμό απομάκρυνσης των στερεών από τη μονάδα, ενώ το τρίτο στην προσαρμογή τους στις εκάστοτε περιβαλλοντικές συνθήκες. (Jenkins et al., 1993)

Τα κυριότερα είδη βακτηρίων που παρατηρούνται στην ενεργό ιλύ είναι αερόβια, ετερότροφα, ανήκουν στα γένη *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Zooglea* και χαρακτηρίζονται ως βακτήρια που παρουσιάζουν την τάση σχηματισμού βιοκροκίδων (floc-forming bacteria). Τα βακτήρια στην ενεργό ιλύ παρουσιάζονται επίσης ως ελεύθερα, διεσπαρμένα βακτήρια (free swimming bacteria) και ως νηματοειδή βακτήρια (filamentous bacteria). (Bitton, 1999)

Η επικράτηση ενός είδους βακτηρίου εξαρτάται από την φύση των αποβλήτων, το pH, τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και θρεπτικών, καθώς και από το φορτίο και την ηλικία της ιλύος. Η ύπαρξη συνθηκών αφθονίας υποστρώματος ευνοεί την ανάπτυξη βακτηρίων με υψηλότερους βαθμούς αύξησης (fast-growing bacteria), ενώ εμποδίζει την επικράτηση μικροοργανισμών ανώτερων τροφικών επιπέδων (πρωτόζωα, τροχόζωα) ή βακτηρίων με μικρότερους ρυθμούς αύξησης (slow-growing bacteria), όπως είναι τα νιτροποιά βακτήρια *Nitrosomonas spp.* και *Nitrobacter spp.*

Οι μύκητες σπάνια εμφανίζονται ως κυρίαρχος οργανισμός σε μονάδες ενεργού ιλύος. Ανταγωνίζονται τα βακτήρια σε τιμές pH μικρότερες του 6 και η παρουσία τους στη διεργασία της ενεργού ιλύος αποτελεί δείκτη τοξικής φόρτισης. Τα κυριότερα είδη μυκήτων, που απαντώνται σε συστήματα ενεργού ιλύος είναι τα *Geotrichium candidum* και *Trichosporon spp.* (Gray, 1990)

Τα πρωτόζωα είναι μονοκύτταροι, ετεροτροφικοί, αερόβιοι μικροοργανισμοί, μεγέθους 5-500 μm και αποτελούν ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής βιομάζας σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος. Επηρεάζουν την απόδοση της

διεργασίας καθώς δρουν θηρευτές ελεύθερων βακτηρίων και αιωρούμενου οργανικού υλικού, ενώ παράλληλα εκκρίνουν πολυσακχαρίτες που ευνοούν το σχηματισμό βιοκροκίδων.

Οι κυριότερες κατηγορίες πρωτόζωων στην ενεργό ιλύ είναι τα μαστιγοφόρα (flagellates), οι αμοιβάδες (amoebae) και τα βλεφαριδοφόρα (ciliates), ελεύθερα ή προσκολλημένα. Η ύπαρξη ισόρροπης ανάπτυξης μεταξύ ελεύθερων και προσκολλημένων βλεφαριδοφόρων υποδεικνύει ικανοποιητική λειτουργία της διεργασίας. Αντίθετα, υπεραφθονία μαστιγοφόρων, αμοιβάδων, ελεύθερων βλεφαριδοφόρων ή υπεραφθονία προσκολλημένων βλεφαριδοφόρων υποδεικνύουν συνθήκες υψηλής και χαμηλής οργανικής φόρτισης, αντίστοιχα. Σημαντικός επίσης είναι ο ρόλος των πρωτόζωων, ως βιοδείκτες (bio-indicators) σε περιπτώσεις παρουσίας τοξικών ουσιών στα εισερχόμενα λύματα. Η παρουσία τοξικών ουσιών επιβραδύνει αρχικά την κίνηση των βλεφάρων στα βλεφαριδοφόρα. Στη συνέχεια, η θέση τους στο οικοσύστημα της ενεργού ιλύος καταλαμβάνεται από μαστιγοφόρα και μικρά ελεύθερα βλεφαριδοφόρα, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις επέρχεται θάνατος και λύση όλων των ειδών. (Jenkins et al., 1993)

Τα τροχόζωα και οι νηματώδεις είναι οι πιο σύνθετοι οργανισμοί από τους αναφερόμενους παραπάνω, με μέγεθος 50-500 μm. Οι νηματώδεις εμφανίζουν χρόνους διπλασιασμού σημαντικά υψηλότερους από τις ηλικίες ιλύος συμβατικών μονάδων ενεργού ιλύος, με συνέπεια ο ρόλος τους στη βακτηριακή θήρευση και στην αποδόμηση της ενεργού ιλύος να είναι μικρός. Σε αντίθεση, τα τροχόζωα ανιχνεύονται πολύ πιο συχνά σε μονάδες ενεργού ιλύος. Συμβάλλουν στη θραύση μεγάλων βιοκροκίδων και στη βελτίωση της ποιότητας των επεξεργασμένων μέσω θήρευσης των ελεύθερων βακτηριδίων και έκκρισης κολλοειδών ουσιών που συνεισφέρουν στην βιοκροκίδωση. (Gray, 1990)

Ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης των μικροοργανισμών μέσω της επεξεργασίας με ενεργό ιλύ είναι η προσρόφηση τους στα συσσωματώματα όπου καταναλώνονται από διάφορα πρωτόζωα. Στην εξέλιξη αυτής της διαδικασίας σημαντικό ρόλο παίζουν οι αμοιβάδες. Ειδικά για την *E.coli*, ερευνητές έχουν αποδείξει ότι έχει την δυνατότητα πολλαπλασιασμού, έστω και με αργούς ρυθμούς, μέσα στο ενεργό ιλύ. Ο πολλαπλασιασμός όμως αυτός δεν παρατηρείται όταν στην ενεργό ιλύ υπάρχει μεγάλος αριθμός αμοιβάδων. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι η μεγαλύτερη μείωση του αρχικού πληθυσμού της *E.coli* στο λύμα γίνεται την πρώτη ώρα μετά από την είσοδο του λύματος στην δεξαμενή αερισμού. Μέσα στα συσσωματώματα, εκτός από την κατανάλωση τους από πρωτόζωα, τα κοπρανώδη βακτήρια εξουδετερώνονται και με ποικίλους άλλους μηχανισμούς, όπως η φυσική τους εξόντωση λόγω έλλειψης θρεπτικών ουσιών και με την αύξηση του pH του λύματος. Η προσρόφηση στα συσσωματώματα είναι και ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης των ιόν (ιόν *Polio*, εντεροϊών και ιόν *Coxsackie*). Η προσρόφηση τους γίνεται πολύ γρήγορα, συχνά τα τρία πρώτα λεπτά ανάμειξης του λύματος στη δεξαμενή αερισμού, και μπορεί να εξουδετερώσει το 90-98% του αρχικού πληθυσμού των ιόν. Τα ωά και οι κύστες των πρωτόζωων επιβιώνουν κατά την επεξεργασία με ενεργό ιλύ. (Μαυρίδου

κ.α., 1995)

2.4 ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η προχωρημένη ή τριτοβάθμια επεξεργασία στοχεύει στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των εκροών υγρού αποβλήτου δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Η σύγχρονη τάση είναι η τροποποίηση της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας με τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα και η απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών.

Η εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, συνήθως εξακολουθεί να έχει περίπου 30 mg/l αιωρούμενα στερεά, 300 mg/l ολικά στερεά, 20 – 30 mg/l BOD, καθώς και παθογόνους μικροοργανισμούς (που καταστρέφονται με την απολύμανση), αλλά το κυριότερο πρόβλημα είναι η σημαντική παρουσία φωσφόρου (~ 7 mg/l) και αζώτου (~ 20mg/l). Η παρουσία φωσφόρου και αζώτου παρουσιάζει συχνά ιδιαίτερο πρόβλημα μιας και ευθύνεται για το φαινόμενο του ευτροφισμού. Επίσης η τριτοβάθμια επεξεργασία χρησιμοποιείται για να απομακρύνει πέρα του αζώτου και του φωσφόρου και άλλα συστατικά όπως ασβέστιο και μαγνήσιο, χλωρίδια, υδράργυρο, θειικά, πετροχημικά, φαινόλες, DDT, κλπ. (Λυμπεράτος, 2004)

Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό για χρήση σε τριτοβάθμια επεξεργασία είναι :

- 1.Υπερδιήθηση – Μικροδιήθηση – Νανοδιήθηση
- 2.Απολύμανση
- 3.Διεργασίες χημικής οξειδωσης
- 4.Προσρόφηση
- 5.Ιοντοανταλλαγή
- 6.Αντίστροφη όσμωση
- 7.Ηλεκτροδιάλυση
- 8.Διεργασίες για την αφαίρεση φωσφόρου
- 9.Διεργασίες για την αφαίρεση αζώτου

2.4.1 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

Η εκροή που προέρχεται από πρωτοβάθμια ή τριτοβάθμια επεξεργασία συνήθως απαιτείται να απολυμανθεί πριν οδηγηθεί στους φυσικούς αποδέκτες. Απολύμανση επίσης απαιτείται και για την εκροή που συλλέγεται και διανέμεται για τις διάφορες χρήσεις. Η απολύμανση συνιστάται στην καταστροφή των μικροοργανισμών που βρίσκονται σε αιώρηση και μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση (α) φυσικών μεθόδων (θερμότητα, ακτινοβολία UV) ή (β) χημικών μεθόδων (προσθήκη ουσιών που καταστρέφουν το κύτταρο). Οι φυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως για αποστείρωση (πλήρη εξουδετέρωση

μικροοργανισμών), ενώ για απολύμανση (εξουδετέρωση του μεγαλύτερου μέρους κολοβακτηριδίων) χρησιμοποιείται κυρίως ή προσθήκη χημικών όπως χλώριο, βρώμιο, ιώδιο, όζον, φαινόλες, αλκοόλες, βαρέα μέταλλα, απορρυπαντικά, υπεροξείδιο του υδρογόνου, βάσεις και οξέα. (Λυμπεράτος, 2004

Πίνακας 1. Τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών απολύμανσης σε σύγκριση με το χλώριο (Lazarova, 2003)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ\ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΧΛΩΡΙΩΣΗ/ ΑΠΟΧΛΩΡΙΩΣΗ	UV	ΟΖΟΝ	MF (Microfiltration)	UF (Ultrafiltration)	NF (Nanofiltration)
Ασφάλεια	Χαμηλή	Υψηλή	Μέση	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή
Απομάκρυνση Βακτηρίων	Μέση	Μέση	Μέση	Μέση	Υψηλή	Υψηλή
Απομάκρυνση Ιόν	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέση	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή
Απομάκρυνση πρωτόζωων	Καθόλου	Καθόλου	Μέση	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή
Ανάπτυξη βακτηρίων	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Καθόλου	Καθόλου	Καθόλου
Υπολειμματική τοξικότητα	Υψηλή	Καθόλου	Χαμηλή	Καθόλου	Καθόλου	Καθόλου
Υποπροϊόντα	Υψηλή	Καθόλου	Χαμηλή	Καθόλου	Καθόλου	Καθόλου
Λειτουργικά κόστη	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή
Επενδυτικές δαπάνες	Μέση	Μέση	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή

Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών (μ/ο), ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών με τα νερά του αποδέκτη, στα οποία διοχετεύονται τα απόβλητα. Είναι το μοναδικό στάδιο στην επεξεργασία των αποβλήτων με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων (μ/ο), αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας. (Στάμου, 2004)

Η απολύμανση (disinfection) αφορά την μερική θανάτωση των οργανισμών που προκαλούν ασθένειες. Όλοι οι οργανισμοί δεν καταστρέφονται κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Το γεγονός ότι όλοι οι οργανισμοί δεν καταστρέφονται, διαφοροποιεί την απολύμανση από την αποστείρωση (sterilization), η οποία

αποτελεί τη θανάτωση όλων των οργανισμών. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, οι τέσσερις κατηγορίες ανθρώπινων εντερικών οργανισμών με τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα για την πρόκληση ασθενειών είναι τα βακτήρια, τα πρωτόζωα (protozoan), οι ωοκύστες (oocysts) και κύστες (cysts), οι ιοί (viruses) και οι ελμίνθες (helminthes). (Metcalf & Eddy, 2004)

Ο τρόπος επίδρασης των απολυμαντικών ουσιών στο κύτταρο των μικροοργανισμών δεν έχει εντελώς καθοριστεί. Ορισμένα απολυμαντικά όπως το χλώριο επιδρούν στην διαπερατότητα του κυτταρικού τοιχώματος ενώ οι χλωραμίνες και το διοξειδίο του χλωρίου παρεμβαίνουν στον ενζυμικό μηχανισμό. Η απολυμαντική δράση ενός απολυμαντικού έναντι κάποιου συγκεκριμένου παθογόνου μικροοργανισμού καθορίζεται από την μείωση του αρχικού πληθυσμού του παθογόνου κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου επαφής. (Μαυρίδου κ.α., 1995)

Το πιο συνηθισμένο απολυμαντικό μέσο είναι το υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl), διατίθεται στο εμπόριο σε υγρή μορφή με περιεκτικότητα χλωρίου κατά βάρος μικρότερη από 15%. Ο τρόπος με τον οποίο το χλώριο που περιέχεται στο NaOCl καταστρέφει τους (μ/ο) δεν είναι απόλυτα εξακριβωμένος. Για τα βακτηρίδια η πιο πιθανή εξήγηση είναι ότι το χλώριο διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη τους και αδρανοποιεί ορισμένα ένζυμα που είναι απαραίτητα για τη ζωή τους. Επειδή η αντίδραση χλωρίου-ενζύμων είναι αντιστρέψιμη σε χαμηλές συγκεντρώσεις χλωρίου, είναι δυνατόν τα ένζυμα να επανασχηματισθούν και να συνεχίσουν τη λειτουργία τους. Για τους ιούς και ορισμένους άλλους μικροοργανισμούς η πιο πιθανή εξήγηση είναι ότι το χλώριο επιδρά κατευθείαν στα DNA και RNA του πυρήνα τους. (Στάμου, 2004)

Μια που το O₃ δεν μπορεί να αποθηκευθεί ή να μεταφερθεί λόγω του πολύ μικρού χρόνου ζωής του, πρέπει να παραχθεί στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του νερού με μια σχετικά ακριβή διαδικασία, που περιλαμβάνει ηλεκτρικές εκκενώσεις σε ξηρό αέρα. Το O₃ που είναι αέριο ασταθές, ισχυρά οξειδωτικό και τοξικό με χαρακτηριστική οσμή και χρώμα, διαβιβάζεται στο νερό (χρόνος επαφής 10min περίπου). Με την έντονη οξειδωτική του δράση αποχρωματίζει επίσης και απομακρύνει τις δυσάρεστες οσμές από το πόσιμο νερό, αλλά λόγω της μικρής διάρκειας ζωής των μορίων του O₃ δεν παρέχει προστασία στο καθαρισμένο νερό στο δίκτυο διανομής από μία μελλοντική μόλυνση. (Φυτιανός κ.α., 2009)

Κατά την απολύμανση με όζο δεν δημιουργείται πρόβλημα τοξικότητας στον αποδέκτη που διοχετεύονται απόβλητα γιατί το υπολειμματικό όζο είναι ελάχιστο και διασπάται μέχρι τα επεξεργασμένα απόβλητα καταλήξουν στον αποδέκτη. Τα ο ίδιο ισχύει και για τις ισχυρά ασταθείς τοξικές ουσίες, που είναι πιθανόν να δημιουργηθούν κατά την οζόνωση. Παράλληλα, εξαιτίας της ισχυρής οξειδωτικής του δράσης μειώνονται οι οσμές, η θολότητα και το χρώμα, αυξάνεται το DO του αποδέκτη και καταστρέφονται επικίνδυνες οργανικές ενώσεις, που τυχόν περιέχονται στα απόβλητα, όπως π.χ. το μαλαθίο. (Στάμου, 2004)

Το όζον είναι το ισχυρότερο οξειδωτικό από όλα τα κοινά απολυμαντικά του

νερού. Η χρήση του εξαπλώνεται ταχύτητα διότι δεν δημιουργεί THM. Η δράση του όμως επηρεάζεται από το pH, την συγκέντρωση μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακος και άλλων οργανικών και ανόργανων ουσιών στο νερό. Έτσι έχει μεγάλη σημασία η καλή γνώση των χαρακτηριστικών του νερού πριν εφαρμοστεί οζόνωση για την απολύμανση του. Το όζον (O_3) σε θερμοκρασία και πίεση του περιβάλλοντος είναι ένα ασταθές αέριο, και γίνεται οξυγόνο σε θερμοκρασίες $>35^{\circ}C$. Έτσι πρέπει να παράγεται στο σημείο χρήσης του. Μετά την τροφοδοσία του όζοντος στο νερό, παραμένει για ένα μικρό χρονικό διάστημα, αρκετό για την απολυμαντική του δράση του, και μετά αποσυντίθεται. Η απολυμαντική του δράση είναι ισχυρή και ταχεία. Ο ιός της πολιομυελίτιδας αδρανοποιείται σε ποσοστό 99.99% σε 4 – 6 λεπτά υπό την επίδραση 0.4 ppm όζοντος (Coin et al., 1964). Έχει μεγάλη απολυμαντική δράση έναντι των πρωτόζωων (Wickramanayake et al., 1985). Είναι επίσης πολύ αποτελεσματικό έναντι των βιοεπικαθύσεων (Sugam et al., 1981). Έχει επίσης προταθεί για την απολύμανση κλειστών θαλάσσιων συστημάτων. Σαν οξειδωτικό συμβάλλει στη συντήρηση φίλτρων. (Honn & Chavin, 1976)

Η απολυμαντική δράση του όζοντος οφείλεται σε οξειδωτικές αντιδράσεις που καταστρέφουν βασικές δομές του μικροβιακού κυττάρου. Έχει επίδραση σε ευρεία κατηγορία μικροοργανισμών και προτείνεται για βασικό απολυμαντικό, αρκεί το νερό να μην έχει αυξημένη θολρότητα. Τα αιωρούμενα σωματίδια του νερού προφυλάσσουν το κύτταρο των μικροοργανισμών από την οξειδωτική επίδραση του όζοντος. (Μαυρίδου κ.α., 1995)

Η υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να αδρανοποιήσει βακτήρια και ιούς, έχει όμως μικρότερη αποτελεσματικότητα έναντι των πρωτόζωων. Έχει καλύτερη εφαρμογή στη απολύμανση των υπογείων νερών, των νερών που προορίζονται για εμφιάλωση καθώς και στην τελική φάση της απολύμανσης των λυμάτων. Το αποτελεσματικότερο μήκος κύματος είναι 240-380 nm. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν δημιουργούνται καθόλου παραπροϊόντα. Για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρά συστήματα. Η υπεριώδης ακτινοβολία δεν σκοτώνει τους μικροοργανισμούς, όπως τα οξειδωτικά απολυμαντικά, αλλά επιδρά στο πυρηνικό DNA με αποτέλεσμα να μην λειτουργεί ο αναπαραγωγικός μηχανισμός. Πρέπει όμως να δίνεται προσοχή στο φαινόμενο της φωτοενεργοποίησης (photo reactivation). Ορισμένοι μικροοργανισμοί, υπό την επίδραση του φωτός ορισμένου μήκους κύματος, επανενεργοποιούνται, πολλαπλασιάζονται και είναι πάλι λοιμογόνους. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται και σε βακτήρια που έχουν σημασία για την δημόσια υγεία, όπως τα κολοβακτηριοειδή και οι σιγκελλές. Δεν παρατηρείται στους ιούς. Επειδή η υπεριώδης ακτινοβολία δεν έχει υπολειμματικό απολυμαντικό πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους απολύμανσης. (Μαυρίδου κ.α., 1995)

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

Πίνακας 2. Σύγκριση διαφορετικών επεξεργασιών απολύμανσης (Urgiaga & Fuentes, 2004)

2.4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΛΥΟΣ

Η σπουδαιότητα της επεξεργασίας της λάσπης, γίνεται αντιληπτή από το γεγονός ότι αν και ο όγκος της είναι 1% περίπου του συνολικού όγκου των αποβλήτων απαιτεί το 25-50% του συνολικού κόστους κατασκευής-λειτουργίας μιας εγκατάστασης. (US.EPA, 1977)

Σαν λάσπη εννοούνται όλα τα στερεά που έχουν απομακρυνθεί (ή παραχθεί και απομακρυνθεί) από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των αποβλήτων, όπως η προεπεξεργασία (εσχαρίσματα, άμμος), πρωτοβάθμια επεξεργασία (λάσπη πρωτοβάθμιας καθίζησης, χημική λάσπη κ.λπ.) και δευτεροβάθμια επεξεργασία (περίσσεια EI, λάσπη ΒΦ κ.λπ.). Οι ποσότητες των παραπάνω, ο τρόπος

υπολογισμού τους και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους έχουν ήδη δοθεί στα επί μέρους κεφάλαια. Οι στόχοι της επεξεργασίας λάσπης είναι γενικά δύο: α) η μείωση του όγκου της, ώστε να μειωθεί το κόστος επεξεργασίας της και β) η μετατροπή της σε μια αδρανή (σταθερή βιολογικά) μάζα ώστε η διάθεσή της στο περιβάλλον να είναι ακίνδυνη. Κύριο χαρακτηριστικό της επεξεργασίας λάσπης είναι η παραγωγή υγρών σαν αποτέλεσμα του διαχωρισμού υγρών-στερεών της λάσπης (υπερκείμενα υγρά, διηθημένα κ.λπ.). Τα υγρά αυτά, που πολλές φορές έχουν σημαντικά φορτία BOD και SS, επαναφέρονται στην γραμμή επεξεργασίας των αποβλήτων (συνήθως στην ΔΠΚ ή στη δευτεροβάθμια επεξεργασία) και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη διαστασιολόγηση των αντίστοιχων μονάδων. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο στην επεξεργασία λάσπης είναι η μεγάλη συγκέντρωση των στερεών της, που αυξάνει την συνεκτικότητά της. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για το σχεδιασμό των αγωγών μεταφοράς και των αντλιών και επειδή οι απώλειες λόγω τριβών είναι αυξημένες πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για την ελαχιστοποίησή τους. (Στάμου κ.α., 1994)

Κατά την επεξεργασία καθαρισμού των αποβλήτων, μαζί με την τελική απορροή που πρέπει να διαθέτει κατάλληλα, παράγονται ταυτόχρονα και ορισμένα παραπροϊόντα, όπως τα σχαρίσματα, η άμμος, τα ξαφρίσματα και η λάσπη από τις δεξαμενές καθιζήσεως (1βάθμια ή και 2βάθμια). Από τα παραπροϊόντα αυτά το σημαντικότερο σε όγκο και δυσκολότερο σε χειρισμό και διάθεση είναι η λάσπη (sludge). Θα πρέπει να διευκρινισθεί ότι η λάσπη, σ' αντίθεση με την συνηθισμένη έννοια του όρου, δεν είναι πυκνό ή με στερεή μορφή αιώρημα, αλλά εντελώς υδαρές υγρό, που παρότι περιέχει, σαν νωπή 40 περίπου φορές περισσότερες στερεές ουσίες από τα αστικά λύματα (5% έναντι 1,25%), εξακολουθεί να έχει μορφή υγρού. Μόνο μετά την επεξεργασία συμπυκνώσεως, χωνεύσεως, αφυδατώσεως κ.λπ. η λάσπη παίρνει στερεή μορφή με αρκετή ακόμη υγρασία (60%), που μπορεί να ελαττωθεί πολύ (<10%) με θερμική ξήρανση, προκειμένου να αποτεφρωθεί ή να γίνει λίπασμα. Ιδιαίτερα για τις μεγάλες μονάδες η λάσπη, λόγω του όγκου και της συνθέσεως (βαριά μέταλλα και άλλα ανεπιθύμητα συστατικά από βιομηχανίες κ.λπ.), δημιουργεί δυσεπίλυτα προβλήματα τελικής διαθέσεως, με αποτέλεσμα να εφαρμόζονται δαπανηρές διαδικασίες επεξεργασίας για την ελάττωση του όγκου και την εξουδετέρωση των βλαπτικών συστατικών. (Μαρκαντωνάτος, 1990)

2.4.3 ΠΑΧΥΝΣΗ ΛΑΣΠΗΣ

Η περιεκτικότητα στερεών της πρωτοβάθμιας ιλύος, της ενεργού ιλύος, της ιλύος από βιολογικά φίλτρα ή της ανάμικτης ιλύος (π.χ. πρωτοβάθμια και απομακρυνόμενη ιλύς) διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ιλύος, τις διατάξεις απομάκρυνσης και άντλησης και τη μέθοδο λειτουργίας. Η πάχυνση είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για να αυξηθεί η περιεκτικότητα στερεών στην ιλύ με την απομάκρυνση κάποιας ποσότητας υγρού κλάσματος. Διευκρινιστικά αναφέρουμε ότι αν η απομακρυνόμενη ιλύς, η οποία συνήθως αντλείται από την δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης με περιεκτικότητα στερεών 0,8%, μπορεί με πάχυνση να αποκτήσει περιεκτικότητα στερεών 4%, τότε επιτυγχάνεται πενταπλάσια μείωση του όγκου της ιλύος. Η πάχυνση επιτυγχάνεται συνήθως με φυσικούς τρόπους, όπως με συνδυασμένη καθίζηση, με καθίζηση με βαρύτητα, με επίπλευση, με φυγοκέντρωση, με ταινία βαρύτητας και με περιστρεφόμενο τύμπανο. (Metcalf & Eddy, 2006)

Για την πάχυνση της βιολογικής λάσπης εφαρμόζεται η καθίζηση/πάχυνση σε κυκλικές δεξαμενές διαμέτρου έως 20 μέτρα και βάθους 3-3,7 μέτρα. Τυπικές επιφανειακές φορτίσεις είναι 24-32 m³/m²d. Έχει βρεθεί ότι επιφανειακές φορτίσεις μικρότερες από 16 m³/m²d, μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα οσμών, λόγω των μεγάλων χρόνων παραμονής των στερεών σε αναερόβιες συνθήκες, αν και αυτό μπορεί να οφείλεται κυρίως σε χαμηλούς ρυθμούς απομάκρυνσης της λάσπης από το πυκνωτή. (US.EPA, 1974) Οι κλίσεις του πυθμένα είναι 1:6 – 1:4 (μεγαλύτερες από τις συνηθισμένες σε δεξαμενές καθίζησης) ώστε να διευκολύνεται η συσσώρευση της λάσπης στη χοάνη συλλογής. Επίσης έχουμε μια αύξηση της πυκνότητας της αραιής λάσπης σε στερεά από 0,8-1% σε 4-5%.(US.EPA, 1979)

2.4.4 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΛΑΣΠΗΣ

Τα στερεά και τα βιοστερεά υπόκεινται σε σταθεροποίηση για (1) τη μείωση των παθογόνων, (2) την απομάκρυνση των δυσάρεστων οσμών, και (3) την παρεμπόδιση, μείωση ή εξάλειψη του δυναμικού σήψης. Η επιτυχία αυτών των στόχων σχετίζεται με τις επιπτώσεις από τη λειτουργία της σταθεροποίησης ή της επεξεργασίας του πτητικού ή οργανικού τμήματος των στερεών και βιοστερεών. Η επιβίωση των παθογόνων, η απελευθέρωση οσμών και σήψη πραγματοποιούνται όταν πολλαπλασιάζονται μικροοργανισμοί στο οργανικό τμήμα της ιλύος. Τα μέσα για την εξάλειψη αυτών των αρνητικών συνθηκών σχετίζονται κυρίως με την μείωση των πτητικών που περιέχονται στην ιλύ και στην προσθήκη χημικών στα στερεά ή βιοστερεά για να κατακτήσει ακατάλληλα για την επιβίωση των μικροοργανισμών. (Metcalf & Eddy, 2004)

Η αναερόβια χώνευση αποτελείται από δύο ξεχωριστά στάδια, που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα στη δεξαμενή χωνεύσεως. Στο πρώτο στάδιο

γίνεται υδρόλυση των μεγαλομοριακών οργανικών ενώσεων και μετατροπή σε οργανικά οξέα από ειδικά βακτηρίδια (acid-forming bacteria). Στο δεύτερο στάδιο διασπώνται τα οργανικά οξέα από μεθανοβακτήρια (methane-forming bacteria) και παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Τα μεθανοβακτήρια είναι αυστηρά αναερόβια και ιδιαίτερα ευαίσθητα στις συνθήκες περιβάλλοντος με πολύ περιορισμένα περιθώρια μεταβολής θερμοκρασίας και pH για άριστη ανάπτυξη. Επηρεάζονται δυσμενώς από αύξηση των οξειδωμένων ουσιών, από πτητικά οξέα, διαλυμένα άλατα και κατιόντα μετάλλων και έχουν εξειδικευμένη προτίμηση σε ορισμένο θρεπτικό υπόστρωμα. Κάθε είδος χρησιμοποιεί λίγες μόνο ενώσεις, κυρίως αλκοόλες και οργανικά οξέα, ενώ βασικές πηγές ενέργειας, όπως είναι οι υδατάνθρακες και τα αμινοξέα, δεν προσβάλλονται. Η ευαισθησία των μεθανοβακτηρίων, που ολοκληρώνουν το δεύτερο στάδιο της χωνεύσεως, μπορεί να κλονίσει εύκολα την ισορροπία του βιολογικού συστήματος και τον κανονικό ρυθμό αποδομήσεως της λάσπης. Οποιαδήποτε δυσμενής μεταβολή του περιβάλλοντος (θερμοκρασία, pH, τοξικά μέταλλα κ.λπ.) προκαλεί ελάττωση του πληθυσμού των μεθανοβακτηρίων με αποτέλεσμα τη συσσώρευση των παραγόμενων οργανικών οξέων από τα ανθεκτικά οξυβακτήρια και την πιο πέρα ελάττωση των μεθανοβακτηρίων με τελική συνέπεια την αστοχία του συστήματος. (Μαρκαντωνάτος, 1990)

Η χώνευση γίνεται σε σταθερή θερμοκρασία όλο το έτος, 33-37° C (μεσόφιλη χώνευση), μέσω της ανάπτυξης μεσόφιλων αναερόβιων μικροοργανισμών. Ο χωνευτής διαθέτει τα παρακάτω :

- Σύστημα εσωτερικής μηχανικής ανάδευσης για την αποφυγή σχηματισμού κρούστας στην επιφάνεια

- Σωληνώσεις απαγωγής του βιοαερίου από την θολωτή οροφή προς χωριστή δεξαμενή αποθήκευσης και

- Σύστημα θέρμανσης της λάσπης μέσω της καύσης του βιοαερίου σε καυστήρες, θέρμανσης νερού και διέλευσης των υγρών από σύστημα εναλλακτών θερμότητας (όπου μεταφέρεται η θερμότητα του ζεστού νερού προς την λάσπη χωρίς τα δυο υγρά να έρχονται σε επαφή).

Έτσι, εάν κάποια μεταβολή συνθηκών επηρεάσει τα μεθανοβακτηρίδια στην μετατροπή των οργανικών οξέων, τότε τα τελευταία συσσωρεύονται, με αποτέλεσμα την πτώση του pH και την παραπέρα αρνητική επίδραση στα μεθανοβακτηρίδια. Είναι φανερό λοιπόν ότι το pH στην αναερόβια χώνευση είναι ένας βασικός λειτουργικός παράγοντας και ότι ο καθοριστικός όλης της διαδικασίας είναι τα ειδικά χαρακτηριστικά των μεθανοβακτηριδίων. (Στάμου κ.α., 1994)

2.4.5 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΛΑΣΠΗΣ – ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ

Κατά την αφυδάτωση απομακρύνεται η περίσσεια του νερού ούτως ώστε τα στερεά να είναι έτοιμα για ξήρανση. Η αφυδάτωση επιτυγχάνεται με την έκθεση της συμπυκνωμένης ιλύος σε κλίνες ξήρανσης ή λίμνες ξήρανσης, όπου η περίσσεια του νερού εξατμίζεται φυσικά. Η φυγοκέντρωση και η διήθηση χρησιμοποιούνται σπάνια λόγω του υψηλού ενεργειακού κόστους που απαιτούν. Η ξήρανση είναι μια διαδικασία με πολύ υψηλό ενεργειακό κόστος το οποίο εξαρτάται από το πόσο νερό απομακρύνεται. (Παπαπολυμέρου, 1999)

Η αφυδάτωση γίνεται είτε με **ταινιοφιλοτροπρές** είτε με **φυγοκέντρωση**.

Η αφυδάτωση στις πρέσες βασίζεται στη σταδιακή συμπίεση της λάσπης μεταξύ δυο ατέρμωνων ταινιών διήθησης που συμπιέζονται πάνω σε μια σειρά κυλίνδρων. Τα πλεονεκτήματα του συστήματος είναι το σχετικά χαμηλό κόστος εγκατάστασης και μικρής ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά απαιτείται προσθήκη πολυηλεκτρολύτη για βελτίωση της συνεκτικότητας της βιολογικής λάσπης, ενώ η απόδοση της αφυδάτωσης είναι σχετικά μικρή, που κυμαίνεται σε 17-18% στερεά στην αφυδατωμένη λάσπη.

Η φυγοκέντρωση γίνεται σε κυλινδρικές φυγοκεντρικές μονάδες, εφαρμόζεται λόγω της πιο αυτοματοποιημένης και καθαρής διαδικασίας και της μεγαλύτερης απόδοσης αφυδάτωσης. Η λάσπη τροφοδοτείται από τη βάση και στη συνέχεια μέσω ενός εσωτερικού περιστρεφόμενου κοχλία μεταφέρει την αφυδατωμένη λάσπη προ το άνω μέρος απ' όπου εξέρχεται. Η απόδοση του φυγοκεντρητή με προσθήκη πολυηλεκτρολύτη φτάνει το 25% σε στερεά στην αφυδατωμένη λάσπη που είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική.

Η ιλύς από τις μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων αποτελεί ένα σημαντικό παραπροϊόν των διεργασιών, η σωστή διάθεση του οποίου απασχολεί σήμερα όλο το σύγχρονο κόσμο. Οι ποσότητες της παραγόμενης ιλύος είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Η παρούσα παραγωγή ιλύος στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης εκτιμάται σε 8 – 10 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Στη χώρα μας, η μεγαλύτερη μονάδα επεξεργασίας βρίσκεται στη Ψυτάλλεια και επεξεργάζεται απόβλητα με πληθυσμιακό ισοδύναμο 3,5 εκατομμύριων κατοίκων. Όταν θα συμπληρωθεί η Β' φάση ανάπτυξης της μονάδας, η οποία περιλαμβάνει και βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, η συνολική αναμενόμενη ποσότητα ιλύος θα ανέρχεται σε 180 τόνους ξηρού βάρους ημερησίως. (Mamais et al., 1999)

Η τελική διάθεση της λάσπης αυτής σε ΧΥΤΑ έχει δυσκολίες τα τελευταία χρόνια λόγω της απαίτησης για μείωση των οργανικών προς τους ΧΥΤΑ αλλά και των προβλημάτων ευστάθειας που προκαλεί η λάσπη. Έτσι εξετάζονται εναλλακτικές λύσεις περαιτέρω επεξεργασίας της λάσπης όπως :

1.Χημική Σταθεροποίηση, με την προσθήκη ασβέστη και κατάλληλη ανάμιξη της λάσπης, μετά παράγεται ένα υλικό εδαφικής μορφής με υψηλό

ποσοστό στερεών (περίπου 40-45%) και αποστειρωμένο λόγω του υψηλού pH (πάνω από 12 μετά από 2 εβδομάδες) προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία

2.Θερμική Ξήρανση της λάσπης σε κλίβανο ξήρανσης με διοχέτευση ζεστού αέρα ώστε η θερμοκρασία της λάσπης να φτάσει τους 85°C και η ξηραμένη λάσπη να έχει ποσοστό στερεών πάνω από 80%. Επίσης παράγεται αποστειρωμένη λάσπη αλλά είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα διαδικασία και ακόμα απαιτεί εξοπλισμό υψηλού κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας.

3.Λιπασματοποίηση, όπου η λάσπη ανακατεύεται με κατάλληλο πληρωτικό υλικό (πχ. ροκανίδια, κλαδιά, υπολείμματα γεωργικής παραγωγής), στη συνέχεια στρώνεται σε σωρούς και αφήνεται κάποιο διάστημα να γίνει αερόβια ζύμωση. Για την εξασφάλιση των αερόβιων διαδικασιών είτε ανακατεύεται περιοδικά η λάσπη ή προβλέπεται δαπέδιο σύστημα αερισμού. Στο τέλος παράγεται ένα σταθεροποιημένο υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν εδαφοβελτιωτικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα για άρδευση καλλιεργειών, εφαρμόζεται στην πράξη επί αιώνες και φαίνεται ότι έχει τις ρίζες της στους αρχαίους Ελληνικούς πολιτισμούς. (Αγγελάκης κ.α., 1996)

Παρόλο, που η άρδευση με εκροές υγρών αποβλήτων, είναι παράλληλα και ένας αποτελεσματικός τρόπος επεξεργασίας (με μηδενική εκροή για τελική διάθεση), η εφαρμογή ενός ελαχίστου επιπέδου επεξεργασίας πριν την εφαρμογή τους στο έδαφος κρίνεται αναγκαία, ακόμη και στην περίπτωση άρδευσης κτηνοτροφικών, δασικών ή άλλων εκτάσεων με μηδενική ανθρώπινη επαφή. Η προεπεξεργασία αυτή επιβάλλεται για λόγους προστασίας της δημόσιας υγείας, την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την πρόληψη ζημιών στις καλλιέργειες και την απρόσκοπτη λειτουργία των αγωγών μεταφοράς και εφαρμογής. (Asano, 1985)

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων αποτελεί μία ταχύτατα αυξανόμενη πρακτική κυρίως σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σχετικά έργα, σε αυξημένο μάλιστα ρυθμό και έκταση, προγραμματίζονται και υλοποιούνται κάθε έτος σε αρκετές χώρες και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, την Αυστραλία, το Ισραήλ, στην Ιαπωνία, στις χώρες του Μαγκρέμπ και της Νοτίου Αφρικής. Εξαιτίας των πλούσιων υδατικών αποθεμάτων της και των υφιστάμενων διαφορών μεταξύ των χωρών-μελών, η ΕΕ δεν έχει ασχοληθεί ιδιαίτερα μέχρι σήμερα με αντικείμενα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού. Οι πρόσφατες ξηρασίες στην Ισπανία, στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες, θέτουν επιτακτικά το θέμα της ανακύκλωσης νερού. Εξάλλου, η έλλειψη νερού τοπικά και η διάχυτη ρύπανση σε όλη την Ευρώπη που επιτείνουν περιβαλλοντικά προβλήματα, έχουν ανανεώσει το ενδιαφέρον σε τέτοια αντικείμενα. Επομένως, η πρακτική αυτή αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω στο μέλλον, εξαιτίας της μείωσης της διαθεσιμότητας των υδατικών πότων που προβλέπεται εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου του παγκοσμίως και της αύξησης της θερμοκρασίας. Όπως προαναφέρεται δεσπόζουσα κατηγορία επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων είναι η άρδευση γεωργικών καλλιεργειών και χώρων πρασίνου και αναψυχής, καθώς τα θέματα της ποιότητας που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων είναι ευκολότερο να αντιμετωπισθούν στην άρδευση σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις. (Αγγελάκης κ.α., 1995)

Σημειώνεται ότι με τις διαθέσιμες σήμερα τεχνολογίες είναι δυνατή η παραγωγή ακόμη και πόσιμο νερό από περιθωριακά νερά, όπως είναι οι εκροές υγρών αποβλήτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, όμως θα πρέπει να εξετάζονται θέματα όπως είναι η προστασία της δημόσιας υγείας, το υψηλό κόστος επεξεργασίας και η κοινωνική αποδοχή. Για κάθε ωφέλιμη χρήση εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων απαιτείται συγκεκριμένη ποιότητα νερού, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανοί κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και οι

επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτοί τελικά προσδιορίζουν τις απαιτούμενες διεργασίες και τεχνολογίες επεξεργασίας και φυσικά το απαιτούμενο κόστος. Επομένως, κάθε τύπος επαναχρησιμοποίησης απαιτεί ιδιαίτερα κριτήρια. Τα κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία είναι αμφιλεγόμενα, αφού η απαιτούμενη ποιότητα του νερού καθορίζεται από της προδιαγραφές της κάθε βιομηχανικής χρήσης. Επίσης, τα κριτήρια ποιότητας που πρέπει να πληροί το ανακυκλωμένο νερό που προορίζεται για πόσιμη χρήση δεν είναι αμφιλεγόμενα, αλλά θέματα κοινωνικής αποδοχής και φυσικά επικινδυνότητας έχουν περιορίσει την εφαρμογή της. Αντίθετα, τα κριτήρια για τον εμπλουτισμό των υπογείων υδροφορέων, παρόλο την συμπληρωματική επεξεργασία που περιλαμβάνουν κατά τη διήθηση και κατεΐσδυση των εκροών, σήμερα στην ΕΕ και άλλες χώρες, αντιμετωπίζονται με σκεπτικισμό. Σε τέτοια συστήματα το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στα επίπεδα των συγκεντρώσεων νιτρικών, υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων και άλλων οργανικών ενώσεων, που υπάρχουν σε ίχνη στις εκροές αποβλήτων. (Aertgeerts et al, 2003)

Η κατάσταση διαφοροποιείται στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης για άρδευση, καθώς επικρατεί έντονος προβληματισμός για τα κριτήρια ποιότητας, που πρέπει να εφαρμόζονται, κυρίως όσον αφορά τους παθογόνους οργανισμούς και πως αυτά μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και το είδος της καλλιέργειας. (Asano et al, 1996)

Οι βιομηχανικές χώρες προβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ποιότητα του νερού (συγκρίσιμες με αυτές του πόσιμου νερού), με τη βεβαιότητα ότι οι πιο ακριβές τεχνολογίες εξασφαλίζουν πιο υγιεινό νερό. Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες που μαστιάζονται από σοβαρή έλλειψη νερού και έλλειψη πόρων, με την εκπόνηση επιδημιολογικών μελετών υπερασπίζονται και υιοθετούν τις ισχύουσες, λιγότερο αυστηρές, οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. (WHO, 1989)

Οι οδηγίες αυτές βασίσθηκαν στις επικρατούσες τάσεις σε αναπτυσσόμενες χώρες και ουσιαστικά θεωρούν όρια για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια ($1000 \text{ FC}/100 \text{ cm}^3$ και τους εντερικούς νηματώδεις (αυγά $\leq 1/\text{L}$). Παρόλο που οι οδηγίες αυτές δεν εξειδικεύονται στις επιμέρους χρήσεις και παραμέτρους, αποτελούν ωστόσο ένα θετικό βήμα σε περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης ανεπεξέργαστων ή πλημμελώς επεξεργασμένων εκροών. Η κύρια φιλοσοφία τους εστιάζεται στα όρια που θέτουν, ως εγγύηση για την ασφάλεια του νερού, που χρησιμοποιείται για άρδευση. Επίσης, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι προκειμένου να έχουμε απευθείας επαναχρησιμοποίηση των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων, οι προδιαγραφές του WHO αποτελούν ένα αρχικό θετικό βήμα. Οι οδηγίες αυτές σήμερα τελούν υπό αναθεώρηση. Η βασική φιλοσοφία τους δεν φαίνεται όμως να μεταβάλλεται. (Blumenthal et al, 2000)

Σημειώνεται ότι, οι οδηγίες του WHO είναι πιο αυστηρές από τις οδηγίες της ΕΕ, για το νερό κολύμβησης. Επίσης, ο WHO εξέδωσε οδηγίες που αφορούν χημικές ουσίες σχετικές με την ανθρώπινη υγείας για γεωργικές εφαρμογές εκροών και ιλύος υγρών αποβλήτων. (Chang et al, 1995)

Εξαιτίας των κινδύνων που συνεπάγεται η επαναχρησιμοποίηση των εκροών

των υγρών αποβλήτων για άρδευση, διάφορες χώρες έχουν θεσπίσει ή έχουν ξεκινήσει τις απαραίτητες διαδικασίες θέσπισης κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης. (Asano et al, 1988)

Οι κανονισμοί/οδηγίες διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των διαφόρων χωρών ή και ακόμη περιοχών. (Asano et al, 1995)

Ορισμένες υπηρεσίες, όπως το Συμβούλιο Νερού του Ισραήλ και το τοπικό Υπουργείο Υγείας της Καλιφόρνιας, έχουν θεσπίσει κανονισμούς ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άρδευση σχετικά αυστηρούς. Όμως, στις αναπτυσσόμενες χώρες τα κριτήρια που έχουν υιοθετηθεί για την προστασία της δημόσιας υγείας από κινδύνους που εγκυμονεί η χρήση ανακτημένων υγρών αποβλήτων, συχνά συνδέονται με τις δυνατότητες ανάπτυξης και χρήσης άλλων υδατικών πόρων. Σε αρκετές από αυτές τις χώρες δεν υπάρχουν καθορισμένα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και τα έργα ανάκτησης επαναχρησιμοποίησης, αποτελούν ουσιαστικά, πηγές νερού και θρεπτικών στοιχείων. Σε άλλες περισσότερο αναπτυγμένες χώρες, το κύριο πρόβλημα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων εντοπίζεται στην ελαχιστοποίηση των περιεχομένων στα ανεπεξέργαστα ή πλημμελώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα παθογόνα, όπως είναι οι εντερικοί νηματώδεις (IN), κυρίως η ταινία των αγελάδων, τα παράσιτα της οικογένειας Ancylostomatidae και τα ασκάρια (*Ascaris lumbricoides*). Αυτοί οι μολυσματικοί οργανισμοί είναι επικίνδυνοι στη δημόσια υγεία και ιδιαίτερα στους καλλιεργητές και στα μέλη των οικογενειών τους καθώς και στους καταναλωτές φυτικών τροφών. (Aertgeerts et al, 2003, Pescod, 1990, Shuval et al, 1986, WHO, 1980)

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών, η άνιση κατανομή των υδάτινων πόρων και οι περιοδικές ξηρασίες, έχουν οδηγήσει τους οργανισμούς ύδρευσης σε αναζήτηση νέων πηγών υδάτινων αποθεμάτων. Η χρήση των επαρκώς επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων, οι οποίες εκβάλλουν στο περιβάλλον από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, συγκεντρώνει όλο και περισσότερο ενδιαφέρον ως μια βιώσιμη λύση υδάτινου πόρου. Σε πολλές περιοχές η επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελεί ήδη ένα σημαντικό στοιχείο στο σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ενώ η επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι μια βιώσιμη επιλογή, η διατήρηση των υδάτινων αποθεμάτων, η ορθολογική χρήση του νερού από τους υπάρχοντες οργανισμούς ύδρευσης και η ανάπτυξη και διαχείριση νέων υδάτινων πόρων, είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. (Metcalf & Eddy, 2007)

Ωστόσο, σήμερα οι προχωρημένες τεχνικές επεξεργασίας λυμάτων, παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής νερού σχεδόν οποιασδήποτε επιθυμητής ποιότητας, με συνέπεια η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων να εμφανίζεται ως ελκυστική επιλογή, στην κατεύθυνση εξοικονόμησης υδατικών πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος. Ήδη από τις αρχές τις δεκαετίας του 2000, μελέτη υπό την χρηματοδότηση του Υπουργείου Περιβάλλοντος, εκτιμούσε επίπεδο χώρας θα εξοικονομηθούν πάνω από 4% της συνολικής κατανάλωσης νερού, ή ότι είναι δυνατόν να αρδευτούν περίπου 1,5 εκατ. στρέμματα γεωργικής γης, με την

ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών των τότε υφιστάμενων έργων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων. (Αγγελάκης κα., 2000)

3.2 Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, παράμετροι ποιότητας

Ο αντικειμενικός στόχος της επαναχρησιμοποίησης είναι η διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων, μετά από πρόσθετη επεξεργασία με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της καλλιέργειας, από ποσοτική και ποιοτική άποψη. Ο στόχος αυτός πρέπει να επιτευχθεί χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις και με μια σειρά περιορισμούς που εξασφαλίζουν:

- Την προστασία της δημόσιας υγείας και
- Την προστασία του αέριου, υγρού και εδαφικού περιβάλλοντος.

Για να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα απόβλητα για άρδευση πρέπει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους να ικανοποιούν ορισμένα κριτήρια. Τα πιο σημαντικά ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι:

- **Η περιεκτικότητα σε άλατα ή αλατότητα**
Η αλατότητα εκφράζεται ως η ολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων του αρδευτικού νερού, δηλαδή των επεξεργασμένων λυμάτων και αποτελεί ένδειξη του κινδύνου να ελαττωθεί το έδαφος.
- **Η περιεκτικότητα σε νάτριο**
Η περιεκτικότητα σε νάτριο χρησιμοποιείται ως δείκτης της ποιότητας του αρδευτικού νερού κυρίως λόγω της επίδρασης του νατρίου στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως η διηθητικότητα, η υδατοπερατότητα και η καταλληλότητα για γεωργική χρήση επειδή η επίδραση του νατρίου τόσο στο έδαφος όσο και στις καλλιέργειες είναι σημαντική, διάφορες ποσότητες έχουν προταθεί ως βάσεις για τη ταξινόμηση του νερού ως προς τον κίνδυνο που προέρχεται από τη συγκέντρωση διαλυτού νατρίου.
- **Η περιεκτικότητα σε ανθρακικά ιόντα, χλώριο και βόριο**
Τα όξινα ανθρακικά ιόντα έχουν τη 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. Τα ιόντα χλωρίου σε μεγάλες συγκεντρώσεις δημιουργούν σημαντικά προβλήματα στην ανάπτυξη και βλάβες στα φύλλα δέντρων (όπως πχ. λεμονιές, ακτινίδια) και λιγότερο σημαντικά σε καλλιέργειες λαχανικών, σπόροι δημητριακών, χοντροειδών ζωοτροφών και φυτικών ινών. 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. (Στάμου, 2004)

- **Η περιεκτικότητα σε μέταλλα**

Τα μέταλλα που περιέχονται στα απόβλητα καταλήγουν κατά την επεξεργασία των αποβλήτων στη παραγόμενη λάσπη και έτσι το πρόβλημα της διάθεσης των μετάλλων ανάγεται στη διάθεση της λάσπης. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στα επεξεργασμένα απόβλητα μπορεί να θεωρούνται αμελητέες.

- **Η 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 σταλλακτών με αποτέλεσμα τη κακή λειτουργία του συστήματος και την ανομοιομορφία της κατανομής του αρδευτικού νερού.

- **Η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά**

Τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στα επεξεργασμένα απόβλητα, 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.

- **Η περιεκτικότητα σε παθογόνα συστατικά**

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

- **Η περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά**

Στα απόβλητα μπορεί να υπάρχουν σύνθετα οργανικά συστατικά (πχ. χλωροφόρμιο, χλωροβενζόλιο, μαλαθίο, κα), τα οποία αν και βρίσκονται σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (1 ppb), θεωρείται ότι πιθανόν να είναι τοξικά ή και να εγκυμονούν κίνδυνο καρκίνου. Τα συστατικά αυτά με τη διαδικασία της άρδευσης καταλήγουν στο έδαφος.

Στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού, συνήθως η εφαρμογή του ανακτημένου νερού θα καθορίσει την απαίτηση επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων για την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος και το βαθμό αξιοπιστίας που απαιτείται για τη μέθοδο και τη λειτουργία της επεξεργασίας. Οι κυριότεροι τρόποι επαναχρησιμοποίησης του νερού περιλαμβάνουν άρδευση, βιομηχανική χρήση, συμπλήρωση των επιφανειακών νερών και εμπλουτισμό των υπόγειων νερών. Η

συμπλήρωση των επιφανειακών νερών και ο εμπλουτισμός των υπογείων νερών, γίνεται επίσης μέσω φυσικών λεκανών απορροής και μέσω διείσδυσης των νερών άρδευσης και των βρόχινων νερών. Η ποσότητα του μεταφερμένου νερού μέσω κάθε διαδρομής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, από κλιματολογικούς και υδρογεωλογικούς παράγοντες, από το βαθμό χρησιμοποίησης του νερού στις διάφορες εφαρμογές και το βαθμό άμεσης ή έμμεσης επαναχρησιμοποίησης του νερού. (Metcalf & Eddy, 2007)

Η προστασία της δημόσιας υγείας από τους παθογόνους μικροοργανισμούς, οργανικούς ή ανόργανους ρυπαντές και η διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος, αποτελούν τα κρίσιμα θέματα ενδιαφέροντος σε εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης, κυρίως επικεντρώνονται σε παραμέτρους που έμμεσα ή άμεσα συνδέονται με την δημόσια υγεία και περιλαμβάνουν πληθυσμούς παθογόνων μικροοργανισμών ή «δεικτών», τη συγκέντρωση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD), και των αιωρούμενων στερεών (SS). Όσον αφορά άλλες παραμέτρους, όπως η συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων, αλάτων, τοξικών ρυπαντών, τα οποία συνδέονται με περιβαλλοντικά θέματα και επιπτώσεις στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, σπάνια περιλαμβάνονται στα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης. Οι περισσότερες οδηγίες προσδιορισμού της ποιότητας του ανακυκλωμένου νερού αφορούν την άρδευση, καθώς αυτή αποτελεί την κυριότερη κατηγορία επαναχρησιμοποίησης.

3.2.1 Παρακολούθηση των παθογόνων

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί περιέχονται στα αστικά απόβλητα σαν προϊόντα αποβολών ασθενών ή φορέων ασθενειών και μπορούν να μεταφέρουν και να προκαλέσουν ασθένειες μέσω του νερού στον άνθρωπο όπως χολέρα, δυσεντερία, τυφοειδή πυρετό, ηπατίτιδα κλπ. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι κυρίως βακτηρίδια αλλά και πρωτόζωα και ιοί. Επειδή βρίσκονται στους υδάτινους φορείς σε μικρές συγκεντρώσεις και σε μεγάλη ποικιλία ειδών, η ανίχνευση και ο ποσοτικός προσδιορισμός κάθε είδους τους είναι πρακτικά αδύνατος. Έτσι, αντί για το προσδιορισμό κάθε είδους παθογόνων μικροοργανισμών γίνεται ο προσδιορισμός ενδεικτικών μικροοργανισμών, που η παρουσία τους στο νερό σημαίνει και τη πιθανή παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών. Τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου ενδεικτικού μικροοργανισμού πρέπει να είναι η παρουσία του σε μεγάλους αριθμούς στα ανθρώπινα και ζωικά απόβλητα, η εύκολη ανίχνευση και ποσοτικός προσδιορισμός του, η μεγαλύτερη ανθεκτικότητα του, στην απολύμανση και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του σε σχέση με τους παθογόνους μικροοργανισμούς. (Στάμου κα., 1994)

Η αποφυγή της μετάδοσης μολυσματικών ασθενειών σε ομάδες του πληθυσμού που εκτίθενται στο επεξεργασμένο λύμα ή που καταναλώνουν

προϊόντα που παρήχθησαν με αυτό, όπως εργαζόμενοι, αγρότες, καταναλωτές ή ζώα που βόσκουν σε περιοχές αρδευόμενες με ανακυκλωμένο λύμα, αποτελεί το κύριο μέλημα στο σχεδιασμό επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Ο πληθυσμός των παθογόνων σε μη επεξεργασμένα λύματα παρουσιάζει μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις και μπορεί επίσης να διαφοροποιηθεί σημαντικά μεταξύ περιοχών, λόγω διαφορών στην κατάσταση υγιεινής του εξυπηρετούμενου πληθυσμού. Ωστόσο, το επίπεδο και η αξιοπιστία των διεργασιών επεξεργασίας, καθώς και οι υιοθετούμενες πρακτικές / μέτρα στις θέσεις επαναχρησιμοποίησης, είναι οι βασικότερες παράμετροι που καθορίζουν τον πληθυσμό των παθογόνων στο ανακυκλωμένο νερό και το βαθμό έκθεσης, και συνεπώς τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία.

Σύμφωνα με τις υπάρχουσες επιδημιολογικές μελέτες, η χρήση ανακυκλωμένου νερού που έχει δεχτεί δευτεροβάθμια ή ανωτέρου βαθμού επεξεργασία, δεν εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία όταν χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών ή χώρων πρασίνου. Εκδήλωση ασθενειών έχει αναφερθεί κυρίως σε περιπτώσεις, όπου μη επεξεργασμένες εκροές, από πρωτοβάθμια επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται ωμές (Crook, 1998).

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα παράσιτα μπορεί να επιβιώσουν σε καλλιέργειες, ιδιαίτερα σε φυλλώδη λαχανικά (πχ. σπανάκι, μαρούλι), τα οποία έχουν αρδευτεί με ακατέργαστα λύματα ή με εκροές λυμάτων. Η επιβίωση των παθογόνων σε καλλιέργειες εξαρτάται από το τύπο του παθογόνου, το τύπο της καλλιέργειας και περιβαλλοντικές συνθήκες (πχ. ηλιακό φως, θερμοκρασία, άνεμος, βροχή) και μπορεί να ποικίλλει από μέρες έως μήνες. (Rose, 1986).

Η συγκέντρωση αβγών των παρασίτων που βρίσκεται στο έδαφος μπορεί να είναι υψηλή και μπορεί να φτάσει σε επίπεδα 6000 – 12000 βιώσιμα αβγά /m²/χρόνο. Τα αβγά των παρασίτων, ειδικά αυτά του *Ascaris*, εξακολουθούν να υφίστανται στο έδαφος για χρόνια (5 -7 χρόνια ή και περισσότερο). (Little, 1986)

Η αξιολόγηση της μικροβιολογικής ποιότητας των επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων, βασίζεται στην παρακολούθηση οργανισμών αναφοράς (δεικτών). Τα ολικά και τα περιττωματικά κολοβακτηριοειδή, το *E.coli* και οι στρεπτόκοκκοι αποτελούν τους συνηθέστερους δείκτες. Λόγω του ότι τα κολοβακτηρίδια παρουσιάζουν χαμηλή συσχέτιση με άλλες ομάδες παθογόνων, όσον αφορά την επιβίωση τους, ορισμένες υπηρεσίες επιβάλλουν και την παρακολούθηση και άλλων παθογόνων μικροοργανισμών. Για παράδειγμα ο Π.Ο.Υ. προτείνει την παρακολούθηση των ωών ελμίνθων (WHO, 1989). Αυξημένο ενδιαφέρον δίδεται επίσης σε παθογόνα όπως τα *Giardia spp*, *Cryptosporidium spp*, και το στέλεχος *E.coli O157:H7*.

Πίνακας 3. Είδη και πληθυσμός παθογόνων και δεικτών σε μη επεξεργασμένα αστικά απόβλητα, διάμεσος τιμή μόλυνσης και ασθένειες που συνδέονται με αυτά

Οργανισμός	Αριθμός στα απόβλητα (ανά λίτρο)
Βακτήρια	
Θερμοανθεκτικά κολοβακτηριοειδή	$10^8 - 10^{10}$
<i>Campylobacter jejuni</i>	$10 - 10^4$
<i>Salmonella spp.</i>	$1 - 10^5$
<i>Shigella spp.</i>	$10 - 10^4$
<i>Vibrio cholerae</i>	$10^2 - 10^5$
Έλμινθες	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	$1 - 10^3$
<i>Ancylostoma duodenale</i> / <i>Necator americanus</i>	$1 - 10^3$
<i>Trichuris trichiura</i>	$1 - 10^2$
<i>Schistosoma mansoni</i>	No Data
Πρωτόζωα	
<i>Cryptosporidium parvum</i>	$1 - 10^4$
<i>Entamoeba histolytica</i>	$1 - 10^2$
<i>Giardia intestinalis</i>	$10^2 - 10^5$
Ιοί	
Εντερικοί ιοί	$10^5 - 10^6$
Ροταϊοί	$10^2 - 10^5$

(Feacham et al., 1983); (Mara & Silva, 1986); (Oragui et al., 1987); (Yates & Gerba, 1998)

Μικροοργανισμοί	Αριθμός/Λίτρο	Διάμεσος τιμή μόλυνσης N50	Ασθένεια
Βακτήρια			
Total coliforms (Δείκτης)	107 - 109		
Faecal coliforms (Δείκτης)	105 - 108		
E. coli (Δείκτης)	105 - 1010	106 - 1010	Gastroenteritis, Haemolytic uraemic syndrome
Enterococci (Δείκτης)	106 - 107		
Clostridium perfringens	105 - 106		
Campylobacter jejuni	10 - 104	1000	Gastroenteritis, Guillain - Barre syndrome
Pseudomonas aeruginosa	103 - 106		Skin, eye, ear infections
Salmonella	1 - 105		Gastroenteritis, reactive arthritis
Shigella spp.	1 - 103	10- 20.	dysentery
Vibrio cholerae	102 - 105	106 - 108	Clolera
Πρωτόζωα			
Cryptosporidium parvum	1 - 104	1 - 10.	Gastroenteritis
Entamoeba histolytica	1 - 102	10-20.	Amoebic dysentery
Giardia lamblia		<20	Gastroenteritis
Ιοί			
Enteric virus	105 - 106	1-10.	Gastroenteritis, respiratory illness, nervous disorders, myocarditis
Rotavirus	102 - 105	<10	Gastroenteritis
Adenovirus	10 - 104	<5	Gastroenteritis, respiratory illness, eye infections
Norovirus	10 - 104		Gastroenteritis
Somatic coliphages (Δείκτης)	106 - 109		
F-RNA coliphages (Δείκτης)	105 - 107		
Ελμίνθες			
Ascaris lubricoides	1 - 103	1 - 10.	Roundworm
Ancylostoma duodenale	1 - 103		
Trichuris trichiura	1- 102		Whipworm

Από τους Feacham et al (1983), Geldreich (1990), NRC (1996), Yeates and Gebra (1996), Bitton (1999), Crittenden et al. (2005) και Asano et al. (2007)

3.2.2 Απαιτήσεις επεξεργασίας και παρακολούθησης ποιότητας ανακυκλωμένου λύματος

Οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία μπορούν να εξλειφθούν ή να περιοριστούν σε αποδεκτά επίπεδα, μέσω της μείωσης του πληθυσμού των παθογόνων από την εφαρμογή κατάλληλων σχημάτων επεξεργασίας, της υιοθέτησης πρακτικών που μειώνουν την έκθεση στα παθογόνα, είτε μέσω συνδυασμού τους. Σε χρήσεις που συνεπάγονται υψηλή έκθεση πληθυσμού, όπως η άρδευση καλλιεργειών που τα προϊόντα τους καταναλώνονται ωμά και η άρδευση χώρων πρασίνων με συχνή πρόσβαση από το κοινό, πρέπει να εφαρμόζεται το υψηλότερο δυνατό επίπεδο επεξεργασίας, για την εξάλειψη των κινδύνων δημόσιας υγείας. Σε περιπτώσεις που η χρήση ανακυκλωμένου νερού συνεπάγεται χαμηλή έκθεση ομάδων πληθυσμού, όπως η άρδευση καλλιεργειών, που τα προϊόντα τους δεν καταναλώνονται από τον άνθρωπο, ή υφίστανται επεξεργασία πριν την κατανάλωση, χαμηλότερα επίπεδα επεξεργασίας μπορούν να εφαρμοστούν.

Τα τελευταία έτη, αναγνωρίζεται ότι ο καθορισμός παραμέτρων ποιότητας δεν επαρκεί για να προσδιορίσουμε και να εγγυηθούμε την ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής. Η υιοθέτηση δεικτών για την εκτίμηση της παρουσίας παθογόνων δεν είναι αντιπροσωπευτική για όλες τις ομάδες των παθογόνων. Για παράδειγμα, τα ολικά και περιττωματικά κολοβακτηρίδια, παρόλο που αποτελούν αξιόπιστη παράμετρο παρουσίας παθογόνων βακτηρίων, δεν αποτελούν αξιόπιστους δείκτες για την παρουσία ιών και παρασίτων. Ευρήματα ερευνητικών μελετών και η εμπειρία από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, υποδεικνύουν ότι τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης πρέπει να περιλαμβάνουν και διεργασίες επεξεργασίας, προκειμένου να περιοριστούν αποτελεσματικά οι κίνδυνοι. Όλο και περισσότερες οδηγίες κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης περιγράφουν πλέον επίπεδα επεξεργασίας ή/και διεργασίες.

Πρόσθετα, σε αρκετές περιπτώσεις περιλαμβάνονται απαιτήσεις για την διασφάλιση της αξιοπιστίας της επεξεργασίας, ώστε να προληφθεί η χρήση ανακυκλωμένου νερού που έχει δεχτεί χαμηλότερο από το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας, λόγω αποτυχίας των διεργασιών επεξεργασίας, διακοπή της παροχής ενέργειας, ή αστοχίας του εξοπλισμού (US.EPA, 2004). Ουσιαστικά, ο καθορισμός επιπέδων επεξεργασίας αποσκοπεί στη διασφάλιση ότι θα λάβει χώρα μείωση του αριθμού των παθογόνων σε συγκεκριμένα επίπεδα. Ο καθορισμός συνδυασμού επιπέδων επεξεργασίας και παραμέτρων ποιότητας εκροών, ουσιαστικά περιορίζει τις απαιτήσεις παρακολούθησης, χωρίς ωστόσο να επηρεάζει αρνητικά την αξιοπιστία τους. Τέλος, ο καθορισμός επιτόπιων μέτρων, όπως ο έλεγχος πρόσβασης κοινού, τοπικών μεθόδων άρδευσης και ζωνών προστασίας σε χώρους πρόσβασης, οδηγεί σε πρόσθετη μείωση του βαθμού έκθεσης και επομένως των κινδύνων για τη δημόσια υγεία.

Όσον αφορά τις απαιτήσεις σε παρακολούθηση της ποιότητας των παραγόμενων εκροών, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις μεταξύ των χωρών. Περιγράφονται διαδικασίες δειγματοληψίας σε συγκεκριμένα διαστήματα και

σημεία. Συνήθη σημεία δειγματοληψίας αποτελούν η έξοδος της μονάδας επεξεργασίας και σε ορισμένες περιπτώσεις το δίκτυο διανομής. Ωστόσο, έχει εκφραστεί η άποψη ότι πρέπει να πραγματοποιείται δειγματοληψία στο σημείο επαναχρησιμοποίησης, με κύριο επιχείρημα την πιθανή ανάκαμψη του πληθυσμού των παθογόνων (Asano et al., 2007). Αλλά, η ανάκαμψη του πληθυσμού των παθογόνων μικροοργανισμών μπορεί να λάβει χώρα μόνο υπό την παρουσία ξενιστών, ενώ η αποτελεσματικότητα των διεργασιών επεξεργασίας μας διασφαλίζει ότι η αύξηση του πληθυσμού των δεικτών μικροοργανισμών οφείλεται ουσιαστικά σε μη παθογόνους οργανισμούς.

Πίνακας 4. Τυπική απομάκρυνση μικροοργανισμών δεικτών και άλλων ομάδων παθογόνων με διάφορες τεχνολογίες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων (WHO, 2006)

Επεξεργασία	E. coli	Βακτήρια ^b	Ιοί ^c	Giardia	Έλμινθες
Πρωτοβάθμια	0-0,5	0-0,5	0-0,1	0,5-1,0	0-2,0
Δευτεροβάθμια	1,0-3,0	1,0-3,0	0,5-2,0	0,5-1,5	0-2,0
Dual media Φύλτρωση με κροκίδες	0-1,0	0-1,0	0,5-3,0	1,0-3,0	2,0-3,0
Μεμβράνες	3,5 - >6	3,5 - >6	2,5 - >6	>6	>6
Αντίστροφη όσμωση	>6	>6	>6	>6	>6
Λίμνες	1,0-5,0	1,0-5,0	1,0-4,0	3,0-4,0	1,5 - >3
Υγροβιότοποι επιφ. ροής	1,5-2,5	1	-	0,5-1,5	0-2,0
Υγροβιότοποι υποεπιφ. ροής	0,5-3,0	1,0-3,0	-	1,5-2,0	-
Χλωρίωση	2,0-6,0	2,0-6,0	1,0-3,0	0,5-1,5	0-1,0
Οζώνωση	2,0-6,0	2,0-6,0	3,0-6,0	-	-
Υπεριώδη ακτινοβολία	2,0 - >4	2,0 - >4	>3,0 ^e >1,0 ^d	>3,0	-

^a Παράμετροι όπως ο χρόνος παραμονής, το μέγεθος των πόρων, το βάθος των φίλτρων, η δόση απολύμανσης ασκούν σημαντική επίδραση στην απομάκρυνση των παθογόνων WHO (1998), Rose et al. (1996;2001), NRC (1998), US EPA (2003;2004), Mara and Horan (2003)

^b Παθογόνα βακτήρια συμπεριλαμβανομένων ειδών του γένους *Campylobacter*

^c Περιλαμβάνει αδενοϊούς, ροταιούς και εντεροϊούς

^d Αδενοϊούς^e Αδενοϊούς, Ηπατίτιδα Α

3.3 Εναλλακτικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης ιλύος και λυμάτων

Ένας ακόμη τρόπος εξεύρεσης ικανών ποσοτήτων νερού και η πρακτική της επαναχρησιμοποίησης υγρών αστικών λυμάτων, που προκύπτουν ως εκροές από τους σταθμούς βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων στους μικρούς ή μεγάλους δήμους. Οι εκροές αυτές είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για άρδευση, εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων, για βιομηχανική χρήση, για οικιακή χρήση, για κλιματισμό, αφού πρώτα έχουν υποστεί το κατάλληλο βαθμό επεξεργασίας, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται για την αποφυγή τυχόν κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία σε πρώτη φάση και για τη προστασία του περιβάλλοντος, γενικότερα. (Kalavrouziotis & Apostolopoulos, 2006)

Κατά το σχεδιασμό και την εφαρμογή προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων και ιλύος, οι τύποι επαναχρησιμοποίησης καθορίζουν την απαιτούμενη επεξεργασία τους, καθώς και το βαθμό της αξιοπιστίας των μεθόδων επεξεργασίας. Οι τύποι επαναχρησιμοποίησης μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες :

Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένου λύματος

- Γεωργία (άρδευση καλλιεργειών, φυτώρια, ιχθυοκαλλιέργειες)
- Επαναφόρτιση υπόγειων υδροφόρων οριζόντων
- Βιομηχανία (λέβητες, συστήματα ψύξης)
- Δημιουργία χώρων αναψυχής (λίμνες, τεχνητό χιόνι, άρδευση γηπέδων)

Αστική χρήση (άρδευση πάρκων, νεκροταφείων, πυρόσβεση, κλιματισμός, τουαλέτες, πλύσιμο αυτοκινήτων)

- Πόσιμη χρήση (άμεση, έμμεση)

Επαναχρησιμοποίηση ιλύος

- Γεωργική αξιοποίηση (λίπανση, εδαφοβελτίωση)
- Δασοπονία, δασοκομία, αποκατάσταση εδαφών
- Παραγωγή καύσιμης ύλης
- Παραγωγή βιοαερίου
- Παραγωγή κεραμικών, οικοδομικών, και βιομηχανικών υλικών
- Παραγωγή λιπασμάτων

Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή των κυριότερων από τις παραπάνω εφαρμογές

Γεωργική χρήση λυμάτων και ιλύος

Μεγάλο μέρος της συνολικής χρήσης νερού παγκοσμίως, αλλά και στην Ελλάδα διατίθεται για άρδευση. Σε πολλές χώρες η εφαρμογή λυμάτων στο έδαφος αποτελούσε πάντα και συνεχίζει να αποτελεί τον κύριο τρόπο διάθεσης των αστικών λυμάτων και ικανοποίησης των αρδευτικών αναγκών, π.χ. στην Κίνα $1,33 \cdot 10^6$ εκτάρια αγροτικής γης αρδεύονται με ανεπεξέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα αστικά λύματα, ενώ στο Μεξικό πάνω από 70.000 εκτάρια αρδεύονται με απόβλητα.

Η πρώτη κατηγορία, η άρδευση αγροτικών εκτάσεων, είναι προς το παρόν η μεγαλύτερη κατηγορία όπου χρησιμοποιείται το ανακτημένο νερό. Επίσης, αυτή η κατηγορία προσφέρει σημαντικές προοπτικές και για μελλοντικές εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού. (Metcalf & Eddy, 2004)

Τα κυριότερα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση ανακυκλωμένου νερού για άρδευση περιλαμβάνουν :

- 1.Έλεγχο της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων
- 2.Διατήρηση των φυσικών πηγών νερού για μελλοντική χρήση
- 3.Αύξηση της παραγωγικότητας του εδάφους, καθώς οι εκροές υγρών αποβλήτων, εκτός από τον εφοδιασμό του με νερό, περιέχουν βασικά θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των καλλιεργειών
- 4.Οικονομικά οφέλη για τους παραγωγούς εξαιτίας της μικρότερης εφαρμογής εμπορικών λιπασμάτων
- 5.Βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους, δια μέσου της προστιθέμενης οργανικής ύλης. Επιπλέον, με τη συγκράτηση του εδαφικού χούμου παρεμποδίζεται η διάβρωση

Από την άλλη, η ιλύς λόγω της περιεκτικότητας της σε οργανική ουσία και θρεπτικά στοιχεία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μετά από σταθεροποίηση, κυρίως μέσω αερόβιας κομποστοποίησης, ως υποκατάστατο των χημικών λιπασμάτων και γενικότερα ως εδαφοβελτιωτικό.

Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, που δεν χρησιμοποιούνται για ύδρευση

Ο τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα αστικά υγρά λύματα μπορεί να έχει ως στόχο τη δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα παρεμποδίζει την διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό των παράκτιων υδροφορέων, την αποθήκευση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης, π.χ. για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή, την ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, που μπορεί να φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσης του και επειδή η φυσική ανανέωση συμβαίνει με πολύ αργό ρυθμό, τον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους, καθώς και την περαιτέρω

επεξεργασία των αστικών αποβλήτων ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική χρησιμοποίησή τους.

Η εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης του ανακτημένου νερού είναι ο εμπλουτισμός των υπογείων νερών, είτε μέσω λεκανών διασποράς, είτε με απευθείας έκχυση στον υπόγειο υδροφόρο. Ο εμπλουτισμός των υπογείων νερών σχετίζεται με την ενσωμάτωση του ανακτημένου νερού στο υπόγειο νερό, την αποθήκευση στον υπόγειο υδροφόρο ή τη δημιουργία υδραυλικού φράγματος για την παρεμπόδιση της διείσδυσης και ανάμιξης του θαλασσινού νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων. (Metcalf & Eddy, 2004)

Χρήση λυμάτων και ιλύος στη βιομηχανία

Τα αστικά λύματα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες που χρησιμοποιούν νερό το οποίο δεν χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου. Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των αστικών λυμάτων είναι : 1) το νερό ψύξης, 2) το νερό τροφοδοσίας λεβήτων και 3) το νερό κατεργασίας ή βιομηχανικό νερό. Η κυρίαρχη όμως χρήση που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη χρήση είναι το νερό ψύξης.

Το σημαντικότερο ίσως παράδειγμα εγχώριας αξιοποίησης ιλύος από την βιομηχανία, είναι η χρήση μεγάλου ποσοστού ξηραμένης ιλύος της Ε.Ε.Λ. Ψυτάλλειας για καύση στη τσιμεντοβιομηχανία.

Η χρήση του ανακτημένου νερού περιλαμβάνει τις βιομηχανικές δραστηριότητες, κυρίως για ψύξη και ανάγκες διαφόρων διεργασιών. Το νερό ψύξης είναι η επικρατέστερη εφαρμογή βιομηχανικής επαναχρησιμοποίησης, το οποίο είτε σε πύργους ψύξης είτε σε δεξαμενές ψύξης αποτελεί τη μεγαλύτερη απαίτηση πολλών βιομηχανιών σε νερό. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία βιομηχανικών χρήσεων, όπου εκτός από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, απαιτείται καλύτερη επεξεργασία για την εξασφάλιση κατάλληλης ποιότητας ανακτημένου νερού. (Metcalf & Eddy, 2007)

Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής

Η χρήση ανακτημένων λυμάτων για την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής περιλαμβάνει την δημιουργία τεχνητών υδροβιότοπων ή την διατήρηση φυσικών, τη δημιουργία χώρων αναψυχής, την αύξηση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων καθώς και διάφορες άλλες χρήσεις.

Η συλλογή του ανακτημένου νερού μπορεί να ενσωματωθεί στο χωροταξικό σχεδιασμό των αστικών περιοχών. Τεχνητές λίμνες, λεκάνες αποθήκευσης σε γήπεδα γκολφ και επιφανειακοί ταμιευτήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές τροφοδοσίας νερού. (Metcalf & Eddy, 2007)

Αστική επαναχρησιμοποίηση

Τα συστήματα αστικής επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων παρέχουν ανακτημένο νερό για οποιαδήποτε χρήση, εκτός της πόσης, σε αστικές περιοχές. Μερικές από τις αστικές χρήσεις είναι το πότισμα δημοσίων πάρκων και κέντρων αναψυχής, αθλητικών γηπέδων, σχολικών αυλών, γηπέδων παιχνιδιού, νησίδων και κράσπεδων αυτοκινητοδρόμων, νεκροταφείων, και κήπων που περιβάλλουν δημόσια κτήρια και εγκαταστάσεις, κήπων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, γενικό πλύσιμο και άλλες εργασίες συντήρησης, εμπορικές χρήσεις όπως οι εγκαταστάσεις πλυσίματος οχημάτων, το πλύσιμο των παραθύρων, το νερό ανάμιξης για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και υγρά λιπάσματα, πυροπροστασία κλπ. Σε πολλές από τις εφαρμογές της συγκεκριμένης κατηγορίας άρδευσης χρησιμοποιείται το διπλό σύστημα διανομής, ένα για το πόσιμο και ένα για το ανακτημένο νερό. Κατά το σχεδιασμό των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων υγρών αποβλήτων για αστική χρήση, οι σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι η αξιοπιστία εξυπηρέτησης και η προστασία της δημόσιας υγείας. (Ανδρεαδάκης, 2007)

Επαναχρησιμοποίηση για σκοπούς ύδρευσης

Η εφαρμογή των έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άμεση ή έμμεση (μέσω εμπλουτισμού των υδροφορέων) ύδρευση είναι πολύ περιορισμένη και συμβαίνει μόνο σε κάποιες κοινότητες ανά τον κόσμο, όπου δεν είναι δυνατή ή είναι ιδιαίτερα δύσκολη η αξιοποίηση άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων. Η χρήση για πόσιμο νερό, η οποία εφαρμόζεται μέσω ανάμιξης του ανακτημένου νερού με το ακατέργαστο πόσιμο ενός ταμειυτήρα ποσίμου νερού ή σπανιότερα, μέσω άμεσης διοχέτευσης του ανακτημένου νερού στο δίκτυο πόσιμου (επαναχρησιμοποίηση για πόσιμο νερό, 'ripe-to-pipe'. (Metcalf & Eddy, 2004) Γενικά ,υπήρξε και εξακολουθεί να υπάρχει ακόμα και σήμερα σοβαρός προβληματισμός ως προς την άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για πόση.

Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων		Θέματα/ Περιορισμοί
<p>Άρδευση γεωργικών καλλιεργειών, λιβαδιών, χορτοδοτικών καλλιεργειών και εμπορικών φυτωρίων</p>		<p>α) Εποχιακή χρήση β) Η πιθανή ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων γ) Η εμπορευσιμότητα και η κοινή αποδοχή των παραγόμενων εμπορευμάτων δ) Η επίδραση της ποιότητας νερού στο έδαφος και στις καλλιέργειες ε) Ανησυχίες για την δημόσια υγεία που σχετίζονται με παθογόνα (βακτήρια, ιούς και παράσιτα)</p>
<p>Αστικές χρήσεις Άρδευση χώρων πρασίνου Πυρόσβεση Συστήματα κλιματισμού Καθαρισμός τουαλέτας Άρδευση οικιακών κήπων Πλύσιμο αυτοκινήτων Καθαρισμός δρόμων</p>		<p>α) Κίνδυνοι για την δημόσια υγεία όσο αφορά τα παθογόνα που μεταφέρονται μέσω σταγονιδίων β) Η επίδραση στην ποιότητα του νερού, μεταλλική διάβρωση, βιολογική ανάπτυξη και ανάπτυξη διάφορων εναποθέσεων γ) Η λανθασμένη σύνδεση δικτύων μεταφοράς ανακυκλωμένου νερού και νερού ύδρευσης</p>

<p>Βιομηχανική χρήση Νερό ψύξης Τροφοδοσία του λέβητα Διεργασίες μεταποίησης Βαριές βιομηχανίες</p>		<p>α) Συστατικά στα ανακτημένα υγρά απόβλητα, που σχετίζονται με διάβρωση, βιολογική ανάπτυξη και ανάπτυξη διαφόρων εναποθέσεων β) Ανησυχίες για την δημόσια υγεία, ειδικά όσον αφορά τυχόν μεταφορά μέσω του αέρα παθογόνων στο νερό ψύξης</p>
<p>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων Αναπλήρωση υπόγειων υδροφόρων Έλεγχος της υπαλμύρωσης</p>		<p>α) Οργανικές ενώσεις στα ανακτημένα υγρά απόβλητα που σχετίζονται με διάβρωση, βιολογική ανάπτυξη και ανάπτυξη διαφόρων εναποθέσεων β) Ολικά διαλυμένα στερεά, νιτρικά και παθογόνα στα ανακτημένα υγρά απόβλητα</p>
<p>Αναψυχή, περιβαλλοντικές εφαρμογές Φυσικές και τεχνητές λίμνες Αναβάθμιση των ελών Εξασφάλιση συνεχούς ροής των ρυακίων</p>		<p>α) Κίνδυνοι για την δημόσια υγεία από παθογόνα β) Ευτροφισμός λόγω N και P σε επιφανειακά υδατικά σώματα γ) Τοξικές επιδράσεις για την υδρόβια ζωή από οργανικές ενώσεις, υπολειμματικό Cl₂ ή βαρέα μέταλλα</p>

Ιχθυοτροφεία Παραγωγή χιονιού		
Επαναχρησιμοποίηση για οικιακή χρήση α) Μετά από ανάμειξη β) Κατευθείαν		α) Διάφορες οργανικές ενώσεις και οι τοξικολογικές επιδράσεις τους β) Αισθητική και κοινή αποδοχή γ) Ανησυχία για την μεταφορά παθογόνων και ιδιαίτερα ιών

Πίνακας 5. Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων και θέματα/περιορισμοί που μπορεί να προκύψουν σε επίπεδο κοινότητας

3.4 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η μέχρι τώρα απουσία ενός ολοκληρωμένου και σαφούς θεσμικού πλαισίου αποτελούσε ανασταλτικό παράγοντα για την προώθηση και ευρεία εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης η οποία μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ειδικότερα, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων αφ ενός από την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής, και αφ ετέρου από την έντονη ταπείνωση ή /και υφαλμήρωση των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας.

Το σκεπτικό της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων παρουσιάζει εγγενή οφέλη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και οικονομικά οφέλη. Ωστόσο η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων απαιτεί έναν ολοκληρωμένο και ορθολογικό σχεδιασμό, που λαμβάνει υπόψη του ενδεχόμενους κινδύνους και περιορισμούς.

Στην Ελλάδα ίσχυε η Υγ. Δ. Ε1β/221/65 ΦΕΚ 138/Β “περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων” και η 86/278/ΕΟΚ που είναι η προσαρμογή της L 181/6 κοινοτικής νομοθεσίας. Και οι δύο νομοθεσίες δεν αναφέρουν όρια για τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των ανακυκλωμένων λυμάτων. Ο Π.Ο.Υ. έχει δύο κατηγοριών προδιαγραφές: μία για τις αναπτυγμένες και μια για τις υπό ανάπτυξη χώρες, Για τις αναπτυγμένες προβλέπει ότι το νερό που προέρχεται από βιολογικούς καθαρισμούς και προορίζεται για άρδευση δεν πρέπει να περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς (βακτήρια, ιούς, αυγά παρασίτων και σκώληκες) και να έχει θολερότητα μικρότερη από 2 μονάδες. (Μαυρίδου, κ.α., 1995) Παρόλα αυτά ο Π.Ο.Υ. δέχεται για χώρες που βρίσκονται σε ανάπτυξη και έχουν σοβαρό πρόβλημα νερού λίγο πιο χαλαρές προδιαγραφές (1000 κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή /100 ml και 0-1 αυγό ελμίνθων /L). (WHO, 1989)

Στις 2 Φεβρουαρίου 2011, δημοσιοποιήθηκε από το Υ.Π.Ε.Κ.Α. Κοινή Υπουργική Απόφαση με θέμα τον καθορισμό μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Όπως αναφέρει και το υπουργείο στην ανακοίνωση της απόφασης : «Με την ΚΥΑ τίθενται οι προϋποθέσεις για την προώθηση της ασφαλούς αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Προσδιορίζονται οι εναλλακτικές δυνατότητες που περιλαμβάνουν την γεωργική χρήση (άρδευση), την τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων, την αστική και περιαστική χρήση, και τη βιομηχανική χρήση και καθορίζονται οι ειδικοί όροι (όρια μικροβιολογικών και χημικών παραμέτρων, ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία) για κάθε περίπτωση και οι αντίστοιχες ευθύνες τους και περιγράφονται με σαφήνεια οι απαιτούμενες διαδικασίες αδειοδότησης.»

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες του Παραρτήματος 1 με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ για κάθε περίπτωση.

Παρουσίαση πίνακα 1της ΚΥΑ της 02/02/2011

Πίνακας 1: Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διαμέσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων
Περιορισμένη άρδευση						
Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (μη συμπεριλαμβανομένων των σποροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά την συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωση τους. Άρδευση με καταιωνισμό δεν θα εφαρμόζεται	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνά με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνά με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία (α,β) Απολύμανση (γ)	BOD ₅ , SS, N, P : Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997 EC : Μια ανά βδομάδα Υπολειμματικό χλώριο : Συνέχως (εφόσον εφαρμόζεται)
Βιομηχανική χρήση						
Νερό ψύξης μιας χρήσης						
Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, (με την επιφύλαξη των παραγράφων 4 και 5 του άρθρου 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά						

Σημειώσεις πίνακα 1

α) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα, και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD₅/SS σε συμφωνία με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από

45 mg/l, με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη διάρκεια αποθήκευση των υγρών αποβλήτων σε ταμειυτήρες, γίνεται άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορύπανση ζωνών ή γίνεται εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα. Στις περιπτώσεις αυτές οι μέσες συγκεντρώσεις αζώτου πρέπει να μην υπερβαίνουν τα 15 mg/l.

β) Στην περίπτωση κοινοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο από 2000 ισοδύναμους κατοίκους και οικιακών ιδιωτικών συστημάτων επεξεργασίας επιτρέπονται οι τύποι επαναχρησιμοποίησης του Πίνακα 1 μετά από εφαρμογή μεθόδων επεξεργασίας, που δεν επιτυγχάνουν για τα BOD₅/SS τα όρια της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97) με την προϋπόθεση ότι τεκμηριωμένα εξασφαλίζεται η μη επαφή κοινού και γεωργών με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Στις περιπτώσεις των κοινοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας ως μέγιστη διάμεση τιμή Escherichia coli τίθενται τα 1000 EC/100ml

γ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση περιόδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδοι καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη διάμεση συγκέντρωση Escherichia coli. Σε κάθε περίπτωση και στο βαθμό που η επεξεργασία συνίσταται στην ελάχιστη απαιτούμενη κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται γινόμενο υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής (C-t) μεγαλύτερο ή ίσο από 30 mg*min/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 30 min, ενώ για την απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 70 mW*sec/cm² στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη του 50%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης

δ) Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη να τεκμηριώνεται η επάρκεια του εδαφικού συστήματος να επιτυγχάνει συγκράτηση οργανικών

Παρουσίαση πίνακα 2 της ΚΥΑ της 02/02/2011

Πίνακας 2 : Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
Απεριόριστη άρδευση Όλες οι καλλιέργειες όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ομά, θερμοκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής της άρδευσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού	≤ 5 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 50 για το 95% των δειγμάτων	≤10 για το 80% των δειγμάτων	≤10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία(ε) ακολουθούμενη από Τριτοβάθμια επεξεργασία ^(στ) και Απολύμανση ^(ζ)	BOD ₅ , SS, N, P : Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97) Θολότητα και διαπερατότητα για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις EC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δυο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις...Κατ' εξαίρεση για νησιώτικες περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής μια ανά εβδομάδα Υπολειμματικό Cl ₂ συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)
Βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης Επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, νερό διεργασιών κλπ ^(η)				-		

Σημειώσεις πίνακα 2

ε) Όπως η σημείωση (α) του Πίνακα 1. Στην περίπτωση άρδευσης σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητες λόγω νιτρορύπανσης απαιτείται απομάκρυνση αζώτου μέσω νιτροποίησης – απονιτροποίησης, ώστε οι συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ολικού αζώτου να είναι μικρότερες από 2 mg/l και 15 mg/l αντίστοιχα.

στ) Κατάλληλο σύστημα που να επιτυγχάνει τα αναφερόμενα στον Πίνακα 2 όρια για το BOD₅, τα SS και τη θολότητα. Ενδεικτικά κατ' ελάχιστον προσθήκη κατάλληλου κροκιδωτικού (πχ θεικού αργίλιου) σε δόση μεγαλύτερη από 10 mg/l και απευθείας

διύλιση σε διυλιστήριο άμμου με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: βάθους διυλιστικού μέσου (L) ≥ 1.40 m, ενεργή διάμετρο κόκκων άμμου (De) ≈ 1 mm, συντελεστή ομοιομορφίας κόκκων άμμου (u) 1.45-1.60και επιφανειακή φόρτιση ≤ 8 m³/m²/h για κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

ζ) Χλωρίωση, οξόνωση, χρήση υπερϊώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδος καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση Escherichia coli για το 80% των δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου ≥ 2 mg/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min, ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν από την επαναχρησιμοποίηση θα εξετάζεται κατά περίπτωση. Για απολύμανση μέσω UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 50 mW*sec/cm² στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης.

η) Για νερό βιομηχανικών διεργασιών θα εφαρμόζονται από την ενδιαφερόμενη βιομηχανία τα εκάστοτε απαιτούμενα πρόσθετα προχωρημένα συστήματα επεξεργασίας για απομάκρυνση ιόντων και άλλων διαλυμένων ενώσεων ή/ και στοιχείων.

Παρουσίαση Πίνακα 3 της ΚΥΑ της 02/02/2011

Πίνακας 3 : Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαιστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
Αστική χρήση. Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαγιών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά συνριβάνια. Πότισμα με καταιωνισμό απαγορεύεται???	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95 % των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ^θ ακολουθούμενη από Προχωρημένη επεξεργασία ^ι και Απολύμανση ^κ	BOD ₅ , SS, N, P : Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97). Θολότητα και διαπερατότητα: Για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις.
Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007(ΦΕΚ 54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις						TC : Για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 επτά ανά εβδομάδα και τρεις ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις . Κατ' εξαίρεση για νησιώτικες περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής δυο ανά εβδομάδα
Περιαιστικό πράσινο συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών ^λ						Υπολειμματικό Cl ₂ συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)

Σημειώσεις πίνακα 3

θ) Όπως η σημείωση (α) του Πίνακα 1 με την πρόσθετη απαίτηση να επιτυγχάνεται απομάκρυνση αζώτου μέσω νιτροποίησης – απονιτροποίησης, ώστε οι συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ολικού αζώτου να είναι μικρότερες από 2 mg/l και 15 mg/l αντίστοιχα

ι) Κατάλληλο σύστημα μεμβρανών (συνιστάται τουλάχιστον υπερδιήθηση) ή ισοδύναμο σύστημα επεξεργασίας που να επιτυγχάνει τα αναφερόμενα στον Πίνακα 3 όρια για το BOD₅, SS και τη θολότητα. Στην περίπτωση χρήσης βιολογικών αντιδραστήρων μεμβράνης (membrane bioreactors) είναι δυνατή η συγχώνευση της δευτεροβάθμιας και προχωρημένης επεξεργασίας.

κ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδος καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριδίων για το 80% των δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου $\geq 2 \text{ mg/l}$, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min, ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν από την επαναχρησιμοποίηση θα εξετάζεται κατά περίπτωση. Για απολύμανση μέσω UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 40 mW*sec/cm^2 στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης.

λ) Στις περιπτώσεις δασών είναι δυνατή η κατά περίπτωση, μετά από τεκμηρίωση εφαρμογή των απαιτήσεων του Πίνακα 2 ή του Πίνακα 1

Σύμφωνα λοιπόν με την πρόσφατη ελληνική νομοθεσία, τίθενται τα εξής όρια μικροβιολογικών παραμέτρων για της διάφορες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένου λύματος :

• Διάμεση τιμή $E. coli \leq 200/100 \text{ ml}$ στις περιπτώσεις περιορισμένης άρδευσης, βιομηχανικής χρήσης νερού ψύξης μιας χρήσης και τροφοδότησης υπόγειων υδροφορέων, με ταυτόχρονη παρακολούθηση του BOD_5 , των SS και του υπολειμματικού χλωρίου, συχνότητα δειγματοληψιών $1/\text{εβδομάδα}$ και απαιτούμενη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία και απολύμανση.

• $E. coli \leq 5/100 \text{ ml}$ για το 80% των δειγμάτων και $\leq 50/100 \text{ ml}$ για το 95% των δειγμάτων, στις περιπτώσεις απεριόριστης άρδευσης και βιομηχανικής χρήσης πλην νερού ψύξης μιας χρήσης, με ταυτόχρονη παρακολούθηση του BOD_5 , των SS, της θολότητας και του υπολειμματικού χλωρίου, συχνότητα δειγματοληψιών $4 \text{ ή } 2/\text{εβδομάδα}$ και απαιτούμενη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, ακολουθούμενη από τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση.

• Ολικά κολοβακτηρίδια $\leq 2/100 \text{ ml}$ για το 80% των δειγμάτων και $\leq 20/100 \text{ ml}$ για το 95% των δειγμάτων, στις περιπτώσεις αστικής χρήσης, εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων και περιαστικού πρασίνου και δασών, με ταυτόχρονη παρακολούθηση του BOD_5 , των SS, της θολότητας και του υπολειμματικού χλωρίου, συχνότητα δειγματοληψιών $7 \text{ ή } 3/\text{εβδομάδα}$ και απαιτούμενη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, ακολουθούμενη από προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση.

3.5 Ανασκόπηση διεθνούς θεσμικού πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

Υγιεινολογικά προβλήματα από την επαναχρησιμοποίηση των ακατέργαστων ή ανεπαρκώς επεξεργασμένων λυμάτων έχουν κατά καιρούς επισημανθεί, επομένως η έμφαση κατά τον καθορισμό κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων δίνεται στην προστασία της δημόσιας υγείας, μέσω κατάλληλου ελέγχου των παθογόνων μικροοργανισμών. Για τη θέσπιση των κατευθυντήριων γραμμών υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις, με διαφορετικούς στόχους και αποτελέσματα. Η πρώτη προσέγγιση στοχεύει στην απουσία δεικτών κοπρανώδους μόλυνσης στο επεξεργασμένο λύμα, η δεύτερη στην απουσία διαπιστωμένων περιστατικών εντερικών νόσων στον εκτιθέμενο, στο επεξεργασμένο λύμα πληθυσμό, ενώ η Τρίτη χρησιμοποιεί μοντέλα εκτίμησης κινδύνου σε σχέση με τον αποδεκτό κίνδυνο. Ο συνδυασμός της δεύτερης και τρίτης προσέγγισης, χρησιμοποιώντας επιδημιολογικές μελέτες και μοντέλα ποσοτικής εκτίμησης κινδύνου για επιλεγμένους παθογόνους παράγοντες, αποτελεί την σημερινή κυρίαρχη τάση στη θέσπιση κριτηρίων.

Ωστόσο, σε θεωρητικό τουλάχιστον επίπεδο, ο κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών παραμένει, ακόμα και στην περίπτωση επαρκούς επεξεργασίας των λυμάτων και απουσίας περιστατικών νόσου. Έτσι, σε όλες τις περιπτώσεις θέσπισης κριτηρίων ασφαλούς επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, χωρίς να παραγνωρίζονται τα συμπεράσματα των επιδημιολογικών ερευνών, λαμβάνεται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό πρόνοια για την αποτελεσματική αντιμετώπιση και των θεωρητικών κινδύνων.

3.5.1 Οδηγία Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) και εθνικές νομοθεσίες χωρών

Οι οδηγίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων για άρδευση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας βασίζονται στο μικρότερο δυνατό βαθμό απομάκρυνσης, απ' αυτόν που απαιτείται για να επιτευχθεί η προτεινόμενη ποιότητα εκροής για απεριόριστη άρδευση. Αυτός βέβαια μπορεί να είναι αποδεκτός, εάν εφαρμόζονται συμπληρωματικά μέτρα προστασίας της δημόσιας υγείας ή η ποιότητα των εκροών μετά την επεξεργασία, βελτιωθεί περαιτέρω με αραίωση με φυσικά νερά, παρατεταμένη αποθήκευση ή μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις. (WHO, 1989)

Ο WHO εξέδωσε μια οδηγία το 1989, η οποία αναθεωρήθηκε το 2000, σχετικά με την ποιότητα του λύματος που χρησιμοποιείται για άρδευση. Ορίστηκαν οι ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες μέτρων για τη μείωση ή εξάλειψη των κινδύνων μετάδοσης ασθενειών κατά την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων.

- Επεξεργασία των λυμάτων

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

Τα συμπεράσματα της Οδηγίας μπορούν να συνοψισθούν ως εξής :

1. Η άρδευση με ακατέργαστα λύματα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.

2. Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των λυμάτων, ή η λήψη μέτρων για την αποφυγή ανθρώπινης επαφής με τους παθογόνους μικροοργανισμούς, μειώνει τον κίνδυνο, ο οποίος όμως, να και χαμηλός, εξακολουθεί να υφίσταται.

3. Αποτελεσματικό μετρό, τουλάχιστον για τους καταναλωτές, αποτελεί η εφαρμογή της άρδευσης σε περιορισμένους τύπους καλλιεργειών και κυρίως σε καλλιέργειες που δεν παράγουν προϊόντα που τρώγονται ωμά (περιορισμένη άρδευση).

4. Απαραίτητη είναι η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των λυμάτων και συγκεκριμένα προτιμάται η εφαρμογή τους στο υπέδαφος.

5. Η πλήρης επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί το αποτελεσματικότερο εργαλείο για την πρόληψη μετάδοσης ασθενειών, χωρίς στην περίπτωση αυτή να είναι αναγκαίος ο περιορισμός των καλλιεργειών (απεριόριστη άρδευση).

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην επιλογή του τύπου των αρδευόμενων καλλιεργειών και στον βάσει αυτού διαχωρισμό της άρδευσης σε δυο κατηγορίες :

Την «περιορισμένη άρδευση», η οποία αφορά καλλιέργειες με προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά, και την «απεριόριστη», η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας, αλλά και για πότισμα γηπέδων, πάρκων, κλπ.

Στην πρώτη περίπτωση ουσιαστικά δεν τίθενται μικροβιολογικά κριτήρια, συνίσταται όμως η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας η οποία μπορεί να αποτελείται από πρωτοβάθμια επεξεργασία ή από επεξεργασία σε λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής 8-10 ημέρες. Επισημαίνεται πάντως ότι βασική προϋπόθεση για την περιορισμένη άρδευση είναι η αποφυγή άμεσης επαφής των καρπών με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μέσω επιλογής κατάλληλης μεθόδου άρδευσης (επιφανειακή και όχι με καταιονισμό) και με αποφυγή συλλογής των καρπών από το έδαφος. Τέλος, ως πρόσθετο μέτρο ασφάλειας συνίσταται η διακοπή της άρδευσης δυο εβδομάδες πριν από τη συλλογή των καρπών.

Στην περίπτωση της απεριορίστης άρδευσης συνίσταται η τήρηση συγκεκριμένων μικροβιολογικών κριτηρίων, τόσο ως προς τους εντερικούς νηματώδεις οργανισμούς (< 1 αβγό ανά λίτρο) όσο και ως προς τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή FC (< 1000 FC / 100 ml), με ακόμη αυστηρότερα κριτήρια (< 200 FC/ 100 ml) για ορισμένες περιπτώσεις, όπως το πότισμα γκαζόν. Σημειώνεται ότι τα κριτήρια αυτά είναι λιγότερο αυστηρά από προγενέστερα κριτήρια του Π.Ο.Υ για απεριορίστη άρδευση, που επέτρεπε μέγιστη τιμή 100 FC/ 100 ml

Πίνακας 6. Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία κατά Π.Ο.Υ

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

(α) Τα είδη *Ascaris* και *Trichuris*

(β) Κατά την περίοδο της άρδευσης

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

(δ) Στην περίπτωση σπρωφοφόρων δέντρων, η άρδευση θα πρέπει να σταματά δυο εβδομάδες πριν από την συλλογή των φρούτων, ενώ δεν πρέπει να εφαρμόζονται φρούτα από το έδαφος. Επίσης δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό

Είναι εμφανές ότι η οδηγία του Π.Ο.Υ βασίζεται κυρίως στα δεδομένα των επιδημιολογικών ερευνών, σε συνδυασμό με μια εμφανή προσπάθεια ρεαλιστικής αντιμετώπισης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες, και θέτει όχι ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά, όμως έχουν υποστεί και εξακολουθούν να υφίστανται έντονη κριτική στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες και στις Η.Π.Α, με αποτέλεσμα το θεσμικό τους πλαίσιο να είναι αυστηρότερο από τα κριτήρια της Οδηγίας του Π.Ο.Υ. , η νομοθεσία της Πολιτείας της Καλιφόρνια (η πλέον αυστηρή) και η νομοθεσία των Η.Π.Α.

Πίνακας 7. Σύγκριση Οδηγίας Π.Ο.Υ., νομοθεσίας Καλιφόρνια και Η.Π.Α. για την ποιότητα του επεξεργασμένου λύματος στην άρδευση

	Οδηγία WHO		Title 22 Καλιφόρνια	USEPA (EPA/625/R- 92/004)
	Νηματοδεις (Αβγά/L)	Κοπρ. Κολ/δη (cfu/100 ml)	Κοπρ. Κολ/δη (cfu/100 ml)	Κοπρ. Κολ/δη (cfu/100 ml)
Περιορισμένη άρδευση	< 1	Δεν τίθενται όρια	<23	<200
Μη περιορισμένη άρδευση	< 0,1	10 ³ .	<2.2	0

Το Σεπτέμβριο του 2006, αναθεωρήθηκε εκ νέου η οδηγία του Π.Ο.Υ., διαφοροποιώντας σημαντικά την φιλοσοφία της. Η τελευταία αναθεώρηση αποτελεί βάση ανάπτυξης κατάλληλης μεθοδολογίας για την εκτίμηση των κινδύνων δημόσιας υγείας από την επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων, καθώς και τη διαχείριση τους, παραμένοντας προσανατολισμένες στις ανάγκες του αναπτυσσόμενου κόσμου.

Υιοθετείται μια μεθοδολογία ποσοτικού προσδιορισμού των κινδύνων της δημόσιας υγείας (QMRA), που απορρέουν από τους παθογόνους μικροοργανισμούς και χημικούς παράγοντες η οποία βασίζεται στο Stockholm Framework. (Fewtrell & Bartram, 2001) Προτείνεται η ολοκληρωμένη διαχείριση των κινδύνων μέσω θέσπισης αποδεκτών/ανεκτών επιπέδων κινδύνου και λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πορείες έκθεσης που μπορεί να οδηγήσουν σε εκδήλωση ασθένειας. Οι επιπτώσεις μιας ασθένειας εκφράζονται σε αριθμό ετών που ζουν οι άνθρωποι με μια ανεπάρκεια/πάθηση, ή που χάθηκαν λόγω της συγκεκριμένης ασθένειας (DALYs).

Οι στόχοι προστασίας της δημόσιας υγείας που καθορίζουν το ανεκτό επίπεδο για κάθε ζημιογόνο παράγοντα, μπορούν να επιτευχθούν με εφαρμογή μέτρων σε διάφορα σημεία του έργου επαναχρησιμοποίησης. Το αποδεκτό/ανεκτό επίπεδο κινδύνου ορίζεται στα 10⁻⁶ DALYs ανά άτομο ανά έτος

υγείας για υδατογενείς ασθένειες. Για την επίτευξη του στόχου αυτού ορίζονται πολλαπλά επίπεδα μείωσης των κινδύνων που περιλαμβάνουν πρακτικές άρδευσης και μέτρα προετοιμασίας της τροφής, καθώς και τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων.

Πίνακας 8. Στόχοι προστασίας της δημόσιας υγείας κατά την χρήση εκροών υγρών αποβλήτων στη γεωργία (Π.Ο.Υ. 2006)

Σενάριο έκθεσης	Στόχοι προστασίας (DALY/ άτομο έτος)	Απαιτούμενη μείωση ^a (Log)	Αρ. αβγών ελμίνθων (eggs/L)
Άρδευση χωρίς περιορισμούς	10^{-6} (a)		
Μαρούλι		6	< 1 (b),c
Κρεμμύδι		7	< 1 (b),c
Άρδευση με περιορισμούς	10^{-6} (a)		
Χρήση μηχανημάτων		3	< 1 (b),c
Χειρωνακτικά		4	< 1 (b),c
Τοπική άρδευση	10^{-6} (a)		
Καλλιέργειες χωρίς επαφή με το έδαφος		2	No recommendation (d)
Καλλιέργειες με επαφή με το έδαφος		4	< 1 (b),c

(a) Rotavirus. Οι στόχοι προστασίας της δημόσιας υγείας μπορεί να επιτευχθούν, για άρδευση χωρίς περιορισμούς και τοπική άρδευση, με 6-7 log μείωση του πληθυσμού των παθογόνων (επιτυγχάνεται με συνδυασμό επεξεργασίας και άλλων μέτρων, για άρδευση με περιορισμούς επιτυγχάνεται 2-3 log μείωση)

(b) Όταν διαπιστώνεται έκθεση παιδιών ηλικίας < 15 ετών, πρόσθετα μέτρα προστασίας θα πρέπει να εφαρμόζονται (επεξεργασία $< 0,1$ egg/L, προστατευτικός εξοπλισμός ή εμβολιασμός)

(c) Ένας αριθμητικός μέσος θα πρέπει να καθορίζεται κατά την διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Ο συνιστώμενος μέσος $0,1$ egg/L θα πρέπει να ικανοποιείται τουλάχιστον στο 90% των δειγμάτων. Με ορισμένες διεργασίες επεξεργασίας, όπως λίμνες οξείδωσης, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής χρησιμοποιείται ως ενδεικτική παράμετρος ότι διασφαλίζεται < 1 egg/L

(d) Δεν επιτρέπεται η συλλογή καρπών από το έδαφος

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται ενδεικτικά οι απαιτήσεις της ισπανικής και γαλλικής νομοθεσίας, τα εθνικά και τοπικά κριτήρια της Ιταλίας και η νομοθεσία της Κύπρου για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων στη γεωργία.

Πίνακας 9. Νομοθεσία Ισπανίας για τη μικροβιολογική ποιότητα του αρδευόμενου λύματος

Περιγραφή	Παράμετρος
Όλοι οι τύποι άρδευσης • Helminth egg	1 ανά λίτρο
Απεριόριστη άρδευση •Περιττωματικά κολοβακτηρίδια	1 ανά 100 ml
Περιορισμένη άρδευση •Περιττωματικά κολοβακτηρίδια	200 ανά 100 ml
Άρδευση δημητριακών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων •Περιττωματικά κολοβακτηρίδια	500 ανά 100 ml

Πίνακας 10. Νομοθεσία Γαλλίας για τη μικροβιολογική ποιότητα του αρδευόμενου λύματος

Κατηγορίες επεξεργασμένου λύματος	E. coli (cfus/100 ml)	Salmonella	Αυγά Taenia / L	Είδος καλλιέργειας
A	< 1000	0	0	Λαχανικά / μικρά φρούτα (τρώγονται ωμά), Βοσκοτόπια, Ράντισμα δέντρων με φρούτα, Δημόσια πάρκα/γήπεδα
B	< 1000			Λαχανικά/ μικρά φρούτα (μαγειρεύονται ή παστεριώνονται), Φυτόρια ράντισμα), Δημητριακά (ράντισμα)
C	< 10 ⁴			Φυτόρια, Δημητριακά
D	Κανένα κριτήριο			Δάση με ελεγχόμενη πρόσβαση κοινού

Πίνακας 11. Εθνικά και τοπικά κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία

Περιγραφή	Κριτήρια ποιότητας	
	Μικροβιακή ποιότητα	Άλλες παράμετροι
Εθνικά κριτήρια • Καλλιέργειες που καταναλώνονται ωμές (Απεριόριστη άρδευση) • Βοσκότοποι (Περιορισμένη άρδευση)	2 TC / 100 ml 20TC / 100 ml	
Puglie • Απεριόριστη άρδευση • Περιορισμένη άρδευση	2 TC / 100 ml 20TC / 100 ml	15 mg/l BOD ₅ , 40 mg/l COD, 10 mg/l TSS, 0,2 mg/l υπολειμματικό χλώριο, 6,5-8,5 pH
Emilia Romagna • Απεριόριστη άρδευση • Περιορισμένη άρδευση	2 TC / 100 ml 20TC / 100 ml	
Sicilia • Περιορισμένη άρδευση • Απαγορεύεται η άρδευση καλλιεργειών που έρχονται σε απευθείας επαφή με επεξεργασμένα λύματα	3000 TC/100 ml, 1000 FC/100 ml, 1 αβγό νηματοειδών ανά λίτρο, Μη ανιχνεύσιμη σαλμονέλα	40 mg/l BOD ₅ , 160 mg/l COD, 30 mg/l TSS, 6,5-8,5 pH

Πίνακας 12. Κριτήρια Κύπρου για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία

Άρδευση	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	FC/ 100 ml	Εντερικ κοί σκώληκες/L	Απαιτού μενη επεξεργασία
Απεριόριστη άρδευση (α)	(A) 10*	10*	5* 10**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια και απολύμανση
Χώροι αναψυχής ελεύθερης πρόσβασης - Άρδευση καλλιεργειών που τρώγονται μαγειρεμένες ή μετά από επεξεργασία (β)	(A) 10* 15**	10* 15* *	50* 100* *	Μηδέν	
Περιορισμένη άρδευση - χώροι αναψυχής περιορισμένης πρόσβασης	(A) 20* 30**	30* 45* *	200* 1000 **	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 ημέρες και απολύμανση, ή τριτοβάθμια και απολύμανση
	(B) -	-	200* 1000 **	Μηδέν	Λίμνες σταθεροποίησης – ωρίμανσης, συνολικός χρόνος παραμονής πάνω από 30 μέρες, ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 μέρες
Καλλιέργειες για ζωοτροφές	(A) 20* 30**	30* 45* *	1000 * 5000 **	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 μέρες, ή τριτοβάθμια και απολύμανση
	(B) -	-	5000 *	Μηδέν	Λίμνες σταθεροποίησης – ωρίμανσης, συνολικός χρόνος παραμονής πάνω από 30 μέρες, ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 μέρες
Βιομηχανικές καλλιέργειες	(A) 50* 70**	-	3000 * 1000 0**	-	Δευτεροβάθμια και απολύμανση
	(B) -	-	3000 * 1000 0**		Λίμνες σταθεροποίησης – ωρίμανσης, συνολικός χρόνος παραμονής πάνω από 30 μέρες, ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 μέρες

A : Κλασικές μέθοδοι επεξεργασίας

B : Λίμνες σταθεροποίησης

* : Τιμές που δεν επιτρέπεται να τις υπερβεί πλέον του 80% των δειγμάτων ανά μήνα, με ελάχιστο αριθμό 5 δειγμάτων ανά μήνα

** : Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή

α : Εξαιρούνται φυλλώδη λαχανικά που τρώγονται ωμά

β : Πατάτες, ζαχαρότευτλα και ομοειδή

3.6 Θεσμικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση ιλύος

Σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/ΕΕ., σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά την χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία, η ιλύς μπορεί να παρουσιάζει χρήσιμες από γεωπονικής πλευράς ιδιότητες και συνεπώς δικαιολογείται η ενθάρρυνση αξιοποίησής της στη γεωργία, χωρίς να βλάπτει την ποιότητα του εδάφους, τη γεωργική παραγωγή και τα υπόγεια ύδατα. Μετά την χρήση της ιλύος ως λίπασμα, πρέπει να παρέλθει ορισμένο χρονικό διάστημα για χρησιμοποίηση των λειμώνων για βοσκή ή συγκομιδή.

Η ιλύς που έχει υποστεί επεξεργασία περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς, γι' αυτό και υπάρχει νομοθεσία που ορίζει την ποιότητα της ιλύος, ανάλογα με τη χρήση της.

Για παράδειγμα, στις Η.Π.Α., η ιλύς διακρίνεται σε Α και Β τάξη, ανάλογα με την επεξεργασία που έχει υποστεί και την μικροβιολογική της ποιότητα (USEPA 1993).

Πίνακας 13. Η μικροβιολογική ποιότητα των τάξεων της ιλύος από την νομοθεσία των Η.Π.Α

Ανεπεξεργαστη ιλύς	Ιλύς Τάξης Α	Ιλύς Τάξης Β
10^8 fecal coliform/g (επί ξηρού)	< 1000 fecal coliforms/g (επί ξηρού)	$2 \cdot 10^6$ fecal coliforms/g (επί ξηρού)
2000 παθογόνα/g (επί ξηρού)	Δεν ανιχνεύονται παθογόνα	40 παθογόνα/g (επί ξηρού)

Η ιλύς της τάξης Α μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μη περιορισμένη χρήση στις καλλιέργειες. Η ιλύς της τάξης Β μπορεί να χρησιμοποιηθεί γενικά σε καλλιέργειες, εφόσον η συγκομιδή ή η βόσκηση τους επιτραπεί τριάντα μέρες μετά την εφαρμογή της ιλύος. Σε καλλιέργειες, όπου τα προϊόντα έρχονται σε επαφή με το έδαφος και βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, η συγκομιδή επιτρέπεται μετά από 14 μήνες, ενώ σε καλλιέργειες όπου τα προϊόντα βρίσκονται μέσα στο έδαφος, μετά

από 38 μήνες. Σε πάρκα και γήπεδα, η πρόσβαση του κοινού επιτρέπεται μετά από ένα έτος.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει συντάξει σχέδιο νόμου παρόμοιο με αυτό των Η.Π.Α., μόνο που αντί των δυο τάξεων ιλύος, διακρίνονται δυο είδη επεξεργασίας της (Working document on sludge 3rd Draft (EU) Brussels, 27 April 2000).

Πίνακας 14. Τα δυο είδη επεξεργασίας που ορίζει το σχέδιο νόμου της Ε.Ε για χρήση ιλύος στη γεωργία

Διευρυμένη Επεξεργασία	(Advanced)	Κλασική Επεξεργασία	(Conventional)
<ul style="list-style-type: none"> → Μείωση 6 log₁₀ της Salmonella Senftenberg → Μείωση 6 log₁₀ της E. coli → 0 Salmonella/ 50 g λάσπης → < 500 cfus E. coli/g 		<ul style="list-style-type: none"> → Μείωση 2 log₁₀ της E. coli 	

Πίνακας 15. Χρήσεις ιλύος στη διευρυμένη (advanced) και κλασσική (conventional) επεξεργασία Working document on sludge 3rd draft (EU) Brussels, 27 April 2000

	Advanced treatment	Conventional treatment
Βοσκότοποι	Ναι	Ναι, έγχυση σε βάθος και δεν επιτρέπεται η βόσκηση τις επόμενες 6 εβδομάδες
Κτηνοτροφικά φυτά	Ναι	Ναι, δεν επιτρέπεται η διαλογή στις 6 εβδομάδες μετά το διασκορπισμό
Καλλιεργήσιμη γη	Ναι	Ναι, έγχυση σε βάθος ή άμεσο όργωμα
Καλλιέργειες οπωροκηπευτικών σε επαφή με το έδαφος	Ναι	Όχι. Απαγορεύεται η διαλογή στους 12 μήνες μετά την εφαρμογή
Καλλιέργειες οπωροκηπευτικών σε επαφή με το έδαφος (τρώγονται ωμά)	Ναι	Όχι. Απαγορεύεται η διαλογή 30 μήνες μετά την εφαρμογή
Οπωροφόρα δέντρα, αμπελώνες, φυτείες δέντρων και αναδάσωση	Ναι	Ναι, έγχυση σε βάθος και μη πρόσβαση στο κοινό στους 10 μήνες μετά το διασκορπισμό
Πάρκα, περιοχές πρασίνου, κήποι πόλης, όλες οι αστικές περιοχές όπου το κοινό έχει πρόσβαση	Ναι, καλά σταθεροποιημένη και άοσμη λάσπη	Όχι
Δάση	Όχι	Όχι
Εγγύς βελτιώσεις	Ναι	Ναι, μη πρόσβαση στο κοινό στους 10 μήνες μετά το διασκορπισμό

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 86/278/ΕΕ, η οποία αναφέρεται στην προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά την χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία, ενσωματώθηκε το 1991 στην Ελληνική νομοθεσία με την Κ.Υ.Α. 80568/4225, με τίτλο « Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων».

Έτσι, στην Ελλάδα και σύμφωνα με την οδηγία, επιβάλλεται η επεξεργασία της ιλύος προτού εφαρμοστεί στο έδαφος, ενώ απαγορεύεται η χρήση της σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης (με εξαίρεση τις καλλιέργειες οπωροφόρων δέντρων), καθώς και σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και καταναλώνονται νωπά, για περίοδο δέκα μηνών από την συγκομιδή και κατά τη διάρκεια της συγκομιδής. Επίσης, επιβάλλεται η πάροδος ορισμένου χρονικού διαστήματος (όχι μικρότερο των τριών εβδομάδων), από την προσθήκη ιλύος στο έδαφος, έως τη χρησιμοποίηση των λειμώνων για βοσκή και συγκομιδή.

Ωστόσο, η απαιτούμενη μέθοδος επεξεργασίας της ιλύος δεν προδιαγράφεται με ακρίβεια και μόνο έμμεση ποιοτικού χαρακτήρα αναφορά γίνεται ως προς τον απαιτούμενο βαθμό απομάκρυνσης παθογόνων (εξασφάλιση ασφαλούς διάθεσης χωρίς πρακτικά πλήρη καταστροφή των παθογόνων) ή του βαθμού σταθεροποίησης (Αγγελάκης και άλλοι, 2005)

Με την Κ.Υ.Α. 50910/2727/2003, εντάσσεται στην ελληνική νομοθεσία ο Ευρωπαϊκός Κώδικας Αποβλήτων, σύμφωνα με τον οποίο, η αξιοποίηση της ιλύος επιτυγχάνεται με τις ακόλουθες δράσεις :

1.Απευθείας χρήση σε αγροτικές εφαρμογές, σύμφωνα με τους περιορισμούς της Κ.Υ.Α. 80568/4225/91

2.Επανάταξη στο φυσικό περιβάλλον «τραυματισμένων» φυσικών ανάγλυφων, υπό την προϋπόθεση ότι η ιλύς θα είναι σταθεροποιημένη ή θα έχει υποστεί συνεπεξεργασία με άλλα μη επικίνδυνα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα, όπως το οργανικό κλάσμα των αστικών αποβλήτων

3.Ξήρανση της ιλύος και χρήση της ως καύσιμη ύλη

3.7 Εκτίμηση και διαχείριση κινδύνων δημόσιας υγείας που απορρέουν από τη χρήση ανακυκλωμένου νερού

Τον προηγούμενο αιώνα αναπτύχθηκαν οι βασικές αρχές των επιστημών της υγιεινής και μικροβιολογίας και εξελίχθηκαν οι τεχνολογίες υγρών αποβλήτων. Παράλληλα αναπτύχθηκαν και τα πρώτα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, τα οποία ωστόσο είναι κυρίως εμπειρικά και δε βασίζονται σε επιστημονικές αποδείξεις. Από το 2006 και μετά, αναπτύσσονται τα πρώτα κριτήρια που βασίζονται σε μεθοδολογίες εκτίμησης κινδύνου, οπότε και τα υπάρχοντα κριτήρια αρχίζουν να προσαρμόζονται με βάση τις μεθοδολογίες αυτές.

Η ασφαλής χρήση ανακυκλωμένου νερού προϋποθέτει την εξάλειψη των κινδύνων δημόσιας υγείας ή την μείωση τους σε επίπεδα που θεωρούνται αποδεκτά. Οι κίνδυνοι μπορούν να εκτιμηθούν μέσω πληροφοριών που προέρχονται από επιδημιολογικές μελέτες ή μέσω εφαρμογής μεθοδολογιών ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων (QMRA). Παρά τους σημαντικούς περιορισμούς που παρουσιάζουν οι μεθοδολογίες αυτές, η παράλληλη χρησιμοποίησή τους παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες. Οι επιδημιολογικές μελέτες αποσκοπούν στην αναγνώριση διαφορών στον αριθμό μολύνσεων, ή στην εκδήλωση ασθενειών, κατά την έκθεση μίας ομάδας πληθυσμού σε παθογόνους οργανισμούς, σε σχέση με μία ομάδα αναφοράς. Σημαντικά μειονεκτήματα των επιδημιολογικών μελετών είναι τα μεγάλα δείγματα πληθυσμού που απαιτούνται για τη λήψη αξιόπιστων δεδομένων, το μεγάλο κόστος για την πραγματοποίησή τους και η μικρή ευαισθησία τους. Αντίθετα, οι μεθοδολογίες ποσοτικής εκτίμησης κινδύνων παρέχουν την δυνατότητα εκτίμησης χαμηλών επιπέδων μολύνσεων και χαρακτηρίζονται από μικρό κόστος διενέργειας τους. Τα μειονεκτήματα τους έχουν να κάνουν κυρίως με τις δυσκολίες εκτίμησης της έκθεσης του πληθυσμού και της μοντελοποίησης της. (Παρανυχιανάκης κα., 2009)

Στις μεθοδολογίες ποσοτικής εκτίμησης κινδύνων, ο ορισμός των αποδεκτών/ανεκτών επιπέδων κινδύνου για τη δημόσια υγεία αποτελεί το πρώτο βήμα, ενώ ακολουθεί η υιοθέτηση τους για τον καθαρισμό στόχων για τους επιμέρους κινδύνους (παθογόνα ή χημικούς παράγοντες). Η κλασική μέθοδος για τον ορισμό ανεκτών επιπέδων κινδύνου περιλαμβάνει την αποδοχή μεγίστου αριθμού συμβάντων. Ωστόσο, η μεθοδολογία αυτή δε διακρίνει διαφορές στη σοβαρότητα των συμβάντων. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατή η διαφοροποίηση μεταξύ συμβάντων όπως η ήπια διάρροια, ο τυφοειδής πυρετός και ο καρκίνος. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί μέσω της έκφρασης της σοβαρότητας του συμβάντος σε ανικανότητα προσαρμοσμένη σε έτη ζωής (DALYs).

Τα DALYs βρίσκουν εφαρμογή όταν η συγκέντρωση των ζημιωγόνων παραγόντων, οι σχέσεις δόσης ζημιωγόνου παράγοντα και εκδήλωσης βλάβης και η έκθεση στους ζημιωγόνους παράγοντες μπορούν να καθοριστούν, ουσιαστικά

μετά την ολοκλήρωση της εκτίμησης κινδύνου. Η ποσοτική εκτίμηση των κινδύνων δημόσιας υγείας περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα :

➤ Ταυτοποίηση κινδύνων : Ταυτοποίηση των ζημιόγων παραγόντων, που υπάρχουν και των επιπτώσεων τους στη δημόσια υγεία. Το βήμα αυτό περιλαμβάνει επίσης την αξιολόγηση της παραλλακτικότητας σε ζημιόγones συγκεντρώσεις.

➤ Δόση – Απόκριση : καθορισμός της σχέσης δόσης ζημιόγνου παράγοντα και εκδήλωσης ή πιθανότητας εκδήλωσης ασθένειας.

➤ Καθορισμός έκθεσης : καθορισμός του μεγέθους και της φύσεως του πληθυσμού που εκτίθενται στο ζημιόγνο παράγοντα, την πορεία, την έκταση και τη διάρκεια έκθεσης.

➤ Χαρακτηρισμός κίνδυνου : ενοποίηση δεδομένων που προέκυψαν από προηγούμενα βήματα.

3.7.1 Στόχοι για τη προστασία της δημόσιας υγείας

Ο ορισμός ανεκτών επιπέδων κινδύνων επιτρέπει τη θεώρηση των στόχων προστασίας δημόσιας υγείας που πρέπει να επιτευχθούν. Οι στόχοι αυτοί αποτελούν ουσιαστικά όρια των ζημιόγων παραγόντων, στη συγκεκριμένη περίπτωση παθογόνων μικροοργανισμών, που πρέπει να ικανοποιούνται στα έργα ανακύκλωσης νερού, ώστε να διασφαλίζεται το ανεκτό επίπεδο των 10^{-6} DALYs ανά άτομο και έτος. Ένα τέτοιο υψηλό επίπεδο προστασίας στην δημόσια υγεία απαιτείται για το επιτραπέζιο νερό επειδή αυτό πρέπει να είναι ασφαλές στους καταναλωτές. Ανάλογα και στη περίπτωση άρδευσης με εκροές υγρών αποβλήτων καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται νωπά από τους καταναλωτές, αυτά πρέπει να είναι το ίδιο ασφαλή με το πόσιμο νερό, για εσωτερικές χρήσεις (καζανάκια τουαλέτας) ή την άρδευση οικιακών κήπων και επομένως υιοθετείται το επίπεδο προστασίας των 10^{-6} DALYs. Οι στόχοι προστασίας της δημόσιας υγείας στη πραγματικότητα αποτελούν τη βάση τεκμηρίωσης των πλάνων διαχείρισης κινδύνου και μπορεί να εκφραστούν σε διάφορες μορφές, με συνηθέστερες τα όρια συγκέντρωσης για τους χημικούς παράγοντες και τη λογαριθμική μείωση του πληθυσμού για τα παθογόνα, που πρέπει να επιτευχθεί μέσω των διεργασιών επεξεργασίας ή του συνδυασμού των διεργασιών επεξεργασίας και επιτόπιων προστατευτικών μέτρων. Οι στόχοι εκπλήρωσης ορίζονται είτε ανά κατηγορία παθογόνων (9 βακτήρια, ιοί πρωτόζωα) (NRMMC and EPHCA, 2006), είτε με βάση το παθογόνο με τις δυσμενέστερες συνέπειες (WHO, 2006). Η πρώτη περίπτωση υιοθετείται στην μεθοδολογία εκτίμησης των κινδύνων δημόσιας υγείας στα κριτήρια ανακύκλωσης νερού στην Χώρα μας.

Ο καθαρισμός των DALYs, που απορρέουν από την έκθεση σε ένα συγκεκριμένο ζημιόγνο παράγοντα περιλαμβάνει τη θεώρηση των οξέων

(διάρροια, θάνατος), αλλά και των χρόνιων επιπτώσεων (καρκίνος). Όσο αφορά τις ασθένειες που προέρχονται από την χρήση ανακυκλωμένου νερού, η ποιο συνήθης είναι η γαστρεντερίτιδα, ωστόσο στις εκροές συναντάται μεγάλο εύρος παθογόνων, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν σοβαρότερες και μεγαλύτερης διάρκειας ασθένειες όπως διαβήτη, ο οποίος συνδέεται με τον ιό *Coxsackie* β4 (Mena et al., 2003), μυοκαρδίτιδα, η οποία οφείλεται στους ιούς *echo* και *Coxsackie* (Mena et al., 2003), αρθρίτιδα, και το σύνδρομο (Havelaar et al., 2000 και Nachamkin et al., 2001).

Τα DALYs παρέχουν τη δυνατότητα της ποσοτικοποίησης των επιπτώσεων στη δημόσια υγεία λόγω έκθεσης σε χημικούς ή παθογόνους παράγοντες. Ακολούθως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ορισμό των ανεκτών επιπέδων κινδύνων, στη σύγκριση των επιπτώσεων από διαφορετικούς ζημιογόνους παράγοντες και τον ορισμό προτεραιοτήτων για το έλεγχο των παραγόντων με τις σοβαρότερες επιπτώσεις. Το αποδεκτό/ανεκτό επίπεδο κινδύνου τόσο στις αναθεωρημένες οδηγίες της Αυστραλίας όσο και του WHO (NRMMC-EPHC, 2006 και WHO, 2006), έχει ορισθεί στα 10^{-6} DALYs ανά άτομο και έτος και συμπίπτει με το αποδεκτό επίπεδο κινδύνου που έχει ορισθεί για το πόσιμο νερό (WHO, 2004). Το επίπεδο αυτό θεωρείται ισοδύναμο με τον κίνδυνο εκδήλωσης θανατηφόρου μορφής καρκίνου κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ατόμου που καταναλώνει νερό το οποίο περιέχει μία καρκινογόνο ένωση στα άνω όρια της επιτρεπόμενης συγκέντρωσης (1 περίπτωση ανά 100,000 ανθρώπους). Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να συγκριθούν με τις αντίστοιχες μίας ήπιας μορφής ασθένειας αλλά μεγαλύτερης συχνότητας εκδήλωσης, όπως η γαστρεντερίτιδα (θανατηφόρος έκβαση 10^{-5}). Η συχνότητα εκδήλωσης γαστρεντερίτιδα έχει εκτιμηθεί σε 10^{-3} ανά άτομο και έτος που αντιστοιχεί σε περίπου 1×10^{-6} DALYs (Hellard et al., 2001). Παρόλο που το υψηλό επίπεδο προστασίας δικαιολογείται στην περίπτωση του ποσίου νερού, θα μπορούσε ωστόσο να εγείρει ερωτηματικά εάν πράγματι απαιτείται ανάλογο επίπεδο προστασίας στην περίπτωση ανακυκλωμένου νερού, καθώς δεν καταναλώνεται από τον άνθρωπο. Ωστόσο, το ανακυκλωμένο νερό έρχεται σε επαφή με καλλιέργειες, που καταναλώνονται από τον άνθρωπο δικαιολογώντας την αποδοχή παρόμοιου επιπέδου προστασίας.

3.7.2 Ταυτοποίηση ζημιογόνων παραγόντων και παθογόνα αναφοράς

Τα αστικά υγρά απόβλητα περιέχουν πολυάριθμα είδη παθογόνων μικροοργανισμών σε υψηλές συγκεντρώσεις, υπεύθυνους για ασθένειες κυρίως του γαστρεντερικού συστήματος. Επίσης, έχουν ταυτοποιηθεί παθογόνα που συναντώνται στο περιβάλλον, όπως η *Legionella* spp και τα μυκοβακτήρια. Ο πληθυσμός των παθογόνων σε απόβλητα που δεν έχουν δεχτεί επεξεργασία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, εποχιακές και χωρικές, και ουσιαστικά αντικατοπτρίζει την κατάσταση υγιεινής του πληθυσμού που προέρχεται, αλλά

επίσης και την συνεισφορά οικιακών αποβλήτων, της απορροής από αστικές περιοχές και των εκφορτίσεων από βιομηχανικές μονάδες.

Ο ορισμός στόχων εκπλήρωσης για όλους τους μικροοργανισμούς που εμπεριέχονται στις εκροές υγρών αποβλήτων είναι ανέφικτος, λόγω του ότι μια τέτοια θεώρηση απαιτεί προσδιορισμό

- a. Του πληθυσμού τους
- b. Της σχέσης δόσης – απόκρισης και
- c. Των επιπτώσεων της ασθένειας

Πληροφορίες οι οποίες συχνά δεν είναι διαθέσιμες. Μια πρακτικότερη προσέγγιση περιλαμβάνει τον ορισμό παθογόνων ‘αναφοράς’ για τα οποία είναι διαθέσιμες οι παραπάνω πληροφορίες. Τα παθογόνα ‘αναφοράς’ πρέπει να περιλαμβάνουν μικροοργανισμούς από όλες τις ομάδες παθογόνων, λόγω των διαφορών που παρατηρούνται στη συμπεριφορά τους, στις επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και την αντοχή τους στις διεργασίες επεξεργασίας και απολύμανσης. Τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούν οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται ως παθογόνα ‘αναφοράς’ περιλαμβάνουν :

- a) Υψηλούς πληθυσμούς
- b) Υψηλή παθογένεια
- c) Χαμηλό ρυθμό απομάκρυνσης από τις διεργασίες επεξεργασίας και
- d) Επιβίωση για μεγάλα χρονικά διαστήματα στο περιβάλλον.

Όσο αφορά τους ιούς δεν υπάρχει κάποιος ιός που να μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιδανικός ιός ‘αναφοράς’. Οι *rotaviruses* αποτελούν μία καλή περίπτωση ιών για χρήση στην ανάλυση επικινδυνότητας, λόγω του γεγονότος ότι αποτελούν την μεγαλύτερη απειλή για την εκδήλωση ιογενούς γαστρεντερίτιδας παγκοσμίως και χαρακτηρίζονται από υψηλή μολυσματικότητα σε σχέση με άλλους ιούς, ενώ είναι καθορισμένη η σχέση δόσης-απόκρισης (Havelaar and Melse, 2003). Μία εναλλακτική περίπτωση ιών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως ιοί ‘αναφοράς’ είναι οι nor viruses. Οι ιοί αυτοί χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη μολυσματικότητα σε σχέση με τους *rotaviruses* και αποτελούν το σημαντικότερο αίτιο εκδήλωσης ιογενούς γαστρεντερίτιδας στις αναπτυσσόμενες χώρες (Lorpmam et al., 2003), ωστόσο δεν έχει καθοριστεί ακόμη η σχέση δόσης-απόκρισης. Παρόλο που και οι δύο παραπάνω κατηγορίες ιών χαρακτηρίζονται από υψηλή μολυσματικότητα δεν έχουν ωστόσο αναπτυχθεί ακόμη μέθοδοι καλλιέργειας και οι διαθέσιμες πληροφορίες για την ύπαρξη βιώσιμων ιών στο ανακυκλωμένο νερό είναι περιορισμένες. Αντίθετα για τους *rotaviruses*, τους εντεροϊούς και τους αδενοϊούς έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι καλλιέργειας και υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για τον πληθυσμό τους σε εκροές υγρών αποβλήτων, ωστόσο χαρακτηρίζονται από χαμηλή μολυσματικότητα. Από τα παραπάνω είδη ιών, οι αδενοϊοί παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους πληθυσμούς, ενώ εμφανίζονται πιο ανθεκτικοί στην απομάκρυνση και στις διεργασίες απολύμανσης (WHO, 2004 και Gerba et al., 2002). Δεδομένα από

αδενοϊούς έχουν συγκριθεί με δημοσιευμένα δεδομένα (PCR) για norovirus τα οποία προσαρμόστηκαν. Έτσι ώστε να δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την μολυσματικότητα (Lodder and Roda-Husman, 2005). Η σύγκριση καταδεικνύει ότι ο πληθυσμός των τριών ιών σε επεξεργασμένες εκροές κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα. Με δεδομένα τα παραπάνω, στις αναθεωρημένες οδηγίες της Αυστραλίας έχει επιλεγεί ως ιός “αναφοράς” ένα υβρίδιο των rotavirus και αδενοϊών, υιοθετώντας τη σχέση δόσης-απόκρισης από δεδομένα των rotaviruses και δεδομένα πληθυσμού από τους αδενοϊούς. Το υβρίδιο των rotavirus και αδενοϊών υιοθετείται και στις οδηγίες της Χώρας μας.

Το *Cryptosporidium parvum* αποτελεί ένα καλό υποψήφιο είδος για την χρήση του ως μικροοργανισμού αναφοράς για τα πρωτόζωα, γιατί χαρακτηρίζεται από αντιπροσωπευτική για την ομάδα αυτή μολυσματικότητα (Teunis et al., 2002), είναι ανθεκτικό στη χλωρίωση και αναγνωρίζεται ως ένα από τα σημαντικότερα παθογόνα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ένα άλλο είδος που θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί είναι το *Giardia lamblia* το οποίο απαντάται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (10-100) από το *C.parvum* (Yates and Gerba, 1998) και χαρακτηρίζεται από υψηλότερη μολυσματικότητα (Rose et al., 1991), ωστόσο απομακρύνεται ευκολότερα κατά την επεξεργασία των αποβλήτων και χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ευαισθησία στην απολύμανση (WHO, 2004 και NHMRC-NRMMC, 2006).

Όσο αφορά τα βακτήρια υπάρχουν αρκετά ήδη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως παθογόνα αναφοράς μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνεται το *E. Coli O157:H7*, *Campylobacter spp*, *Shigella spp* και το *Salmonella spp*. Το *E. Coli O157:H7* χαρακτηρίζεται από τις υψηλότερες επιπτώσεις ανά συμβάν (Havelaar and Melse, 2003) ενώ το *Campylobacter spp* αποτελεί το συνηθέστερο αίτιο εκδήλωσης βακτηριακής γαστρεντερίτιδας. Στις αναθεωρημένες οδηγίες της Αυστραλίας και του WHO το *Campylobacter spp* έχει επιλεγεί ως παθογόνο αναφοράς και υιοθετήθηκε επίσης και στα κριτήρια χρήσης ανακυκλωμένου νερού της χώρας μας.

3.7.3 Σχέσεις δόσης - απόκρισης

Πληροφορίες για τις σχέσεις μεταξύ δόσεως παθογόνων μικροοργανισμών και εκδήλωσης ασθενειών, ή πιθανότητας εκδήλωσης ασθενειών, προέρχονται από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκδήλωση επιδημιών ή από πειραματικές μελέτες, στις οποίες άτομα εκτέθηκαν σε πληθυσμό παθογόνων (Haas et al., 1999, Messner et al., 2001, WHO, 2004). Οι δόσεις που συνδέονται με εκδήλωση ασθένειας είναι πολύ μικρότερες για τους ιούς και τα πρωτόζωα σε σχέση με τα βακτήρια.

Γενικά, 1 – 10 ιοί ή κύστες πρωτόζωων είναι δυνατό να προκαλέσουν μόλυνση και εκδήλωση ασθένειας, ενώ ο τυπικός πληθυσμός των βακτηρίων που απαιτείται για την εκδήλωση ασθένειας εκτιμάται στα 100 κύτταρα (διαφοροποιείται με το είδος του βακτηρίου). Τα *Shigella spp*, η τυφοειδής

σαλμονέλα και το αιμορραγικό *E.coli* αποτελούν εξαιρέσεις, καθώς απαιτείται μικρότερος πληθυσμός για μόλυνση. Για παράδειγμα, δεδομένα που προέκυψαν από την διερεύνηση μίας επιδημίας κατέδειξαν ότι οι μέσες δόσεις μόλυνσης για το *E. Coli* O157:H7 ήταν 30-35 οργανισμοί (Teunis et al., 2004). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σχέση δόσης-απόκρισης μπορεί να διαφοροποιηθεί σημαντικά μεταξύ των ξενιστών λόγω διαφορών στο ανοσοποιητικό σύστημα, την γενικότερη κατάσταση υγείας και την διατροφή. Ωστόσο, κατά την ανάλυση επικινδυνότητας οι παράγοντες αυτοί δεν λαμβάνονται υπόψη και χρησιμοποιείται η γενική σχέση για την ανάπτυξη οδηγιών ανακύκλωσης εκροών αποβλήτων. Ειδικές κατηγορίες ατόμων, όπως αυτά με προβλήματα του ανοσοποιητικού συστήματος βρίσκονται υπό στενή ιατρική παρακολούθηση και δέχονται συμβουλές για τα επιπλέον μέτρα προστασίας που απαιτείται να λαμβάνουν. Ωστόσο, αν θεωρηθεί αναγκαίο σχέσεις δόσης-απόκρισης για ειδικές ομάδες πληθυσμού μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά την ανάλυση επικινδυνότητας για ειδικά σχήματα ανακύκλωσης νερού.

Μοντέλα δόσης-απόκρισης που αναπτύχθηκαν από πειραματικές μελέτες έκθεσης ατόμων σε μολυσματικούς παράγοντες αποτελούν κοινό συστατικό μελετών ανάλυσης επικινδυνότητας. Πληροφορίες μοντέλων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό πιθανότητας μόλυνσης μετά από έκθεση στα παθογόνα αναφοράς που αναφέρθηκαν παραπάνω δίδονται στον πίνακα 19.

Πίνακας 16. Σχέσεις δόσης – απόκρισης για τα παθογόνα αναφοράς

Μικροοργανισμοί	Τύπος κατανομής	Μοντέλα	Παράμετροι
Εντεροϊοί (Rotavirus)	B Poisson	-	$P_{inf} = 1 - (1+d/b)^{-a}$ a = 0.253 b = 0.426
Βακτήρια (<i>Campylobacter jejuni</i>)	B Poisson	-	$P_{inf} = 1 - (1+d/b)^{-a}$ a = 0.145 b = 7.58
Παράσιτα (<i>Cryptosporidium parvum</i>)	Εκθετική		$P_{inf} = 1 - \exp(-rd)$

a και r παράμετροι που περιγράφουν την πιθανότητα μόλυνσης, P_{inf} = πιθανότητα μόλυνσης

d = δόση, β = διάμεσος της δόσης που απαιτείται για να προκληθεί μόλυνση (N_{50}) / ($2^{1/a} - 1$)

Παράμετροι μοντέλων από Haas et al. (1999) για ιούς και βακτήρια και από Messner et al. (2001) για το *Cryptosporidium*

3.7.4 Καθορισμός της έκθεσης σε ζημιογόνους παράγοντες

Ο προσδιορισμός της έκθεσης σε μολυσματικούς παράγοντες τυπικά επικεντρώνεται στο κοινό που έρχεται σε επαφή με τις εκροές υγρών αποβλήτων ή των προϊόντων που παράχθηκαν από αυτές, όπως για παράδειγμα καταναλωτές, αγρότες, ή ομάδες πληθυσμού που περνούν από περιοχές αρδευόμενες με εκροές υγρών αποβλήτων, ένοικους κατοικιών που χρησιμοποιούν ανακυκλωμένο νερό, ή ακόμη πυροσβέστες. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, η έκθεση σε κινδύνους που προέρχονται από τη χρήση εκροών υγρών αποβλήτων στον εργασιακό χώρο, μπορεί να διαχειριστεί με διαδικασίες και μέτρα που εφαρμόζονται στο χώρο αυτό. Η κύρια πορεία έκθεσης σε παθογόνους παράγοντες, που βασίζονται σε εκροές αποβλήτων είναι η κατάποση, συμπεριλαμβανόμενης της κατάποσης σταγονιδίων.

Ορισμένοι μικροοργανισμοί που ανιχνεύονται στο ανακυκλωμένο νερό είναι δυνατόν να προκαλέσουν ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος (αδενοϊοί, εντεροϊοί). Επομένως, η εισπνοή σταγονιδίων που περιέχουν τέτοιους μικροοργανισμούς μπορεί να οδηγήσει σε μόλυνση και εκδήλωση ασθένειας. Ωστόσο, δεν υπάρχουν διαθέσιμα αρκετά δεδομένα, για την ακριβή αξιολόγηση των κινδύνων που προέρχονται από την είσοδο παθογόνων μέσω του αναπνευστικού συστήματος. Για το λόγο αυτό επικρατεί η άποψη της ελαχιστοποίησης της παραγωγής σταγονιδίων, καθώς και της έκθεσης σε αυτά. Ακόμη, είναι δυνατή η επαφή παθογόνων με το δέρμα, ωστόσο δεν υπάρχουν μελέτες που να αναφέρονται σε μόλυνση μέσω αυτής της οδού, και επομένως γίνεται αποδεκτό ότι δεν λαμβάνουν χώρα μολύνσεις λόγω της επαφής με παθογόνα. Ο προσδιορισμός της έκθεσης απαιτεί θεώρηση της ηθελημένης ή μη χρήσης. Η μη ηθελημένη χρήση μπορεί να διακριθεί σε δύο τύπους :

Σκόπιμη εσφαλμένη χρήση : για παράδειγμα το γέμισμα μιας πισίνας με ανακυκλωμένο νερό, το οποίο είναι κατάλληλο για μη πόσιμη αστική χρήση.

Τυχαία εσφαλμένη χρήση : για παράδειγμα λάθος σύνδεση των σωληνώσεων μεταφοράς καθαρού και ανακυκλωμένου νερού.

Οι δύο αυτοί τύποι εσφαλμένης χρήσης μπορούν να περιορισθούν ή να εξαλειφθούν με την εκπαίδευση και ενημέρωση των χρηστών και άλλων εμπλεκόμενων (υδραυλικούς κ.α.) και μέσω άλλων διαχειριστικών διαδικασιών. Ωστόσο, πρέπει να τονισθεί ότι στα περισσότερα σχήματα ανακύκλωσης νερού είναι δύσκολο να εξαλείψουμε όλες τις περιπτώσεις λανθασμένης χρήσης. Η ανάλυση επικινδυνότητας που παρουσιάζεται στην ενότητα αυτή δεν καλύπτει την περίπτωση σκόπιμης εσφαλμένης χρήσης από μεμονωμένα άτομα και δε λαμβάνει υπόψη την κατά λάθος χρήση, ιδιαίτερα αυτή που οφείλεται σε τρίτους. Ένα ευρέως γνωστό παράδειγμα τέτοιας έκθεσης είναι η λανθασμένη σύνδεση

των σωληνώσεων μεταφοράς καθαρού και ανακυκλωμένου νερού. Εκτίμηση της έκθεσης από ηθελημένες ή μη χρήσεις έχει πραγματοποιηθεί σε ορισμένες μελέτες (Asano et al., 1992 και Shuval et al., 1997), αλλά ένα σημαντικό μειονέκτημα τους είναι ότι βασίζονται σε περιορισμένα δεδομένα. Παράδειγμα όγκων έκθεσης και συχνοτήτων παρέχονται στον πίνακα 20 (WHO, 2006 και NHMRC-NRMMC, 2006).

Πίνακας 17. Περίληψη αποτελεσμάτων QMRA για κινδύνους μόλυνσης από *Rotavirus*^a από διαφορετικά επίπεδα έκθεσης (WHO, 2006)

Σενάριο έκθεσης	Ποιότητα εκροών ^b (<i>E. coli</i> /100 ml εκροών ή 100 g εδάφους)	Διάμεσος κινδύνων μόλυνσης ανά άτομο και έτος	Πληροφορίες
Άρδευση χωρίς περιορισμούς (καταναλωτές)			
Μαρούλι	$10^3 - 10^4$	10^{-3}	100 g καταναλώνονται ωμά ανά άτομο κάθε 2 ημέρες, 10 – 15 ml εκροής παραμένει στο προϊόν
Κρεμμύδι	$10^3 - 10^4$	$5 \cdot 10^{-2}$	100g καταναλώνονται ωμά ανά άτομο ανά εβδομάδα για διάρκεια 5 μηνών, 1 – 5 ml εκροής παραμένουν στο προϊόν
Άρδευση με περιορισμούς (παραγωγούς ή άλλες ομάδες πληθυσμού με υψηλή έκθεση)			
Εκμηχανοποιημένη	10^5	10^{-3}	100 ημέρες έκθεσης/έτος, 1-10 mg εδάφους καταναλώνονται σε κάθε έκθεση
Υψηλές απαιτήσεις σε εργατικά χέρια	$10^3 - 10^4$	10^{-3}	150-300 μέρες έκθεσης/έτος, 10-100 mg εδάφους καταναλώνονται σε κάθε έκθεση

a : οι κίνδυνοι που προσδιορίστηκαν για το *Campylobacter* και το *Cryptosporidium* είναι χαμηλότεροι

b : Εκροές που δεν έχουν δεχθεί απολύμανση

3.7.5 Χαρακτηρισμός κινδύνου

Το τελευταίο βήμα στην ανάλυση επικινδυνότητας είναι η ενοποίηση των δεδομένων που προέρχονται από την ταυτοποίηση των ζημιογόνων παραγόντων, των σχέσεων δόσης – απόκρισης και την εκτίμηση της έκθεσης. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι μεταβλητές που καθορίζουν το μέγεθος του κινδύνου για τα παθογόνα αναφοράς είναι η συγκέντρωση των παθογόνων και η έκθεση. Το μέγεθος του κινδύνου θα πρέπει να προσδιοριστεί σε δυο επίπεδα :

1.Μέγιστος κίνδυνος : κίνδυνος απουσίας επιτόπιων προστατευτικών μέτρων

2.Υπολειμματικός κίνδυνος : κίνδυνος που παραμένει μετά την θεώρηση των εφαρμοζόμενων προστατευτικών μέτρων.Η εκτίμηση του μέγιστου κινδύνου αποσκοπεί στην αναγνώριση των κινδύνων υψηλής προτεραιότητας και των απαραίτητων προστατευτικών μέτρων, τον υπολογισμό των στόχων προστασίας και των απαραίτητων προειδοποιήσεων σε περίπτωση που τα προληπτικά μέτρα αποτύχουν. Η εκτίμηση του υπολειμματικού κινδύνου περιέχει ένα μέτρο ασφάλειας του σχήματος ανακύκλωσης νερού και της ανάγκης υιοθέτησης πρόσθετων προληπτικών μέτρων. Μετά τη θεώρηση των προληπτικών μέτρων, ο υπολειμματικός κίνδυνος πρέπει να είναι μικρότερος από 10^{-6} DALYs ανά άτομο και έτος. (Παρανυχιανάκης κ.α., 2009)

3.7.6 Μέτρα επίτευξης των στόχων προστασίας της δημόσιας υγείας

Η μείωση της έκθεσης σε ζημιογόνους παράγοντες και πιο συγκεκριμένα σε παθογόνα μπορεί να επιτευχθεί μέσω :

- Της πρόληψης εισόδου των ζημιογόνων παραγόντων στο νερό
- Της απομάκρυνσης τους μέσω κατάλληλων διεργασιών επεξεργασίας
- Της μείωσης της έκθεσης με εφαρμογή προστατευτικών μέτρων στην περιοχή ανακύκλωσης και
- Του περιορισμού των χρήσεων του ανακυκλωμένου νερού

Το σύνολο των κριτηρίων που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων εκροών αποβλήτων περιλαμβάνει μια σειρά επιτόπιων προστατευτικών μέτρων, τα οποία μειώνουν τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία μέσω του περιορισμού της έκθεσης. Τέτοια μέτρα αποτελούν :

- ✓Ο περιορισμός των χρήσεων του ανακυκλωμένου νερού
- ✓Η εφαρμογή κατάλληλων μέτρων άρδευσης
- ✓Η υιοθέτηση ελάχιστων περιόδων μετά την άρδευση έως τη συγκομιδή
- ✓Ο έλεγχος πρόσβασης του κοινού σε χώρους εφαρμογής ανακυκλωμένου νερού
- ✓Η χρήση κατάλληλης σήμανσης, προειδοποιητικών πινακίδων και
- ✓Η εφαρμογή προγραμμάτων ενημέρωσης του κοινού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Ποιότητα αρδευτικού νερού

Ανεξάρτητα από την πηγή προέλευσης το νερό περιέχει υλικά σε μορφή διαλυμένων ή αιρούμενων στερεών. Η ποσότητα και η φύση αυτών των υλικών με δεδομένες περιβαλλοντικές, κλιματικές αλλαγές και καλλιέργειες καθορίζουν την χρησιμότητα και τη ποιότητα του νερού.

Καλοί δείκτες, που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό της ποιότητας του νερού, είναι η αρχική περιεκτικότητα σε άλατα, το ποσό των αιρούμενων στερεών και το ποσό των ρύπων από πηγές ανθρώπινης δραστηριότητας. Η αρχική περιεκτικότητα του νερού σε διαλυτά άλατα μπορεί βέβαια να μεταβληθεί κυρίως λόγω της περιεκτικότητας των εδαφών – πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το αρδευτικό νερό κατά την μεταφορά του στην αρδευόμενη έκταση. Τα αιωρούμενα υλικά που βρίσκονται στο νερό προέρχονται από διάβρωση περιοχών και επομένως βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα των υλικών αυτών, είναι η σύνθεση των υλικών (πετρωμάτων – εδάφους) και η αιτία της διαβρώσεως (πχ βροχή). Τέλος οι ρύποι που φθάνουν στο αρδευτικό νερό προέρχονται από υπολείμματα αγροχημικών ουσιών όπως τα ανόργανα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα.

Η ποσότητα και η φύση των υλικών που μεταφέρονται με το αρδευτικό νερό δεν μπορούν από μόνα τους να καθορίσουν απόλυτα την ποιότητα και την καταλληλότητα του αρδευτικού νερού. Βασικοί συντελεστές για τέτοιους χαρακτηρισμούς είναι εκτός από τα παραπάνω και η αντοχή των φυτών, οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους, το βιολογικό ισοζύγιο στο έδαφος, η υπάρχουσα τεχνολογία των αρδεύσεων (μέθοδος εφαρμογής) και η δυνατότητα για στράγγιση.

Πχ τα διαλυτά άλατα μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών και συνεπώς να έχουν αρνητική επίπτωση στην παραγωγή, τα αιωρούμενα υλικά μπορούν να έχουν αρνητική επίπτωση στη τεχνολογία μεταφοράς νερού και των αρδεύσεων και τα αγροχημικά υπολείμματα μπορούν να καταστρέψουν την βιολογική ισορροπία του εδάφους. Για την καταλληλότητα του νερού για άρδευση εκτός από τα χαρακτηριστικά του νερού θα πρέπει να εξετάζονται και όλοι οι παραπάνω παράγοντες. Συνήθως η ποιότητα του αρδευτικού νερού εξετάζεται σε σχέση με τα άλατα που περιέχει.

4.2 Αρδευτικά ύδατα ως πηγή παθογόνων μικροοργανισμών

Υπάρχουν ολοένα αποδεικτικά στοιχεία ότι η κατανάλωση φρέσκων ωμών προϊόντων είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλει στην ανθρώπινη γαστρεντερική νόσο λόγω της ενδεχόμενης μόλυνσης με παθογόνους

μικροοργανισμούς. Πολλαπλές έρευνες έχουν διεξαχθεί για να καθοριστεί ο τοπικός επιπολασμός των παθογόνων μικροοργανισμών στα φρούτα και τα λαχανικά. Αρκετά πρόσφατα βιβλία συνοψίζουν τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών (Fan et al., 2009; Sapers et al., 2009; Wominer et al., 2009).

Η λίστα του παθογόνου ενδιαφέροντος περιλαμβάνει βακτήρια *Campylobacter spp*, εντεροαιμοραγικό *E. coli* (*E. coli* O157 : H7), εντεροτοξικό *Staphylococcus aureus*, εντεροτοξικό *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp*, *Shigella spp*, *Yersinia enterocolitica*, πρωτόζωα *Cryptosporidium spp*, *Cyclospora cayetanensis*, *Giardia spp*, *Entamoeba histolytica*, ελμίνθες όπως *Ascaris spp*, και ιούς προπαντός αδενοιοί, νοροιοί, εντεροιοί και ροταιοί. Η συχνότητα εμφάνισης τροφιμογενών παθογόνων στα φρούτα και στα λαχανικά διαφέρει ανά περιοχή και μπορεί να είναι εξαιρετικά υψηλή σε ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες. Ωστόσο, σημαντικά κρούσματα εξακολουθούν να σημειώνονται στις αναπτυγμένες χώρες. Οι σχετικές ασθένειες κοστίζουν στις Η.Π.Α 39 δις δολάρια ετησίως (Scharff, 2009).

Η μεγάλη κλίμακας παραγωγή των προϊόντων απαιτεί συνήθως κάποια μορφή άρδευσης κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Συνεπώς, υπάρχει μια ταχύτατα αναπτυσσόμενη έρευνα ώστε να τεκμηριώνεται και να αποσαφηνίζονται οι οδοί μόλυνσης των προϊόντων από παθογόνους παράγοντες που μεταδίδονται με το νερό.

4.3 Το αρδευτικό νερό και η μεταφορά των παθογόνων

Η μικροβιολογική ποιότητα του νερού άρδευσης είναι κρίσιμη επειδή φτωχής ποιότητας νερό μπορεί να εισάγει παθογόνα στη παραγωγή κατά τη διάρκεια πριν τη συγκομιδή και μετά την συγκομιδή. Έμμεση ή άμεση μόλυνση της παραγωγής από το νερό ή από τα αερολύματα νερού των επίμονα παθογόνων στη συγκομιδή λαχανικών έχουν αναγνωριστεί ως δυνητικός κίνδυνος. (FDA/CFSAN, 2001; WHO, 2003)

Αν και άμεσες αποδείξεις από τροφιμογενείς λοιμώξεις εξαιτίας της μόλυνσης των βρώσιμων κηπευτικών προϊόντων κατά τη διάρκεια της εμπορικής παραγωγής είναι περιορισμένες, αναγκάζοντας επιδημιολογικά στοιχεία που αφορούν της εν λόγω καλλιέργειες έχουν εμπλακεί συγκεκριμένες πρακτικές παραγωγής. (Brackett, 1999)

Η χρήση ζωικών αποβλήτων ή κοπριάς προκαλεί κοπρανώδη μόλυνση στο γεωργικό νερό για άρδευση, η εφαρμογή διαχείρισης των καλλιεργειών, η προσωπική υγιεινή στην εργασία στο αγρόκτημα προκαλεί άμεση επιμόλυνση (Brackett, 1999). Ο Brackett (1999) πρότεινε ότι μόνο καθαρό, πόσιμο νερό πρέπει να χρησιμοποιείται για άρδευση φρούτων και λαχανικών μετά τη φύτευση. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση δε λαμβάνει υπόψη πολλές πτυχές του διαθέσιμου νερού, τα προγράμματα διατήρησης υδάτινων πόρων, τη μέθοδο

άρδευσης, τη γεωγραφική ποικιλομορφία, τη ποικιλία των καλλιεργειών, χρονικούς παράγοντες και τη σημαντική δυσκολία της παρακολούθησης των υδάτων που είναι συνυφασμένες με το μικροβιακό περιεχόμενο κατά την διάρκεια της παραγωγής. (FDA, 2001)

Σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Καναδά το 2005, όπου σε 500 δείγματα νερού άρδευσης που χρησιμοποιείται για παραγωγή λαχανικών και φρούτων βρέθηκε στο 25% των δειγμάτων να είναι μολυσμένα με *E.coli* και κοπρανώδης στρεπτόκοκκος. (Steele et al., 2005)

Διάφοροι εργαζόμενοι έχουν εκτιμήσει την παρουσία ή την επιμονή των παθογόνων μικροοργανισμών να μεταφέρονται στις καλλιέργειες από την άρδευση με ψεκασμό, αερολύματα άρδευσης της αποχέτευσης λυμάτων (Garcia – Villanova & Bolanos, 1987; Telch & Katznelson, 1987) ή της στάγδην άρδευσης (Sadovskii, Fattal & Goldberg, 1978) διαπιστώθηκε ότι η ανίχνευση ποικίλλει και εξαρτιόταν από το επίπεδο και τη φύση του περιβαλλοντικού στρες. Η ανίχνευση συσχετίστηκε με την πυκνότητα του πληθυσμού των παθογόνων – στόχων στο νερό πηγής και προσανατολισμού στο χώρο σχετική με τη σημειακή πηγή. Το επίπεδο της οργανικής ύλης στο νερό επηρεάζει την επιβίωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Μολυσμένη άρδευση και μολυσμένη κοπριά έχουν εννοχοποιηθεί στα κρούσματα από εντεροαιμορραγικό *E.coli* O157:H7.

Οι λοιμώξεις συνδέονται με μαρούλι και άλλες καλλιέργειες φύλλων και παρατηρούνται με αυξανόμενη συχνότητα (Mahbub et al., 2004).

Η *Salmonella* δεν ανιχνεύτηκε σε μαρούλι αρδευόμενο με λύματα, 5 μέρες μετά την άρδευση καταγγέλθηκε, αλλά το στέλεχος *E.coli* εξακολουθούσε να υπάρχει (Vazda, Mara & Vargas – Lopez, 1991).

Σε έρευνα που διεξήχθη, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella kapemba*, *Salmonella London* και *Salmonella blockey* ήταν οι απομονωμένοι ορότυποι των δειγμάτων νερού από αρδευόμενα λαχανικά.

4.4 Συγκεντρώσεις των παθογόνων μικροοργανισμών και οργανισμών – δεικτών στα αρδευτικά ύδατα

Υπάρχει μια σημαντική βάση δεδομένων, διαθέσιμη για τη μικροβιολογική ποιότητα του νερού των επιφανειακών υδάτων στις Η.Π.Α και σε άλλες χώρες που βασίζονται σε δείκτες – οργανισμούς. Ωστόσο, αυτές οι πληροφορίες είναι περιορισμένης αξίας της εκτίμησης του κινδύνου για την μόλυνση της παραγωγής εξαιτίας των ελλείψεων σε τοποθεσίες, χρόνου και συχνότητας δειγματοληψιών. Υπάρχουν πολύ λίγα στοιχεία για τον επιπολασμό των ειδικών παθογόνων. Αν και οι αναφορές για τη μικροβιακή μόλυνση των πηγών του αρδευτικού νερού είναι διαθέσιμες, τα δεδομένα αυτά έχουν ως επί το πλείστον διεξαχθεί μετά από την εμφάνιση ενός κρούσματος. Επιπλέον τα επιφανειακά ύδατα που χρησιμοποιούνται για άρδευση παρακολουθούνται πολύ λιγότερο απ' ό,τι το πόσιμο νερό ή το νερό αναψυχής και όχι απαραίτητα κατά τη διάρκεια περιόδων

αιχμής, χρήσεων (πχ κατά τη διάρκεια ξηρασίας). Σημειώστε ότι το νερό της διαδικασίας δηλαδή το νερό που χρησιμοποιείται στη διαχείριση καλλιεργειών και όχι το νερό που προορίζεται για άρδευση, το νερό που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή των φυτοφαρμάκων ή το καθαρισμό του εξοπλισμού σπάνια (αν όχι ποτέ) παρακολουθείται. Ακόμα και όταν το νερό άρδευσης ελέγχεται, οι οργανισμοί – δείκτες είναι που μετρώνται στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων και όχι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Οι οργανισμοί – δείκτες έχουν επιλεγεί κυρίως για να δείχνουν την πιθανότητα της δυνητικά κοπρανώδης μόλυνσης παρά την παρουσία ή το επίπεδο συγκέντρωσης κάποιου συγκεκριμένου παθογόνου (Ashbolt et al., 2001).

Μια ολοκληρωμένη μελέτη για τα επίπεδα μικροβιακής μόλυνσης στα νερά άρδευσης δεν έχει συνταχθεί ακόμα στις Η.Π.Α ή σε οποιαδήποτε άλλη χώρα (Stoeckel, 2009).

Δεν υπάρχει καμία τακτική υποβολή εκθέσεων σχετικά με τη μικροβιακή ποιότητα των υδάτων άρδευσης οπουδήποτε στο κόσμο. Αυτό οφείλεται εν μέρει, στο κόστος των εκτεταμένων δειγματοληψιών. Επιπλέον οι καλλιεργητές οι οποίοι άρχισαν να συλλέγουν στοιχεία για τη μικροβιακή ποιότητα του νερού μπορεί να είναι απρόθυμοι να μοιράζονται αυτά τα δεδομένα (Suslow, 2010). Διαθέσιμα στοιχεία έρευνας, δείχνουν τη δυνητική σημασία των παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό άρδευσης. Μελετήθηκε η πιθανότητα εμφάνισης των ανθρώπινων παθογόνων σε ύδατα άρδευσης που χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή τροφίμων στις Η.Π.Α και σε αρκετές χώρες της κεντρικής Αμερικής. Το 2002 σε μια βρέθηκε ότι το 28% των δειγμάτων άρδευσης ήταν θετικό για μικροσπορίδια, 60% βρέθηκαν θετικά για κύστες *Giardia* και 36% βρέθηκαν θετικά για ωκύστες *Cryptosporidium* (Thurston – Enriquez et al., 2002).

Το 2005 στο Τέξας ανακαλύφθηκε *Salmonella* στο 9% των δειγμάτων νερού άρδευσης που αναλύθηκαν (Duffy et al., 2005).

Σε μια μεγάλη έρευνα στις Η.Π.Α υπόγειου ύδατος το 2000 βρέθηκε ότι το 11% των τοποθεσιών ήταν θετική σε *Cryptosporidium*, *Giardia* ή και τα δυο (Moulton – Hancock et al., 2000).

Ανακαλύφθηκε το 2008 ότι η εντατική παραγωγή γάλακτος στα σύνορα με νερά άρδευσης είχε σαν αποτέλεσμα την έκπλυση *E. coli* και *Campylobacter* σε ρηχά υπόγεια ύδατα, όπου το *E. coli* και το *Campylobacter* ανιχνεύθηκαν 75% και 12% των δειγμάτων αντίστοιχα (Close et al., 2008).

Το 2010 πραγματοποιήθηκε μια έρευνα όπου το *E. coli* απομονώθηκε από το 2% όλων των δειγμάτων από ένα ποταμό στη βόρειο Νιγηρία ο οποίος χρησιμοποιείται για μεγάλης κλίμακας άρδευσης (Chigor et al., 2010).

Η επικράτηση του *E. coli O157:H7* και της *Salmonella* σε επιφανειακά ύδατα στη νότιο Αλμπέρτα ήταν 11% και 6% αντίστοιχα (Johnson et al., 2003).

Στην ίδια περιοχή, το *E.coli O157:H7* απομονώθηκε στο 2% από τα 1608 δείγματα των επιφανειακών νερών σε περίοδο δυο ετών (Gannon et al., 2004).

Δείγματα νερού άρδευσης τα οποία συλλέχθηκαν από έξι περιοχές άρδευσης στην Αλμπέρτα και στο Καναδά το 8% από αυτά περιείχαν > 100 κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή ανά 100 ml (Cross, 1997).

Η *Salmonella* ανιχνεύτηκε στο 6% των δειγμάτων επιφανειακών υδάτων στην Ελλάδα. (Arvanitidou et al., 1997)

Σε μια έρευνα ιδιωτικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκε στην Ολλανδία βρέθηκε ότι το 11% των δειγμάτων περιείχαν κοπρανώδης δείκτες ενώ το *E.coli* O157:H7 απομονώθηκε στο 3% των δειγμάτων (Schets et al., 2005).

Τα ανεπεξέργαστα οικιακά λύματα περιέχουν σταθερά υψηλές συγκεντρώσεις των βακτηρίων – δεικτών καθώς και παθογόνα. Ολικά κολοβακτηριοειδή κατά μέσο όρο $7,6 * 10^{10}$ 100 ml⁻¹ σε ανεπεξέργαστα λύματα (Kay et al., 2008).

Αποικίες *Cryptosporidium* και *Salmonella* αναφέρθηκε σε μέσες συγκεντρώσεις της τάξης $2,6 - 3,2 * 10^2$ / 100 ml και $2,7 * 10^2$ / 100 ml σε ανεπεξέργαστα δείγματα νερού (Howard et al., 2004).

Οι βάσεις δεδομένων για τη ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων που είναι διαθέσιμες δεν αντανακλούν απαραίτητα τη μικροβιακή ποιότητα του αρδεύσιμου νερού και μπορεί να είναι προκατειλημμένη απέναντι σε μολυσμένα δείγματα επειδή συνήθως η εντατική παρακολούθηση διεξάγεται στις περιοχές όπου η εκτεταμένη μόλυνση έχει εμφανιστεί (Stoeckel et al., 2009).

Επιπλέον αν και είναι σπάνιες οι αναφορές στη βιβλιογραφία είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι οι οργανισμοί – δείκτες είναι φτωχό μέσο πρόβλεψης της πιθανότητας ότι το νερό μπορεί να προκαλέσει γαστρεντερική νόσο (Shelton et al., 2011).

4.4.1 Επιβίωση των τροφιμογενών παθογόνων στο αρδευτικό νερό

Η παρουσία των τροφιμογενών παθογόνων στο νερό άρδευσης υποδηλώνει ένα δυνητικό κίνδυνο μετάδοσης νόσου, εάν τα φρούτα ή τα λαχανικά που αρδεύονται με αυτό το νερό καταναλώνονται από ανθρώπους. Ο αληθινός κίνδυνος της νόσου προκαλείται από παθογόνους μικροοργανισμούς σε νερό άρδευσης, ωστόσο αυτό εξαρτάται από τις πολλές μεταβλητές, όπως

- a. Το φορτίο του παθογόνου που εκκρίνεται
- b. Τη λανθάνουσα περίοδο πριν γίνει μολυσματικό
- c. Την επιμονή του στο περιβάλλον και στα τρόφιμα
- d. Την ικανότητα να πολλαπλασιάζεται εκτός ξενιστών
- e. Τη μολυσματική δόση για τους ανθρώπους και
- f. Την απόκριση του ξενιστή

Η ικανότητα του παθογόνου να επιβιώνει στο περιβάλλον, στα φρούτα και στα λαχανικά είναι σημαντικός παράγοντας του κινδύνου μόλυνσης του ανθρώπου (Feacham et al., 1983).

Οι ικανότητες των περισσότερων παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον μειώνονται με τη πάροδο του χρόνου. Βακτήρια, συμπεριλαμβανομένων των κοπρανώδων κολοβακτηριοειδών, *Salmonella* spp., και *Shigella* spp., συνήθως επιζούν λιγότερο από 30 μέρες στο νερό και στα

απόβλητα, οι κύστες *Entamoeba histolytica* συνήθως επιζούν λιγότερο από 15 μέρες και οι εντεριοί λιγότερο από 50 μέρες, ενώ τα αβγά *Ascaris lubricoides* μπορούν επιβιώσουν πολλούς μήνες. Τα βακτήρια και οι ιοί είναι πιθανό να επιβιώσουν περισσότερο σε υπόγεια ύδατα σε σχέση με τα επιφανειακά επειδή τα υπόγεια ύδατα είναι πιο δροσερά, δεν εκτίθενται στο ηλιακό φως και έχουν λιγότερο μικροβιολογική και βιολογική δραστηριότητα (Feacham et al., 1983).

Στο έδαφος τα βακτήρια συμπεριλαμβανομένου των κοπρανώδων κολοβακτηριοειδών, *Salmonella* spp, *Shigella* spp, συνήθως επιζούν λιγότερο από 20 μέρες, οι κύστες *Entamoeba histolytica* λιγότερο από 10 μέρες και οι εντεριοί λιγότερο από 20 μέρες, ενώ τα αβγά *A.lubricoides* συνήθως επιζούν πολλούς μήνες. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιμονή των παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό είναι

- i. Η θερμοκρασία
- ii. Το PH
- iii. Η υγρασία
- iv. Ο ανταγωνισμός από τη μικροχλωρίδα του εδάφους και
- v. Η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία (Feacham et al., 1983)

Από αυτές τις παραμέτρους η θερμοκρασία εμφανίζεται να έχει τη πιο καθοριστική επίδραση (Wang et al., 1998).

Αυτοί οι χρόνοι επιβίωσης δείχνουν ότι τα βακτήρια και τα πρωτόζωα είναι παρόν στα επιφανειακά ύδατα που δεν είναι μολυσμένα με ανθρώπινα λύματα, έχουν σχετικά μικρή διάρκεια ζωής ενώ οι ιοί και οι ελμίνθες στα απόβλητα εξακολουθούν να υφίστανται περισσότερο στο περιβάλλον. Άλλες μελέτες αναφέρουν μεγαλύτερο χρόνο επιβίωσης για το *E.coli O157:H7* σε νερό ποταμού και κόπρανα βοοειδών, τονίζοντας την ανάγκη για προσοχή στην ερμηνεία των γενικών αυτών χρόνων επιβίωσης (Maule, 2000).

Μελέτες έδειξαν την επιβίωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε επιφάνειες φρούτων και λαχανικών. Βακτήρια συμπεριλαμβανομένου κοπρανώδων κολοβακτηριοειδών, *Salmonella* spp, *Shigella* spp, συνήθως επιζούν λιγότερο από 15 μέρες σε επιφάνειες καλλιεργειών, οι κύστες *E.histolytica* επιζούν λιγότερο από 2 μέρες, εντεριοί λιγότερο από 15 μέρες και τα αβγά *A.lubricoides* λιγότερο από 30 μέρες.

Ο μικρότερος χρόνος επιβίωσης των παθογόνων μικροοργανισμών στις καλλιέργειες σε σύγκριση με αυτούς του νερού και του εδάφους, αντανακλούν μια αυξανόμενη έκθεση στο ηλιακό και μια «αποξήρανση» για τα παθογόνα σε επιφάνειες καλλιεργειών. Αρκετές μελέτες έδειξαν μια σημαντική μείωση στο χρονοδιάγραμμα του επιπέδου των παθογόνων μικροοργανισμών στα λαχανικά που αρδεύονται με κακής ποιότητας νερό, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επιβίωση των παθογόνων μ/ο είναι μικρή σε επιφάνειες λαχανικών (Daczowska – Kozon et al., 2001).

Σε μια άλλη μελέτη όμως η βροχόπτωση σχετίστηκε με αύξηση του αριθμού των παθογόνων μικροοργανισμών, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί παρέμειναν ζωντανοί στο έδαφος και ήταν σε θέση να

επιμολύνουν τα λαχανικά κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης (Bastos et al., 1995).

Όπως συμβαίνει στο περιβάλλον πιο δροσερές θερμοκρασίες προωθούν την επιβίωση των παθογόνων μικροοργανισμών στα φρούτα και στα λαχανικά. Το *E.coli* O157:H7 επέζησε στην επιφάνεια μαρουλιού μέχρι 15 μέρες όταν ήταν αποθηκευμένο στους 4°C (Beuchat, 1999) και στην επιφάνεια φρέσκων κατεψυγμένων φραουλών για πάνω από ένα μήνα (Yu et al., 2001).

Οι ροταιοί ενοφθαλμίστηκαν πάνω σε επιφάνεια λαχανικού και διατηρήσαν την βιωσιμότητα τους πάνω από 30 μέρες στους 4°C και πολλοί επέζησαν σε διάφορα τρόφιμα κάτω από τυπικές συνθήκες ψύξης για 8,4 μέρες έως 2 βδομάδες (Kurdziel et al., 2001)

4.4.2 Παθογόνα που απομονώθηκαν ή σχετίζονται με φρούτα και λαχανικά

Παρά το γεγονός ότι κυριαρχούν τα βακτήρια αλλοίωσης, ζύμες και μύκητες της μικροχλωρίδας, σε ωμά φρούτα και λαχανικά, η περιστασιακή παρουσία των παθογόνων βακτηρίων, παρασίτων και ιών, ικανά να προκαλέσουν λοιμώξεις στον άνθρωπο έχουν επίσης τεκμηριωθεί (Nguyen et al., 2000).

Όλοι οι τύποι των προϊόντων έχουν τη δυνατότητα να υποκρύψουν παθογόνα, αλλά η *Shigella spp*, η *Salmonella*, το εντεροτοξικό και εντεροαιμοραγικό *E.coli*, *Campylobacter spp*, *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus*, *Clostridium botulinum*, ιοί και παράσιτα όπως *Giardia lamblia*, *Cyclospora cayetanensis* και *Cryptosporidium parvum* είναι τα πιο σημαντικά για τη δημόσια υγεία (Sterling et al., 1999).

Φρούτα και λαχανικά μπορούν να μολυνθούν με παθογόνους μικροοργανισμούς καθώς αναπτύσσονται σε χωράφια, οπωρώνες, αμπελώνες, θερμοκήπια, κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, μετά τη συγκομιδή, τη μεταποίηση, τη διανομή, τη προετοιμασία στο σπίτι ή στις υπηρεσίες τροφίμων. Παρατίθενται στο πίνακα 16 παραδείγματα νοσίων λαχανικών από τα οποία έχουν απομονωθεί παθογόνοι μικροοργανισμοί. Κάθε λαχανικό σε αυτή τη λίστα διαθέτει ένα μοναδικό σύνολο εγγενών παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν την επιβίωση και την ανάπτυξη των ανθρώπινων παθογόνων μικροοργανισμών.

Πίνακας 18. Παραδείγματα παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν σε ωμά λαχανικά^a

Vegetable	Country	Pathogen	Prevalence ^b
Alfalfa sprouts	USA	Aeromonas	
	USA	S. Meleagridis	
	USA	Bacillus cereus	
Alfalfa seeds	USA	S. Havana S. Cubana S. Tennessee	
	USA	S. Newport	
Artichoke	Denmark		
	Spain	Salmonella	3/25 (12%)
Asparagus	USA	Aeromonas	
Bean sprouts	Malaysia	L. monocytogenes	6/7 (85%)
	Sweden	Salmonella	
Beet leaves	Thailand	Salmonella	30/344 (8.7%)
	Spain	Salmonella	4/52 (7.7%)
Broccoli	USA	Aeromonas	
	USA	Aeromonas	5/16 (31.3%)
Cabbage	Canada	L. monocytogenes	2/92 (2.2%)
	Mexico	E. coli O157:H7	1/4 (25.0%)
	Peru	Vibrio cholerae	
	Spain	Salmonella	7/41 (17.1%)
	Sri Lanka	L. monocytogenes	6/18 (33%)
	USA	L. monocytogenes	1/92 (1.1%)
Carrots	Lebanon	Staphylococcus	(14.3%)
Cauliflower	Netherlands	Salmonella	1/13 (7.7%)
		Salmonella	1/23 (4.5%)
Celery	USA	Aeromonas	
	Mexico	E. coli O157:H7	6/34 (17.6%)
Chili	Spain	Salmonella	2/26 (7.7%)
Cilantro	Surinam	Salmonella	5/16 (31.3%)
Coriander	Mexico	E. coli O157:H7	8/41 (19.5%)
Cress sprouts	Mexico	E. coli O157:H7	2/20 (20.0%)
Cucumber	USA	B. cereus	
	Malaysia	L. monocytogenes	4/5 (80%)
	Pakistan	L. monocytogenes	1/5 (6.7%)
	USA	L. monocytogenes	2/92 (2.2%)
Endive	Netherlands	Salmonella	2/13 (1.5%)
Fennel	Netherlands	Salmonella	2/26 (7.7%)
Green onion	Italy	Salmonella	4/89 (71.9%)
Leafy vegetables	Canada	Campylobacter	1/40 (2.5%)
Lettuce	Malaysia	L. monocytogenes	5/22 (22.7%)
	Canada	Campylobacter	2/67 (3.1%)
	Italy	Salmonella	82/120 (68.3%)
	Lebanon	Staphylococcus	(14.3%)
	Malaysia	L. monocytogenes	1/28 (3.6%)
	Netherlands	Salmonella	2/28 (7.1%)
	Spain	Salmonella	5/80 (6.3%)
	Sri Lanka	L. monocytogenes	10/20 (50%)
Mungbean sprouts	USA	Aeromonas	
	UK	S. Saint-Paul	
Mushrooms	US	C. jejuni	3/200 (1.5%)
Mustard cress	UK	S. Gold-Coast	
Mustard sprouts	USA	B. cereus	
Parsley	Canada	Campylobacter	1/42 (2.4%)
	Egypt	Shigella	1/250 (0.4%)
	Lebanon	Staphylococcus	(7.7%)
	Spain	Salmonella	1/23 (4.3%)

Vegetable	Country	Pathogen	Prevalence ^b
-----------	---------	----------	-------------------------

Pepper	Canada	<i>Campylobacter</i>	1/63 (1.6%)
	USA	<i>Aeromonas</i>	
Potatoes	Sweden	<i>Salmonella</i>	
	USA	<i>L. monocytogenes</i>	19/70 (27.1%)
Prepacked salads	USA	<i>L. monocytogenes</i>	28/132 (21.2%)
	Canada	<i>Campylobacter</i>	2/74 (2.7%)
Radish	Northern Ireland	<i>L. monocytogenes</i>	3/21 (14.3%)
	UK	<i>L. monocytogenes</i>	4/60 (13.3%)
Salad greens	Lebanon	<i>Staphylococcus</i>	(6.3%)
	USA	<i>L. monocytogenes</i>	25/68 (36.8%)
Salad vegetables	USA	<i>L. monocytogenes</i>	19/132 (14.4%)
	Egypt	<i>Salmonella</i>	1/250 (0.4%)
Seed sprouts	UK	<i>S. aureus</i>	13/256 (5.1%)
	Egypt	<i>Shigella</i>	3/250 (1.2%)
Soybean sprouts	Egypt	<i>S. aureus</i>	3/36 (8.3%)
	Germany	<i>L. monocytogenes</i>	6/263 (2.3%)
Spinach	Northern Ireland	<i>L. monocytogenes</i>	4/16 (25%)
	UK	<i>Y. enterocolitica</i>	4/16 (25%)
Sprouting seeds	UK	<i>L. monocytogenes</i>	2/108 (1.8%)
	Canada	<i>Staphylococcus</i>	13/45 (24%)
Tomato	USA	<i>B. cereus</i>	
	Canada	<i>Campylobacter</i>	2/60 (3.3%)
Vegetables	Spain	<i>Salmonella</i>	2/38 (5.2%)
	USA	<i>Aeromonas</i>	
Vegetables	USA	<i>B. cereus</i>	56/98 (57%)
	Pakistan	<i>L. monocytogenes</i>	2/15 (13.3%)
Vegetables	Egypt	<i>Salmonella</i>	2/250 (0.8%)
	France	<i>Y. enterocolitica</i>	4/58 (7%)
	France	<i>Y. enterocolitica</i>	15/30 (50%)
	Iraq	<i>Salmonella</i>	3/43 (7.0%)
	Italy	<i>L. monocytogenes</i>	7/102 (6.9%)
	Italy	<i>Y. enterocolitica</i>	1/102 (1.0%)
	Spain	<i>L. monocytogenes</i>	8/103 (7.8%)
	Spain	<i>Salmonella</i>	46/849 (5.4%)
	Taiwan	<i>L. monocytogenes</i>	6/49 (12.2%)
	UK	<i>L. monocytogenes</i>	4/64 (6.2%)
	USA	<i>Salmonella</i>	4/50 (8.0%)

a = Προσαρμόστηκε από Beuchat, 2002

b = Αριθμός δειγμάτων θετικά από το σύνολο των αναλυθέντων, ποσοστό των θετικών δειγμάτων στη παρένθεση

Η επιβίωση και η ανάπτυξη ενός παθογόνου σε προϊόντα υπαγορεύεται από τις μεταβολικές του ικανότητες. Ωστόσο, η εκδήλωση αυτών των δυνατοτήτων μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες, φυσικής παρουσίας στο προϊόν ή να παρουσιαστούν σε ένα ή περισσότερα στάδια του συστήματος παραγωγής, τη μεταποίηση, τη διανομή και την προετοιμασία στο σημείο κατανάλωσης.

4.5 Το αρδευτικό νερό ως πηγή τροφιμογενών παθογόνων

Στοιχεία που αποδεικνύουν ότι το μολυσμένο νερό άρδευσης μπορεί να είναι πηγή τροφιμογενών παθογόνων στα φρούτα και στα λαχανικά μπορεί να βρεθεί σε επιδημιολογικές μελέτες τροφικής δηλητηρίασης, κρούσματα, πειραματικές μελέτες οι οποίες εξετάζουν το *E.coli O157:H7* που σχετίζεται με μόλυνση μαρουλιού και παρατηρήσεις της αυξανόμενης συχνότητας εμφάνισης της

ασθένειας σε περιοχές που χρησιμοποιούν λύματα για άρδευση με ελάχιστη ή καμία επεξεργασία λυμάτων. Το νερό άρδευσης έχει εμπλακεί σε κρούσματα *E.coli* O157:H7 από μολυσμένο μαρούλι και μολύνσεις *C.cayetanensis* από μαρούλι και σμέουρα (Ackers et al., 1998).

Το νερό άρδευσης εμπλέκεται ως πηγή του *E.coli*, ανιχνεύτηκε σε σποριόφυτα λάχανου τα οποία αρδεύονταν με μολυσμένα λύματα επειδή δεν βρισκόταν εκεί κοντά δημοτικό νερό άρδευσης (Wachtel et al., 2002).

Πειραματικές μελέτες που εξετάζουν τη μόλυνση του μαρουλιού με *E.coli* O157:H7 έδειξαν ότι η άρδευση με λύματα μπορούσε να μεταδώσει αποτελεσματικά το *E.coli* στο μαρούλι (Solomon, 2002).

Η επαφή με το έδαφος δεν ήταν απαραίτητη για το μαρούλι να μολυνθεί, γεγονός που υποδηλώνει ότι το βακτήριο «επιβιβάστηκε» μέσω του ριζικού συστήματος. Επιπλέον, το *E.coli* ήταν ορατό σε ιστούς μαρουλιού συμπεριλαμβανομένων των περιοχών που ήταν απρόσιτες για πλύσιμο μετά τη συλλογή. Οι μελέτες υπογραμμίζουν τη σημασία της χρήσης «καλής ποιότητας» νερού άρδευσης για καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα είναι έτοιμα για κατανάλωση. Στοιχεία που αποδεικνύουν ότι τα παθογόνα υπάρχουν στο νερό άρδευσης και μπορούν να μολύνουν όχι μόνο φρούτα και λαχανικά αλλά μπορούν να προκαλέσουν ασθένεια στον άνθρωπο, η νόσος βρίσκεται σε μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης και παρατηρείται σε πληθυσμούς που χρησιμοποιούν λύματα για άρδευση, τα οποία υπόκεινται σε ελλιπή ή καμία επεξεργασία πριν τη χρήση.

Μια μεγάλη μελέτη πραγματοποιήθηκε στο κεντρικό Μεξικό η οποία συνέκρινε τα κρούσματα διάρροιας και τις λοιμώξεις από *A.lubricoides* με τη μικροβιακή ποιότητα του νερού άρδευσης σε 2,320 νοικοκυριά με ή χωρίς επεξεργασία των λυμάτων, επεξεργασία των λυμάτων από διασυνδεδεμένες δεξαμενές ή από φυσικές βροχοπτώσεις (Cifuentes, 1998).

Οι τιμές της διάρροιας και της λοίμωξης από *A.lubricoides* ήταν σημαντικά υψηλότερες σε νοικοκυριά που χρησιμοποιούσαν νερό άρδευσης από ακατέργαστα λύματα απ' ότι σε νοικοκυριά που χρησιμοποιούσαν για άρδευση το νερό της βροχής και μόνο. Δεν υπήρξε παρατήρηση αύξησης της διάρροιας σε νοικοκυριά που χρησιμοποιούσαν για άρδευση, νερό από δεξαμενή λυμάτων γεγονός που υποδηλώνει ότι η βελτίωση της μικροβιακής ποιότητας αυτού του νερού ήταν επαρκής ώστε να αποτρέψει τη μετάδοση της νόσου. Άλλες μελέτες ανέφεραν υψηλότερες συχνότητες μόλυνσης με *Salmonella* σε παιδιά στο Μαρόκο, εντερικές ασθένειες σε γεωργικούς οικισμούς στο Ισραήλ, τυφοειδή πυρετό στο Σαντιάγκο της Χιλής και μόλυνση με *A.lubricoides* στο Μεξικό συνδέθηκαν με την άρδευση λυμάτων ή με την άρδευση από ποταμό που περιείχε μη επεξεργασμένα λύματα (έμμεση άρδευση λυμάτων), (Cifuentes et al., 2000).

4.6 Κρούσματα που οφείλονται σε μολυσμένα φρούτα και λαχανικά

Πολυάριθμα κρούσματα συνδέονται με μολυσμένα τρόφιμα και λαχανικά συνοψίζονται σε πρόσφατες μελέτες. Αυτά τα κρούσματα δίνουν έμφαση στην επίδραση που μπορεί να έχουν τα μολυσμένα προϊόντα στην ανθρώπινη υγεία. Ο κίνδυνος της μετάδοσης ασθένειας αυξάνεται όταν φρούτα και λαχανικά τρώγονται ωμά. Κρούσματα από *E.coli* O157:H7 στις Η.Π.Α, στη Μοντάνα και στο Κονέκτικατ και *Salmonella sonnei* στη Σουηδία και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες και αυξημένο αριθμό κρουσμάτων Ηπατίτιδας Α στο Κεντάκι και στη Σουηδία που σχετίζονται με τη κατανάλωση μαρουλιού ή πράσινης σαλάτας (Ackers et al., 1998).

Οι ντομάτες έχουν εμπλακεί σε μεγάλα πολλαπλά κρούσματα *Salmonella* το 1990, 1993 και 1999 στις Η.Π.Α (Cummings et al., 2001).

Salmonella spp, *E. coli* O157:H7, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* και *Shigella* spp, εμπλέκονται με κρούσματα στους βλαστούς (Taormina et al., 1999) συμπεριλαμβανομένου ενός κρούσματος *E. coli* O157:H7 στην Ιαπωνία που σχετίστηκε με τη κατανάλωση ραπανιών που προσεβλήθησαν περίπου 10.000 άνθρωποι (Michino et al., 1999).

Αγγούρι, κάρδαμο, κρεμμύδι, μαϊντανός, σπανάκι, καρύδα, σέλινο έχουν επίσης εμπλακεί σε τροφιμογενείς επιδημίες. Τα φρούτα μπορούν να δράσουν σαν «οχήματα» για τη μετάδοση ασθενειών. Μη παστεριωμένος χυμός πορτοκαλιού και χυμός μήλου εμπλέκονται σε πολλά κρούσματα μολύνσεων από *Salmonella*, *E.coli* O157:H7 και *Cryptosporidium*. Φρέσκα φρούτα έχουν εμπλακεί σε κρούσματα *Salmonella Saphra*, *norovirus*, *calicivirus* και το παράσιτο *Cyclospora cayetanensis* (Gaulin et al., 1999).

Κατεψυγμένα φρούτα ήταν πηγή *Hepatitis A* και καλισιών σε δύο διαφορετικά κρούσματα (Maule, 2000).

4.6.1 Κρούσμα *Salmonella saint-paul* σχετιζόμενη με φασόλια (Αγγλία, 1988)

Το Μάρτιο του 1988 υπήρξε ένα κρούσμα από το στέλεχος *Salmonella saint-paul* με ένα διακριτικό αντιγονικό δείκτη στις 143 αναφορές που λήφθηκαν συνολικά. Προκαταρκτικές έρευνες έδειξαν ότι η πιθανή πηγή της επιδημίας ήταν ωμά φασόλια και μια μελέτη περίπτωσης επιβεβαίωσε τη συσχέτιση. Από δείγματα φασολιού απομονώθηκε *Salmonella saint-paul* σε διάφορες πόλεις του Ηνωμένου Βασιλείου που προοριζόταν για λιανική πώληση και σε σπόρους φασολιών στις εγκαταστάσεις του παραγωγού (O' Mahony et al., 1989).

Είναι πιθανό τα παθογόνα να μόλυναν τα φασόλια από το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη τους και από διαχείριση ανθυγιεινών πρακτικών (Patterson et al., 1980).

Στο παρόν κρούσμα το όχημα της λοίμωξης ήταν μολυσμένες ρίζες φασολιών και η πηγή της λοίμωξης τα μολυσμένα φασόλια. Ο βαθμός της

μόλυνσης αντανακλάται στο συχνό εύρημα *E.coli* σε τακτική δειγματοληψία των φασολιών.

4.6.2 Κρούσμα *E.coli* από κατανάλωση μαρουλιού (Μοντάνα, 1995)

Τον Ιούλιο του 1995, 40 κάτοικοι στη Μοντάνα των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής ανιχνεύτηκε μόλυνση *E.coli* με εργαστηριακή επιβεβαίωση. 52 κάτοικοι είχαν αιματηρή διάρροια χωρίς εργαστηριακή επιβεβαίωση. 13 κάτοικοι νοσηλεύτηκαν ενώ ένας ανέπτυξε αιμολυτικό ουραιμικό σύνδρομο. Η μελέτη περίπτωσης έδειξε ότι 19 από τους 27 ασθενείς (70%), αλλά μόνο 8 από τις 46 περιπτώσεις (17%) που αναφέρθηκαν δήλωσαν ότι έφαγαν αγορασμένο μαρούλι πριν την έξαρση. Δεν είναι γνωστό πως η μόλυνση του μαρουλιού εμφανίστηκε αλλά τέσσερεις είναι οι επικρατέστερες πιθανότητες. Πρώτον, το μαρούλι να μολύνθηκε με κομπόστ που περιείχε *E.coli* το οποίο μόλυνε απευθείας το προϊόν (Cieslak et al., 1993).

Δεύτερον, περιττώματα βοοειδών να μόλυναν το αρδευτικό νερό ή το επιφανειακό νερό απορροής το οποίο με τη σειρά του μόλυνε το μαρούλι. Τρίτον, δεδομένου ότι τα βοοειδή είχαν πρόσβαση στα ρέματα πάνω από τη λίμνη που χρησιμοποιούνταν για άρδευση των μαρουλιών τα κόπρανα τους να μόλυναν το νερό απευθείας. Τέλος, κόπρανα άλλων ζώων με *E.coli* O157:H7 όπως πρόβατα μπορεί να μόλυναν το αρδευτικό νερό (Kudva et al., 1996).

4.6.3. Κρούσμα *E.coli* O157:H7 από κατανάλωση μη παστεριωμένου ποτού μήλου (Κονέκτικατ, 1996)

Κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου του 1996 ένα κρούσμα *E.coli* O157:H7 σημειώθηκε στο Κονέκτικατ των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Το κρούσμα σχετίστηκε με μη παστεριωμένο ποτό μήλου. Το μήλο μπορεί να μολυνθεί σε πολλά μέρη κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Στους οπωρώνες τα μήλα μπορούν να μολυνθούν άμα έρθουν σε επαφή με περιττώματα στο έδαφος, εξαιτίας μολυσμένου αρδευτικού νερού, κατά τη διάρκεια της συλλογής από μολυσμένα χέρια εργατών και από μολυσμένο εξοπλισμό ξεπλύματος των μήλων (Hilborn et al., 1999)

4.6.4 Κρούσμα *Calicivirus* από κατανάλωση κατεψυγμένων βατόμουρων (Φινλανδία, 1998)

Τον Απρίλιο του 1998 εμφανίστηκε ένα κρούσμα γαστρεντερίτιδας μεταξύ των υπαλλήλων μεγάλης εταιρίας στο Ελσίνκι. Μια αναδρομική μελέτη χρησιμοποιώντας ερωτηματολόγιο πραγματοποιήθηκε για να προσδιοριστεί η αιτία και η έκταση της επιδημίας. Για να ανταποκρίνονται στη περίπτωση οι

υπάλληλοι έπρεπε να είχαν διάρροια ή/και εμετό από τις 2 Απριλίου, 1998. 360 υπάλληλοι συμμετείχαν από τους οποίους οι 204 (57%) συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο. Από αυτούς, οι 108 (53%) πληρούσε τον ορισμό της περίπτωσης. Υπάλληλοι που έφαγαν σάλτσα βατόμουρου ήταν πιο πιθανό να νοσήσουν από αυτούς που δεν έφαγαν (AR: 65% vs AR: 18%). Τα μολυσμένα βατόμουρα προήλθαν από χώρες της Ανατολικής Ευρώπης όπου χρησιμοποιούσαν νερό άρδευσης από παράκτιο ποταμό (Gilgen et al., 1997).

Με δυο τρόπους είναι δυνατόν να μολύνθηκαν τα βατόμουρα, από μολυσμένο νερό του ποταμού που χρησιμοποιήθηκε για άρδευση ή κατά το ψεκασμό των βατόμουρων λίγο πριν παγώσουν.

4.6.5. Κρούσμα *Hepatitis A* από πράσινα κρεμμύδια (Οχάιο, 1998)

Στο Οχάιο των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, 43 περιπτώσεις επιβεβαίωσαν ορολογικά *Hepatitis A* μεταξύ αυτών που έφαγαν σε ένα εστιατόριο της πόλης. Η μελέτη περίπτωσης προσδιόρισε ότι τα φαγητά που περιείχαν πράσινα κρεμμύδια τα οποία καταναλώθηκαν από τις 38 στις 40 περιπτώσεις σε σύγκριση με τα 30 από τα 60 άτομα της ομάδας ελέγχου σχετίστηκαν με την αρρώστια. Η μόλυνση των κρεμμυδιών θα μπορούσε να συμβεί κατά τη φύτευση, την άρδευση, τη διαλογή, την επεξεργασία ή τη μεταφορά από ένα μολυσμένο εργάτη ή από μολυσμένο νερό (Dentinger et al., 2001).

4.6.6. Κρούσμα *E.coli O157:H7* από μαρούλι (Σουηδία, 2005)

Ένα κρούσμα εντεροαιμοραγικού *E. coli O157:H7* στη Δυτική ακτή της Σουηδίας το 2005 όπου 120 προσεβλήθησαν μεταξύ 16 Αυγούστου και 10 Σεπτεμβρίου. Η περιγραφική επιδημιολογία βρήκε μια σύνδεση μεταξύ της μόλυνσης και κατεψυγμένου μαρουλιού. Οι έρευνες δείχνουν ένα τοπικό παραγωγό μαρουλιού. Η εμπλεκόμενη καλλιέργεια αρδεύονταν από ένα παραπλήσιο ρέμα όπου το μαρούλι πιθανόν να μολύνθηκε από το μολυσμένο νερό του ρέματος (Soderstrom et al., 2005).

4.6.7. Σειρά κρουσμάτων *Norovirus* από εισαγόμενα κατεψυγμένα βατόμουρα (Δανία, 2005)

Μια σειρά από κρούσματα νοροϊών διαπιστώθηκε στη Δανία το Μάιο, τον Ιούνιο και το Σεπτέμβριο του 2005. Αφότου σημειώθηκε το πρώτο κρούσμα οι αρχές απέσυραν τα κατεψυγμένα βατόμουρα από την αγορά. Όμως, κάποιες καθυστερήσεις στην απομάκρυνση του προϊόντος είχε σαν αποτέλεσμα δεύτερο κρούσμα στις αρχές Ιουνίου. 400 άτομα μολύνθηκαν από τους οποίους οι 23

χρειάστηκαν νοσοκομειακή περίθαλψη. Το τρίτο κρούσμα σημειώθηκε από κατανάλωση πιάτου που παρασκευάστηκε με καταψυγμένα βατόμουρα. Η μόλυνση με το νοροϊό μπορεί να έχει συμβεί στη φάρμα από μολυσμένο αρδευτικό νερό ή από μολυσμένους εργάτες (Falkenhorst et al., 2005).

4.7 Μειώνοντας το κίνδυνο της μεταφοράς των τροφιμογενών παθογόνων στο νερό άρδευσης

Αρκετές στρατηγικές μπορούν να μειώσουν το κίνδυνο μετάδοσης παθογόνων μικροοργανισμών σε φρούτα και λαχανικά. Αυτά περιλαμβάνουν τη βελτίωση της μικροβιακής ποιότητας του αρδευτικού νερού πριν την εφαρμογή του, το περιορισμό της χρήσης χαμηλής ποιότητας αρδευτικού νερού σε καλλιέργειες που δεν είναι πιθανό να καταναλώνονται ωμά τα προϊόντα, επιφανειακή ή στάγδην άρδευση και μετά τη συλλογή πλύσιμο των φρούτων και λαχανικών. Οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της μικροβιακής ποιότητας του αρδευτικού νερού εξαρτάται από το είδος του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση και την επιθυμητή ποιότητα του τελικού νερού. Τα υπόγεια ύδατα είναι συνήθως πολύ καλής μικροβιακής ποιότητας και δεν απαιτείται κάποια επεξεργασία. Τα ανεπεξέργαστα αστικά λύματα, σε αντίθεση, περιέχουν υψηλά επίπεδα παθογόνων και μη παθογόνων μικροοργανισμών και απαιτείται εκτεταμένη επεξεργασία για να καθίσταται κατάλληλο προς εφαρμογή σε καλλιέργειες που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Επιπλέον εντατική επεξεργασία λυμάτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, χαμηλού κόστους βιολογικές επεξεργασίες, όπως λίμνες σταθεροποίησης των αποβλήτων (Pescod, 1992) λειτουργούν σωστά σε ζεστά κλίματα όπου η γη δεν είναι περιορισμένη και μπορεί να πραγματοποιείται μια λογαριθμική μείωση 2-3 στα επίπεδα των κοπρανώδων κολοβακτηριοειδών (Mara et al., 1989).

Τα επιφανειακά ύδατα είναι συνήθως ενδιάμεσης μικροβιακής ποιότητας και μπορεί να απαιτούν επεξεργασία για την εφαρμογή τους σε καλλιέργειες τις οποίες τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, σύμφωνα με ορισμένες κατευθυντήριες γραμμές, αλλά οι επιλογές επεξεργασίας για άρδευση με επιφανειακό νερό είναι περιορισμένες. Η διήθηση, η χλωρίωση, η οζόνωση, η έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία, η επεξεργασία ηλεκτρονικής δέσμης και η θερμική επεξεργασία, όλες μπορούν να πετύχουν δυνητικά μείωση του επιπέδου των μικροοργανισμών στο αρδευτικό νερό, αλλά η χρήση αυτών των επεξεργασιών μπορεί να μην είναι πρακτικό και το κόστος τους θα μπορούσε να είναι απαγορευτικό (E.P.A, 1999).

Το χλώριο είναι ένας παράγοντας απολύμανσης που χρησιμοποιείται πιο συχνά σε συνδυασμό υπερχλείωσης λυμάτων και έχουν παρόμοιες ιδιότητες με αυτό του αρδευτικού νερού. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα του χλωρίου μειώνεται σε νερό με υψηλά επίπεδα οργανικής ύλης, το χλώριο μπορεί να αντιδράσει με την οργανική ύλη και να παράγει καρκινογόνες ουσίες (Suslow,

1997) και τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα του χλωρίου και των άλλων απολυμαντικών στις καλλιέργειες και στο έδαφος είναι άγνωστα. Επειδή οι επιλογές επεξεργασιών είναι περιορισμένες, είναι καλύτερα να αποφεύγεται η μόλυνση των επιφανειακών υδάτων. Παρόλο ο έλεγχος της μόλυνσης των επιφανειακών υδάτων από μη σημειακές πηγές όπως πουλιά και άγρια ζωή είναι εξαιρετικά δύσκολος, η επίδραση των άλλων πηγών μόλυνσης όπως η κοπριά που χρησιμοποιείται για λίπασμα και η απορροή από μέρη ζωοτροφών, μπορεί να μειωθεί ακολουθώντας ορθές γεωργικές πρακτικές (Rangarajan et al., 2002).

Αυτές οι πρακτικές περιλαμβάνουν τη διατήρηση των πηγών άρδευσης μακριά από τα ζώα, όπως τις αγελάδες και τα πουλικά, τον εντοπισμό της χρήσης αντίθετων ρεμάτων του επιφανειακού νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση, όπως ρέματα και ποτάμια και τη διασφάλιση ότι η κοπριά που εφαρμόζεται στα χωράφια δεν έρχεται σε επαφή με πηγές άρδευσης. Όταν η πρόσβαση σε καλής ποιότητας αρδευτικό νερό είναι περιορισμένη, μια εναλλακτική λύση για τη μεταχείριση των καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα δεν καταναλώνονται ωμά, όπως τα κτηνοτροφικά φυτά είναι η άρδευση με χαμηλής ποιότητας αρδευτικό νερό και υψηλότερης ποιότητας νερού για πιο ακριβές καλλιέργειες όπως μαρούλι και ντομάτες που τρώγονται με ελάχιστη ή καμιά επεξεργασία. Αυτή η προσέγγιση εφαρμόστηκε σε διάφορες χώρες (Cifuentes et al., 2000).

Ο περιορισμός των προγραμμάτων καλλιέργειας σε περιοχές της Χιλής όπου το νερό του ποταμού χρησιμοποιείται για άρδευση είναι εξαιρετικά μολυσμένο λόγω των απορρίψεων λυμάτων, οδήγησε σε σημαντική μείωση της συχνότητας εμφάνισης ηπατίτιδας, τύφου και άλλες γαστρεντερικές ασθένειες (Westcot, 1997).

Μια εναλλακτική λύση για το περιορισμό των παθογόνων στις καλλιέργειες μπορεί να είναι η άρδευση με χαμηλής ποιότητας νερό νωρίς, κατά τη βλαστική περίοδο και άρδευση με καλύτερης ποιότητας νερό κοντά στη συγκομιδή, επιτρέποντας έτσι τα παθογόνα που υπάρχουν στο χαμηλής ποιότητας νερό να πεθάνουν πριν τη συγκομιδή των καλλιεργειών. Αυτή η προσέγγιση θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή, επειδή τα παθογόνα που υπάρχουν στο έδαφος μπορεί να επιμόλυναν τις καλλιέργειες που αρδεύονται με καθαρό νερό αν το έδαφος πιτσιλιστεί στις καλλιέργειες (Bastos et al., 1995) και το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τα παθογόνα που εναποτίθενται στο έδαφος και στις καλλιέργειες από άρδευση με κακής ποιότητας νερό να καθορίζεται με ακρίβεια. Η μέθοδος της άρδευσης μπορεί να επηρεάσει το πόσο αποτελεσματικά είναι τα παθογόνα που υπάρχουν στο αρδευτικό νερό και μεταδίδονται στις επιφάνειες των φυτών. Η στάγδην άρδευση ή η επιφανειακή μπορούν να ελαχιστοποιήσουν την επαφή των καλλιεργειών με τις μολυσματικές ουσίες που υπάρχουν στο αρδευτικό νερό, σε σύγκριση με το καταιονισμό επειδή τα εδάδιμα μέρη των φυτών δε βρέχονται άμεσα. Η αξιολόγηση του κινδύνου με βάση τη μελέτη των αρδευτικών λυμάτων για λαχανικά, η χρήση της στάγδην άρδευσης αντί του καταιονισμού είχε προβλεφθεί να μειώσει το κίνδυνο της μόλυνσης από 2-3 τάξεις μεγέθους (Oron, 2002).

Άλλες μελέτες έδειξαν το περιορισμό μετάδοσης των παθογόνων στο νερό άρδευσης σε λαχανικά όταν χρησιμοποιήθηκε στάγδην άρδευση (Solomon et al., 2002). Η Ε.Ρ.Α. συνιστά την εφαρμογή της στάγδην άρδευσης όταν υπάρχουν κολοβακτηριοειδή στο νερό άρδευσης (Ε.Ρ.Α, 1992).

Μετά τη συγκομιδή, το πλύσιμο των φρούτων και των λαχανικών συνήθως χρησιμοποιούνται για τη μείωση του μικροβιακού φορτίου (Το πλύσιμο θα πρέπει να είναι με πόσιμο νερό?). Κοινές μετά τη συλλογή επεξεργασίες πλύσης περιλαμβάνουν χλώριο, διοξείδιο του χλωρίου, όζον, υπεροξείδιο και υπεροξικό οξύ (Suslow, 2001).

Εντούτοις αν και το μετασυλλεκτικό πλύσιμο είναι ο κατάλληλος τρόπος της μείωσης του μικροβιακού φορτίου στα προϊόντα, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που είναι παρόντες στην επιφάνεια των φυτών, στο φυσικό περίγραμμα, μπορούν να διαφύγουν της αντιμικροβιακής αποτελεσματικότητας του μετασυλλεκτικού πλυσίματος (Suslow, 2001).

Πειράματα με μαρούλια που αρδεύονται με νερό που περιέχει *E.coli*, ανιχνεύτηκε *E.coli* στους ιστούς του μαρουλιού, συμπεριλαμβανομένου του εσωτερικού ιστού στο οποίο το μετασυλλεκτικό πλύσιμο είναι απρόσιτο σε αυτούς τους ιστούς (Solomon et al., 2002).

Αναφέρθηκε ότι το *E.coli* O157:H7 πχ δεν μπορεί να εξαλειφθεί από το μαρούλι πλένοντας το με χλωριωμένο νερό (Beuchat, 1999).

Είναι προτιμότερο να εμποδίσεις την αρχική μόλυνση στα φρούτα και τα λαχανικά από παθογόνους μικροοργανισμούς παρά να προσπαθήσεις να τους απομακρύνεις μετά τη συγκομιδή. Είναι κύριο μειονέκτημα από το περιορισμό των καλλιεργειών ή της παρακολούθησης της ποιότητας του νερού είναι ένα ισχυρό θεσμικό πλαίσιο που απαιτείται για τη παρακολούθηση και την επιβολή συμμόρφωσης. Προγράμματα πιστοποίησης στα οποία το σήμα των προϊόντων δηλώνει ότι έχει παραχθεί κάτω από ασφαλείς συνθήκες έχει προταθεί ως μέσο για την αποφυγή χαμηλών ποσοστών συμμόρφωσης.

Πιστοποίηση των καλλιεργειών που είχαν άμεση παρακολούθηση για τη παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών είναι μια δαπανηρή εναλλακτική λύση όπως αποδείχθηκε πρόσφατα στη Βραζιλία (Takayanagui et al., 2000).

Β ΜΕΡΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία (ΚΥΑ 145116/2010) ως «Υγρά Απόβλητα» χαρακτηρίζονται τα οικιακά ή αστικά λύματα καθώς και τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα που αναφέρονται στην υπ' αριθμόν 5673/400/1997 ΚΥΑ ανεξαρτήτως μεγέθους εγκατάστασης.

Επίσης η ΚΥΑ 145116/2010 ορίζει ως «Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων» την εν γένει διαχείριση των υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε να ανακτηθούν ως νερό με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους.

Καθορίζονται μικροβιολογικά κριτήρια σύμφωνα με τη Δ.ΥΓ2/Γ.Π.οικ 133551, η οποία αντικατέστησε την Ε1β/221/65 όπου δεν ανέφερε όρια για τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των ανακυκλωμένων λυμάτων. Έτσι τα λύματα αστικού χαρακτήρα πρέπει να έχουν υποβληθεί σε κατάλληλη επεξεργασία ώστε : Τα Όρια των Ολικών Κολοβακτηριοειδών $\leq 2/100$ ml, να πραγματοποιείται 1 κατ' ελάχιστον δειγματοληψία ανά 3 ημέρες. Τα Ολικά Κολοβακτηριοειδή δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 20/100 ml για περισσότερα του ενός δείγματος για συνεχές χρονικό διάστημα 2 μηνών.

Η ΚΥΑ 145116 καθορίζει παραμέτρους τόσο για την περιορισμένη άρδευση όσο και για την απεριόριστη.

Περιορισμένη άρδευση	
<i>Escherichia coli</i> (EC/100ml)	≤ 200 διάμεση τιμή
BOD5 (mg/l)	ΚΥΑ 5673/400/1997
SS (mg/l)	ΚΥΑ 5673/400/1997

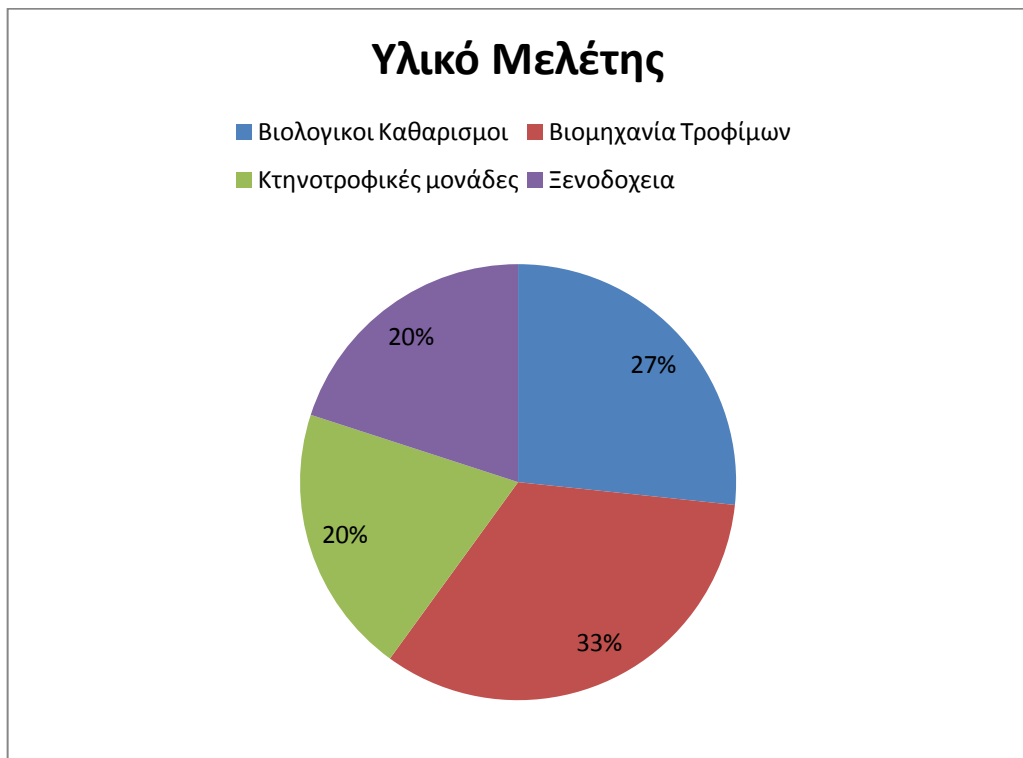
Θολότητα (NTU)	-
Κατ' ελάχιστον απαιτούμενη Επεξεργασία	Β/μια βιολογική επεξεργασία - Απολύμανση
Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών	<i>EC: μια ανά εβδομάδα Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς BOD5, SS, N, P: 5673/400/1997</i>

Απεριόριστη άρδευση	
<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	≤ 5 για το 80% των δειγμάτων ≤ 50 για το 95% των δειγμάτων
BOD5 (mg/l)	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων
SS (mg/l)	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων
Θολότητα (NTU)	≤ 2 διάμεση τιμή
Κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Β/μια - Γ/μια βιολογική επεξεργασία - Απολύμανση
Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών	<i>EC: από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ΠΠ > 50000 κατοίκους: τέσσερις /εβδομάδα και 2/ εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ' εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές : 1 / εβδομάδα Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς BOD5, SS, N, P: 5673/400/1997</i>

Σκοπός της έρευνας είναι η εκτίμηση της μικροβιολογικής κατάστασης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται για γεωργικές χρήσεις (άρδευση)

5.2 ΥΛΙΚΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το υλικό της μελέτης αποτελείται από 60 δείγματα που πάρθηκαν εκ των οποίων τα 20 συλλέχθηκαν από Βιομηχανίες Τροφίμων, τα 16 από Βιολογικούς Καθαρισμούς Αστικών Αποβλήτων, τα 12 από Ξενοδοχειακές Μονάδες και τα υπόλοιπα 12 από Κτηνοτροφικές Μονάδες. Για τη λήψη των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν σκουρόχρωμες φιάλες, οι οποίες νωρίτερα είχαν πλυθεί και ξεβγαλθεί αρχικά με κοινό νερό και στη συνέχεια με απεσταγμένο και τοποθετήθηκαν σε ξηρό κλίβανο για μια ώρα.



Γράφημα 1. Δείγματα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων προς διάθεση για άρδευση

5.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Το κομμάτι αυτό του ISO 9308-1:2000 περιγράφει μια μέθοδο αναφοράς (Standard Test) για την ανίχνευση και την απαρίθμηση του *Escherichia coli* και των ολικών κολοβακτηριοειδών στο νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το Standard Test βασίζεται στη διήθηση μέσω μεμβράνης, ακολουθούμενη από καλλιέργεια, σε διαφορετικό άγαρ και υπολογισμό των οργανισμών στόχων στο δείγμα.

Η μέθοδος αναφοράς έχει χαμηλή εκλεκτικότητα, επιτρέποντας την ανίχνευση των κακοποιημένων βακτηρίων. Εξαιτίας της χαμηλής εκλεκτικότητας το υπόβαθρο της ανάπτυξης μπορεί να έρθει σε σύγκρουση με το πραγματικό αριθμό των ολικών κολοβακτηριοειδών και του *E.coli*.

Επίσης αυτό το κομμάτι του ISO 9308-1:2000 περιλαμβάνει μια ταχεία μέθοδο για την ανίχνευση του *E.coli* εντός 24 ωρών για νερό ανθρώπινης κατανάλωσης, το οποίο μπορεί να είναι αρκετά χρήσιμο σε ειδικές περιπτώσεις όπου ενδέχεται να χρειαστούμε γρήγορα αποτελέσματα.

5.3.1 Ανίχνευση Ολικών Κολοβακτηριοειδών

Αφού τα δείγματα και τα θρεπτικά υποστρώματα εγκλιματιστούν σε θερμοκρασία δωματίου, γίνεται πολύ καλή ανάδευση του δείγματος.

Έπειτα διηθείτε η κατάλληλη ποσότητα (100, 10, 1 ml) δείγματος ανάλογα με το είδος του δείγματος (λόγω μεγάλου αριθμού αποικιών, έγιναν περαιτέρω αραιώσεις στα 0,1 ml, 0,01 ml και στα 0,001 ml για να υπάρξει αποτέλεσμα) σε μεμβράνη πόρου 0,45μm.

Ακολούθως τοποθετείται η μεμβράνη σε τρυβλίο με θρεπτικό υπόστρωμα tergitol-7 με ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή δημιουργίας φυσαλίδων και γίνεται επώαση στους 37°C για 24 ώρες.

Την επόμενη μέρα μετράμε τις χαρακτηριστικές κίτρινες, πορτοκαλί αποικίες (max 60) και γίνονται επιβεβαιωτικές δοκιμασίες που περιλαμβάνουν την ανακαλλιέργεια τουλάχιστον 10 ύποπτων αποικιών σε TSA όπου γίνεται επώαση στους 37°C για 24 ώρες.

Τα ολικά κολοβακτηριοειδή είναι οξειδάση αρνητικά και παράγουν οξύ από τη ζύμωση της λακτόζης.

5.3.2 Ανίχνευση *Escherichia coli*

Αφού τα δείγματα και τα θρεπτικά υποστρώματα εγκλιματιστούν σε θερμοκρασία δωματίου, γίνεται πολύ καλή ανάδευση του δείγματος.

Έπειτα διηθείτε η κατάλληλη ποσότητα (100, 10, 1 ml) δείγματος ανάλογα με το είδος του δείγματος (λόγω μεγάλου αριθμού αποικιών, έγιναν περαιτέρω αραιώσεις στα 0,1 ml, 0,01 ml και στα 0,001 ml για να υπάρξει αποτέλεσμα) σε μεμβράνη πόρου 0,45μm.

Ακολούθως τοποθετείται η μεμβράνη σε τρυβλίο με θρεπτικό υπόστρωμα tergitol-7 με ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή δημιουργίας φυσαλίδων και γίνεται επώαση στους 44°C για 24 ώρες.

Την επόμενη μέρα γίνεται καταμέτρηση των χαρακτηριστικώς κίτρινων, πορτοκαλί αποικιών (max 60) και γίνονται επιβεβαιωτικές δοκιμασίες που περιλαμβάνουν την ανακαλλιέργεια τουλάχιστον 10 ύποπτων αποικιών σε TSA όπου γίνεται επώαση στους 37°C για 24 ώρες.

Μετά το πέρασμα του 24ώρου και αφού γίνει η δοκιμή της οξειδάσης, οι αποικίες που ανιχνεύτηκαν αρνητικές ανακαλλιεργούνται σε Tryptone Water και επωάζονται στους 44°C για 24 ώρες για τον έλεγχο παραγωγής ινδόλης με τη προσθήκη αντιδραστηρίου Kovacs.

Η *Escherichia coli* είναι ινδόλη θετική, παράγει οξύ από τη ζύμωση της λακτόζης και οξειδάση αρνητική.

5.3.3 Τύποι καλλιιεργειών που αρδεύονται από τα ανακυκλωμένα λύματα

Στο γράφημα 2 παρατηρείται το είδος της καλλιέργειας που αρδεύεται από τα ανακυκλωμένα λύματα. Παρατηρείται συχνό φαινόμενο τα επεξεργασμένα λύματα να απορρίπτονται σε φυσικούς αποδέκτες ή σε αρδευτικά κανάλια όπου χρησιμοποιούνται για απεριόριστη άρδευση.

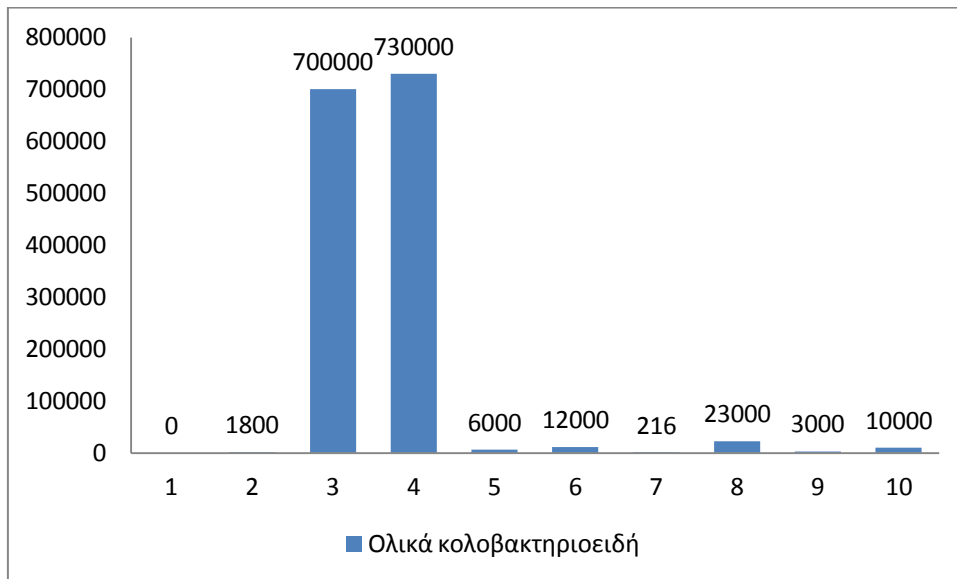


Γράφημα 2. Είδος καλλιεργειών που αρδεύονται από ανακυκλωμένα λύματα

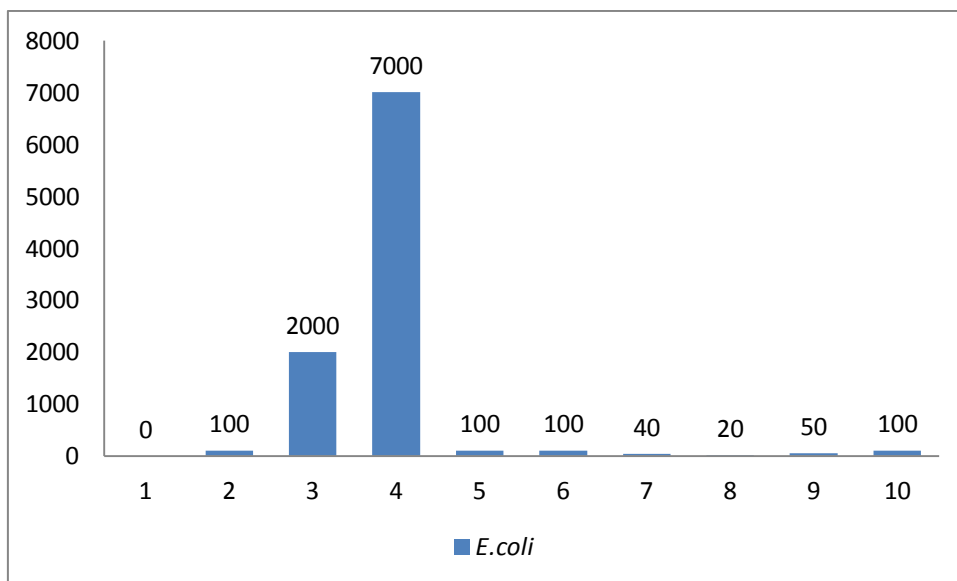
5.4 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

A. Τυροκομεία

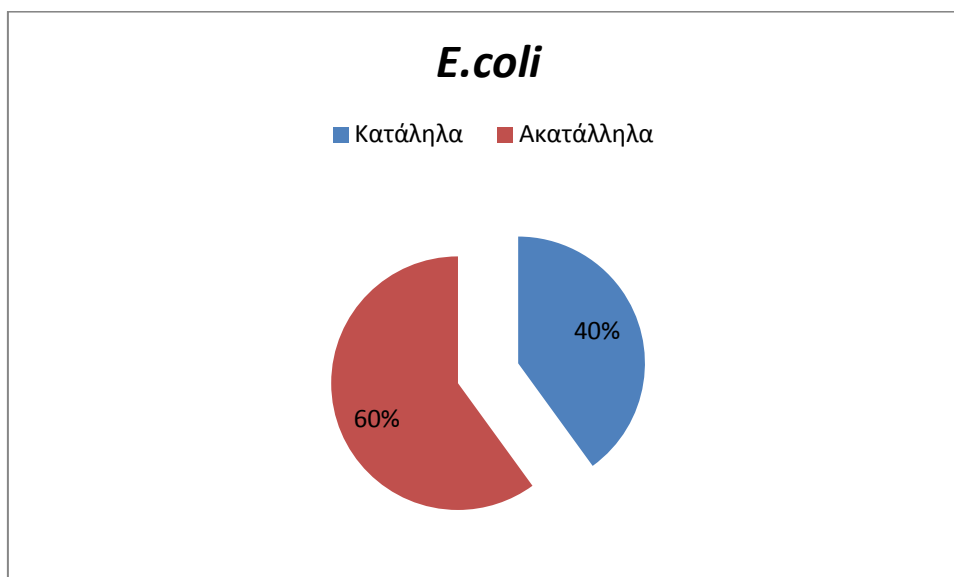
Παρακάτω έχουν παρθεί και έχουν αναλυθεί δείγματα για ολικά κολοβακτηριοειδή και για *E.coli* από διάφορα τυροκομεία του νομού Θεσσαλίας από τα οποία τα λύματα τους χρησιμοποιούνταν είτε για περιορισμένη άρδευση εντός της εγκατάστασης είτε αποβάλλονταν σε παρακείμενα κανάλια απεριόριστης άρδευσης



Γράφημα 3. Ολικά Κολοβακτηριοειδή σε δείγματα αποβλήτων τυροκομείων



Γράφημα 4. *E.coli* σε δείγματα αποβλήτων τυροκομείων

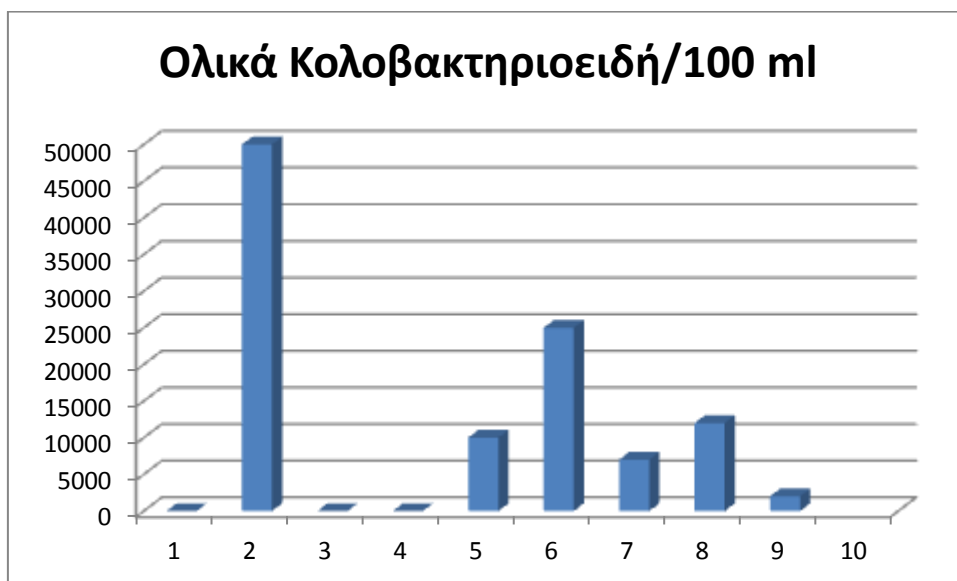


Γράφημα 5. Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων *E.coli* τυροκομείων

Ομοίως παρατηρείται ότι έχουν ανιχνευθεί υψηλές συγκεντρώσεις *E.coli*, στο 60% των δειγμάτων με την μεγαλύτερη τιμή να είναι 7000 cfu/100 ml και την μικρότερη να είναι 20 cfu/100 ml. Σε 1 δείγμα δεν ανιχνεύθηκε καθόλου *Escherichia coli*, που αποδεικνύει ότι στο εν λόγω τυροκομείο λειτουργούσαν οι εγκαταστάσεις λυμάτων σε σύγκριση με τα άλλα, τα όποια είτε δεν χρησιμοποιούσαν καθόλου τις εγκαταστάσεις ή λειτουργούσαν στα πρώτα στάδια.

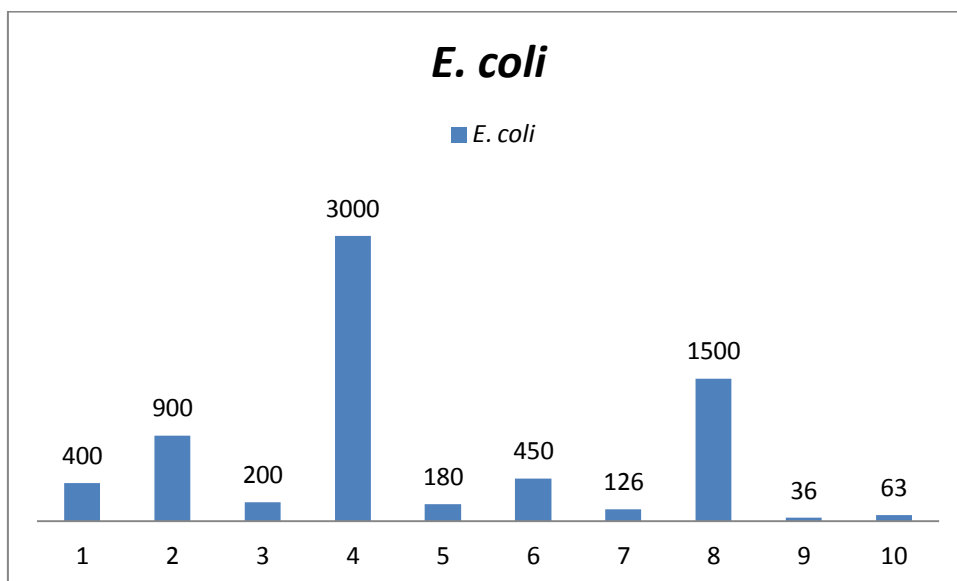
B. Βιομηχανίες Γάλακτος

Τα δείγματα συλλέχθηκαν από διάφορες γαλακτοβιομηχανίες του νόμου Θεσσαλίας όπου τα λύματα τους χρησιμοποιούνταν κατά κύριο λόγο για την άρδευση (περιορισμένη άρδευση) του γκαζόν εντός της γαλακτοβιομηχανίας.



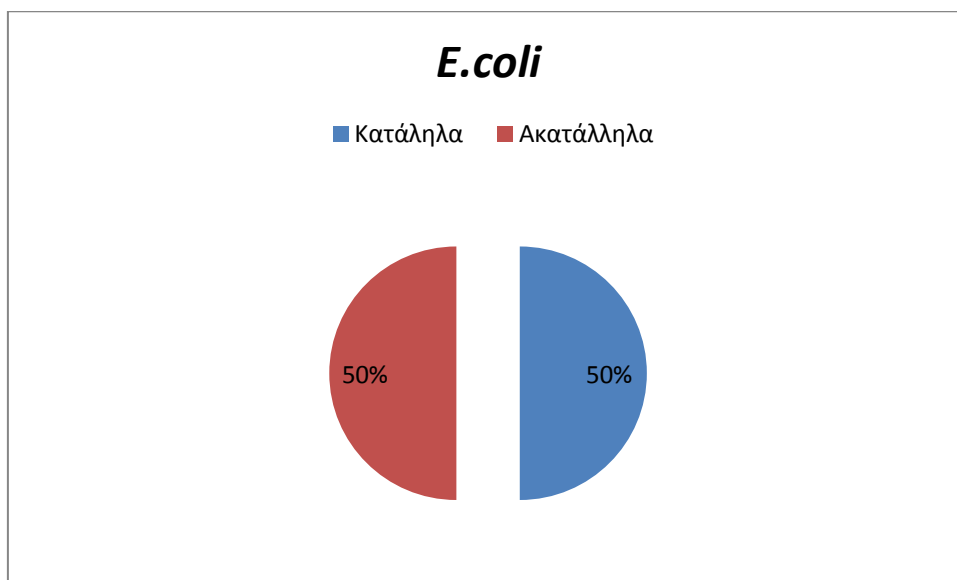
Γράφημα 6. Ολικά κολοβακτηριοειδή σε λύματα γαλακτοβιομηχανιών

Στο γράφημα 6 παρατηρούνται υπερβάσεις των ορίων στο 100% των δειγμάτων, εκ των οποίων το 40% δεν μπορεί να μετρηθεί. Αυτό μας δείχνει ότι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων έχουν ένα διακοσμητικό ρόλο όπως μας δείχνουν τιμές των δειγμάτων.



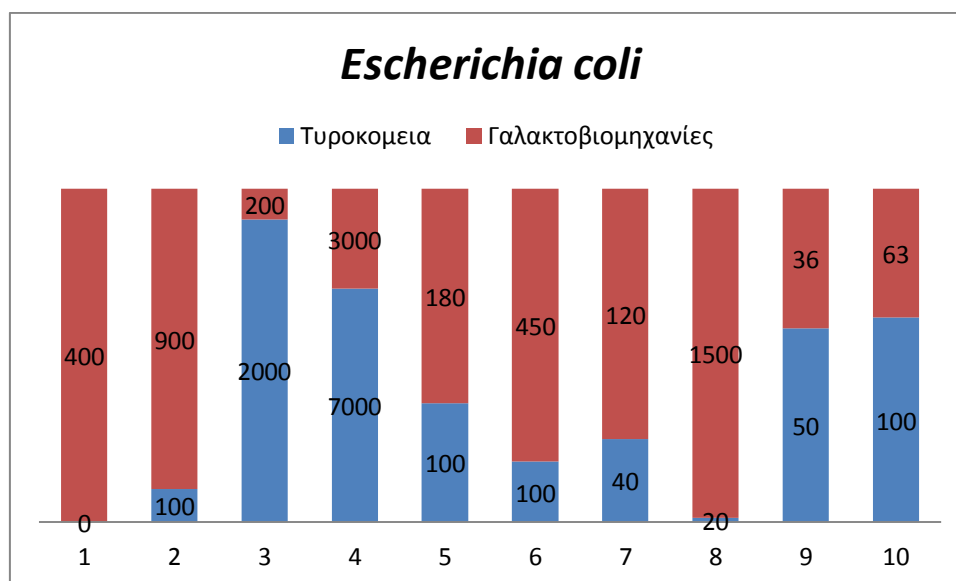
Γράφημα 7. *E. coli* σε δείγματα αποβλήτων γαλακτοβιομηχανιών

Ομοίως στο γράφημα 7 παρατηρούνται υψηλές τιμές και στο *E. coli* στο 50% των δειγμάτων, αφού είχαμε περιορισμένη άρδευση, με υψηλό κίνδυνο μετάδοσης νόσου στο προσωπικό. Τα αποτελέσματα επίσης αποδεικνύουν ότι δεν τίθενται σε λειτουργία οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας είτε λόγω κόστους είτε τα απόβλητα υφίστανται μια υποτυπώδη πρωτοβάθμια επεξεργασία.



Γράφημα 8. Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων για *E. coli* γαλακτοβιομηχανιών

Από το γράφημα 8 προκύπτει ότι το 50% των δειγμάτων υπερβαίνει το όριο ενώ μόλις 1 δείγμα είναι σε μηδενικά όρια. Τα αποτελέσματα των δειγμάτων που πάρθηκαν από τις γαλακτοβιομηχανίες, το 70% των αποτελεσμάτων είναι υψηλότερο από εκείνων των τυροκομείων και το υπόλοιπο 30% είναι υψηλότερο των τυροκομείων έναντι των γαλακτοβιομηχανιών.

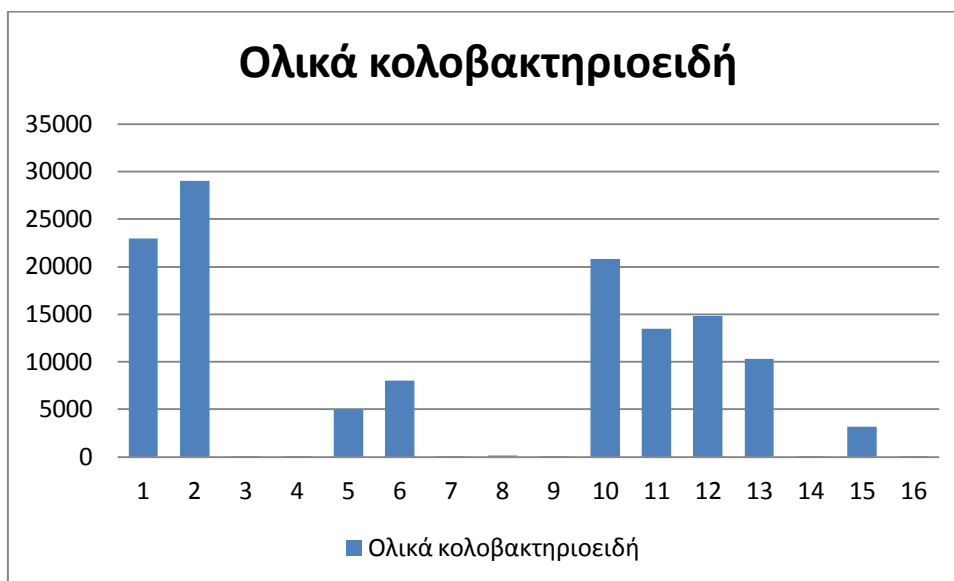


Γράφημα 9. Σύγκριση αποτελεσμάτων *E.coli* τυροκομείων – γαλακτοβιομηχανιών

Από τη σύγκριση των τιμών του γραφήματος 9 για το *E.coli*, τα αποτελέσματα δεν έχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους όπως στα ολικά κολοβακτηριοειδή, τα δείγματα που προέρχονται από τις γαλακτοβιομηχανίες σε ποσοστό 60% είναι πάνω από αυτές των τυροκομείων. Το υπόλοιπο 40% των δειγμάτων τα τυροκομεία υπερτερούν έναντι των βιομηχανιών γάλακτος.

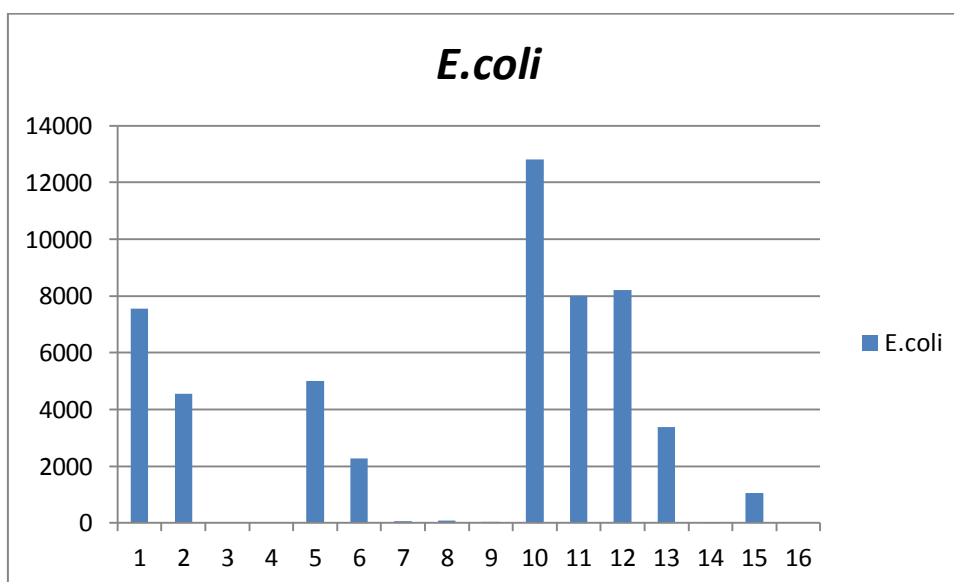
5.5 Βιολογικοί καθαρισμοί αστικών λυμάτων

Τα δείγματα πάρθηκαν και συλλέχθηκαν από βιολογικούς καθαρισμούς διάφορων νομών της Ελλάδας. Τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα αποβάλλονταν σε παρακείμενα κανάλια γεωργικής εκμετάλλευσης απεριόριστης κυρίως άρδευσης



Γράφημα 10. Ολικά κολοβακτηριοειδή βιολογικών καθαρισμών

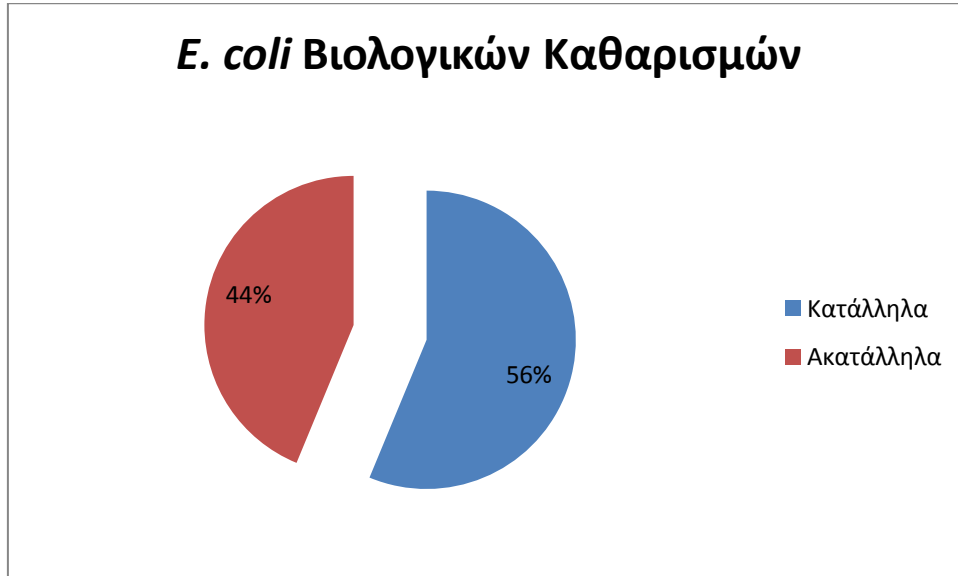
Από το γράφημα 10 παρατηρούνται υπερβάσεις των ορίων των ολικών κολοβακτηριοειδών στο μεγαλύτερο ποσοστό των βιολογικών καθαρισμών, πράγμα που δείχνει μη συμμόρφωση με τη νομοθεσία



Γράφημα 11. Αποτελέσματα *E.coli* από βιολογικούς καθαρισμούς

Στο γράφημα 11 υπάρχει μη συμμόρφωση ως προς την νομοθεσία στο 56% των βιολογικών καθαρισμών και μόλις το 44% των βιολογικών καθαρισμών είναι συμμορφωμένοι με τη νομοθεσία. Αυτή η μη συμμόρφωση μπορεί να οφείλεται στην ατελή λειτουργία των εγκαταστάσεων, στη μη επαρκή χλωρίωση των

αποβλήτων, όπου φυσικά υπάρχει μεγάλος κίνδυνος μετάδοσης παθογόνων αφού τα επεξεργασμένα απόβλητα απορρίπτονταν σε παρακείμενα κανάλια από τα οποία οι αγρότες πότιζαν τις καλλιέργειες τους.



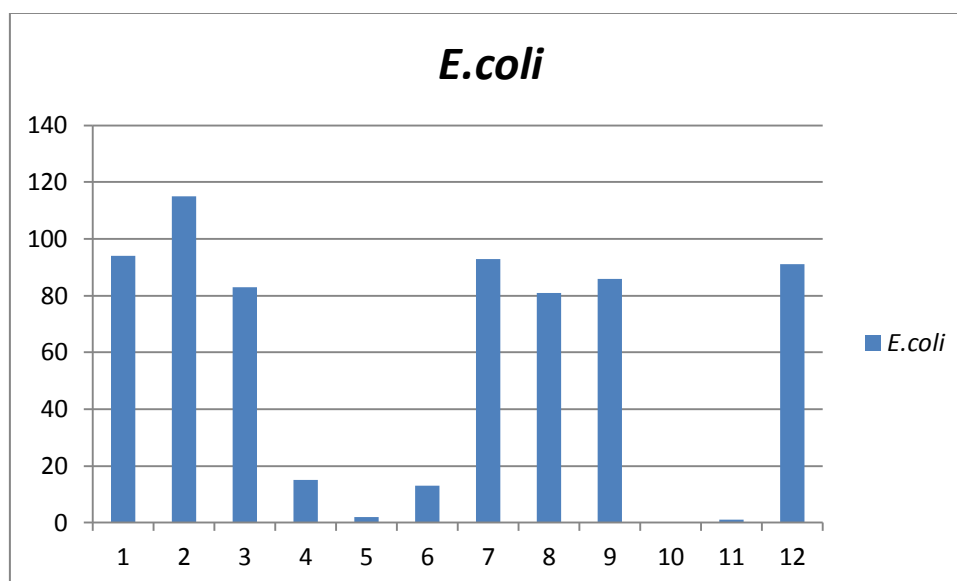
Γράφημα 12. Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων βιολογικών καθαρισμών

5.6 Ξενοδοχειακές Μονάδες

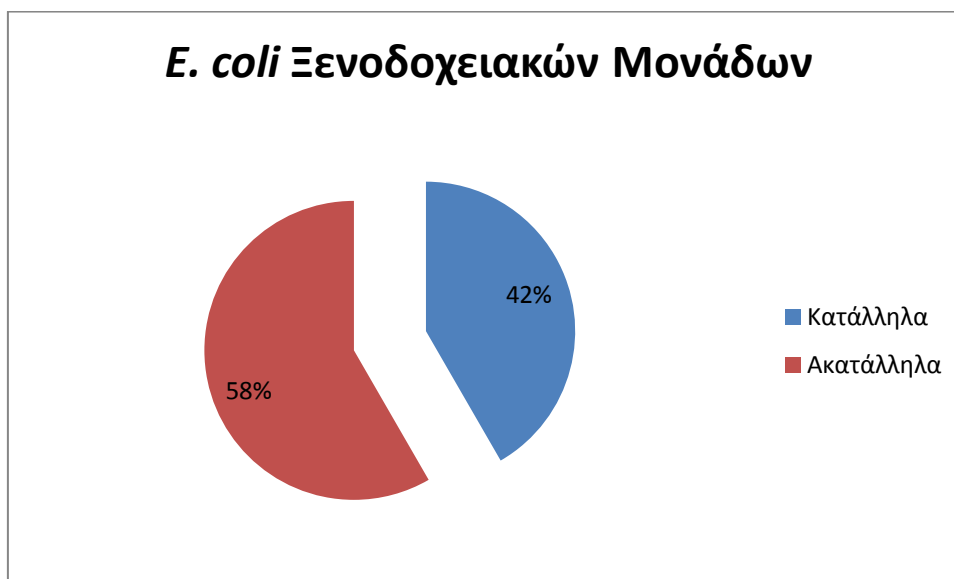
Τα δείγματα συλλέχθηκαν από ξενοδοχειακές μονάδες σε τουριστικές περιοχές της Ελλάδας όπου μετά την επεξεργασία των λυμάτων, το επεξεργασμένο νερό χρησιμοποιούνται κυρίως για άρδευση του γκαζόν και πότισμα των δέντρων εντός των ξενοδοχειακών μονάδων (απεριόριστη άρδευση).



Γράφημα 13. Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων ξενοδοχειακών μονάδων



Γράφημα 14. Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων *E.coli* ξενοδοχειακών μονάδων



Γράφημα 15. Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων Ξενοδοχειακών Μονάδων

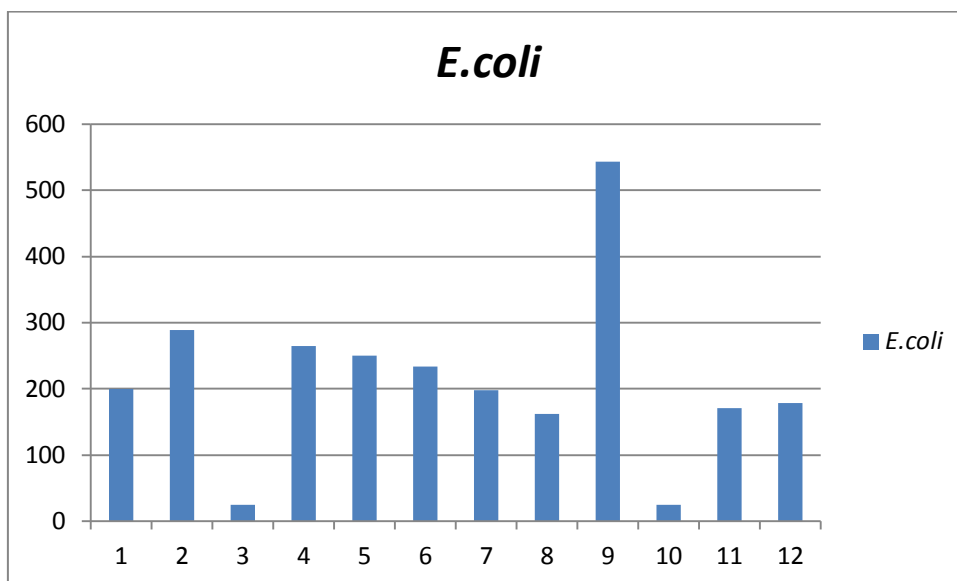
Από το γράφημα 15, στο 58% των ξενοδοχείων υπάρχει σημαντική απόκλιση από την νομοθεσία με υψηλή απόκλιση από τα προκαθορισμένα όρια, που αποδεικνύει ότι οι βιολογικοί καθαρισμοί αυτών των ξενοδοχειακών μονάδων δεν λειτουργούν καθόλου, πιθανόν λόγω κόστους, υπάρχει υπαρκτός κίνδυνος τόσο για τους εργαζόμενους όσο και τους ένοικους των δωματίων και σαφώς των παιδιών όπου συνήθως ο κύριος τόπος ψυχαγωγίας εντός των ξενοδοχειακών μονάδων είναι το γκαζόν. Το υπόλοιπο 42% είναι συμμορφωμένο με τα όρια, μόνο σε δυο ξενοδοχεία βρεθήκανε λίγο πάνω από το όριο, στο οποίο μετά από μικρό χρονικό διάστημα πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία και ανάλυση του δείγματος όπου διαπιστώθηκε η συμμόρφωση τους με την νομοθεσία.

5.7 Κτηνοτροφικές Μονάδες

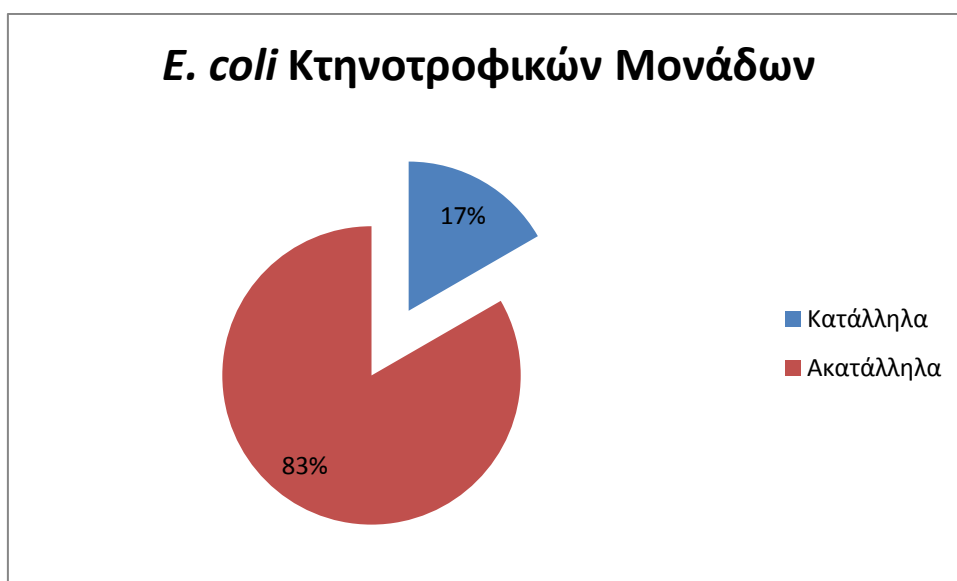
Τα δείγματα συλλέχθηκαν από διάφορους νομούς της Ελλάδος, κυρίως από τα γεωγραφικά διαμερίσματα Θεσσαλίας και Μακεδονίας. Τα δείγματα αποτελούνται κυρίως από χοιροτροφία, βουστάσια, προβατοστάσια. Τα επεξεργασμένα λύματα απορρίπτονταν σε κανάλια και ποτάμια κυρίως αγροτικής εκμετάλλευσης με κύριο σκοπό την άρδευση των καλλιεργειών (απεριόριστη άρδευση)



Γράφημα 16. Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων κτηνοτροφικών μονάδων



Γράφημα 17. Αποτελέσματα *E. coli* κτηνοτροφικών μονάδων



Γράφημα 18. Ποσοστό κατάλληλων – ακατάλληλων δειγμάτων Κτηνοτροφικών Μονάδων

Τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων από τις κτηνοτροφικές είναι απογοητευτικά. Τα αποτελέσματα μας υποδεικνύουν ότι στο 83% των κτηνοτροφικών μονάδων δεν λειτουργούσαν οι μονάδες επεξεργασίας των λυμάτων ή τα απόβλητα υπόκεινταν σε μια πρωτοβάθμια επεξεργασία. Το κόστος

της λειτουργίας του βιολογικού καθαρισμού είναι πιθανόν ο κύριος λόγος μη χρησιμοποίησης τους από τους υπεύθυνους, με αποτέλεσμα να διοχετεύονται μεγάλες ποσότητες ολικών κολοβακτηριοειδών και *E.coli* στα ποτάμια και στα παρακείμενα κανάλια με κίνδυνο μεταφοράς τους τόσο στις καλλιέργειες όσο και στο τραπέζι μας. Το υπόλοιπο 17% ήταν συμμορφωμένο ως προς την νομοθεσία με χαμηλά ποσοστά *E.coli*.

Ο πίνακας 1 δείχνει τα αποτελέσματα των ολικών κολοβακτηριοειδών από τις τέσσερις κατηγορίες που πάρθηκαν τα δείγματα.

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Ολικών Κολοβακτηριοειδών των 4 κατηγοριών δειγματοληψίας

Ολικά κολοβακτηριοειδή /100 ml	Βιομηχανίες Τροφίμων	Βιολογικοί καθαρισμοί	Ξενοδοχεία	Κτηνοτροφεία
1	0	27	0	25
2	216	32	8	25
3	1800	40	10	>160
4	2000	50	15	>160
5	3000	50	20	>160
6	3500	90	>80	>160
7	6000	140	>80	>160
8	7000	3200	>80	>160
9	10000	5000	>80	>160
10	10000	8000	>80	>160
11	12000	10300	>80	>160
12	12000	13500	>80	Αναρίθμητες
13	23000	14800		
14	25000	20800		
15	50000	23000		
16	700000	29000		
17	730000			
18	Μη Μετρήσιμο			
19	Μη Μετρήσιμο			
20	Μη Μετρήσιμο			

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ολικών κολοβακτηριοειδών

Τα αποτελέσματα των ολικών κολοβακτηριοειδών δείχνουν ότι σε καμία από τις τέσσερις κατηγορίες δεν γίνεται επαρκή επεξεργασία των λυμάτων. Η βιομηχανία τροφίμων (τυροκομεία, γαλακτοβιομηχανία) απορρίπτει στο περιβάλλον τεράστιες ποσότητες κολοβακτηριοειδών όπως και τα κτηνοτροφεία. Τα

ξενοδοχεία δεν χρησιμοποιούν τους βιολογικούς καθαρισμούς τους, θέτοντας σε μεγάλο κίνδυνο τόσο τους εργαζόμενους όσο και τους ενοικιαστές και κάπως καλύτερη είναι η κατάσταση στους βιολογικούς καθαρισμούς, με υπερβάσεις όχι όμως τόσο υψηλές όσο των άλλων κατηγοριών.

Ο πίνακας 2 παρουσιάζει τις συγκεντρωτικές τιμές του *E.coli* από τις τέσσερις κατηγορίες των δειγμάτων

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα *E.coli* των 4 κατηγοριών δειγματοληψίας

<i>E. coli</i> / 100 ml	Βιομηχανίες Τροφίμων	Βιολογικοί καθαρισμοί	Ξενοδοχεία	Κτηνοτροφεία
1	0	0	0	25
2	10	0	1	25
3	20	0	2	>160
4	30	1	13	>160
5	40	10	15	>160
6	50	50	>80	>160
7	63	90	>80	>160
8	100	1050	>80	>160
9	100	2273	>80	>160
10	100	3379	>80	>160
11	120	4545	>80	>160
12	180	5000	>80	Αναρίθμητες
13	200	7545		
14	450	8000		
15	400	8200		
16	900	12800		
17	1500			
18	2000			
19	3000			
20	7000			

Πίνακας 2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα *E.coli*



Γράφημα 19. Συνολικό ποσοστό ακατάλληλων δειγμάτων

Παρατηρώντας το γράφημα 19 προκύπτει ότι μεγάλες αποκλίσεις των ορίων υπάρχουν κυρίως στις κτηνοτροφικές μονάδες όπου το ποσοστό των ακατάλληλων δειγμάτων βρίσκεται στο 27%. Ακολουθούν οι βιολογικοί καθαρισμοί με 24%, 19% οι ξενοδοχειακές μονάδες, 16% τα τυροκομεία και με 14% οι γαλακτοβιομηχανίες.

Αυτές οι μεγάλες τιμές και στις τέσσερις κατηγορίες τόσο στα ολικά κολοβακτηριοειδή όσο και στο *E.coli* οφείλονται κυρίως στους ελλιπείς δειγματοληπτικούς ελέγχους των φορέων και στο υψηλό κόστος λειτουργίας των εγκαταστάσεων βιολογικής επεξεργασίας. Φυσικά δεν μπορούμε να παραλείψουμε την νομοθεσία που έγινε πιο αυστηρή θεσπίζοντας χαμηλότερα όρια.

5.8 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Γενικά η διαχείριση των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα, όπως και στα υπόλοιπα κράτη-μέλη της ΕΕ διέπεται από την οδηγία 91/271/EEC (EC, 1991). Με την αριθ. 5673/400/14.3.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση, η επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα εναρμονίζεται πλήρως μ' αυτή της ΕΕ. Σύμφωνα με αυτήν, έχουν τεθεί χρονικά όρια προσαρμογής και τήρησης των όρων επεξεργασίας.

Στην Ελλάδα το νομοθετικό πλαίσιο των υδατικών πόρων χαρακτηρίζεται από πολυνομία, αντιφατικότητα και έλλειψη εκσυγχρονισμού. Ο Ν. 1739/87 (Υπουργείο Ανάπτυξης, 1987), αποτελούσε το βασικότερο νομοθέτημα που έχει εκδοθεί στον τομέα διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ο Νόμος αυτός κατήργησε πολλές από τις διατάξεις των προαναφερθέντων νόμων και εκσυγχρονίζεται σε

κάποιο βαθμό η ισχύουσα νομοθεσία σε ότι αφορά στην ορθολογική διαχείριση του συστήματος "υδατικός πόρος-χρήση του". Αυτός διαμόρφωσε ένα νέο θεσμικό πλαίσιο και τους αναγκαίους μηχανισμούς για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας μας το οποίο όμως δεν έτυχε ουσιαστικής εφαρμογής. Πρόσφατα, ο τελευταίος Ν.3199/03, επιχειρεί εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας υδατικών πόρων με την οδηγία 60/2000/EC (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2003). Όμως, ούτε ο Νόμος αυτός αναφέρεται σε αντικείμενα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Έτσι, το νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων και την προστασία των οικοσυστημάτων, που εξαρτάται από αυτούς στην ΕΕ διέπεται από αυτή την οδηγία (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2003). Παρόλο που στην οδηγία αυτή δεν δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων πιστεύεται ότι η ευαισθητοποίηση των Ευρωπαίων πολιτών σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος θα συμβάλει θετικά στην προώθηση ανάπτυξη και θέσπιση κριτηρίων για χρήση περιθωριακών νερών. Όμως, οι νομοθετικές διαδικασίες στην ΕΕ είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες. Έτσι, λαμβανομένου υπόψη ότι οι ελλειμματικές περιοχές σε διαθέσιμους υδατικούς πόρους εντοπίζεται κυρίως στον Ευρωπαϊκό Νότο και όχι στο σύνολο των Χωρών μελών της ΕΕ, πιθανόν να υπάρξει σχετική ολιγωρία και καθυστέρηση νομοθετικής ρύθμισης.

Κύριοι λόγοι μη αποτελεσματικής επεξεργασίας των αποβλήτων και επαναχρησιμοποίηση τους είτε για περιορισμένη είτε για απεριόριστη άρδευση είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων και ο πιο σοβαρός είναι ο μηδαμινός δειγματοληπτικός έλεγχος των αρμόδιων φορέων.

Για την **βιομηχανία τροφίμων** (τυροκομεία, γαλακτοβιομηχανία) από τα γραφήματα 2,7 παρατηρούνται μεγάλες τιμές στα ολικά κολοβακτηριοειδή οι οποίες έχουν σημαντική απόκλιση από τη νομοθεσία. Στα γραφήματα 3,6 βλέπουμε τον αριθμό των επιβεβαιωμένων αποικιών *Escherichia coli*. Για τα τυροκομεία παρατηρούμε ότι έχουν ανιχνευθεί υψηλές συγκεντρώσεις *E.coli*, στο 60% των δειγμάτων με την μεγαλύτερη τιμή να είναι 7000 cfu/100 ml και την μικρότερη να είναι 20 cfu/100 ml. Σε 1 δείγμα δεν ανιχνεύθηκε καθόλου *Escherichia coli*, που αποδεικνύει ότι στο εν λόγω τυροκομείο λειτουργούσαν οι εγκαταστάσεις λυμάτων σε σύγκριση με τα άλλα, τα όποια είτε δεν χρησιμοποιούσαν καθόλου τις εγκαταστάσεις ή λειτουργούσαν στα πρώτα στάδια. Όσο αφορά τις βιομηχανίες γάλακτος ομοίως παρατηρούμε εξίσου υψηλές τιμές και στο *E.coli* στο 50% των δειγμάτων, αφού είχαμε περιορισμένη άρδευση, με υψηλό κίνδυνο μετάδοσης νόσου στο προσωπικό. Τα αποτελέσματα επίσης αποδεικνύουν ότι δεν τίθενται σε λειτουργία οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας είτε λόγω κόστους είτε τα απόβλητα υφίστανται μια υποτυπώδη πρωτοβάθμια επεξεργασία. Από τη σύγκριση των τιμών του γραφήματος 9 για το *E.coli*, τα αποτελέσματα δεν έχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους όπως στα ολικά κολοβακτηριοειδή, τα δείγματα που προέρχονται από τις γαλακτοβιομηχανίες σε ποσοστό 60% είναι πάνω από αυτές των τυροκομείων.

Το υπόλοιπο 40% των δειγμάτων τα τυροκομεία υπερτερούν έναντι των βιομηχανιών γάλακτος.

Στη κατηγορία των **βιολογικών καθαρισμών** από το γράφημα 10 παρατηρούμε υπερβάσεις των ορίων των ολικών κολοβακτηριοειδών στο μεγαλύτερο ποσοστό των βιολογικών καθαρισμών, πράγμα που δείχνει μη συμμόρφωση με τη νομοθεσία ενώ γράφημα 11 βλέπουμε τη μη συμμόρφωση ως προς την νομοθεσία στο 56% των βιολογικών καθαρισμών και μόλις το 44% των βιολογικών καθαρισμών είναι συμμορφωμένοι με τη νομοθεσία. Αυτή η μη συμμόρφωση μπορεί να οφείλεται στην ατελή λειτουργία των εγκαταστάσεων, στη μη επαρκή χλωρίωση των αποβλήτων, όπου φυσικά υπάρχει μεγάλος κίνδυνος μετάδοσης παθογόνων αφού τα επεξεργασμένα απόβλητα απορρίπτονταν σε παρακείμενα κανάλια από τα οποία οι αγρότες πότιζαν τις καλλιέργειες τους.

Οι ξενοδοχειακές μονάδες Από τα γραφήματα 13,14,15 βλέπουμε ότι στο 58% των ξενοδοχείων υπάρχει σημαντική απόκλιση από την νομοθεσία με υψηλή απόκλιση από τα προκαθορισμένα όρια, που αποδεικνύει ότι οι βιολογικοί καθαρισμοί αυτών των ξενοδοχειακών μονάδων δεν λειτουργούν καθόλου, πιθανόν λόγω κόστους, υπάρχει υπαρκτός κίνδυνος τόσο για τους εργαζόμενους όσο και τους ένοικους των δωματίων και σαφώς των παιδιών όπου συνήθως ο κύριος τύπος ψυχαγωγίας εντός των ξενοδοχειακών μονάδων είναι το γκαζόν. Το υπόλοιπο 42% είναι συμμορφωμένο με τα όρια, μόνο σε δυο ξενοδοχεία βρεθήκανε λίγο πάνω από το όριο, στο οποίο μετά από μικρό χρονικό διάστημα πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία και ανάλυση του δείγματος όπου διαπιστώθηκε η συμμόρφωση τους με την νομοθεσία.

Τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων από τις **κτηνοτροφικές μονάδες** είναι απογοητευτικά. Τα αποτελέσματα μας υποδεικνύουν ότι στο 83% των κτηνοτροφικών μονάδων δεν λειτουργούσαν οι μονάδες επεξεργασίας των λυμάτων ή τα απόβλητα υπόκεινται σε μια πρωτοβάθμια επεξεργασία. Το κόστος της λειτουργίας του βιολογικού καθαρισμού είναι πιθανόν ο κύριος λόγος μη χρησιμοποίησης τους από τους υπεύθυνους, με αποτέλεσμα να διοχετεύονται μεγάλες ποσότητες ολικών κολοβακτηριοειδών και *E.coli* στα ποτάμια και στα παρακείμενα κανάλια με κίνδυνο μεταφοράς τους τόσο στις καλλιέργειες όσο και στο τραπέζι μας. Το υπόλοιπο 17% ήταν συμμορφωμένο ως προς την νομοθεσία με χαμηλά ποσοστά *E.coli*.

Παρατηρώντας το γράφημα 19 προκύπτει ότι μεγάλες αποκλίσεις των ορίων υπάρχουν κυρίως στις κτηνοτροφικές μονάδες όπου το ποσοστό των ακατάλληλων δειγμάτων βρίσκεται στο 27%. Ακολουθούν οι βιολογικοί καθαρισμοί με 24%, 19% οι ξενοδοχειακές μονάδες, 16% τα τυροκομεία και με 14% οι γαλακτοβιομηχανίες.

Αυτές οι μεγάλες τιμές και στις τέσσερις κατηγορίες τόσο στα ολικά κολοβακτηριοειδή όσο και στο *E.coli* οφείλονται κυρίως στους ελλιπείς

δειγματοληπτικούς ελέγχους των φορέων και στο υψηλό κόστος λειτουργίας των εγκαταστάσεων βιολογικής επεξεργασίας. Φυσικά δεν μπορούμε να παραλείψουμε την νομοθεσία που έγινε πιο αυστηρή θεσπίζοντας χαμηλότερα όρια.

Στην Ελλάδα, όπως, και σε άλλες χώρες του κόσμου, έχει υιοθετηθεί η πρακτική της ανακύκλωσης εκροών υγρών αποβλήτων προοδευτικά χωρίς την απαρχή θεσμοθέτηση σχετικών κριτηρίων (Αγγελάκης και άλλοι, 2000). Όμως, σήμερα, όπως προαναφέρεται, πολλές χώρες έχουν θεσπίσει εθνικές οδηγίες ή κανονισμούς προσαρμοσμένες στις τοπικές κοινωνικοοικονομικές και φυσικές συνθήκες ή έχουν εναρμονισθεί με αυτές διεθνών οργανισμών (WHO, US EPA, FAO και άλλων). Στη χώρα μας οι βασικές χρήσεις που ενδιαφέρουν είναι η άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου (πρανών δρόμων, πάρκων κ.ά.) και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων για την προστασία τους κυρίως από την υπαλμύριση. Για κάθε κατηγορία όμως, θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ποσοτικοποιητικά κριτήρια καθώς, επίσης και κάθε ιδιαίτερη θεώρηση σε περιπτώσεις που μια παραδοσιακή υδατική πηγή, αντικαθίσταται με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Όπως είναι φυσικό, ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται σε χρήσεις που συνεπάγονται αυξημένη επαφή με τον άνθρωπο. Έτσι, τα αναγκαία κριτήρια ποιότητας θα πρέπει να διαφοροποιούνται όχι μόνο μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών επαναχρησιμοποίησης, αλλά ακόμη και στην ίδια κατηγορία ανάλογα στις επιμέρους χρήσεις (όπως είναι η άρδευση εδώδιμων και βιομηχανικών φυτικών ειδών).

Η Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 145116/2011 (Φ.Ε.Κ. 354/Β/8.3.2011) “Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις” επιφέρει σημαντικές τροποποιήσεις στη διαχείριση αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε να μπορούν να ανακτηθούν ως νερό με σκοπό την **επαναχρησιμοποίησή** τους. Διευκρινίσεις για την εφαρμογή της Κ.Υ.Α. παρέχονται στην υπ’ αριθμόν 145447/23.6.2011 εγκύκλιο του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.ΚΑ).

Θεσπίζονται τέσσερις βασικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων: (α) *άρδευση*, (β) *βιομηχανική χρήση*, (γ) *τροφοδότηση/ εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων* και (δ) *αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση*. Τίθενται **όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους** για τις διάφορες μεθόδους επαναχρησιμοποίησης, καθώς και ο αντίστοιχος βαθμός της **κατ’ ελάχιστον απαιτούμενης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων** (δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από απολύμανση) και η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών.

Επίσης, με τη νέα ΚΥΑ καταργείται η *μελέτη επεξεργασίας και διάθεσης των υγρών αποβλήτων* που προβλέπεται στην ΚΥΑ Ε1β/221/1965, κατά το μέρος που καλύπτεται από το πεδίο εφαρμογής της νέας ΚΥΑ. Πλέον, εισάγεται η **μελέτη**

σχεδιασμού και εφαρμογής του προτεινόμενου συστήματος επαναχρησιμοποίησης, που θα κατατίθεται προς έγκριση και έκδοση της **άδειας επαναχρησιμοποίησης στην Διεύθυνση Υδάτων της οικείας Αποκεντρωμένης Διοίκησης**. Η διάρκεια ισχύος της άδειας επαναχρησιμοποίησης δεν μπορεί να υπερβαίνει κατά μέγιστο τα 8 έτη από την ημερομηνία έκδοσής της.

Προσφάτως, ομάδα ειδικών στην ανακύκλωση του νερού πρότεινε διεθνής οδηγίες για την ανακύκλωση του νερού βασιζόμενες στις προκαταρκτικές οδηγίες της Αυστραλίας (Angelakis et al., 1999). Οι οδηγίες αυτές είναι βασισμένες στον αριθμό των κοπρανώδων κολοβακτηριδίων και στο επίπεδο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Στην Ελλάδα έχει πραγματοποιηθεί προκαταρκτική μελέτη για ανάπτυξη και εφαρμογή κριτηρίων ποιότητας (Tsagarakis et al., 2004). Τα κριτήρια αυτά βασίζονται σε όμοιες αρχές με αυτές άλλων χωρών και διεθνών οργανισμών (Gerba and Rose, 2002) και Anderson et al., 2001) τα οποία ενσωματώθηκαν στην ΚΥΑ 145116/2010.

Σε οποιαδήποτε εφαρμογή των προτεινόμενων κριτηρίων του, θα πρέπει να θεωρούνται τα παρακάτω σχόλια:

(α) Να εξετάζονται κατά ελάχιστο 4 δείγματα.

(β) Να πληρείται η κατανομή Student t.

(γ) Οι τιμές για τα κριτήρια αυτά θα πρέπει να πληρούνται τουλάχιστο στο 80% των δειγμάτων ανά μήνα, βάσει μέσων τιμών τους.

δ) Απαιτείται έλεγχος οσμών στις περιπτώσεις εφαρμογής στην επιφάνεια του εδάφους και σε περιοχές που γειτνιάζουν με αστικές περιοχές. ε) Δεν απαιτούνται κριτήρια για άρδευση στην περίπτωση της υποεπιφανειακής εφαρμογής. (ζ) Για την άρδευση αγροτικών εκτάσεων θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση χλωρίου για απολύμανση των εκροών. Επιπλέον θα πρέπει να θεωρηθεί: (i) ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων, (ii) αποθήκευση της εκροής με στόχο την επιπλέον επεξεργασία και την αύξηση της διαθεσιμότητας και (iii) παρακολούθηση της ποιότητας με προγραμματισμένες δειγματοληψίες σε συγκεκριμένες θέσεις, συχνότητα και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

(στ) Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία ανακυκλωμένα υγρά απόβλητα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο για άρδευση φυτών που δεν καταναλώνονται από τον άνθρωπο.

Στα συστήματα που χρησιμοποιούν επιφανειακό νερό, αντί των υπόγειων υδάτων, απαιτείται να λάβει επιπλέον μέτρα για την προστασία ενάντια σε βακτηριακή μόλυνση, επειδή πηγές επιφανειακών υδάτων είναι περισσότερο ευάλωτες σε τέτοιου είδους μόλυνση. Τουλάχιστον, όλα τα συστήματα που χρησιμοποιούν τα επιφανειακά ύδατα πρέπει να απολυμαίνονται.

Προς το παρόν η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση (χωρίς περιορισμούς) τα οποία έχουν υποστεί μη αποτελεσματική επεξεργασία (υψηλό ρυπαντικό φορτίο) δύναται να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στους φυσικούς αποδέκτες και σοβαρούς κινδύνους για τη Δημόσια Υγεία και το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α Μέρος

Ackers, M. L., B. E. Mahon, E. Leahy, B. Goode, T. Damrow, P. S. Hayes, W. F. Bibb, D. H. Rice, T. J. Barrett, L. Hutwagner, P. M. Griffin, and L. Slutsker (1998) An outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with leaf lettuce consumption. *J. Infect. Dis.* 177:1588–1593.

Adal K.A., Sterling C.R., Guerrant R.L (1995) Cryptosporidium and related species pp. 1107-1128, In: Infections of the Gastrointestinal Tract, Blaser M.J., Smith P.D., Ravdin J.I., Greenberg H.B., Guerrant R.L., Ed., Raven Press, New York

Aertgeerts R., Angelakis A.N (2003) State of the Art Report: Health Risks in Aquifer Recharge Using Reclaimed Water, WHO, Water Sanitation and Health Protection and the Human Environment, WHO, Geneva and WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, pp. x, 212

Altekruse S.F., Cohen M.L., Swerdlow D.L (1997) Emerging foodborne diseases, *Emerging Infect Dis.*, 3:285-293

Andrin C., Schwartzbrod J (1992) Isolating Campylobacter from wastewater, IWPCR Int. Symp., May 26-29, Washington, DC

Angelakis A.N., Spyridakis S.V. (1996) The status of water resources in Minocn times-A PRELIMINARY Study In :Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region, Angelakis A., Issar A., Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 161-191

Anonymous (1992) Manual, guidelines for water reuse. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA/624/R-92/004. Available at: <http://www.epa.gov/cgi-bin/claritgw?op=Display&document5clserv:ORD:2025;&rank54&template5epa>

Arvanitidou M, Papa A., Constantinidis T. C., Danielides V., and Katsouyannopolos V (1997) The occurrence of *Listeria* spp. and *Salmonella* spp. in surface waters. *Microbiol Res.* 152, 395–397

Asano T., Leong L.Y.C., and Rigby M.G.(1992), Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data. *Water Science and Technology* 26:1513-1524

Asano T., Burton F.L., Leverenz H.L., Tsushihashi R., Tchobanoglous G (2007) *Water Reuse: Issues, Technologies and Applications*. Metcalf & Eddy, McGraw Hill, New York

Asano T., Levine A.D (1996) Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present, and future *Wat. Sci. Tech.*, 33(10-11): 1-16

Asano T., Mujeriego R. (1988) Evaluation of industrial cooling systems using reclaimed wastewater. *Water Sci. Tech.*, 20(10): 163- 174

Asano T. (1985) *Artificial Recharge of Groundwater*, Butterworth Publishers Boston, MA

Ashbolt N.J., Grabow W.O.K., Snozzi M (2001) Indicators of microbial water quality pp. 289-316 In: *Water Quality: Guidelines, Standards and Health, Risk Assessment and Management for Water Related Infectious Diseases*, Fewtrell L., Bartram J., Ed., IWA Publishing, London

Bastos, R. K. X., and D. D. Mara (1995) The bacterial quality of salad crops drip and furrow irrigated with waste stabilization pond effluent: an evaluation of the WHO guidelines. *Water Sci. Technol.* 31:425–430.

Berge J.J., Drennan D.P., Jacobs R.J., Jakins A., Meyerhoff A.S., Stubblefield W., Weinberg M (2000) The cost of Hepatitis A infections in American adolescents and adults in 1997, *Hepatology* 31: 469-473

Beuchat, L. R. (1999) Survival of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in bovine feces applied to lettuce and the effectiveness of chlorinated water as a disinfectant. *J. Food Prot.* 62:845–849.

Bitton G (1999) *Wastewater Microbiology*, Wiley and Sons, U.S.A. New York

Bitton G (1987) Fate of bacteriophages in water and wastewater treatment plants pp. 181-185 In: *Phage Ecology*, Goyal S.M., Gerba C.P., Bitton G, Ed., Wiley-Interscience, New York

Bitton G (1980a) *Introduction to Environmental virology*, John Wiley and Sons, New York pp. 326

Blumenthal U.J., Mara D.D., Peasey A., Ruiz-Palacios G., Stott R.(2000) Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the WHO*, 78 (9): 1104-1116

Boon G.A (1995) *Water Science and Technology*, volume 31, issue 7: 237-253

Bosch A., Tartera C., Gajardo R., Diez J.M., Jofre J. (1989). Comparative resistance of bacteriophages active against *Bacteroides fragilis* to inactivation by chlorination or ultraviolet radiation *Water Sci Technol* 21:221-226

Brackett R.E (1999) Incidence, contributing factors, and control of bacterial pathogens in produce, *Postharvest Biology and Technology* 15: 305-311

Chang A.C., Page A.L., Asano T. (1995) *Developing Human Health - related Chemical Guidelines for Reclaimed Wastewater and Sewage Sludge Applications in Agriculture*. WHO, Geneva, Switzerland

- Chigor V. N., Umoh V. J., and Smith S. I. (2010) Occurrence of *Escherichia coli* O157 in a river used for fresh produce irrigation in Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* 9, 178–182
- Cifuentes, E., U. Blumenthal, G. Ruiz-Palacios, S. Bennett, and M. Quigley (2000) Health risks in agricultural villages practicing wastewater irrigation in central Mexico: perspectives for protection. *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg.* 105:249–256
- Cieslak P.R, Barrett T.J, Griffin P.M (1993) *Escherichia coli* O157:H7 infection from a manured garden, 342-367, *Lancet*
- Cifuentes E. (1998) The epidemiology of enteric infections in agricultural communities exposed to wastewater irrigation: perspectives for risk control. *Int. J. Environ. Health Res.* 8:203–213
- Close M., Dann R., Ball, A., Pirie R., Savill M., and Smith Z. (2008) Microbial groundwater quality and its health implications for a border-strip irrigated dairy farm catchment South Island, New Zealand. *J. Water Health* 6, 83–98
- Craun G.F (1994b) Waterborne outbreaks of giardiasis: Current status, pp. 243-261 In: *Giardia and Giardiasis*, Erlandsen S.L., Meyers E.A., Ed., Plenum, New York
- Craun G.F (1979) waterborne giardiasis in the United States, *Am. J. Public Health* 69: 817-820
- Crook, J. (1998). Water reclamation and reuse criteria. p. 627-703. In: *Wastewater Reclamation and Reuse*. T. Asano, (Ed). Technomic Publishers, Lancaster, USA
- Cross P. M. (1997) Review of irrigation district water quality CAESA, Edmonton, AB, Canada. Report prepared for Canada-Alberta Environmentally Sustainable Agriculture (CAESA) Program by Madawaska Consulting, April 1997
- Cummings, K., E. Barrett, J. C. Mohle-Boetani, J. T. Brooks, J. Farrar, T. Hunt, A. Fiore, K. Komatsu, S. B. Werner, and L. Slutsker. 2001. A multistate outbreak of *Salmonella enterica* serotype baidon associated with domestic raw tomatoes. *Emerg Infect. Dis.* 7: 1046–1048
- Current W.L (1988) the biology of *Cryptosporidium*, *ASM News* 54: 605-611
- Current W.L (1987) *Cryptosporidium*: Its biology and potential for environmental transmission, *Crit. Rev Environ. Control* 17: 21
- Daczowska-Kozon, E., and J. Brzostek-Nowakowska (2001) *Campylobacter* spp. in waters of three main western Pomerania water bodies, *Int. J. Hyg. Environ. Health* 203:435–443.
- Dean R.B., Lund E (1981) *Water Reuse: Problems and Solutions*, Academic Press, London, U.K.

Dentinger C, Bower W.A, Nainan O.V, Cotter S, Myers G, Dubusky L.M, Fowler S, Salehi E.D.P, Bell P (2001) An outbreak of *Hepatitis A* associated with green onions, *J. Infect. Dis* 183: 1273-6

Duffy E. A., Lucia L. M., Kells J. M., Castillo A., Pillai S. D., and Acuff G. R. (2005)
Concentration of *Escherichia coli* and genetic diversity and antibiotic resistance profiling of *Salmonella* isolated from irrigation water, packing shed equipment, and fresh produce in Texas *J. Food Prot.* 68, 70–79.

DuPont H.L., Chappell C.L., Sterling C.R., Okhuysen PC., Rose J.B., Jakubowski W (1995) The Infectivity of *Cryptosporidium parvum* in healthy volunteers, *N. Engl. J. Med.* 332: 855-859

Environmental Protection Agency (1999) combined sewer overflow technology fact sheet: alternative disinfection methods, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. EPA 832-F-99-033. Available at: <http://www.epa.gov/owmitnet/mtb/altdis.pdf>.

Environmental Protection Agency (1992) Manual guidelines for water reuse U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA/624/ R-92/004
Available at: [http://www.epa.gov/cgi-bin/claritgw? Op Display&document5clserv: ORD: 2025;&rank54&template5epa](http://www.epa.gov/cgi-bin/claritgw?OpDisplay&document5clserv:ORD:2025;&rank54&template5epa)

E.U.-ENV.E.3/LM. (2000) Working document on sludge 3rd Draft (EU) Brussels, 27 April

Falkenhorst G, Krusell L, Lisby M, Madsen SB, Böttiger BE, Mølbak K (2005) Imported frozen raspberries cause a series of norovirus outbreaks in Denmark, *Eurosurveillance*, Volume 10, Issue 38, 22 September 2005

Fan X, Niemira B.A., Doona C.J., Feehery F, Gravani R.B (2009) In: *Microbial Safety of Fresh Produce*, Wiley-Blackwell IFT Press
FDA (2001) Secondary direct food additives permitted in food for human consumption, *Federal Register* 66: 33929-33930

FDA/CFSAN (2001) Production practices as risk factors in microbial food safety of fresh and fresh-cut produce, http://www.ucgaps.ucdavis.edu/documents/Preharvest_Factors_and_Risk2041.pdf

Feachem, R. G., D. J. Bradley, H. Garelick, and D. D. Mara (1983)
Sanitation and disease; health aspects of excreta and wastewater management: World Bank studies in water supply and sanitation 3, the World Bank, Washington, D.C.

Fewtrell L and Bartram J., (Ed) (2001) *Water Quality: Guidelines, Standards and Health- Assessment of Risk and Risk Management for Water-Related Infectious Disease*. London, IWA Publishing on behalf of World Health Organization

- Fujioca R., Sian-Denton C., Borja M, Castro J, Morpew K (1999) Soil: The environment source of *Escherichia coli* and enterococci in Guam's streams, *Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement* 85: 83S-89S
- Gannon V. P., Graham T. A., Read S., Ziebell K., Muckie A., Mori J., Thomas J., Selinger B., Townshend I., and Bryne J. (2004) Bacterial pathogens in rural water supplies in southern Alberta, Canada, *J. Toxicol. Environ. Health A* 67, 1643–1653
- Garcia-Villanova R.B., Cueto E.A., Bolanos M.J (1987) a comparative study of strains of *Salmonella* isolated from irrigation waters, vegetables and human infections, *Journal of Epidemiology of Infection* 98: 271-276
- Gaulin, C. D., D. Ramsay, P. Cardinal, and M. A. D'Halevyn (1999) Epidemic of gastroenteritis of viral origin associated with eating imported raspberries. *Can. J. Public Health* 90:37–40
- Gilgen M, Germann D, Luthy J, Hubner P.H (1997) three step isolation method for sensitive detection of *enterovirus*, *rotavirus*, *Hepatitis A* virus and small structured viruses in water samples. *Intl J Food Microbiol* 37: 189-99
- Goin L., Hannoun C., Gomella C (1964) Inactivation par l'ozone du virus de la polyomyelite present dan le eaux. *La Presse Medical*, 37:72-75
- Goyal S.M., Gerba C.P., Bitton G (1987) *Phage Ecology*, Wiley-Interscience, New York pp. 321
- Gostelow P., Parsons S.A (2000) *Water Science and Technology*, volume 41, issue 6: 33-40
- Grabow W.O.K (1986) Indicator systems for assessment of the virological safety of treated drinking water, *Water Sci. Technol.* 18: 159-165
- Grabow W. O. K., Neubrech T. E., Haltzhousen C. S., Jofre J. (1994b) *Bacteroides fragilis* and *Escherichia coli* bacteriophages: excretion by humans and animals, *water Science and Technology* 31:223-230
- Gray N.F. (1990) *Activated Sludge-Theory and Practise*, Oxford University Press, U.S.A. New York
- Guerrant R.L., Thielman N.M (1995) Types of *Escherichia coli* enteropathogens pp. 687-690 In: *Infections of the Gastrointestinal Tract*, Blaser M.J., Smith P.D., Ravdin J.I., Greenberg H.B., Guerrant R.L., Eds., Raven Press, New York
- Harvey R.W (1997b) Microorganisms as tracers in groundwater injection and recovery experiments: A Review, *FEMS Microbiology* 20: 461-472
- Havelaar A.H., Hogeboom W.M., Furuse K, Rot R., Hormann M.P. (1990a). F. specific RIVA bacteriophages and sensitive host strains in faeces and wastewater of human and animal origin *J. Appl. Bacteriol* 69:30-37

- Hass C.N., Rose J.B., and Gerba C.P. (1999). Quantitative Microbial Risk Assessment, John Wiley and Sons in New York
- Hilborn E.D, Mermin J.H, Mshar P.A (1999) A multistate outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with consumption of mesclun lettuce. Arch Int Med 159: 1758-64
- Honn K.V., Chavin W (1976) : Utility of ozone treatment in the maintenance of water quality in a closed marine system. Marine Biology, 34:201-209
- Hotez P.J., Zheng F., Xu L.G., Chen M-G., Xiao S-H, Liu S-X., Blair D., McManus D.P., Davis G.M (1997) Emerging and reemerging helminthiases and the public health of China, Emerg. Infect Dis. 3:303-317
- Howard I., Espigares E., Lardelli P., Martin J. L, and Espigares M (2004) Evaluation of microbiological and physicochemical indicators for wastewater treatment, Environ., Toxicol. 19(3), 241–249
- Huk A., Lipp E., Colwell R (2002) Cholera, pp. 2865-2871, In: Encyclopedia of Environmental Microbiology, Bitton G, editor-in-chief, Wiley-Interscience, New York
- ISO 9308-1 (1990) Water Quality Detection and Enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliforms and presumptive *Escherichia coli*- Part 1: Membrane filtration method, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO 9308-2 (1990) Water Quality Detection and Enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliforms and presumptive *Escherichia coli*-Part 2: Multiple tube method, Most Probable Number, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- Jakubowski W., Hoff J.C (1979) waterborne transmission of giardiasis, Proceeding of a Symposium, EPA Report No EPA-600/9-79-001, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH
- Jehl-Pietri C (1992) Detection de virus enteriques dans le milieu hydrique: Cas du virus de l' hepatitis dans l' environnement marin et les coquillages, Doctoral dissertation, University de Nancy, Nancy, France
- Jenkins D., Richard M., Daigger G.(1993) Manual on the causes and control of activated sludge, Bulking and Foaming 2^{ed} Edition, Lewis Publishers, U.S.A.
- Jimenez B., Chavez A (2000) Chlorine Disinfection of Advanced Primary Effluent for Reuse in Irrigation in Mexico, AWWA Water Reuse Conf. Proc., Jan 30-Feb 2, San Antonio, TX
- Johnson J. Y., Thomas J. E., Graham T. A., Townshend I., Byrne J., Selinger L. B., and Gannon V. P. (2003). Prevalence of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in surface waters of southern Alberta and its relation to manure sources, Can. J. Microbiol. 49, 326–335

Kalavrouziotis I.K., Apostolopoulos, (2006) An integrated environmental plan for the reuse of treated wastewater from W.W.T.P. in urban areas, International Journal of Building and Environment, Elsevier, vol. 42, issue 4, pp. 1862-1868

Kay D., Crowther J., Stapleton C. M., Wyer M. D., Fewtrell L., Edwards A., Francis C. A, McDonald A. T, Watkins J., and Wilkinson J (2008). Faecal indicator organism concentrations in sewage and treated effluents Water Res. 42, 442–554

Kott Y., Betzer N (1972) the Fate of *Vibrio cholerae* (E1 Tor) in oxidation pond effluents, J. Med. Sci. 8:1912, Israel

Kurdziel, A. S., N. Wilkinson, S. Langton, and N. Cook (2001) Survival of poliovirus on soft fruit and salad vegetables. J. Food Prot. 64:706–709

Kudva I.T, Hatfield P.G, Hovde C.J (1996) *Escherichia coli* O157:H7 in microbial flora of sheep, J. Clinic. Microbiol 34: 431-3

Kwa B.H., Moyad M, Pentella M.A., Rose J.B (1993) A nude mouse model as an in vivo infectivity assay for cryptosporidiosis, Water Sci. Technol. 27:65-68

Leclerc H., Schwartzbrod L., Dei-Cas E. (2002) Microbial Agents Associated with Waterborne Disease, Crit. Rev. Microbiol. 28: 371-409

Leclerc H., Edberg S., Pierzo V., Delattre J.M., (2000) Bacteriophages as indicators of enteric viruses and public health risk in groundwater's J. Appl. Microbiol 88:5-21

Levine M.M (1987) *Escherichia coli* that causes diarrhea: Enterotoxigenic, enteropathogenic, enteroinvasive, enterohemorrhagic and enteroadherent, J. Infect Dis. 155:377-389

Lin S.D (1985) *Giardia lamblia* and water supply, J. Am. Water Works Assoc. 77: 40-47

Little M.D (1986) the Detection and Significance of Pathogens in Sludge: Parasites In: Control of Sludge Pathogens, Sorber C.A, Water Pollution Control Federation, Washington, DC

Mahbub I, Michael P.D., Sharad C.P., Patricia M, Xiuping J (2004) Persistence of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on leaf lettuce and parsley grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water, Journal of Food Protection 67:1365-1370

Mamma's D., Kouzeli - Katsiri A., Christoulas D.G., Andreadakis A., Aftias E. (1999) Evaluation of Agricultural Utilisation of the sludge produced at Psyttalia WWTP, Proc. Of Disposal and Utilisation of Sewage sludge: Treatment methods and Application Modalities, Athens

Mandi L., Darley J., Barbe J., Baleux B (1992) Essous d' epuration des eaux de

Marrakesh par la jacinthe d' eau (charge organique, bacterienne et parasitologique), Rev. Sci. Eau 5:313-333

Mara D, Cairncross S (1989) Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and Aquaculture, World Health Organization, Geneva

Marr B. (2001), Principles for preparing water objectives in British Columbia Publication of Ministry of Environment, Lands and Parks, Government of British Columbia, Canada

Matsuki T., Watanabe K., Fujimoto J., Miyamoto Y., Takada T., Matsumoto K., Oyaizu H., Tanaka R (2002) Development of 16s r-RNA-gene-targeted-group-specific-primers for the detection and identification of predominant bacteria in human feces, Appl. Environ. Microbiology 68: 5445-5451

Maule, A. (2000) Survival of verocytotoxigenic *Escherichia coli* O157:H7 in soil, water, and on surfaces. Symp Ser. Soc. Appl. Microbiol. 29:71S-78S

McKay L.D., Cherry J.A., Bales R.C., Yahya M.T., Gerba C.P (1993) A field example of bacteriophages as tracers of fracture flow, Env. Sci. Technol. 27: 1075-1079

Mentzing L.O (1981) waterborne outbreaks of *Campylobacter* enteritis in Central Sweden, Lancet ii: 352-354

Metcalf & Eddy (2004) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, International Edition, McGraw Hill Inc., New York

Metcalf & Eddy (1991) Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, International Edition, McGraw Hill Inc., Singapore

Messner M.J., Chappell C.L., and Okhuysen P C.(2001). Risk assessment for *Cryptosporidium*: a hierarchical Bayesian analysis of human response data. Water Research 35:3943-3940

Michino, H., K. Araki, S. Minami, S. Takaya, N. Sakai, M. Miyazaki, A. Ono, and H. Yanagawa (1999) Massive outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infection in school children, Sakai City, Japan, associated with consumption of white radish sprouts. Am. J. Epidemiol. 150:787-796

Morinigo M.A., Wheeler D, Berry C, Jones C, Munoz M.A., Cornax R, Borego J.J (1992b) Evaluation of different bacteriophage groups as fecal indicators in contaminated natural waters in Southern England, Water Res. 26: 267-271

Moulton-Hancock C., Rose J. B., Vasconcelos G. J., Harris S. I., Klonicki P. T., and Sturbaum G. D. (2000) *Giardia* and *Cryptosporidium* occurrence in groundwater. J. Am. Water Works Assoc. 92, 117-123

Myint K.S.A., Campbell J.R., Corwin A.L (2002) Hepatitis viruses (HAV-HEV), pp. 1530-1540 In: Encyclopedia of Environmental Microbiology, Bitton G., editor-in-chief, Wiley-Interscience, New York

Nasser A.M, Tchorgh Y, Fattal B. (1993) Comparative survival of E. coli, F⁺ bacteriophages HAV and poliovirus 1 in wastewater and groundwater's. Water Sci. Technol 27:401-407

Nguyen-the C, Carlin F (2000) Fresh and processed vegetables, in: B.M. Lund, T.C. Baird-Parker, G.W. Gould (Eds.), The Microbiological Safety and Quality of Food, vol. I, Aspen Publ., Gaithersburg, MD, USA, pp. 620–684

NRMMC-EPHC (2006) Australian Guidelines for Water Recycles: Managing Health and Environmental Risks. Natural Resource Management Ministerial Council and the Environment Protection and Heritage Council

O'Mahony M, Cowden J, Smyth B, Lynch D, Hall M, Rowe B, Teare E.L., Tettmar R.E., Rampling A.M., Coles M, Gilbert R.J., Kingcott E, Bartlett C.L.R (1989) An outbreak of *Salmonella saint-paul* infection associated with beansprouts, Epidemiol. Infect. 104: 229-235, Great Britain

Oron, G (2002) Effluent reuse in agricultural production, In Modern and traditional irrigation technologies in the eastern Mediterranean, chap. 9 International Development Research Centre Available at: <http://www.crdi.ca/books/focus/953/10-chap09.html>

Palmer S.R., Gully P.R., White J.M., Pearson A.D., Suckling W.G., Jones D.M., Rawes J.C.L., Penner J.L (1983) Waterborne outbreak of *Campylobacter* gastroenteritis, Lancet i: 287-290

Patterson J.E, Woodburn M.J (1980) *Klebsiella* and other bacteria on alfalfa and bean sprouts at the retail level. J Food Sci 45: 492-5.

Paul J.H., Rose J.B., Brown J., Shinn E.A., Miller S., Farrah S.R (1995) Viral tracers studies indicate contamination of marine waters by sewage disposal practices in Key Largo, FL, Appl. Environ. Microbiology 61: 2230-2234

Payment P, Waite M, Dufour A. (2003) Assessing microbial safety of drinking water: Improving approaches and methods, Introducing parameters for the assessment of drinking water quality, WHO, chapter 2, pp. 49-53

Payment P. (1991) Fate of human enteric viruses, coliphages and *Clostridium perfringens* during drinking water treatment, Can. J. Microbiology 37: 154-157

Pescod M. B (1992) Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47. United Nations, Food and Agriculture Organization, Rome. Available at: <http://www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm>

Pescod M.B. (1990) Human Waste Use in Agriculture and Aquaculture - Utilization Practices and Health Perspectives. IRCWD Report No. 9, Duebendorf, Switzerland

Rangarajan A., M. P. Pritts, S. Reiners, L. H. Pederson (2002)

- Focusing food safety training based on current grower practices and farm scale. HortTech 12:126–131
- Rose J.B (1990) Occurrence and Control of Cryptosporidium in drinking water, pp. 294-321, In: Drinking Water Microbiology, McFeters G.A., Ed., Springer Verlag, New York
- Rose J.B (1988) Occurrence and Significance of Cryptosporidium in water, J. Am. Water Works Assoc. 80: 53-58
- Rose J.B (1986) Microbial Aspects of Wastewater Reuse for Irrigation, CRC Crit. Rev. Environ. Control 16: 231-256
- Rubin A.J., Engel J.P., Sproul O.J (1983) Disinfection of amoebic cysts in water with free chlorine, J. Water Pollution Control Fed. 55: 1174-1182
- Sadovskii A, Fattal Y.B., Goldberg D (1978) Microbial contamination of vegetables irrigated with sewage effluent by the drip method, Journal of Food Protection 41:336-340
- Sapers G, Solomon E, Matthews K.R (2009) the Produce Contamination Problem: Causes and Solutions, Food Science and Technology, Academic Press
- Scharff R (2009) Health-related costs from foodborne illness in the United States, <http://www.producesafetyproject.org/media?id=0009>
- Schets F. M., Durling M., Italiaander R., Heijnen L., Rutjes S. A., van der Zwaluw W. K. and de Roda Husman A. M. (2005) *Escherichia coli* O157:H7 in drinking water from private water supplies in the Netherlands, Water Res. 39, 4485–4493
- Schiemann D.A (1990) *Yersinia enterocolitica* in drinking water, pp. 322-339, In: Drinking Water Microbiology, McFeters G.A., Ed, Springer Verlag, New York
- Schwartzbrod J., Maux M, Chesnot T (2002) Parasitic Protozoa: Fate in wastewater treatment plants, pp. 2327-2337 In: Encyclopedia of Environmental Microbiology, Bitton G., editor-in-chief, Wiley-Interscience, New York
- Shelton D. R., Karns J. S., Coppock C., Patel J., Sharma M., and Pachepsky Y. A. (2011). Relationship between eae and stx virulence genes and *E. coli* in an agricultural watershed: Implications for irrigation water standards and leafy green commodities. J. Food Protect. 74, (in press)
- Soderstrom A, Lindberg A, Andersson Y (2005) *EHEC* O157 outbreak in Sweden from locally produced lettuce, Eurosurveillance, Volume 10, Issue 38, 22 September 2005
- Solomon, E. B. (2002) Transmission of *Escherichia coli* O157:H7 from contaminated manure and irrigation water to lettuce plant tissue and its subsequent internalization. Appl. Environ. Microbiol.68:397–400

- Solomon, E. B, C. J. Potenski, and K. R. Matthews (2002) Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. *J. Food Prot.* 65:673–676
- Standard Method (1980) Standard Methods for the Examinations of water and wastewater, 15th ed, American Public Health Association, Washington, D. C.
- Standard Method (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed, American Public Health Association, Washington, D. C.
- Stathopoulos G.A., Vayonas-Arvanitidou T (1990) Detection of *Campylobacter* and *Yersinia* species in waters and their relationship to indicator microorganisms, In: International Symposium on Health-Related Water Microbiology, April 1-6, Tubingen, Germany
- Steele M, Mahdi A, Odumeru J (2005) Microbial assessment of irrigation water used for production of fruit and vegetables in Ontario, *Journal of Food Protection* 68:1388-1392, Canada
- Stelzer W (1990) Detection and spread of *Campylobacter* in water (Abst.), In: International Symposium on Health-Related Water Microbiology, April 1-6, Tubingen, Germany
- Sterling C.R, Ortega Y.R (1999) *Cyclospora*: an enigma worth unraveling, *Emerg. Infect. Dis.* 5 pp. 48–53
- Stoeckel D. M. (2009) Fecal contamination of irrigation water: Keep it off the dinner table In : Proceedings of the 54th New Jersey Annual Vegetable Meeting, pp. 100 102.
- Shuval H.L., Adin A., Fatal, B., Rawitz E., Tekutiel P. (1986) Wastewater Irrigation in Developing Countries - Health Effects and Technical Solutions. World Bank Technical Paper 51, the World Bank, Washington DC
- Shuval H, Lampert Y, and Fattal B (1997) Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. *Water Science and Technology* 35:15-20
- Sugam R., Singletory J.H., Saridvi K.A., Guerra C.R.(1981) Condenser befouling control with ozone. In ozone: Science and Engineering 3: Pergamon Press, U.S.A. pp. 95-107
- Suslow T., V (2010) Standards for irrigation and foliar contact water. (Produce safety Project issue brief). Available at:
<http://www.producesafetyproject.org/admin/assets/files/Water-Suslow-1.pdf>
- Suslow, T. V (2001) Water disinfection: a practical approach to calculating dose values for preharvest and postharvest applications. University of California,

Davis, Agriculture and Natural Resources, Publication 7256 Available at:
<http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/7256.pdf>

Suslow T. (1997) Postharvest chlorination, basic properties and key points for effective disinfection, University of California, Davis, Division of Agriculture and Natural Resources. Available at: <http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8003.pdf>.

Takayanagui, O. M., L. H. Febrionio, A. M. Bergamini, M. H. Okino, A. A. Silva, R. Santiago, D. M. Capuano, M. A. Oliveira, A. M. Takayanagui (2000) Monitoring of lettuce crops of Ribeirao Preto, SP, Brazil. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 33:169–174

Tartera C., Lucena F., Jofre J. (1989) Human Origin of *Bacteroides fragilis* bacteriophages present in the environment. *Appl Environ Microbiol* 55:269-2701

Taormina, P. J., L. R. Beuchat, and L. Slutsker (1999) Infections associated with eating seed sprouts: an international concern. *Emerg Infect. Dis.* 5:626–634.

Taylor D.N, McDermott K.T, Little J.R, Wells J.G., Blaser M.J (1983) *Campylobacter enteritis* from untreated water in the Rocky Mountains, *Ann. Intern. Med.* 99:38-40

Teltch B, Katzenelson E (1987) airborne enteric bacteria and viruses from spray irrigation with wastewater, *Applied Environmental Microbiology* 39: 1191-1197

Teunis P., Takumi K., Shinagawa K (2004). *Escherichia coli* O157:H7 from outbreak data. *Risk Analysis* 24:401-407

Thurston-Enriquez, J. A., Watt, P., Dowd, S. E., Enriquez, R., Pepper, I. L., and Gerba, C. P. (2002) Detection of protozoan parasites and microsporidia in irrigation Waters used for crop production. *J. Food Prot.* 65, 378–382

Torres A.G (2002) *Shigella*, pp. 2865-2871, In: *Encyclopedia of Environmental Microbiology*, Bitton G., editor-in-chief, Wiley-Interscience, New York

U.S. Environmental Protection Agency (1977) Process design Manual for wastewater treatment facilities for severed small communities, Technology Transfer, EPA 625/1-77-009

U.S. Environment Protection Agency (1979) Process design manual for sludge treatment and disposal, Technology Transfer, EPA 625/1-79-001

U.S. Environmental Protection Agency (1974) Process design manual for upgrading Existing Wastewater Treatment Plants, Technology Transfer, EPA 625/1-71-004a

US.EPA (2004) Guidelines for Water Reuse, EPA 625/R-04/108, EPA, Washington DC

US.EPA (1973) Water Quality Criteria US.EPA pp. 350-366, Washington, DC

- Vazda S.M., Mara D.D., Vargas-Lopez C.E (1991) Residual fecal contamination on effluent-irrigated lettuce, *Water Science and Technology* 24: 89-94
- Wachtel, M. R., L. C. Whitehand, and R. E. Mandrell (2002) Prevalence of *Escherichia coli* associated with a cabbage crop inadvertently irrigated with partially treated sewage wastewater. *J. Food Prot.* 65:471–475
- Wang, G., and M. P. Doyle (1998) Survival of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in water. *J. Food Prot.* 61:662–667.
- Warriner K., Huber A., Namvar A., Fan W., Dunfield K (2009) Recent advices in the microbial safety of fresh fruits and vegetables, In: *Advances In Food and Nutrition Research, Volume 57*, Academic Press, pp., 155-208
- Westcot, D. W (1997) Quality control of wastewater for irrigated crop production. Water report 10, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Available at: <http://www.fao.org/docrep/W5367E/W5367E00.htm>
- WHO (2006) WHO Guidelines for the Saf Use of Wastewater, Excreta and Greywater, 3rd Edition, Vol. 3 Wastewater Use in Agriculture. World Health Organization, Geneva, Switzerland
- WHO (2004) Guide lines for Drinking-water Quality, vol. 1, 3rd edition, WHO, Geneva
- WHO (2003) the present state of foodborne disease in QECD countries, <http://www.who.int/foodsafety/publications/foodbornedisease/en/OECD%20Final%20for%20web.pdf>
- W.H.O (1989) Health Guidelines for the use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Report of a WHO Scientific Group WHO Technical Report Series 778, WHO, Geneva, Switzerland
- WHO (1980) Health Aspects of treated Sewage Reuse. Report on a WHO Seminar. EURO Reports and Studies 42, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark
- Williams F.P., Akin E.W (1986) waterborne viral gastroenteritis, *J. Am. Water Works Assoc.* 78:34-39
- Wickramanayake G.B., Rubin A.J., Sproul O.J. (1985) Effects of ozone and storage temperature on *Giardia* cysts *Journal AWWA, Research and Technology*, 74-77
- Xu L-Q., Yu S-H., Jiang Z-X., Yang J-L, Lai C-Q., Zhang X-J (1995) Soil-transmitted helminthiases: Nationwide survey in China, *Bull, WHO* 73:507-513
- Yu, K., M. C. Newman, D. D. Archbold, and T. R. Hamilton-Kemp (2001) Survival of *Escherichia coli* O157:H7 on strawberry fruit and reduction of the pathogen population by chemical agents. *J. Food Prot.* 64:1334–1340

- Αγγελάκης Α.Ν., Τσαγκαράκης Κ.Π., Κοτσελίδου Ο.Ν., Βαρδάκου Ε (2000) Ανάγκη Θέσπισης Ελληνικών Προδιαγραφών Ανάκτησης και Επαναχρησιμοποίησης Εκροών Επεξεργασμένων Αστικών Υγρών Αποβλήτων: Μια Προκαταρκτική Προσέγγιση. Τεχνική Έκθεση για το ΥΠΕΧΩΔΕ και την Ένωση Επιχειρήσεων Ύδρευσης Αποχέτευσης Ελλάδας (ΕΔΕΥΑ), σελ 100
- Αγγελάκης Α.Ν., Tchobanoglous G.(1995) Υγρά Απόβλητα: Φυσικά συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτησης, Επεξεργασία και Διάθεση Εκροών, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
- Ανδρεαδάκης Α., (2007), Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος με τίτλο: Παραγωγή πόσιμου και ανακτημένου νερού. ΔΠΜΣ στην Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- Λυμπεράτος Γ. (2004) Μηχανική Υγρών Αποβλήτων, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα
- Μαρκαντωνάτος Γ. (1990) Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων: αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα, Β' Έκδοση, Αθήνα
- Μαυρίδου Α., Παπαπετροπούλου Μ. (1995) Μικροβιολογία του Υδάτινου Περιβάλλοντος: Βασικές αρχές, 1^η Έκδοση, Τρούλος Π – Κωσταράκη Ε., Αθήνα
- Metcalf & Eddy (2006) Μηχανική Υγρών Αποβλήτων: Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση, 4^η Έκδοση, Α τόμος, Τζιόλας, Θεσσαλονίκη
- Metcalf & Eddy (2007) Μηχανική Υγρών Αποβλήτων: Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση, 4^η Έκδοση, Β τόμος, Τζιόλας, Θεσσαλονίκη
- Παπαπολυμέρου Γ. (1999) Αντιρρυπαντικές Τεχνολογίες, Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Εκπαίδευσης, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Γενικό Τμήμα Θετικών Επιστημών, Λάρισα
- Παρανυχιανάκης Ν., Κοτσελίδου Ο., Βαρδάκου Ε., Αγγελάκης Α.(2009) Οδηγίες Ανακύκλωσης Επεξεργασμένων Εκροών Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα
- Στάμου Α. (2004) Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων: Με παρατεταμένο αερισμό και βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών, Β Έκδοση, Παπασωτηρίου, Αθήνα
- Στάμου Α., Βογιατζής Ζ. (1994) Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων, 2^η Έκδοση, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα
- Φυτιανός Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ. (2009) Χημεία Περιβάλλοντος, 1^η Έκδοση, University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Βιβλιογραφία

B Μέρος

Anderson J., Adin, A., Crook, J., Davis, C., Hultquist, R., Jimenez-Cisneros, B., Kennedy, W., Sheikh, B., and van der Merwe, B. (2001), Climbing the ladder: a step by step approach to international guidelines for water recycling. *Wat Sci. Tech.*, 43: 1-8.

Angelakis, A.N., Marecos do Monte, M.H., Bontoux, L., and Asano, T. (1999) the status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin. *Wat Res.*, 33(10): 2201-2217

EC (1991) Council Directive of 21 May 1991 Concerning Urban Wastewater Treatment (91/271/EEC) Official Journal of the European Communities, L135/40 (30 May)

Gerba C.P., and Rose, J.B. (2002) International guidelines for water recycling: Microbial considerations. In: *Proc. of IWA Regional Symposium on Water Recycling and Reuse*, Iraklio, Greece, 26-29 September 2002, 1: 645-650

Tsagarakis, K.P., Dialynas, G.E., and Angelakis, A.N. (2004) Water resources management in Crete (Greece), including water recycling and reuse and proposed quality criteria. *Agr Wat. Manag* 66(1): 35-47

Αγγελάκης Α.Ν., Τσαγκαράκης, Κ.Π., Κοτσελίδου, Ο.Ν. και Βαρδάκου, Ε. (2000). Ανάγκη Θέσπισης Ελληνικών Προδιαγραφών Ανάκτησης και Επαναχρησιμοποίησης Εκροών Επεξεργασμένων Αστικών Υγρών Αποβλήτων: Μια Προκαταρκτική Προσέγγιση. Τεχνική Έκθεση για το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης Αποχέτευσης Ελλάδας (ΕΔΕΥΑ). Λάρισα, σελ.100.

Κ.Υ.Α 145116/2011 (2011) Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις, Αθήνα, 8 Μαρτίου 2011

Νόμος 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000». (ΦΕΚ Α΄ 280/9.12.2003)

ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 51 Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων) (2003). Ο Ν. 3199/03 για τη Προστασία και Διαχείριση των Υδάτων. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. , Αθήνα.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ (1965) Υ.Α: Αριθ. Ειβ 221/65 Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων (ΦΕΚ 138/Β/24-2-65). Αθήνα

Υπουργείο Ανάπτυξης (1987). Ο Ν.1739/87 για τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων στην Ελλάδα. Υπ. Ανάπτυξης, Αθήνα