



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ

Μ.Π.Σ. ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Κατεύθυνση «Διαχείριση περιβάλλοντος»

**Ποιοτικά χαρακτηριστικά ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας
λυμάτων του ελλαδικού χώρου.**

Μάλλiou Μαρία Α.Μ. 23213

Επιβλέπων : Αμπελιώτης Κ.

Μέλη Επιτροπής: Κυριακού Μ.

Λαζαρίδη Κ.

Αθήνα 2006

Πρόλογος

Στα πλαίσια της φοίτησης μου στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, και συγκεκριμένα στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών σπουδών «Βιώσιμη Ανάπτυξη» του τμήματος Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, μου ανατέθηκε από τον καθηγητή Αμπελιώτη Κ. η εκπόνηση διπλωματικής μελέτης με θέμα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του Ελλαδικού χώρου.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που με βοήθησαν ουσιαστικά καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης μου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή Αμπελιώτη Κ. στις καθηγήτριες Κυριακού Μ. και Λαζαρίδη Α., για τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις τους. Ιδιαίτερα πολύτιμη υπήρξε η συμβολή της Κώτσου Μ., της Μήτσου Ε. και του Οικονόμου Ι. που με την καθοδήγηση και τις συμβουλές τους συνέβαλαν καθοριστικά στη διεξαγωγή της εργασίας.

Θεωρώ χρέος μου να ευχαριστήσω τους εργαζόμενους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων από όπου λήφθηκαν δείγματα ιλύος, χωρίς την βοήθεια των οποίων δεν θα ήταν δυνατή η διεξαγωγή της έρευνας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

	Σελίδα
Πρόλογος	1
Περιεχόμενα.....	2
Περίληψη.....	5
Summary.....	6
1. Εισαγωγή.....	7
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	9
2.1 Γενικές αρχές λειτουργίας μονάδων επεξεργασίας λυμάτων	9
2.2 Επεξεργασία ιλύος μέσα στις εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων	11
2.3 Ιλύς μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και παράμετροι ποιότητας	18
2.3.1 Φυσικές και χημικές παράμετροι.....	18
2.3.2 Μικροβιολογικές παράμετροι.....	22
2.4 Μέθοδοι ολοκληρωμένης διαχείρισης ιλύος.....	27
2.4.1 Γενικά	27
2.4.2 Γεωργική αξιοποίηση.....	28
2.4.3 Υγειονομική ταφή.....	32
2.4.4 Κομποστοποίηση.....	34
2.4.5 Καύση.....	35
2.4.6 Χρήση στη δασοπονία και δασοκομία.....	38
2.4.7 Αποκατάσταση εδαφών	40
2.5 Νομοθετικό πλαίσιο.....	40
3. Υλικά και μέθοδοι.....	46
3.1 Μονάδες δειγματοληψίας.....	46
3.2 Συνοπτική περιγραφή των διεργασιών επεξεργασίας ιλύος στις μονάδες δειγματοληψίας	48
3.3 Φυσικές και χημικές παράμετροι της ιλύος.....	54
3.3.1 Υγρασία.....	54
3.3.2 Πτητικά.....	54
3.3.3 pH.....	54
3.3.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	54
3.3.5 Βαρέα μέταλλα.....	54
3.4 Μικροβιολογικές παράμετροι της ιλύος.....	55

3.4.1	Εκτίμηση μικροβιακών πληθυσμών	55
3.4.1.1	Εκτίμηση του πληθυσμού της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας	55
3.4.1.2	Εκτίμηση των πληθυσμών των ολικών κολίμορφων και των <i>E. coli</i>	55
3.4.1.3	Εκτίμηση του πληθυσμού των περιττωματικών στρεπτόκοκκων.....	56
3.4.1.4	Εκτίμηση του πληθυσμού των μυκήτων και των ζυμών	56
3.4.1.5	Εκτίμηση του πληθυσμού των θειοαναγωγικών κλωστριδίων.....	57
3.4.2	Έλεγχος για την ύπαρξη παθογόνων.....	57
3.4.2.1	<i>Salmonella</i> spp.....	57
3.4.2.2	<i>Listeria</i> spp.....	62
3.4.3	Απομόνωση και ταυτοποίηση μικροβιακών στελεχών <i>Enterococcus</i> spp.....	66
4.	Αποτελέσματα – Σχολιασμός.....	68
4.1	Μονάδες δειγματοληψίας.....	68
4.2	Φυσικές και χημικές παράμετροι της ιλύος.....	70
4.2.1	Υγρασία.....	70
4.2.2	Πτητικά.....	71
4.2.3	pH.....	72
4.2.4	Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	73
4.2.5	Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων.....	74
4.3	Μικροβιολογικές παράμετροι της ιλύος.....	76
4.3.1	Εκτίμηση μικροβιακών πληθυσμών.....	76
4.3.1.1	Εκτίμηση του πληθυσμού της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας.....	76
4.3.1.2	Εκτίμηση των πληθυσμών των ολικών κολίμορφων και των <i>E. coli</i>	77
4.3.1.3	Εκτίμηση του πληθυσμού των περιττωματικών στρεπτόκοκκων.....	79
4.3.1.4	Εκτίμηση του πληθυσμού των μυκήτων και των ζυμών	80
4.3.1.5	Εκτίμηση του πληθυσμού των θειοαναγωγικών κλωστριδίων.....	81
4.3.2	Έλεγχος για την ύπαρξη παθογόνων	83
4.3.2.1	<i>Salmonella</i> spp.....	83
4.3.2.2	<i>Listeria</i> spp.....	88

4.3.3	Απομόνωση και ταυτοποίηση μικροβιακών στελεχών	
	Enterococcus spp.....	93
5.	Συμπεράσματα - Προτάσεις	95
5.1	Κυριότεροι τρόποι επεξεργασίας και διάθεσης της ιλύος	
	στις δειγματοληπτικές μονάδες που εξετάστηκαν.....	95
5.2	Φυσικο-χημικές παράμετροι.....	96
5.3	Μικροβιολογικές παράμετροι.....	97
5.4	Προτάσεις.....	99
6.	Βιβλιογραφία.....	101

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής μελέτης με τίτλο «Ποιοτικά χαρακτηριστικά ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του Ελλαδικού χώρου», ήταν εκτίμηση βασικών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της αφυδατωμένης ιλύος από μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων, σε όλη την Ελλάδα.

Για το σκοπό αυτό, συλλέχθηκαν 24 δείγματα αφυδατωμένης ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, τα οποία εξετάστηκαν ως προς διάφορες φυσικο-χημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα, έγινε εκτίμηση του μικροβιολογικού φορτίου των δειγμάτων ιλύος με μετρήσεις των πληθυσμών των ολικών μεσόφιλων βακτηρίων, των περιττωματικών στρεπτόκοκκων, των θειοαναγωγικών κλωστριδίων, των μυκήτων και των ζυμών, των ολικών κολίμορφων και των *E. coli*. Επίσης εξετάστηκε η παρουσία παθογόνων όπως το *Salmonella* spp και *Listeria* spp. και μετρήθηκε το pH, η υγρασία, τα πτητικά στερεά, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα δείγματα λάσπης. Τέλος απομονώθηκαν και ταυτοποιήθηκαν από τα δείγματα ιλύος συνολικά 167 στελέχη του γένους *Enterococcus*.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν οδήγησαν στη διατύπωση προτάσεων σχετικά με την ολοκληρωμένη διαχείριση της ιλύος, με έμφαση στις δυνατότητες γεωργικής της αξιοποίησης. Άλλωστε η επαναχρησιμοποίηση της λάσπης λύνει το πρόβλημα της διάθεσης της, το οποίο εμφανίζεται ιδιαίτερα οξύμενο στη χώρα μας.

Summary

The aim of this study titled “Qualitative characteristics of sludge from wastewater treatment plants of Greece”, was to estimate basic environmental characteristics of dehydrated sludge from wastewater treatment plants, in Greece.

For this purpose, 24 samples of dehydrated sludge have been collected from wastewater treatment plants and examined for various physical, chemical and microbiological parameters. Particularly, there was an evaluation of the Total Mesophilic Bacteria, the Faecal Streptococcus, the Sulphite Reducing Clostridia, the mushrooms and the doughs, the Total Coliforms and the E. coli. It was also examined the presence of pathogens as Salmonella spp and Listeria spp. pH, humidity, volatile solid, electric conductivity and the concentrations of heavy metals were measured in the samples of sludge. Finally 167 executives of Enterococcus spp of the samples of sludge were isolated and testified.

The results of this study led to practical suggestions for sustainable management of sludge, with emphasis on the possibilities of land application of sludge. Besides the reuse of sludge resolves the problem of its disposal especially acrimonious in our country.

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

Είναι αδιαμφισβήτητο το γεγονός ότι οι ανθρώπινες υπερκαταναλωτικές κοινωνίες ρυπαίνουν το περιβάλλον, παράγοντας απόβλητα τα οποία ξεπερνούν τη φέρουσα ικανότητα του πλανήτη. Ιδιαίτερα οι εδαφικοί πόροι υφίστανται τις μεγαλύτερες πιέσεις, καθώς αποτελούν τους συνηθέστερους αποδέκτες της ρύπανσης.

Τα τελευταία χρόνια, τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά κυρίως σε Ευρωπαϊκό, παρατηρείται μια προσπάθεια για θέσπιση διαρκώς αυστηρότερων νόμων και διατάξεων που αφορούν την πολιτική του περιβάλλοντος, αντικατοπτρίζοντας την αυξημένη οικολογική συνείδηση του συνόλου των πολιτών. Παράλληλα, αναζητούνται μέθοδοι και τεχνικές προκειμένου σε όλους τους τομείς δραστηριότητας των ανθρώπων να επιτυγχάνεται περιορισμός της ρύπανσης.

Μέσα σε αυτό το γενικότερο πλαίσιο διαχείρισης, ιδιαίτερη σημασία έχουν τα έργα που σχετίζονται με την επεξεργασία αποβλήτων, σκοπός των οποίων είναι η γρηγορότερη και οικονομικότερη απομάκρυνση των ακάθαρτων και βλαβερών για το περιβάλλον συστατικών τους, μέσα από την κατάλληλη επεξεργασία τους, ώστε να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής μελέτης με τίτλο «ποιοτικά χαρακτηριστικά ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του ελλαδικού χώρου», ήταν εκτίμηση βασικών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της αφυδατωμένης ιλύος από μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων, σε όλη την Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν 24 δείγματα αφυδατωμένης ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, τα οποία εξετάστηκαν ως προς διάφορες φυσικο-χημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε η μικροβιακή οικολογία της ιλύος, η παρουσία επιλεγμένων παθογόνων και οργανισμών δεικτών και μετρήθηκε η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων. Σκοπός της παρούσας έρευνας δεν ήταν ο προσδιορισμός της ποιότητας της ιλύος συγκεκριμένων μονάδων, καθώς αυτό θα απαιτούσε μια χρονοσειρά μετρήσεων. Η έρευνα επιδίωξε την αποτύπωση σε μια χρονική στιγμή της γεωγραφικής κατανομής των ποιοτικών χαρακτηριστικών της ιλύος στον Ελλαδικό χώρο.

Απώτερος στόχος της μελέτης ήταν η διατύπωση προτάσεων σχετικά με την ολοκληρωμένη διαχείριση της ιλύος, με έμφαση στις δυνατότητες γεωργικής της αξιοποίησης. Άλλωστε η επαναχρησιμοποίηση της λάσπης λύνει το πρόβλημα της διάθεσης της, το οποίο εμφανίζεται ιδιαίτερα οξύμενο στη χώρα μας.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση, με έμφαση στις μελέτες που έγιναν σχετικά με το εξεταζόμενο θέμα από άλλους ερευνητές και στο νομοθετικό πλαίσιο που αφορά τη διαχείριση, απόρριψη και ανακύκλωση της ιλύος που προέρχεται από της επεξεργασία αστικών λυμάτων. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διαδικασίες επεξεργασίας της ιλύος στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων που εξετάστηκαν, καθώς και τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στις φυσικο-χημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, ενώ στο πέμπτο διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν και οι προτάσεις. Στο τέλος της εργασίας παρατίθεται η βιβλιογραφία.

Κεφάλαιο 2^ο: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Γενικές αρχές λειτουργίας μονάδων επεξεργασίας λυμάτων

Η επεξεργασία καθαρισμού των υγρών αποβλήτων αποβλέπει στην 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.λ.π.) συνέπειες.

Τα υγρά απόβλητα κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με την πηγή προέλευσης τους, οι οποίες είναι οι εξής:

- Τα αστικά απόβλητα, τα οποία αποτελούνται κυρίως από ανθρώπινα εκκρίματα και απόνερα οικιακής χρήσης.
- Τα βιομηχανικά απόβλητα, σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται οι υγρές απορροές των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, οι οποίες είναι κυρίως εκπλύματα δεξαμενών και άλλων στοιχείων εξοπλισμού, καθώς και παραπροϊόντα χημικών διεργασιών.
- Τα αγροτικά απόβλητα, τα οποία περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο τις απορροές των αρδευτικών συστημάτων.

Ειδικότερα τα αστικά λύματα, εφόσον δεν περιέχουν μεγάλο ποσοστό βιομηχανικών αποβλήτων και είναι σχετικά σταθερής ποιότητας, μπορούν να υποβληθούν σε τυποποιημένες μεθόδους επεξεργασίας καθαρισμού με δοκιμασμένα ικανοποιητικά αποτελέσματα (Μπουζιάνη, 2002).

Τα υγρά αστικά και βιομηχανικά απόβλητα αποτελούνται κυρίως από 99,9% νερό στο οποίο βρίσκονται διαλυμένες μικρές συγκεντρώσεις αιωρούμενων και διαλυμένων οργανικών και ανόργανων στερεών καθώς και αξιόλογος αριθμός μικροοργανισμών και ιών. Τα συστατικά των αποβλήτων που θεωρούνται επιβλαβή είναι τα ογκώδη αντικείμενα, η άμμος, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων (αιωρούμενα στερεά), τα οργανικά - φυσικά συστατικά (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο και φώσφορος) (Στάμου, 1995).

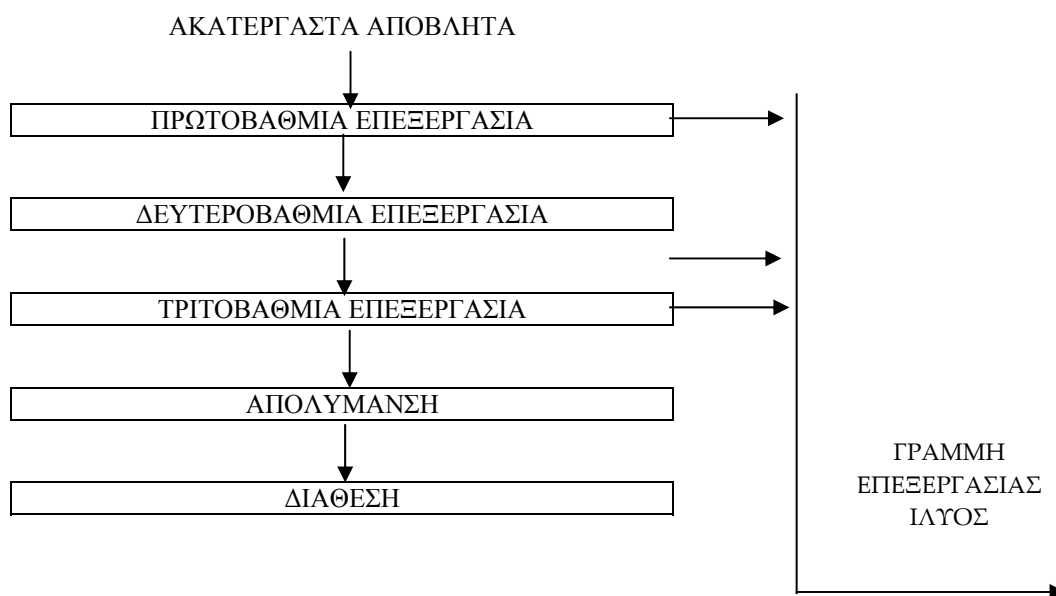
Οι κυριότεροι στόχοι επεξεργασίας των λυμάτων είναι η μείωση του BOD₅ (βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου) – το οποίο αντιστοιχεί σε μείωση του οργανικού φορτίου - και του αριθμού των μικροοργανισμών. Ως προς την μείωση των μικροοργανισμών η επιτυχία της επεξεργασίας εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως τον τύπο επεξεργασίας, τον αριθμό και

τα είδη των παθογόνων μικροοργανισμών, τη θερμοκρασία και τη χημική σύσταση του λύματος κ.α. Στην πραγματικότητα αυτό που μας ενδιαφέρει είναι να βελτιωθεί η μικροβιολογική ποιότητα του λύματος πριν αυτό αποδοθεί στο περιβάλλον, δηλαδή ο μικροβιολογικός πληθυσμός του λύματος, ο οποίος αρχικά αποτελείται από μικροοργανισμούς κοπρανώδους προέλευσης, να μετατραπεί και να αποτελείται από μικροοργανισμούς των επιφανειακών υδάτων (Μαυρίδου Α. και Παπαπετροπούλου Μ., 1995).

Οι διάφορες μέθοδοι καθαρισμού των λυμάτων αποτελούν στην ουσία απομίμηση των διαφόρων διεργασιών, που γίνονται στη φύση, όταν διατεθούν υγρά απόβλητα, με τη διαφορά ότι στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων οι συνθήκες είναι ελεγχόμενες και ευνοϊκές. Για την πρακτική εφαρμογή των διαφόρων διαδικασιών και μεθόδων καθαρισμού έχουν αναπτυχθεί ειδικές εγκαταστάσεις με κατάλληλη διαμόρφωση και εξοπλισμό, ώστε να εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση.

Στις εγκαταστάσεις αυτές συντελούνται σύνθετες διεργασίες, με πρώτη ύλη τα ανεπεξέργαστα λύματα, τελικό προϊόν τα επεξεργασμένα (καθαρά) λύματα και βασικό παραπροϊόν την ιλύ. Μια τυπική παραγωγική διαδικασία της επεξεργασίας λυμάτων απεικονίζεται στο Σχήμα 2.1.1. Όπως φαίνεται στο σχήμα, έχουν διαμορφωθεί τρία κυρίως βασικά στάδια επεξεργασίας, τα οποία εκφράζουν φραστικά το βαθμό της καθαρότητας της τελικής απορροής (Μαρκαντωνάτος, 1990, Στάμου, 1995, Παπαπολυμέρου, 1999).

Σχήμα 2.1.1: Στάδια γραμμής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων



Ο πρωτοβάθμιος καθαρισμός περιλαμβάνει συνήθως εσχάρωση, αφαίρεση άμμου ή επιπλέοντων υλικών, λιποσυλλογή και πρωτοβάθμια καθίζηση. Ο πρωτοβάθμιος καθαρισμός μπορεί να ελαττώσει το ρυπαντικό φορτίο (οργανικά, στερεά, μικρόβια), κατά μέσο όρο, από 35-50% περίπου.

Σε ότι αφορά τον δευτεροβάθμιο καθαρισμό, στοχεύει στην απομάκρυνση κατά το δυνατό των διαλυμένων ουσιών, η οποία επιτελείται συνήθως με βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών και στη συνέχεια απομάκρυνση των σχηματιζόμενων αιωρημάτων με δευτεροβάθμια καθίζηση. Η ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου (BOD_5 , αιωρούμενα στερεά, κολοβακτηριοειδή), κατά το δευτεροβάθμιο καθαρισμό (σε συνδυασμό με τον πρωτοβάθμιο) είναι κατά μέσο όρο της τάξεως του 90%.

Τέλος ο τριτοβάθμιος καθαρισμός ακολουθεί τα προηγούμενα στάδια και συμπληρώνεται με την περαιτέρω μείωση της συγκέντρωσης οργανικών ουσιών, αζωτούχων και φωσφορούχων ενώσεων, βαρέων μετάλλων, τοξικών ουσιών και παθογόνων μικροοργανισμών και ιών (Αραβώσης Κ. κ.α., 2003).

2.2 Επεξεργασία ιλύος μέσα στις εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων

Όπως προαναφέρθηκε στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων συντελούνται σύνθετες διεργασίες, με πρώτη ύλη τα ανεπεξέργαστα λύματα – υγρά απόβλητα, τελικό προϊόν τα επεξεργασμένα (καθαρά) λύματα και βασικό παραπροϊόν τα διαχωριζόμενα υδαρή μίγματα – διαλύματα στερεών (ιλύς). Ιλύς αποβάλλεται από τα ακόλουθα στάδια της επεξεργασίας των λυμάτων:

- Εσχάρωση
- Εξάμμωση
- Λιποσυλλογή
- Πρωτοβάθμια καθίζηση
- Χημική επεξεργασία – καθίζηση
- Βιολογική επεξεργασία – δευτεροβάθμια καθίζηση
- Τριτοβάθμια επεξεργασία

Η ιλύς, όπως αποβάλλεται από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων χρήζει περαιτέρω επεξεργασίας επειδή έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό και παθογόνους μικροοργανισμούς. Υποβάλλεται σε ιδιαίτερες επεξεργασίες, ώστε να αποκτήσει την κατάλληλη

ποιότητα για τελική διάθεση, χωρίς να προκαλεί περαιτέρω προβλήματα ρύπανσης. Γενικοί στόχοι των διεργασιών αυτών είναι η μείωση του όγκου, η βιοχημική σταθεροποίηση της ιλύος και η μετατροπή της σε βιολογικά σταθερή (αδρανή) μάζα. Η σταθεροποίηση της οργανικής ύλης προλαμβάνει την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οσμών και ελαττώνει τον αριθμό των παθογόνων μικροοργανισμών κυρίως των εντερικών παρασίτων και των ιών, οι οποίοι υπάρχουν σε μεγάλες συγκεντρώσεις στη λάσπη. Η ελάττωση της περιεκτικότητας της ιλύος σε νερό περιορίζει τον όγκο της λάσπης, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το κόστος μεταφοράς της στα τελικά σημεία εναπόθεσης.

Ανάλογα με το στάδιο επεξεργασίας των λυμάτων διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες ιλύος:

- 1) πρωτοβάθμια ιλύς, είναι η λάσπη που παράγεται κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων,
- 2) βιολογική ιλύς, η οποία παράγεται κατά τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων (δευτεροβάθμια επεξεργασία),
- 3) μικτή ιλύς, η οποία αποτελεί ένα μίγμα πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος.

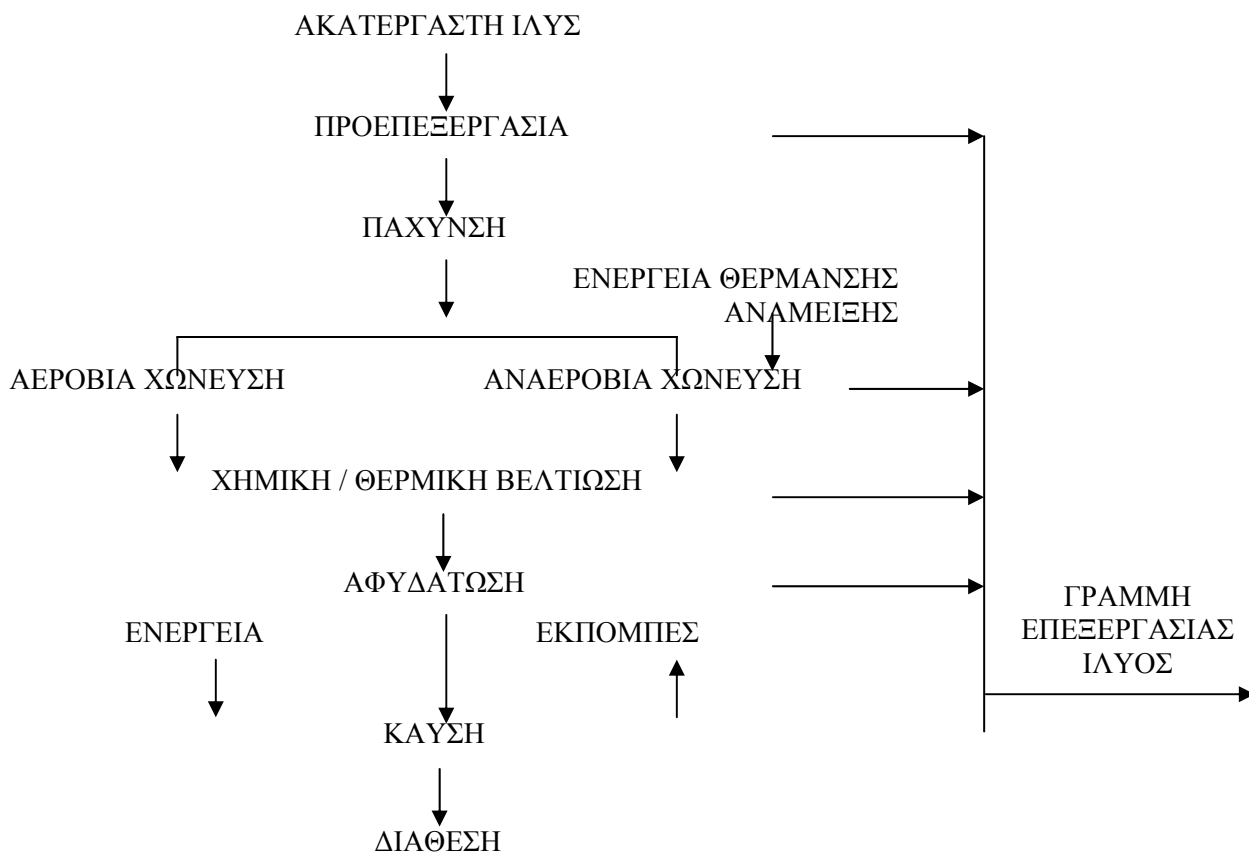
Η περιεκτικότητα της λάσπης σε στερεά μετά από πρωτογενή καθίζηση είναι περίπου 3-8%, ενώ αυτή της ενεργοποιημένης ιλύος από τη δεξαμενή καθίζησης του δευτερογενούς καθαρισμού είναι 0,5-2% κατά βάρος.

Η επεξεργασία της λάσπης περιλαμβάνει τα ακόλουθα διαδοχικά στάδια – διεργασίες:

1. Πάχυνση (Συμπύκνωση)
2. Βιολογική χώνευση
 - αερόβια
 - αναερόβια
3. Βελτίωση
 - χημική βελτίωση
 - θερμική επεξεργασία (αποστείρωση)
4. Αφυδάτωση
5. Καύση

Τα «τυπικά» στάδια επεξεργασία της ιλύος παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.2.1 που ακολουθεί, βέβαια είναι πιθανό να μην ακολουθούνται όλα τα παρακάτω στάδια.

Σχήμα 2.2.1: Στάδια επεξεργασίας ιλύος



Τα διάφορα στάδια επεξεργασίας ιλύος έχουν αναλυτικότερα ως εξής:

✓ Προεπεξεργασία

Περιλαμβάνονται εξάμμωση, μίξη διαφόρων ειδών ιλύος και προσωρινή αποθήκευση. Θεωρείται προαιρετική, ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης και την ποσότητα της διαχωριζόμενης ιλύος. Συνήθως υποκαθίσταται από την πάχυνση.

✓ Πάχυνση

Πρόκειται για ένα στάδιο που έχει στόχο την μείωση του όγκου της ιλύος, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση δεξαμενών καθίζησης είτε με φυγοκέντριση, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται απομάκρυνση των περιεχομένων υγρών και βελτίωση των χαρακτηριστικών της ιλύος, ώστε να είναι πιο αποτελεσματικές οι μετέπειτα διεργασίες

✓ Χώνευση

Είναι μια βιολογική διεργασία, η οποία αποσκοπεί στην σταθεροποίηση της οργανικής ύλης και στην καταστροφή μεγάλου μέρους των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται στην λάσπη, κυρίως λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια του εν

λόγω σταδίου. Η διεργασία της χώνευσης μπορεί να γίνει κάτω από αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των παραπάνω διαδικασιών.

1. Αναερόβια χώνευση

Είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται σε κλειστές δεξαμενές, οι οποίες συνήθως βρίσκονται πλησίον της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, και χαρακτηρίζεται από πλήρη έλλειψη οξυγόνου, με συνεχή ανάμιξη που επιτελείται με ανακυκλοφορία – εμφύσηση βιοαερίου ή μηχανική ανάμιξη και με συνεχή έλεγχο της θερμοκρασίας, του pH, και των αιωρούμενων στερεών.

Αυτή η επεξεργασία είναι πολύ αργή σε σχέση με την αερόβια επεξεργασία και ενδείκνυται για λύματα με υψηλό BOD. Η διάρκεια της επεξεργασίας κυμαίνεται μεταξύ δύο και τριών εβδομάδων ενώ εμφανίζει και ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα, την παραγωγή μεθανίου. Πιο συγκεκριμένα κατά την αναερόβια επεξεργασία οι οργανικές ουσίες μειώνονται με μετατροπή του 30-40% των στερεών σε αέρια, κυρίως μεθάνιο. Το μεθάνιο που παράγεται χρησιμοποιείται πολλές φορές και από την ίδια την εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ως καύσιμο, προκειμένου να καλύψει μέρος των ενεργειακών της δαπανών.

Στην αναερόβια επεξεργασία και παραγωγή μεθανίου λαμβάνει μέρος ένας σημαντικός αριθμός βακτηριακών στελεχών από διαφορετικά γένη. Οι οργανισμοί που εμπλέκονται είναι υδρολυτικά, μεθανοπαραγωγά βακτήρια, κυρίως κοπρανώδους προέλευσης, με επικρατές γένος το *Bacteroides*, το οποίο ανιχνεύεται σε συγκέντρωση 10%. Τα μικροβιακά γένη που απαντώνται στην ιλύ κατά την αναερόβια χώνευση είναι τα ακόλουθα *Bacteroides*, *Propionobacterium*, *Clostridium*, *Megasphaera*, *Pseudomonas*, *Streptococci*, *Bacillus*, *Lactobacilli*, *Butyribacterium* και *Desulfovibrio desulfuricans* (Μαυρίδου Α., Παπαπετροπούλου Μ., 1995).

Η αναερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται συνήθως όταν η ιλύς πρόκειται να διατεθεί στις καλλιέργειες σαν λίπασμα, γι' αυτό πρέπει να είναι απαλλαγμένη από εντερικούς παθογόνους μικροοργανισμούς. Για το λόγο αυτό πριν εφαρμοσθεί στο έδαφος προηγείται μικροβιολογικός έλεγχος για στελέχη του γένους *Salmonella* και για το παράσιτο *Taenia saginata* (WHO, 1981).

Η αποτελεσματικότητα της διεργασίας εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων όπως η θερμοκρασία, το pH, ο χρόνος παραμονής, η χημική σύσταση του αποβλήτου, ο ανταγωνισμός με σιδηροαναγωγικά βακτήρια και η παρουσία τοξικών ουσιών. Πολλές φορές κατά τη διάρκεια

αυτής της διεργασίας εφαρμόζεται θέρμανση προκειμένου να επιταχυνθούν οι βιοχημικές αντιδράσεις σε μεσόφιλες θερμοκρασίες (25-40 °C).

Ο βαθμός ελάττωσης της συγκέντρωσης των παθογόνων βακτηρίων κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του χρόνου επεξεργασίας. Υψηλές θερμοκρασίες (50-60 °C) και μεγάλοι χρόνοι παραμονής ευνοούν την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Σύμφωνα με τον Carrington (1998) η εφαρμογή στη λάσπη θερμοκρασίας που φθάνει τους 70 °C για 7 λεπτά ή 65 °C για 30 λεπτά ή 55°C για 4 ώρες καταστρέφει ουσιαστικά όλους τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην ελάττωση των παθογόνων μικροοργανισμών, γεγονός που οφείλεται στους μεγάλους χρόνους εφαρμογής της και στο αυξημένο pH, λόγω των φωτοσυνθετικών δραστηριοτήτων της βιομάζας και της έντονης παρουσίας του ζωοπλαγκτού, το οποίο καταναλώνει τους κοπρανώδεις μικροοργανισμούς (Μαυρίδου Α. και Παπαπετροπούλου Μ., 1995).

Έχει υπολογιστεί ότι σε μία εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης, η οποία λειτουργεί στη μεσόφιλη περιοχή (30-38 °C), με μέση διάρκεια επεξεργασίας της τάξης των 14-15 ημερών, επιτυγχάνεται μείωση στη συγκέντρωση των ολικών κολίμορφων βακτηρίων και των περιττωματικών στρεπτόκοκκων περίπου στο 1/100 της αρχικής. Αντίθετα τα ωά των εντεροσκωλήκων σε ένα μεγάλο ποσοστό φαίνονται ιδιαίτερα ανθεκτικά στην αναερόβια χώνευση. Επιπλέον, η ποσοστιαία μείωση του αρχικού πληθυσμού του *Salmonella* υπολογίζεται σε 90% και του *Taenia saginata* σε 100%. Ικανοποιητική μείωση παρουσιάζουν και οι πληθυσμοί του *Vibrio cholerae* και των πρωτόζωων ενώ το γένος *Mycobacterium* παρουσιάζει αντοχή. Σύμφωνα με τον Pike (1988), η αναερόβια διαδικασία απομάκρυνε αποτελεσματικά το *S. Duesseidorf* στους 35°C για 16-20 λεπτά και στους 48°C για 10 λεπτά. Ο ίδιος υπολόγισε ότι σε θερμοκρασία που φθάνει τους 49°C αδρανοποιήθηκαν τα αυγά του παρασίτου *Ascaris suum*. Όσον αφορά στα βαρέα μέταλλα, ο Chipasa (2003) παρατήρησε ότι κατά την αναερόβια διαδικασία η συγκέντρωσή τους αυξάνεται, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η γεωργική αξιοποίηση της ιλύος.

2. Αερόβια χώνευση

Η αερόβια χώνευση επιφέρει τα ίδια αποτελέσματα όσον αφορά στην σταθεροποίηση της ιλύος. Πραγματοποιείται με έντονη οξυγόνωση – ανάδευση της ιλύος, σε ανοιχτές δεξαμενές βάθους 3-6 μέτρων, οπότε αποικοδομείται το 40-60% των πτητικών στερεών και παράγεται σχετικά σταθεροποιημένη ιλύς. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ελέγχεται στα επίπεδα πάνω

από 1mg/L προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία οσμών. Η διάρκεια αυτής της διαδικασίας κυμαίνεται μεταξύ 15-30 ημερών, ανάλογα με τη θερμοκρασία. Οι θερμοκρασίες που επικρατούν κατά την αερόβια χώνευση ανήκουν συνήθως στη μεσόφιλη περιοχή (37°C). Η θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών προκαλείται εξαιτίας της έλλειψης θρεπτικών συστατικών, αφού η οργανική ύλη αποικοδομείται με αποτέλεσμα να μειώνονται συνεχώς οι διαθέσιμες για τα μικρόβια πηγές άνθρακα. Ο Carrington (2001), αναφέρει ότι στις μεσόφιλες θερμοκρασίες τα προϊόντα της πέψης π.χ. λιπαρά οξέα, ενισχύουν τη θανατηφόρο δράση, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία.

Η αποτελεσματικότητα της αερόβιας επεξεργασίας επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία και η φυσική εξάτμιση. Πιο συγκεκριμένα, η ηλιακή ακτινοβολία καταστρέφει τα κοπρανώδη κολίμορφα μέσα στις δεξαμενές, μέσω ενός μηχανισμού φωτοευαισθητοποίησης, ενώ για να συμβεί κάτι τέτοιο είναι απαραίτητη η παρουσία διαλυτών ευαισθητοποιητών στα λύματα, όπως οι χουμικές ενώσεις (Curtis *et al.*, 1992). Τέλος, καταλυτικό ρόλο στη μείωση των βακτηρίων κοπρανώδους προέλευσης παίζει η θερμοκρασία. Κατά τους Barzily και Kott (1989), θερμοκρασίες της τάξης των 40-45 °C καθιστούν δυνατή την πλήρη εξουδετέρωση των παθογόνων βακτηρίων.

Αξίζει να τονιστεί ότι η παραπάνω διεργασία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως χαμηλό κόστος εγκατάστασης, ευκολία στους χειρισμούς και παραγωγή σταθεροποιημένης και άοσμης λάσπης. Ωστόσο παράγονται περαιτέρω ποσότητες μικροβιακής ιλύος, με αποτέλεσμα να απαιτείται επιπλέον επεξεργασία αυτής πριν την τελική της εναπόθεση.

✓ Βελτίωση ιδιοτήτων της ιλύος - Σταθεροποίηση

Πρόκειται για μία χημική διαδικασία, η οποία ακολουθεί το στάδιο της χώνευσης και στοχεύει στην ελάττωση της συνάφειας μεταξύ στερεών και νερού και την συσσωμάτωση των σωματιδίων, ώστε να διευκολυνθεί η μετέπειτα αφυδάτωση. Επιτυγχάνεται με προσθήκη κροκιδωτικών, κυρίως πολύ-ηλεκτρολυτών (χημική βελτίωση), τα οποία βοηθούν στη συσσωμάτωση των στερεών σωματιδίων της λάσπης ή με ολιγόχρονη θέρμανση σε 160 –210 °C, σε αυτόκλειστα με υψηλή πίεση (θερμική βελτίωση). Η τελευταία επιτυγχάνει και σοβαρή μείωση του μικροβιολογικού φορτίου (αποστείρωση). Η συσσωμάτωση που λαμβάνει χώρα σε αυτό το στάδιο είναι ιδιαίτερα αποδοτική στην απομάκρυνση ιών.

Κατά τη διάρκεια της σταθεροποίησης με προσθήκη ασβέστου, η λάσπη αναμειγνύεται με ικανοποιητική ποσότητα ασβέστου έτσι ώστε το pH να διατηρηθεί στο 12 για τουλάχιστον δύο

ώρες. Ταυτόχρονα λόγω της τιμής του pH ευνοείται η παραγωγή αέριας αμμωνίας, ο συνδυασμός των οποίων προκαλεί ελάττωση στις συγκεντρώσεις των εντεροϊών και των κολίμορφων βακτηριακών δεικτών (Carrington *et al.*, 1998). Ο Strauch (1998), προτείνει να αυξηθεί το pH της λάσπης στο 12,6 και να αποθηκευτεί για τρεις μήνες. Ο ίδιος διαπίστωσε ότι ο συνδυασμός του pH 12 και θερμοκρασίες της τάξης των 60-70 °C προκαλούν καταστροφή των αυγών του *Ascaris* αλλά και μεγάλου αριθμού ιών σε διάστημα 24 ωρών.

✓ Αφυδάτωση – Ξήρανση

Επιτυγχάνει την περαιτέρω ελάττωση του όγκου της ιλύος με επιπλέον μείωση της περιεκτικότητας της σε νερό, με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολη η διακίνηση, μεταφορά και τελική διάθεση της σταθεροποιημένης ιλύος. Χρησιμοποιούνται μηχανικές και θερμικές μέθοδοι, συνήθως ταινιοφιλτρόπρεσσες ή φυγοκεντρικοί συμπυκνωτές και κλίνες ξήρανσης ή συνδυασμός αυτών. Σύμφωνα με τον Carrington (2001), η απλή ξήρανση δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική διαδικασία με εξαίρεση τα μεσογειακά κλίματα.

✓ Ξήρανση μηχανικά αφυδατωμένης ιλύος

Μπορεί να επιτευχθεί σε θερμικό ξηραντήρα, άμεσου ή έμμεσου τύπου. Στους πρώτους, η ιλύς έρχεται σε άμεση επαφή με το μέσο μεταφοράς θερμότητας, που είναι συνήθως θερμός αέρας, ενώ στους δεύτερους η ιλύς αναδεύεται – προωθείται μηχανικά σε εναλλάκτη κελύφους, που θερμαίνεται συνήθως με διαθερμικό λάδι. Ο Carrington (2001) αναφέρει ότι η θερμική ξήρανση σε θερμοκρασίες άνω των 80 °C, η οποία καταλήγει σε λάσπη με τελική περιεκτικότητα σε ύδωρ 10%, είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος θανάτωσης των παθογόνων μικροοργανισμών.

✓ Απόρριψη

Η επεξεργασμένη ιλύς δεν θεωρείται απόβλητο στην περίπτωση που επαναφέρεται στην οικονομική δραστηριότητα, όταν δηλαδή χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό υλικό ή σε άλλες εμπορικές χρήσεις, μετά την τελική της επεξεργασία. Τα τελευταία χρόνια στις ανεπτυγμένες χώρες έχουν αναπτυχθεί διαδικασίες ελεγχόμενης εφαρμογής της επεξεργασμένης και συμπυκνωμένης λάσπης στις γεωργικές καλλιέργειες. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της στο έδαφος είναι να πληροί τις σχετικές προδιαγραφές ποιότητας, κυρίως ως προς βαρέα μέταλλα. Επίσης, ανάλογα με το μικροβιακό φορτίο παθογόνων της ιλύος, έχουν θεσπιστεί μια σειρά από κριτήρια που αφορούν το είδος των καλλιεργειών που θα αναπτυχθούν σε αυτές τις περιοχές, το χρονικό διάστημα μεταξύ εναπόθεσης και σποράς κ.α.

Σε κάθε άλλη περίπτωση το τελικό προϊόν αποτελεί στερεό απόβλητο, το οποίο είτε καταλήγει σε κάποιο φυσικό αποδέκτη, είτε αποτίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η τυπική σύσταση και τα χαρακτηριστικά της ιλύος πριν και μετά από τις διάφορες επεξεργασίες που αναλύθηκαν παραπάνω (Πίνακας 2.2.4).

Πίνακας 2.2.4: Τυπική σύσταση ιλύος πριν και μετά από επεξεργασία (πηγή : U.S. EPA, Βαβίζος - Βιολογικός καθαρισμός).

Τύπος ιλύος	Στερεά DS (%)	οργανικά στερεά (% DS)	Ολικό N (%DS)	N-NH ₄ (%N)	C/N
Μίγμα ανεπεξέργαστης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας	3 - 5	60 - 80	3 - 5	<10	10 – 14
Ανεπεξέργαστη δευτεροβάθμια από εγκ/ση τύπου παρατεταμένου αερισμού	2 - 5	40- 60	2 - 6	5 - 15	4 – 8
Μετά από αναερόβια χώνευση	5 - 10	40 - 80	2 - 7	20 - 40	5 – 10
Μετά από αερόβια σταθεροποίηση	4 - 8	50 - 70	3 - 8	5 - 10	5 – 8
Μετά από αφυδάτωση σε κλίνες ξήρανσης	35 - 50	35 - 50	2 - 4	<10	8 – 12
Μετά από μηχανική αφυδάτωση με προσθήκη χημικών	20 -30	40 - 60	2 - 6	<5	5 – 10

2.3 Ιλύς μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και παράμετροι ποιότητα

2.3.1 Φυσικές και χημικές παράμετροι

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ιλύος αποτελούν απαραίτητο στοιχείο για τον καθορισμό ενός σχεδίου διαχείρισης της ιλύος καθώς επηρεάζουν σημαντικά τις εναλλακτικές μεθόδους διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης της ιλύος.

Συγκεντρωτικά στοιχεία για την ποιότητα της ιλύος που παράγεται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα αναφέρονται μόνο σε μια ερευνητική εργασία διάρκειας ενός έτους που εκπονήθηκε από το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας (Ε.Υ.Τ.) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, ενώ κάτι ανάλογο πραγματοποιήθηκε και στην παρούσα έρευνα (βλέπε κεφάλαιο 4^ο και 5^ο) .

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από την έρευνα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, η οποία κάλυπτε 18 μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα, οι περισσότερες

μονάδες παράγουν λάσπη ικανοποιητικής ποιότητας με υψηλή λιπαντική αξία. Οι περισσότερες λάσπες περιείχαν υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου παρόμοιες με τις τιμές αζώτου και φωσφόρου που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Επίσης η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, με εξαίρεση το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλειας, παράγουν λάσπες με ικανοποιητικά ποιοτικά χαρακτηριστικά που βρίσκονται εντός των ορίων που θέτουν οι Ευρωπαϊκοί και Αμερικανικοί κανονισμοί για διάθεση της ιλύος στη γεωργία. (Andreadakis *et al.*, 2001)

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας (Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας και Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης) εμφανίζουν συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων υψηλότερες των τιμών που παρατηρούνται σε άλλες εγκαταστάσεις στην Ελλάδα (Andreadakis *et al.*, 2001). Συγκεκριμένα, η αξιοποίηση της ιλύος που παράγεται από το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλειας είναι προς το παρόν ανέφικτη (Andreadakis *et al.*, 2001, Christoulas *et al.*, 2000), εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων ψευδάργυρου, οι οποίες υπερβαίνουν τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια όπως εκείνα καθορίζονται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 86/278.

Η σύσταση της ιλύος εξαρτάται από το ρυπαντικό φορτίο των προς επεξεργασία λυμάτων, από το είδος της επεξεργασίας των λυμάτων, καθώς επίσης και από την επεξεργασία της ιλύος. Η ιλύς έχει ξηρά ουσία περίπου 25-30% και αποτελείται κυρίως από πρωτεΐνες, λίπη, χουμικές ενώσεις, υδρογονάνθρακες, άζωτο, φώσφορο, κάλιο, νάτριο, αργίλιο, σίδηρο, μαγνήσιο ασβέστιο καθώς και κάποια βαρέα μέταλλα (Κουλουμπής, 2001). Τυπικά χαρακτηριστικά της ιλύος φαίνονται στον Πίνακα 2.3.1.1. Επισημαίνεται ότι οι κατηγορίες ιλύος που παρουσιάζονται στον εν λόγω πίνακα είναι οι ακόλουθες:

- A : πρωτοβάθμια ιλύς
- B1: βιολογική ιλύς (χαμηλή φόρτιση $>0,20 \text{ kg BOD5/kg MLSS}$)
- B2: βιολογική ιλύς (υψηλή και μέση φόρτιση $<0,20 \text{ kg BOD5/kg MLSS}$)
- C : μικτή ιλύς (πρωτοβάθμια και βιολογική)
- D : χωνευμένη ιλύς

Πίνακας 2.3.1.1: Τυπικά χαρακτηριστικά ιλύος ανάλογα με το στάδιο επεξεργασίας της (πηγή: Αγγελάκης κ.α., 2005).

Κατηγορία ιλύος	A	B1	B2	C	D
Ξηρά ουσία DS [kg/m ³]	12	9	7	10	30
Πτητικά στερεά VS	65	67	77	72	50
PH	6	7	7	6,5	7
C [%VS]	51,5	52,5	53	51	49
N [%VS]	4,5	7,5	6,3	7,1	6,2
C/N	11,4	7,1	8,7	7,2	7,9
P [%DS]	2	2	2	2	2
Cl [%DS]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
K [%DS]	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Al [%DS]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ca [%DS]	10	10	10	10	10
Fe [%DS]	2	2	2	2	2
Mg [%DS]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Λίπη [%DS]	18	8	10	14	10
Πρωτεΐνες [%DS]	24	36	34	30	18
Θερμική ισχύς [kWh/t DS]	4200	4100	4800	4600	3000

Οι υγρασία και το pH είναι σημαντικοί παράμετροι ποιότητας. Η υγρασία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 60-70% και το pH μεταξύ 5 - 8. Όταν η υγρασία είναι χαμηλή τότε παρεμποδίζεται μια ενδεχόμενη διαδικασία κομποστοποίησης. Η περιεκτικότητα της ιλύος σε άζωτο και φώσφορο είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη γεωργική της αξιοποίηση, ενώ οι τιμές τους πρέπει να κυμαίνονται στο 1,5 - 3g αζώτου ανά μονάδα ισοδύναμου πληθυσμού ανά ημέρα και στο 1,0-1,5g φωσφόρου ανά μονάδα ισοδύναμου πληθυσμού ανά ημέρα (Zessner και Nowak 1999).

Όσον αφορά στα βαρέα μέταλλα, η περιεκτικότητα της λάσπης σε αυτά μας απασχολεί ιδιαίτερα, διότι η παρουσία τους περιορίζει την μετέπειτα αξιοποίησή της. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων δε πρέπει να ξεπερνούν τις προβλεπόμενες (βλέπε Πίνακα 2.5.2, σελίδα 43), εξ αιτίας της τοξικότητάς τους τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τα φυτά. Πιο συγκεκριμένα ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το νικέλιο και το χρώμιο προκαλούν μείωση της αγροτικής παραγωγικότητας ενώ ο μόλυβδος, το κάδμιο και ο υδράργυρος προκαλούν βλάβες σε ανθρώπους και ζώα που καταναλώνουν αυτά τα φυτά (Kloepper-Sams *et al.*, 1996). Επιπλέον, οι τελικές συγκεντρώσεις τους στους ανώτερους καταναλωτές αυξάνονται πολύ λόγω του φαινομένου της βιοσυσσωρεύσης, γεγονός που πολλαπλασιάζει τον κίνδυνο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα

βαρέα μέταλλα που απαντώνται συχνότερα στη λάσπη καθώς και οι επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία.

Ο μόλυβδος είναι ένα μέταλλο που φυσιολογικά βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στην επιφάνεια της γης. Παρά ταύτα, ο μόλυβδος και τα παράγωγά του είναι ευρύτατα διασπαρμένα στο περιβάλλον όπως στο κρέας των ζώων, στα βρώσιμα φυτά, στον αέρα, στο πόσιμο νερό, στα ποτάμια, στις λίμνες, στους ωκεανούς και στη σκόνη. Η έκθεση του ανθρώπου σε μόλυβδο μπορεί να γίνει με την αναπνοή και την κατανάλωση νερού και τροφής που τον περιέχουν. Η έκθεση εμβρύων σε μόλυβδο είναι ιδιαίτερη επικίνδυνη και μπορεί να προκαλέσει πρόωρο τοκετό, χαμηλό βάρος ή και αποβολή. Τα μικρά παιδιά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στη βλαπτική του επίδραση, η οποία μπορεί να εκδηλωθεί με μείωση του δείκτη ευφυΐας, επιβράδυνση της ανάπτυξης και βλάβη της ακοής. Επίσης ευθύνεται για βλάβες στον εγκέφαλο και στους νεφρούς τόσο σε παιδιά όσο και σε ενήλικες (Μόρτογλου, κ.α., 2002). Σύμφωνα με τον Ανδρεαδάκη (2001), παιδιά που παίζουν σε εδάφη με συγκεντρώσεις μολύβδου μεταξύ 500-1000 mg ανά kg ξηρής ουσίας, εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα.

Όσον αφορά στο κάδμιο, μικρές συγκεντρώσεις προκαλούν εμετούς και διάρροια στον άνθρωπο ενώ μεγαλύτερες μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στο αναπνευστικό του σύστημα. Ο υδράργυρος είναι τοξικός, ωστόσο δεν προκαλεί προβλήματα μέσω της τροφικής αλυσίδας εξαιτίας της μικρής απορρόφησης του από τα φυτά και της μεγάλης απορρόφησης του από το έδαφος (Lassari *et al.*, 2000). Το χρώμιο ανιχνεύεται κυρίως στις ρίζες των λαχανικών, ενώ το νικέλιο συναντάται συχνότερα στα πράσινα λαχανικά και παρεμποδίζει την ανάπτυξη τους.

Τα βαρέα μέταλλα δεν καταστρέφονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, αν και απομακρύνονται σε ποσοστό μέχρι και 90%. Συγκεντρώνονται ως επί το πλείστον στην διαχωριζόμενη ιλύ. Τα μέταλλα βρίσκονται στην ιλύ κυρίως υπό τη μορφή αδιάλυτων θειούχων και ανθρακικών αλάτων ή συμπλοκών ιόντων, ή είναι ενσωματωμένα σε μικροοργανισμούς. Το ποσοστό και ο τρόπος απομάκρυνσης των βαρέων μετάλλων από την λάσπη διαφέρει. Ο Chipasa (2003) χαρακτηριστικά αναφέρει ότι η σειρά απομάκρυνσης των βαρέων μετάλλων από την ιλύ είναι η ακόλουθη $Cd < Pb < Cu < Zn$, δηλαδή ο ψευδάργυρος απομακρύνεται δυσκολότερα σε σχέση με το κάδμιο. Στον Πίνακα 2.3.1.2 παρουσιάζονται στοιχεία συγκεντρώσεων και συμπεριφοράς των βαρέων μετάλλων σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Μία δευτερεύουσα πηγή βαρέων μετάλλων για την λάσπη που παράγεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι η χημική κατεργασία της με μεταλλικά άλατα ή πολυ-ηλεκτρολύτες, κατά την χημική βελτίωση και προετοιμασία της για μηχανική αφυδάτωση. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα άλατα αλουμινίου και σιδήρου που συνήθως χρησιμοποιούνται, περιέχουν μη αμελητέες προσμίξεις καδμίου, χρωμίου, νικελίου και μολύβδου (Water Quality International 1998).

Πίνακας 2.3.1.1: Συμπεριφορά βαρέων μετάλλων πριν και κατά την επεξεργασία λυμάτων και ιλύος (πηγή: *U.S. EPA, Βαβίζος - Βιολογικός καθαρισμός*).

Στοιχείο	Συγκέντρωση σε ανεπεξ. λύματα (mg/l)	Μέση αναμενόμενη τιμή (mg/l)	Απομάκρυνση από τα λύματα (%)	Μέση συγκέντρωση στην λάσπη (mg/kg SS)
Cd	0,008 - 0,142	0,02	20-45	31
Cr	0,020 - 0,700	0,05	40-80	1,100
Cu	0,020 – 3,36	0,10	0-70	1,230
Hg	0,002 - 0,004	0,0013	20-75	6,6
Ni	0,0020 - 8,8	0,10	15-40	410
Pb	0,050 – 1,27	0,20	50-90	830
Zn	0,030 – 8,31	0,18	35-80	2,780

2.3.2 Μικροβιολογικές παράμετροι

Οι λάσπες που παράγονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ποικίλουν μεταξύ τους τόσο στην ποιότητα όσο και στην ποσότητα του οργανικού και ανόργανου περιεχομένου της, συμπεριλαμβανομένων των τύπων και των αριθμών των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται σε αυτή. Η φύση των λυμάτων και ως εκ τούτου η λάσπη που παράγεται από αυτά, είναι λογικό να περιέχει εντερικά παθογόνα, τα οποία είναι κυρίως ανθρώπινης προέλευσης.

Τα βακτήρια μπορούν να πολλαπλασιάσουν οπουδήποτε, αρκεί να υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες γι' αυτά. Τα περισσότερα βακτήρια αδρανοποιούνται σε θερμοκρασίες πάνω από τους 70 °C, σε σύντομη χρονική περίοδο. Ωστόσο και χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι εξίσου αποτελεσματικές όταν εφαρμόζονται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Εντούτοις, ορισμένα βακτήρια έχουν την ιδιότητα να παράγουν ενδοσπόρια, όπως τα κλωστρίδια, οπότε απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες προκειμένου να επιτευχθεί η πλήρη θανάτωση αυτών. Τα παθογόνα βακτήρια των θηλαστικών αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες μεταξύ 35-40 °C, ενώ είναι δύσκολο να πολλαπλασιάσουν γρήγορα σε θερμοκρασίες μικρότερες των 25 °C (Carrington, 2001).

Για τον πολλαπλασιασμό τους χρειάζονται επίσης τις κατάλληλες θρεπτικές ουσίες και νερό. Επειδή λοιπόν ο φυσικός βióτοπος αυτών των οργανισμών είναι το έντερο, οι θρεπτικές ουσίες δεν λείπουν από τα λύματα και τη λάσπη. Ο όρος «ακατάλληλες συνθήκες για πολλαπλασιασμό», δεν σημαίνει απαραίτητως ότι αυτές οι συνθήκες είναι και θανατηφόρες για τους μικροοργανισμούς. Μάλιστα μερικοί οργανισμοί έχουν εξελίξει περαιτέρω τις δομές τους (κύστες και σπόρια) προκειμένου να καταφέρουν να επιβιώσουν κάτω από ακατάλληλες συνθήκες. Σύμφωνα με την Hayes (1997), τα αυγά των ακάρεων και τα ενδοσπόρια που σχηματίζουν κάποια βακτήρια μπορούν να καταστραφούν κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης.

Οι ιοί είναι ανίκανοι να πολλαπλασιάσουν έξω από τα ζωντανά κύτταρα ενός οργανισμού, αλλά μπορούν να επιβιώσουν κάτω από δυσμενείς συνθήκες. Τα παράσιτα από την άλλη πλευρά, έχουν την ιδιότητα να επιβιώνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κάποιοι σκώληκες όπως οι *Taenia* spp. και *Ascaris* spp, έχουν εξελίξει τα αυγά τους ώστε να επιτύχουν τη μεταφορά τους από τον ένα οργανισμό στον άλλο. Συγκεκριμένα, τα αυγά του γένους *Ascaris* spp, μπορούν να επιβιώσουν μέχρι και τρία χρόνια κατά την αποθήκευση της ιλύος και έως εκατό ημέρες στο έδαφος (Deportes *et al.*, 1995). Επίσης παθογόνα πρωτόζωα όπως τα γένη *Cryptosporidium* και *Giardia* έχουν εξελίξει ένα μηχανισμό κύστεων για τον ίδιο σκοπό. Αυτές οι δομές είναι εξαιρετικά ανθεκτικές στις πιέσεις του περιβάλλοντος. Εντούτοις, αυτοί οι οργανισμοί δεν μπορούν να αναπαραχθούν έξω από έναν κατάλληλο οργανισμό και αυτό σημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις τους στις λάσπες είναι σχετικά χαμηλές.

Σύμφωνα με τον Strauch (1998) και την U.S. EPA (1999), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που συναντώνται στην ιλύ, η οποία παράγεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, συνοψίζονται στον πίνακα 2.3.2.1. Βέβαια ο κατάλογος αυτός είναι περιεκτικός και ο κίνδυνος από μερικούς μικροοργανισμούς είναι πολύ μικρός. Για παράδειγμα σε ύδατα με υψηλό οργανικό φορτίο το *Shigella* spp. θα επιζήσει μόνο μερικές ημέρες και το *Vibrio cholerae* δεν θα ανιχνευθεί μετά από μια εβδομάδα.

Πίνακας 2.3.2.1: Παθογόνοι μικροοργανισμοί που συναντώνται στην ιλύ που παράγεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Ιοί	Βακτήρια	Σκώληκες
<i>Poliovirus</i>	<i>Salmonella</i> spp.	<i>Taenia saginata</i>
<i>Coxsackie virus</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Taenia solium</i>
<i>Echovirus</i>	<i>Shigella</i> spp.	<i>Diphyllobothrium latum</i>
<i>'New' enterovirus</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Echinococcus granulosus</i>
<i>Adenovirus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Ascaris lumbricoides</i>
<i>Reovirus</i>	<i>Yersinia enterocolitica</i>	<i>Ancylostoma duodenale</i>
<i>Hepatitis A-virus</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Toxocara canis</i>
<i>Rotavirus</i>	<i>Clostridium botulinum</i>	<i>Streptococcus Toxocara cati</i>
<i>Astrovirus</i>	<i>Bacillus anthracis</i>	<i>Trichuris trichura</i>
<i>Calicivirus</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>	Μύκητες
<i>Coronavirus</i>	<i>Vibrio cholera</i>	<i>Aspergillus</i> spp.
<i>Norwalk-like calicivirus</i>	<i>Mycobacterium</i> spp.	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>Small round viruses</i>	<i>Leptospira</i> spp.	<i>Phialophora richardsii</i>
<i>Parvovirus</i>	<i>Campylobacter</i> spp.	<i>Trichophyton</i> spp.
<i>Adenoassociated viruses</i>	Ζύμες	<i>Epidermophyton</i> spp
<i>Influenza virus</i>	<i>Candida albicans</i>	
Πρωτόζωα	<i>Candida krusei</i>	
<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Candida tropicalis</i>	
<i>Giardia lamblia</i>	<i>Candida guilliermondii</i>	
<i>Toxoplasma gondii</i>	<i>Cryptococcus neoformans</i>	
<i>Sarcocystis</i>	<i>Trichosporon</i>	

Γενικά, τα βακτήρια που συναντώνται στη λάσπη είναι Gram + , διότι σύμφωνα με τους Juang και Hwu (2003) τα Gram – βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα σε ένα περιβάλλον με ασταθές οργανικό φορτίο και αιφνίδιες μεταβολές της θερμοκρασίας και του pH. Πιο αναλυτικά, το *Escherichia coli* είναι φυσικός έντοκος του ανθρώπινου γαστρεντερικού σωλήνα και κατατάσσεται στην ομάδα των κολοβακτηρίων. Σε ότι αφορά την *Salmonella* spp., πρόκειται για ένα Gram - βακτήριο το οποίο προκαλεί στον άνθρωπο γαστρεντερίτιδα, διάρροια, βακτηραιμία και εντερικούς πυρετούς (προκαλούνται από τη *Salmonella typhi* και τη *Salmonella paratyphi*). Οι συνηθέστεροι τρόποι μετάδοσης της είναι η μολυσμένη τροφή και το νερό, ενώ ευθύνεται για το 70% των λοιμώξεων από τρόφιμα (Μόρτογλου κ.α., 2002). Στον άνθρωπο προκαλεί λοίμωξη του ουροποιητικού καθώς και εντερολοιμώξεις. Η *Listeria monocytogenes* είναι ένας Gram + βάκιλος, ο οποίος δημιουργεί αποικίες στον γαστρεντερικό σωλήνα του ανθρώπου, στα ζώα, στα λαχανικά και στο έδαφος. Στον άνθρωπο προκαλεί λιστερίωση και μηνιγγίτιδα.

Η σαλμονέλα και η λιστέρια συναντώνται τακτικά σε λάσπη από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Ganzer *et al.*, 2001, Garrec *et al.*, 2003), γεγονός που επαληθεύεται και από την παρούσα ερευνητική εργασία. Σύμφωνα με τον Garrec (2003), η λιστέρια επιβιώνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα συγκριτικά με τη σαλμονέλα και εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους

για την ανθρώπινη υγεία σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό λάσπη μολυσμένη από αυτή. Πιο συγκεκριμένα η λιστέρια μπορεί να επιβιώσει στο έδαφος για 295 ημέρες. Η λιστέρια έχει ανιχνευθεί σε λαχανικά όπως το μαρούλι, το λάχανο και η πατάτα, στα οποία είχε χρησιμοποιηθεί σαν λίπασμα ιλύς από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Beuchat, 1996).

Το *Clostridium perfringens* είναι Gram + βάκιλος, υποχρεωτικά αναερόβιος, το οποίο έχει την ιδιότητα να σχηματίζει ενδοσπόριο όταν οι συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές. Το συναντάμε στο έδαφος αλλά και στη φυσική μικροχλωρίδα του εντέρου του ανθρώπου και των ζώων, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ως περιττωματικός δείκτης. Παρόλα αυτά μπορεί να λειτουργήσει και ως παθογόνο προκαλώντας στον άνθρωπο εντερολοιμώξεις και γάγγραινα μετά από κατανάλωση μiasμένων τροφών. Ωστόσο, για να προκύψουν συμπτώματα απαιτείται η κατανάλωση εκατομμυρίων βλαστικών κυττάρων του βακτηρίου ανά γραμμάριο τροφής (Κυριακού, 2002).

Παράμετροι που έχουν επιπτώσεις στη θανάτωση ή την αδρανοποίηση των προαναφερθέντων παθογόνων μικροοργανισμών είναι η θερμοκρασία, οι τοπικές ανταγωνιστικές συνθήκες καθώς και τα χαρακτηριστικά των ειδών ή των γενών τους. Όσον αφορά στη θερμότητα οι παθογόνοι μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται κατά τη διάρκεια της έκθεσης τους σε θερμοφιλικές θερμοκρασίες, όμως για να είναι αποτελεσματική και σχετικά γρήγορη η διαδικασία αυτή πρέπει η θερμοκρασία να είναι μεγαλύτερη της βέλτιστης θερμοκρασίας ανάπτυξής τους. Η περίοδος έκθεσης σε θερμοκρασίες της θερμοφιλικής περιοχής εξαρτάται από το ύψος της θερμοκρασίας και το είδος του οργανισμού (Carrington, 2001).

Η ποσότητα και τα είδη παθογόνων μικροοργανισμών στην λάσπη που παράγεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μπορούν να ποικίλουν αρκετά ανάλογα με το χρόνο, την γεωγραφική περιοχή, τις τοπικές περιστάσεις και την τρέχουσα υγεία του τοπικού πληθυσμού. Σύμφωνα με στοιχεία που δημοσίευσε ο Davis (1999), οι συγκεντρώσεις των μικροοργανισμών στην ανεπεξέργαστη ιλύ συνοψίζονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.3.2.

Πίνακας 2.3.2.2: Χαρακτηριστικές συγκεντρώσεις μικροοργανισμών (μικτό βάρος) σε μη επεξεργασμένη ιλύ.

	Μικροοργανισμοί	Συγκέντρωση
Βακτήρια	Escherichia coli	10^6 g^{-1}
	Salmonella spp.	$10^2\text{-}10^3 \text{ g}^{-1}$
Ιοί	Enterovirus	$10^2\text{-}10^4 \text{ g}^{-1}$
Πρωτόζωα	Giardia	$10^2\text{-}10^3 \text{ g}^{-1}$
Σκώληκες	Ascaris	$10^2\text{-}10^3 \text{ g}^{-1}$
	Toxacara	$10\text{-}10^2 \text{ g}^{-1}$
	Taenia	5 g^{-1}

Τα παραπάνω στοιχεία επαληθεύουν την πρόταση του Strauch (1998), ότι μια εγκατάσταση που παράγει υγιεινοποιημένη λάσπη θα πρέπει να είναι σε θέση να υποδείξει μια μείωση της τάξης του 10^4 στη συγκέντρωση της σαλμονέλας και να καθιστά τα αυγά των σκώληκων μη βιώσιμα. Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, η συγκέντρωση των εντεροϊών στην ανεπεξέργαστη λάσπη φτάνει το 10^4 g^{-1} ωστόσο μια μείωση εδώ της τάξης των $4 \log_{10}$ δε θα επέφερε αξιόλογες μεταβολές στις συγκεντρώσεις τους.

Πολλοί ερευνητές (Deportes *et al.*, 1998, Hassen *et al.*, 2001) έχουν προτείνει όρια για τους παρακάτω μικροβιακούς πληθυσμούς, προκειμένου να είναι ασφαλής η διάθεση της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία αστικών λυμάτων, τα οποία διαμορφώθηκαν ως εξής:

- ✓ 5×10^3 περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης,
- ✓ 5×10^2 κολίμορφα ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης και
- ✓ απουσία σαλμονέλας ανά 100 γραμμάρια ξηρής λάσπης.

Ο Strauch (1998) επίσης υποστηρίζει ότι αμέσως μετά από την επεξεργασία της ιλύος δε πρέπει να ανιχνευθεί σαλμονέλα, καθώς και ότι η συγκέντρωση των εντεροβακτηρίων (enterobacteriaceae) που περιέχονται σε ένα γραμμάριο επεξεργασμένης λάσπης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1000.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς για τη λάσπη που εκδίδονται από τον U.S. EPA “Class A”, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί πρέπει να είναι κάτω από τα όρια ανίχνευσης, τα οποία ορίζονται ως εξής:

- *Salmonella* spp. λιγότερο από 3 MPN (most probable number – τρόπος εκτίμησης του αριθμού των βακτηρίων) ανά 4 γραμμάρια λάσπης (ξηρό βάρος),
- *enteroviruses* - λιγότερο από 1 PFU (plaque forming units - τρόπος εκτίμησης του αριθμού των ιών) ανά 4 γραμμάρια λάσπης (ξηρό βάρος),
- βιώσιμα αυγά σκωλήκων - λιγότερο από 1 βιώσιμο αυγό ανά 4 γραμμάρια λάσπης (ξηρό βάρος),
- *E.coli* λιγότερο από 1000 ανά γραμμάριο λάσπης (ξηρό βάρος).

Προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και να διασφαλιστεί η ποιότητα της λάσπης πρέπει να εφαρμόζονται έλεγχοι σχετικά με την παρουσία κάποιων μικροοργανισμών δεικτών. Οι οργανισμοί – δείκτες πρέπει να είναι οργανισμοί που βρίσκονται συνήθως στις λάσπες και έχουν την παρόμοια ανθεκτικότητα στην επεξεργασία με αυτή των παθογόνων οργανισμών. Για το λόγο αυτό, ο Carrington (2001) προτείνει το *E. coli* ή τους εντερόκοκκους και το *Clostridium perfringens*. Σε ότι αφορά τη συγκέντρωση τους, το *E. coli* δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1000 ανά γραμμάριο λάσπης (ξηρό βάρος) και δοκιμαστικά συνιστάται τα σπόρια του *Clostridium perfringens* να μην υπερβαίνουν τα 3000 ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης (Carrington, 2001).

2.4 Μέθοδοι ολοκληρωμένης διαχείρισης ιλύος

2.4.1 Γενικά

Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν και συνεχίζονται να κατασκευάζονται Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων σε όλη τη χώρα, με στόχο την προστασία των υδάτινων αποδεκτών, σε εφαρμογή της Οδηγίας 91/271. Η λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων έχει σαν αποτέλεσμα να παράγονται σημαντικές ποσότητες ιλύος καθώς και άλλα παραπροϊόντα (εσχαρίσματα, άμμος). Τα παραπροϊόντα αυτά απαιτούν ασφαλή και περιβαλλοντικά αποδεκτή διαχείριση. Τα προϊόντα αυτά διαθέτουν μεγάλο αριθμό πολύτιμων συστατικών όπως θρεπτικά, οργανική ύλη κτλ., καθώς και υψηλή θερμική αξία, με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλα για ένα μεγάλο εύρος χρήσεων. Από την άλλη πλευρά, η ιλύς είναι φορέας ανεπιθύμητων ρυπαντών όπως τα βαρέα μέταλλα, τα συνθετικά οργανικά, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, που απαιτούν προσεκτική διαχείριση και όχι ανεξέλεγκτη διάθεση.

Επειδή οποιαδήποτε μέθοδος διαχείρισης των προϊόντων αυτών συνοδεύεται από σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως αέριες εκπομπές, ρύπανση του εδάφους και των υδάτων (υπόγειων και επιφανειακών), απαιτείται προσεκτική και ολοκληρωμένη διαχείριση, μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Ορισμένα συστατικά που περιέχονται στην ιλύ, όπως π.χ. οργανικά,

άζωτο, φώσφορος, κάλιο και ασβέστιο, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, ενώ άλλα συστατικά, όπως π.χ. τα βαρέα μέταλλα και παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι «ρυπαντές», και η παρουσία τους κάνει επιτακτική την ανάγκη για ασφαλή και περιβαλλοντικά αποδεκτή διάθεση στο περιβάλλον.

Οι κυριότερες μέθοδοι διάθεσης της ιλύος σε διάφορες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η γεωργική αξιοποίηση, η καύση, η υγειονομική ταφή και η θαλάσσια διάθεση, οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 2.3.1. Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζονται τα τελικά ποσοστά διάθεσης των ετών 1984 και 1992. Όπως παρατηρούμε η Ελλάδα εμφανίζει το μικρότερο ποσοστό γεωργικής διάθεσης της ιλύος συγκριτικά με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, ενώ γίνεται εμφανές ότι η υγειονομική ταφή της ιλύος είναι πολύ διαδεδομένη στη χώρα μας.

Πίνακας 2.4.1.1: Μέθοδοι διάθεσης της ιλύος σε χώρες της Ε.Ε. (πηγή Ε.Ε. 2000).

Χώρα	Γεωργική Αξιοποίηση (%)		Υγειονομική ταφή (%)		Καύση (%)		Θαλάσσια Διάθεση (%)	
	1984	1992	1984	1992	1984	1992	1984	1992
Αγγλία	53	44	16	8	7	7	24	30
Βέλγιο	28	29	51	55	21	15	0	0
Γερμανία	32	27	59	54	9	14	0	0
Δανία	44	54	30	20	26	24	0	0
Γαλλία	28	58	52	27	20	15	0	0
Ελλάδα	0	10	100	90	0	0	0	0
Ιταλία	34	33	55	55	11	2	0	0
Ιρλανδία	30	12	17	45	0	10	52	35
Ισπανία	62	50	10	35	28	5	0	10
Σουηδία	60	40	40	60	0	0	0	0
Ολλανδία	64	26	28	51	3	3	5	0

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι σημαντικότερες μέθοδοι ολοκληρωμένες διαχείρισης της ιλύος (γεωργική αξιοποίηση, υγειονομική ταφή, καύση, κομποστοποίηση, χρήση στη δασοκομία-δασοπονία και αποκατάσταση εδαφών).

2.4.2 Γεωργική αξιοποίηση

Η αρχή της γεωργικής αξιοποίησης των αστικών λυμάτων έχει μακρά ιστορία και συνίστανται στην επαναφορά στη φύση οργανικών υλικών ανθρώπινης προέλευσης και στην αποκατάσταση

του οικολογικού κύκλου. Από τη βιολογική επεξεργασία των αστικών λυμάτων παράγεται ιλύς με ξηρά ουσία περίπου 25-30%, πλούσια σε χουμικά συστατικά και με περιεκτικότητα σε άζωτο και φώσφορο που φθάνει το 1,5-3,5% και 0,75-4,0% αντίστοιχα (Στάμου, 1995).

Από την αξιοποίηση της ιλύος για γεωργικούς σκοπούς απορρέουν πολλαπλά πλεονεκτήματα για τον άνθρωπο και το περιβάλλον τα οποία συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- ✓ Εξοικονόμηση χώρου στους ΧΥΤΑ εφόσον μειώνονται οι ποσότητες ιλύος που καταλήγουν εκεί.
- ✓ Ελάττωση της χρήσης χημικών λιπασμάτων στις καλλιεργούμενες εκτάσεις.
- ✓ Βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους και προφύλαξη των εδαφών από τη διάβρωση και την ερημοποίηση.
- ✓ Εξοικονόμηση χρημάτων δεδομένου ότι η γεωργική αξιοποίηση της ιλύος είναι η οικονομικότερη μέθοδος (Κουλουμπής, 2001).

Βασικό μειονέκτημα της γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος είναι ότι για την εφαρμογή της στο έδαφος καταναλίσκονται καύσιμα ενώ παράλληλα απαιτούνται χώροι αποθήκευσης της ιλύος. Η βέλτιστη πρακτική τελικής διάθεσης της ιλύος είναι η εφαρμογή της στο έδαφος για εμπλουτισμό του με θρεπτικά συστατικά. Η επιλογή αυτή έχει ήδη ενταχθεί στον ελληνικό σχεδιασμό της διαχείρισης αποβλήτων (Κ.Υ.Α. 113944/97) και ενδείκνυται να υλοποιείται με κομποστοποίηση σταθεροποιημένης, αφυδατωμένης ιλύος με αστικά απόβλητα. Σε περιπτώσεις που η επεξεργασμένη ιλύς δεν πληροί τις ισχύουσες προϋποθέσεις ποιότητας, εξετάζονται οι υπόλοιπες πρακτικές δηλαδή η καύση και η υγειονομική ταφή της ιλύος.

Η διάθεση της ιλύος στο έδαφος είναι λοιπόν μια μέθοδος ανακύκλωσης των συστατικών της ιλύος με γεωργική αξία. Όλα τα είδη της ιλύος (υγρή, ημι-στερεή, στερεή και ξηραμένη ιλύς) μπορεί να εφαρμοστούν στο έδαφος. Ωστόσο, η χρήση κάθε είδους εμπεριέχει πρακτικούς περιορισμούς στην αποθήκευση, μεταφορά και στη μέθοδο εφαρμογής.

Για τη διάθεση της ιλύος στην γεωργία θα πρέπει να εξασφαλίζονται τα παρακάτω:

- 1) περιορισμένη εισαγωγή βαρέων μετάλλων στην αγροτική γη,
- 2) χαμηλή συγκέντρωση συνθετικών οργανικών ενώσεων στην ιλύ,
- 3) ελάχιστη έως μηδενική έκθεση σε παθογόνους μικροοργανισμούς,
- 4) προστασία των υπογείων και επιφανειακών υδάτων από την διασπορά της ιλύος στην επιφάνεια και
- 5) η μη δημιουργία ενοχλητικών συνθηκών (π.χ. από δυσοσμίες).

Όσον αφορά στα βαρέα μέταλλα η Οδηγία 86/278/ΕΟΚ καθορίζει τις οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην επεξεργασμένη ιλύ που προορίζεται να διατεθεί στο έδαφος, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 2.4.2.1. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων δε πρέπει να ξεπερνούν τις προβλεπόμενες, εξ αιτίας της τοξικότητας τους τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τα φυτά. Πιο συγκεκριμένα ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το νικέλιο και το χρώμιο προκαλούν μείωση της αγροτικής παραγωγικότητας ενώ ο μόλυβδος, το κάδμιο και ο υδράργυρος προκαλούν βλάβες σε ανθρώπους και ζώα που καταναλώνουν αυτά τα φυτά (Kloepper-Sams *et al.*, 1996).

Για την χρήση της ιλύος στην γεωργία κρίσιμη παράμετρο αποτελεί η περιεκτικότητα της σε βαρέα μέταλλα. Τα βαρέα μέταλλα δεν καταστρέφονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, αν και απομακρύνονται σε ποσοστό μέχρι και 90% από το υδατικό ρεύμα. Συγκεντρώνονται ως επί το πλείστον στην διαχωριζόμενη ιλύ. Τα μέταλλα βρίσκονται στην ιλύ κυρίως σε μορφή αδιάλυτων θειούχων και ανθρακικών αλάτων ή συμπλοκών ιόντων, ή είναι ενσωματωμένα σε μικροοργανισμούς.

Πίνακας 2.4.2.1 : Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην ιλύ που πρόκειται να διατεθεί στο έδαφος (σε mg/kg ξηράς ουσίας)

Παράμετροι	Οριακές τιμές
κάδμιο	20-40
χαλκός	1000-1750
νικέλιο	300-400
μόλυβδος	750-1200
ψευδάργυρος	2500-4000
υδράργυρος	16-25
χρώμιο	-

Ενδείκνυται η γεωργική αξιοποίηση της ιλύος από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων μικρής δυναμικότητας (Kuai *et al.*, 2000), όπως άλλωστε αποδεικνύεται και από την μελέτη που εκπονήθηκε από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για 18 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα. Παρατηρήθηκε ότι στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας (ΚΕΛ Ψυττάλειας και ΚΕΛ Μεταμόρφωσης) εμφανίζονται συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων υψηλότερες των τιμών που παρατηρούνται σε άλλες εγκαταστάσεις στην Ελλάδα.

Σε ότι αφορά τους παθογόνους μικροοργανισμούς, στην αναθεώρηση της Οδηγίας 86/278/ΕΕ τίθενται περιορισμοί ως προς το μικροβιακό φορτίο της ιλύος που προορίζεται για γεωργική αξιοποίηση και ειδικότερα καθορίζονται δύο κατηγορίες ιλύος:

1) Ιλύς που έχει υποστεί προηγμένη επεξεργασία:

- Σαλμονέλλα: 0/50 gr DS
- Ελάχιστη μείωση *Escherichia coli* 6 log10

2) Ιλύς που έχει υποστεί συμβατική επεξεργασία:

- Ελάχιστη μείωση *Escherichia coli* 2 log10.

Σύμφωνα με τον Carrington (2001), οι περιορισμοί για το μικροβιακό φορτίο της λάσπης πρέπει να είναι ιδιαίτερα αυστηροί όταν εγκυμονεί σοβαρός κίνδυνος για την υγεία του καταναλωτή. Η τύχη των παθογόνων μικροοργανισμών που αποτίθενται στο έδαφος μέσω της επεξεργασμένης ιλύος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (Gerda, 1983). Η επιβίωση τους είναι μικρότερη το καλοκαίρι από το χειμώνα, σε εδάφη με όξινο pH από τα αλκαλικά εδάφη, σε περιόδους με περιορισμένη ξηρασία από τις υγρές εποχές, στην επιφάνεια του εδάφους από τα βαθύτερα στρώματα, σε εδάφη με έντονο ανταγωνισμό από στείρα εδάφη, σε εδάφη με λίγες οργανικές ουσίες από πλούσια εδάφη σε θρεπτικά συστατικά. Ο μηχανισμός απομάκρυνσης των ιών φαίνεται να είναι κυρίως η προσρόφησή τους από στοιχεία του εδάφους. Ορισμένοι τύποι εδάφους όπως τα πηλώδη εδάφη έχουν μεγαλύτερη προσροφητική ικανότητα από άλλα, όπως τα αμμώδη (Μαυρίδου Α και Παπαπετροπούλου Μ. 1995).

Ο ρυθμός μείωσης των παθογόνων μικροοργανισμών ποικίλει ανάλογα με το είδος. Τα κοπρανώδη βακτήρια όπως το *Salmonella* και το *E. coli* μειώνονται κατά μέσο όρο κατά ένα λογάριθμο την ημέρα, ενώ αν οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα δυσμενείς τότε η μείωση μπορεί να φτάσει τους έξι λογάριθμους. Από την άλλη πλευρά ο μέσος όρος ημερήσιας μείωσης των ιών ανέρχεται μόλις στους 0.1 λογάριθμους (Reddy *et al*, 1981). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας δε συνιστάται η προσέλευση ανθρώπων και ζώων σε καλλιέργειες μέχρι και ένα μήνα μετά την εφαρμογή ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Τα παθογόνα βακτήρια και οι ιοί σύμφωνα με τον Kowal (1982) δεν έχουν την ικανότητα να προσροφηθούν στο εσωτερικό των καρπών παρά μόνο σε περίπτωση τραυματισμού του φλοιού του, ενώ ο χρόνος επιβίωσης αυτών στην επιφάνεια των καρπών μπορεί να φτάσει τις έξι εβδομάδες. Αντίθετα, η επιβίωση των παρασίτων και των αυγών σκωλήκων στην επιφάνεια των καρπών είναι ακόμα μικρότερη. Κατά τον Carrington (2001), η λάσπη που υπόκεινται σε προηγμένη επεξεργασία δεν αναμένεται να αυξήσει τις συγκεντρώσεις των παθογόνων

μικροοργανισμών του περιβάλλοντος στο οποίο θα εφαρμοσθεί και δεν αποτελεί κίνδυνο για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά.

Μία ακόμη προϋπόθεση που θα πρέπει να εξασφαλίζεται πριν τη γεωργική εφαρμογή της ιλύος είναι η προστασία επιφανειακών και υπόγειων νερών. Αξιοσημείωτο είναι ότι η ελεγχόμενη χρήση της ιλύος στη γεωργία στην πραγματικότητα συμβάλλει στην προστασία των επιφανειακών νερών διότι η οργανική ύλη που περιέχεται στην ιλύ ενισχύει τη δημιουργία δεσμών μεταξύ των κόκκων του εδάφους και βελτιώνει την δομή του. Έτσι όσο καλύτερη είναι η δομή του εδάφους τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του απέναντι στην ανεπιθύμητη διάβρωση (Smith *et al*, 2001 ; Engel *et al*, 2001). Επιπλέον, η προσθήκη ιλύος αυξάνει την ικανότητα του εδάφους να κατακρατεί το νερό. Σε ότι αφορά την προστασία των υπογείων υδάτων, αξίζει να αναφερθεί ότι η χρήση ιλύος στην γεωργική γη εγκυμονεί κινδύνους ρύπανσης αυτών από νιτρικά.

Τέλος μία βασική ενόχληση που μπορεί να προκληθεί κατά την εφαρμογή ιλύος στη γεωργική γη, αφορά τις δυσοσμίες. Αιτία των δυσοσμιών είναι η βιολογική δράση στη μάζα της ιλύος. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι με την απαιτούμενη επεξεργασία για τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, αδρανοποιείται το μεγαλύτερο ποσοστό των οργανικών, με αποτέλεσμα στη περίπτωση προηγμένης επεξεργασίας να είναι σχεδόν απίθανο να εμφανιστεί ανάπτυξη δυσοσμιών.

2.4.3 Υγειονομική ταφή

Μέχρι σήμερα η υγειονομική ταφή αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο διάθεσης της ιλύος που παράγεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στον ελληνικό χώρο (βλέπε πίνακα 2.4.1.1 σελίδα 28). Στο άμεσο μέλλον όμως, επιβάλλεται να υπάρξει περιορισμός αυτής της μεθόδου, όπως άλλωστε προβλέπεται από την εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας σχετικά με την υγειονομική ταφή αποβλήτων (Οδηγία 1999/31/ΕΕ), που έχει ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο. Σύμφωνα με την παραπάνω Οδηγία, θα πρέπει τα βιοαποικοδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για διάθεση σε ΧΥΤΑ να μειωθούν:

- 1) μέχρι την 16^η Ιουλίου 2010 στο 75% της συνολικής ποσότητας αυτών που είχαν παραχθεί το 1995,
- 2) μέχρι την 16^η Ιουλίου 2013 στο 50% της συνολικής ποσότητας αυτών που είχαν παραχθεί το 1995 και
- 3) μέχρι την 16^η Ιουλίου 2020 στο 35% της συνολικής ποσότητας αυτών που είχαν παραχθεί το 1995.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, γίνεται εμφανές ότι στο άμεσο μέλλον η λύση της υγειονομικής ταφής μπορεί να επιλέγεται μόνο όταν δεν υπάρχει άλλος εναλλακτικός τρόπος διάθεσης, με την προϋπόθεση του σωστού σχεδιασμού του ΧΥΤΑ (στεγανότητα, ανακυκλοφορία στραγγιδίων, έντεχνο χειρισμό βιοαερίου κτλ.). Η διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ δεν βλάπτει την λειτουργία των ΧΥΤΑ, αντίθετα είναι πολύ πιθανό ότι την ωφελεί, αφού επιταχύνει τις βιολογικές διεργασίες σταθεροποίησής της (Αγγελάκης κ.α., 2005).

Οι εισροές σε έναν ΧΥΤΑ περιλαμβάνουν τα απορρίμματα και την ιλύ επεξεργασμένων λυμάτων ενώ επιπροσθέτως απαιτείται η χρήση καυσίμων, οχημάτων, ηλεκτρικής ενέργειας, και πρόσθετα μέτρα και υλικά για την επεξεργασία των στραγγισμάτων, καθώς επίσης για την συλλογή και ενδεχόμενη αξιοποίηση του βιοαερίου. Οι εκροές από έναν ΧΥΤΑ περιλαμβάνουν στραγγίσματα, βιοαέριο και παραγωγή ενέργειας, όταν πραγματοποιείται ανάκτηση του βιοαερίου. Αποτέλεσμα της υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και ιλύος είναι εκπομπές στον αέρα, στο έδαφος και στα νερά.

Πέρα από τον περιορισμό σχετικά με τη διάθεση βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων σε ΧΥΤΑ, η ιλύς που πρόκειται να διατεθεί σε ΧΥΤΑ θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της νομοθεσίας για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (Κ.Υ.Α. 29407/3508/2002, Κ.Υ.Α. 50910/2727/2003, Οδηγία 1999/31/ΕΕ και Οδηγία 2003/33/ΕΕ).

Στην ελληνική νομοθεσία δεν τίθενται περιορισμοί ως προς τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων, που διατίθενται σε ΧΥΤΑ. Ανεξάρτητα λοιπόν από το ισχύον νομικό πλαίσιο, η διάθεση ιλύος σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων είναι εφικτή υπό την προϋπόθεση ότι θα έχει επαρκή μηχανικά χαρακτηριστικά για την ασφαλή διάθεσή της. Για την βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της αφυδατωμένης ιλύος δύναται να εφαρμοστούν οι παρακάτω μέθοδοι βελτίωσης:

- ανάμιξη με εδαφικά υλικά και
- ανάμιξη με άνυδρο ή σβησμένο ασβέστη.

Η ιλύς μετά από κομποστοποίηση ή ξήρανση έχει ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά για διάθεση σε ΧΥΤΑ, ωστόσο είναι πλούσια σε βιοδιασπάσιμες ύλες και σύμφωνα με την νομοθεσία θα πρέπει να αποφεύγεται η διάθεσή της. Στην υποενότητα που ακολουθεί γίνεται αναλυτική περιγραφή της μεθόδου της κομποστοποίησης της ιλύος που παράγεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

2.4.4 Κομποστοποίηση

Πολλές φορές η ιλύς που παράγεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων δεν είναι κατάλληλη για απευθείας αξιοποίηση και απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία τους της. Μία από τις πλέον ενδεδειγμένες μεθόδους επεξεργασίας της είναι η κομποστοποίηση.

Κομποστοποίηση είναι μία βιολογική μετατροπή των αποβλήτων, υπό ελεγχόμενες πάντα συνθήκες, σε ένα υγιεινοποιημένο, πλούσιο σε χουμικά συστατικά, σχετικά βιοσταθερό προϊόν, το οποίο βελτιώνει τα εδάφη και συμβάλλει στην ανάπτυξη των φυτών (Mathur, 1991). Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για μία αερόβια διαδικασία, η οποία πραγματοποιείται από διαδοχικούς μικροβιακούς πληθυσμούς, συνδυάζοντας θερμοφίλες και μεσόφιλες δραστηριότητες, από τις οποίες παράγεται διοξείδιο του άνθρακα, νερό, μέταλλα και σταθεροποιημένη οργανική ιλύς (Ισραηλίδης, 2001). Επειδή η κομποστοποίηση γίνεται σε θερμοκρασίες 55-70°C, έχει σαν αποτέλεσμα την αδρανοποίηση πολλών παθογόνων μικροοργανισμών.

Η διαδικασία της κομποστοποίησης πραγματοποιείται κάτω από αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες. Στην πρώτη περίπτωση, παράγονται διοξείδιο του άνθρακα, νερό και θερμότητα, ενώ στη δεύτερη μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα συστατικά όπως οργανικά οξέα και αλκοόλες. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην αναερόβια κομποστοποίηση παράγονται περισσότερες μυρωδιές και απελευθερώνεται λιγότερη ενέργεια ανά βάρος αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης σε σχέση με την αερόβια κομποστοποίηση (Haug, 1993).

Μέσω της κομποστοποίησης μειώνονται στο ελάχιστο οι οργανικές ενώσεις που θα μπορούσαν να είναι τοξικές για τα φυτά, καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, ελαχιστοποιούνται οι ανεπιθύμητοι σπόροι, σταθεροποιείται το οργανικό υλικό, μειώνονται σημαντικά οι δυσάρεστες οσμές και αυξάνονται οι δυνατότητες αξιοποίησης του τελικού προϊόντος (de Bertoli *et al.*, 1996).

Τα συστήματα κομποστοποίησης, ανάλογα με τον τρόπο αερισμού, διακρίνονται σε ανοιχτά και κλειστά. Στα ανοιχτά συστήματα κομποστοποίησης ανήκει το σύστημα των αναστρεφόμενων δίσκων και το σύστημα των αεριζόμενων στατικών σωρών. Και στα δύο παραπάνω συστήματα η κομποστοποίηση γίνεται σε ανοιχτούς χώρους, ενώ το κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού είναι χαμηλό (Andreadakis *et al.*, 2001).

Τα προϊόντα της κομποστοποίησης χρησιμοποιούνται κυρίως στη γεωργία, ως υποστρώματα για την ανάπτυξη φυτών και μανιταριών. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπλαση τοπίων και για την προστασία εδαφών από την διάβρωση και την ερημοποίηση.

Βασικό στοιχείο της διαδικασίας της κομποστοποίησης είναι η ικανοποιητική ωρίμανση του προϊόντος. Η ωριμότητα αναφέρεται στο βαθμό βιολογικής, χημικής και φυσικής σταθερότητας του κομπόστ. Η κομποστοποίηση είναι αποτελεσματική έναντι των κύστεων, των πρωτόζωων, των αυγών των σκωλήκων, των παθογόνων βακτηρίων και των ιών, αν η επεξεργασία διαρκέσει τουλάχιστον 50 ημέρες (Gerda, 1983). Η γεωργική αξιοποίηση ενός μη ώριμου κομπόστ μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα τοξικότητας στα φυτά, διότι η αποικοδόμηση των υλικών συνεχίζεται στο έδαφος με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πολλά ενδιάμεσα τοξικά προϊόντα όπως φαινόλες, αμμωνία κ.α. Ένα ακόμη πρόβλημα που μπορεί να προκύψει, λόγω της γεωργικής εφαρμογής μη ώριμου κομπόστ, είναι η έκλυση δυσάρεστων οσμών εξαιτίας της αποικοδόμησης του κομπόστ στο έδαφος κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Τέλος επηρεάζεται και η βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων όταν εφαρμοσθεί στο έδαφος ανώριμο κομπόστ, επειδή δεν έχουν αναπτυχθεί τα χουμικά υλικά που τα δεσμεύουν. Μάλιστα μελέτες έδειξαν ότι όσο αυξάνει η ωριμότητα του κομπόστ τόσο μειώνεται η βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων, γεγονός που περιορίζει την πιθανότητα εξάπλωσης τους στην τροφική αλυσίδα και γενικότερα στο περιβάλλον (Ciavatta *et al.*, 1993).

2.4.5 Καύση

Σκοπός της θερμικής επεξεργασίας είναι η ελάττωση του όγκου της ιλύος, η μετατροπή της σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου και η κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της ευρισκόμενης στην ιλύ ενέργειας ως θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα ή καύσιμο υλικό.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι θερμικής επεξεργασίας της ιλύος όπως η καύση, η θερμική οξείδωση, η πυρόλυση κτλ. Η Οδηγία 2000/76 θέτει τα όρια εκπομπών για τις μονάδες αποτέφρωσης. Πιο αναλυτικά διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες σχετικά με την αποτέφρωση της ιλύος:

- χωριστή αποτέφρωση όπου η ιλύς αποτεφρώνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης,
- αποτέφρωση της ιλύος μαζί με στερεά απόβλητα, κυρίως οικιακά απορρίμματα,
- αποτέφρωση της ιλύος σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η ιλύς χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε εγκαταστάσεις των οποίων σκοπός είναι η παραγωγή ενέργειας όπως οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας ή άλλων προϊόντων για παράδειγμα μονάδες παραγωγής τσιμέντου.

Τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της καύσης συνοψίζονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.4.5.1.

Πίνακας 2.4.5.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της καύσης.

Πλεονεκτήματα:	Μειονεκτήματα:
▪ μείωση του όγκου (κατά 95%), ▪ καταστροφή μικροοργανισμών, ▪ μείωση τοξικών ουσιών, ▪ δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας, από τα αέρια της καύσης με την παραγωγή ατμού σε ατμολέβητες.	▪ υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας ▪ υψηλές ανάγκες συντήρησης και απαιτήσεις σε εξειδικευμένο προσωπικό, ▪ αέρια ρύπανση που απαιτεί εξειδικευμένη και υψηλής τεχνολογίας και κόστους επεξεργασία καυσαερίων.

Οι εισροές σε μια μονάδα καύσης περιλαμβάνουν ιλύ, ενδεχομένως και απορρίμματα, νερό, καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση και τέλος βοηθητική ύλη όπως ανθρακικό ασβέστιο, ιδιαίτερα για την επεξεργασία των αερίων που παράγονται. Οι εκροές μίας μονάδας καύσης είναι η πιθανή ανάκτηση ενέργειας, τα αέρια που παράγονται, η τέφρα και τα υγρά απόβλητα. Συνεπώς η αποτέφρωση δημιουργεί εκπομπές στον αέρα, στο έδαφος και στο νερό. Οι αποτεφρωτές λοιπόν εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες αερίων ρύπων, οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, μέταλλα, μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO_x), διοξείδιο του θείου (SO₂) και άκαυστοι υδρογονάνθρακες (βλέπε Πίνακα 2.4.5.2).

Οι εκπομπές εξαρτώνται από παράγοντες όπως:

- ο τύπος αποτεφρωτή,
- οι συνθήκες καύσης,
- οι τεχνικές ελέγχου των εκπομπών και
- η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά της ιλύος.

Γενικά οι εκπομπές εξαρτώνται από την διεργασία, αλλά επιπλέον και από το είδος της ιλύος. Για να μειωθούν οι εκπομπές, θα πρέπει να προβλεφθεί επεξεργασία καυσαερίων, καθώς επίσης και υγρών αποβλήτων.

Πίνακας 2.4.5.2: Αποτέφρωση ιλύος , αέρια απόβλητα και ρύποι προτεραιότητας (Πηγή: U.S. EPA, July 1995)

Ρύπος	Εκπομπές / Παρατηρήσεις
Αιωρούμενα σωματίδια	Εξαρτώνται από τον τύπο του αποτεφρωτή. Αυξάνουν με την υγρασία και το ποσοστό των πτητικών στην ιλύ.
Μέταλλα και ενώσεις τους	Εξαρτώνται από την περιεκτικότητα στην ιλύ, την θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και τις εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων. Καθώς τα περισσότερα μέταλλα (εκτός του πτητικού υδραργύρου) επικάθονται στα αιωρούμενα σωματίδια, η απομάκρυνση τους εξαρτάται από την καλή αποκονίωση.
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Σχηματίζεται στις περιπτώσεις που ο αέρας καύσης είναι χαμηλότερος του στοιχειομετρικά απαιτούμενου, ή όταν υπάρχει πολύ υψηλή περίσσεια, με αποτέλεσμα την ταπείνωση της θερμοκρασίας καύσης.
NO _x , SO ₂	Εξαρτώνται από την εκάστοτε ποιότητα της ιλύος καθώς και από της εποχιακές της μεταβολές.
TOC (VOC)	Εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του αποτεφρωτήρα και τις θερμοκρασιακές συνθήκες της αποτέφρωσης.
HCl, HF, οργανοχλωριωμένες ενώσεις	Εξαρτώνται από την αρχική περιεκτικότητα στην ιλύ, τις συνθήκες καύσης και την αποτελεσματικότητα της αέριας αντιρύπανσης.

Όσον αφορά στη αξιοποίηση της ιλύος στην βιομηχανία, μπορεί να πραγματοποιηθεί με καύση της σε θερμικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας μαζί με ορυκτά καύσιμα, ή σε εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου υποκαθιστώντας τον ορυκτό άνθρακα. Για την χρήση της ιλύος ως καύσιμο δεν είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση της ιλύος, αφού η μη σταθεροποιημένη ιλύς έχει μεγαλύτερη θερμική αξία. Παρότι είναι εφικτό η ιλύς να έχει υποστεί μόνο αφυδάτωση στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων είναι εξαιρετικά αμφίβολο εάν μία τέτοια λύση θα γίνει αποδεκτή από την βιομηχανία. Επειδή ο όγκος της ιλύος είναι πολύ μεγάλος, επιβαρύνονται σημαντικά οι μεταφορές, ενώ η υψηλή υγρασία επιδρά αρνητικά κατά τη διαδικασία της καύσης. Επίσης δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο μόλυνσης κατά τον χειρισμό του υλικού. Για το λόγο αυτό η βέλτιστη επεξεργασία της ιλύος για επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία είναι η θερμική ξήρανση μη σταθεροποιημένης λάσπης,

αφού έτσι εξασφαλίζεται μικρός όγκος μεταφερόμενου υλικού και υψηλή καθαρή θερμική αξία της ιλύος. Η χρήση της ιλύος στη βιομηχανία έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως:

- υποκαθιστά φυσικά διαθέσιμα ορυκτά καύσιμα και
- περιορίζει τις συνολικές εκπομπές CO₂ και CH₄ συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Σε περίπτωση χρήσης της ιλύος σε τσιμεντοβιομηχανία παρέχονται επιπλέον τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- ✓ δεν αφήνει στάχτες και υπολείμματα, αφού το μη πτητικό μέρος της ιλύος ενσωματώνεται με μορφή αδιάλυτων ενώσεων στο παραγόμενο τσιμέντο, με αποτέλεσμα την μη επιβάρυνση των ΧΥΤΑ από τις στάχτες,
- ✓ μαζί με τα ανόργανα υπολείμματα ενσωματώνονται και όλα τα περιεχόμενα στην ιλύ βαρέα μέταλλα σε ποσοστό μεγαλύτερο από 99%, τα οποία αφού οξειδωθούν στις υψηλές θερμοκρασίες καύσης γίνονται αδιάλυτα συστατικά του τσιμέντου. Εξάιρεση αποτελεί ο πτητικός υδράργυρος, ο οποίος μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Για την χρήση της ιλύος στη βιομηχανία θα πρέπει να ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια που ορίζει η Οδηγία 2000/76/ΕΕ για την συν-αποτέφρωση (αέρια ρύπανση, στάχτες, υγρά απόβλητα κτλ.).

Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι όταν η ιλύς δε μπορεί να αξιοποιηθεί γεωργικά, τότε υπάρχουν και άλλες δυνατότητες. Μετά από αφυδάτωση, ξήρανση και θερμική επεξεργασία μπορεί η ιλύς να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ασφάλτου, τσιμέντου και κεραμικών ειδών ή εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις καύσης, χωρίς μεγάλη λειτουργική ενόχληση ή δημιουργία αξιόλογης αέριας ρύπανσης (Κουλουμπής, 2001).

2.4.6 Χρήση στη δασοπονία και δασοκομία

Η χρήση της ιλύος από την επεξεργασία λυμάτων στην δασοκομία και δασοπονία είναι μία εναλλακτική της επαναχρησιμοποίησης στη γεωργία, ωστόσο υπάρχουν σημαντικές διαφορές, οι οποίες οφείλονται μεταξύ άλλων παραγόντων και στην ιδιαιτερότητα των ειδών που αναπτύσσονται σε κάθε περίπτωση. Η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στην δασοκομία και δασοπονία δεν έχει διερευνηθεί στον ίδιο βαθμό με την επαναχρησιμοποίηση στη γεωργία και για τον λόγο αυτό λίγες βιβλιογραφικές πληροφορίες είναι διαθέσιμες. Πάντως σύμφωνα με τους Selivaonskaya *et al.* (2001), η εφαρμογή ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων σε δασικές εκτάσεις στη Ρωσία είχε θετικά αποτελέσματα δεδομένου ότι ευνοήθηκε η ανάπτυξη

των φυτών ενώ δεν παρατηρήθηκαν αξιόλογες μεταβολές στις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και μικροβιακών πληθυσμών στο έδαφος.

Η εφαρμογή της ιλύος σε δασικές εκτάσεις αποτελεί μια ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή διότι τα προβλήματα υγιεινής και οσμών δεν είναι τόσο περιοριστικά συγκριτικά με την εφαρμογή ιλύος σε γεωργικές καλλιέργειες (Andreadakis *et al.*, 2001). Παρόλα αυτά σε γενικές γραμμές, οι εκπομπές στο έδαφος, τον αέρα και το νερό καθώς και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι παρόμοιες με αυτές που αφορούν την εφαρμογή της ιλύος στη γεωργία. Όπως και για την χρήση της ιλύος στην γεωργία, παρατηρείται συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στο ανώτερο στρώμα του εδάφους. Επειδή όμως οι δασικές εκτάσεις είναι πολλές φορές όξινες, έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικότητας των μετάλλων. Επίσης έχουν αναφερθεί και κάποιες έμμεσες επιπτώσεις στην οικολογία της άγριας ζωής, αφού η εφαρμογή της ιλύος και η βελτίωση της απόδοσης αυξάνουν την διαθεσιμότητα τροφής για έναν αριθμό ειδών ζώων όπως ελάφια, μικρά θηλαστικά και πουλιά, με αποτέλεσμα την καταστροφή των αναπτυσσόμενων φυτών και τον τραυματισμό ήδη ανεπτυγμένων. Εξάλλου με την διάθεση της ιλύος στα δάση παρατηρείται αύξηση παρασίτων και παθογόνων μανιταριών.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, διαπιστώνουμε ότι σε περίπτωση που η ιλύς εφαρμοσθεί στην δασοκομία ή στην δασονομία οι περιορισμοί είναι πολλοί. Γι αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

1. Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση σε δάση στα οποία το κοινό μπορεί να έχει πρόσβαση, ώστε να αποφευχθεί κάθε δυνατή επαφή με την ιλύ. Επίσης θα πρέπει να αποφεύγεται η εφαρμογή σε περιοχές που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια και συγκομιδή μανιταριών.
2. Εάν πρόκειται να γίνει εφαρμογή της ιλύος σε δάσος στο οποίο το κοινό έχει πρόσβαση θα πρέπει:
 - η ιλύς να έχει απολυμανθεί επαρκώς, ή να απαγορεύεται η πρόσβαση του κοινού για 3 έως 12 μήνες,
 - η ιλύς να είναι καλά σταθεροποιημένη για να αποφευχθούν προβλήματα δυσοσμίας και
 - να έχει ενημερωθεί το κοινό.
3. Μπορεί να γίνει χρήση ιλύος στη δασοπονία για την εντατική παραγωγή δένδρων. Ωστόσο, θα πρέπει να αποφεύγεται η εφαρμογή ιλύος χωρίς ικανοποιητική απολύμανση σε υγρές περιοχές, αφού μπορεί να προκύψει μόλυνση των υδάτων.
4. Η εφαρμογή της ιλύος πρέπει να αποφεύγεται σε εκτάσεις με μεγάλη κλίση, περιοχές που βρίσκονται κοντά σε δεξαμενές πόσιμου νερού, σε αμμώδεις περιοχές και σε υγρές περιοχές.

5. Οι ρυθμοί εφαρμογής είναι συνάρτηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και του ανάγλυφου των εδαφών (Αγγελάκης κ.α. 2005).

2.4.7 Αποκατάσταση εδαφών

Μία ακόμη εναλλακτική λύση σχετικά με την αξιοποίηση της ιλύος είναι αυτή της ανάπλασης εκτάσεων (π.χ. λατομείων). Η εφαρμογή της ιλύος σε εκτάσεις αποσκοπεί στην προστασία αυτών από την διάβρωση και στον εμπλουτισμό τους με θρεπτικά συστατικά και οργανική ύλη. Η ποσότητα της ιλύος που συνήθως εφαρμόζεται στις περιπτώσεις αυτές είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν στην περίπτωση της γεωργικής χρήσης. Για παράδειγμα, στη Γαλλία για να επιτευχθεί εδαφική στρώση πάχους 5 cm, χρησιμοποιήθηκαν περί τους 100 t/ha έως 150 t/ha.

Ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση μπορεί να είναι σε μερικές περιπτώσεις η χρήση της ιλύος για αποκατάσταση λατομείων. Η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους για την αποκατάσταση των λατομείων:

- Ως υλικό πλήρωσης, σε διαδοχικές στρώσεις, εναλλασσόμενες με προϊόντα εκσκαφής ή μπάζα
- Στη διαμόρφωση εδαφικής τρώσης για την αποκατάσταση της βλάστησης στις αποκαθιστώμενες περιοχές

Γενικά, οι κίνδυνοι από την διάθεση της ιλύος για την ανάκτηση εδαφών είναι μικρότεροι από αυτούς που αναμένονται στην περίπτωση χρήσης της ιλύος στη γεωργία, αφού η εφαρμογή στο έδαφος δεν είναι συνδεδεμένη άμεσα με την τροφική αλυσίδα. Επειδή όμως η ποσότητα της ιλύος που εφαρμόζεται είναι μεγαλύτερη από αυτή για γεωργική χρήση, μπορεί να προκύψουν πρόσθετοι κίνδυνοι λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας διαφόρων ρυπαντών ή αζώτου που διατίθενται. Σε κάθε περίπτωση, η ιλύς που χρησιμοποιείται για την ανάπλαση εδαφών πρέπει να είναι επαρκώς επεξεργασμένη, ώστε να διασφαλισθεί η επαρκής απολύμανση και ο περιορισμός των οσμών.

2.5 Νομοθετικό πλαίσιο

Παρόλο που στη χώρα μας η ανάγκη κατασκευής και λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων φάνηκε κατά τα μέσα της δεκαετίας του '80, εν τούτοις το νομοθετικό πλαίσιο καθυστέρησε αρκετά. Στην πραγματικότητα η νομοθεσία της Ελλάδας δεν αποτελεί καινοτομία αλλά εναρμόνιση με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Στον παρακάτω κατάλογο αναφέρονται οι Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τη διαχείριση, απόρριψη και ανακύκλωση της ιλύος:

- 86/278/EE: σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία.
- 91/271/EE: σχετικά με την επεξεργασία των αστικών λυμάτων.
- 91/676/EE: για την προστασία των νερών από τη ρύπανση των νιτρικών από γεωργικές χρήσεις.
- 1999/31/EE: περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων.
- 2003/33/EE: για τον καθορισμό κριτηρίων και διαδικασιών αποδοχής των αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής σύμφωνα με το άρθρο 16 και το παράρτημα II της Οδηγίας 1999/31/EC .
- 2000/76/EE: για την αποτέφρωση των αποβλήτων.

Τα ελληνικά νομοθετήματα που σχετίζονται με τη λάσπη είναι:

- Ν. 1650/86: για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Κ.Υ.Α. 69269/5387/1990: σχετικά με την κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και τον καθορισμό του περιεχομένου των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Φ.Ε.Κ. 678/Β', 25-10-1990).
- Κ.Υ.Α. 80568/4225/1991: για τη χρήση της ιλύος που προέρχεται από οικιακά και αστικά απόβλητα στη γεωργία (Φ.Ε.Κ. 6641/91, 07-08-1991).
- Κ.Υ.Α. 82805/2224/1993: για την αποφυγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την αποτέφρωση αποβλήτων (Φ.Ε.Κ. 699/93).
- Κ.Υ.Α. 5673/400/1997: μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων (Φ.Ε.Κ. 192/Β', 14-3-1979).
- Κ.Υ.Α. 114218/97: Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων (Φ.Ε.Κ. 1016/97).
- Κ.Υ.Α. 29407/3508/2002: Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (Φ.Ε.Κ. 1572/02).
- Κ.Υ.Α. 50910/2727/2003: Μέτρα και όροι για την διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης (Φ.Ε.Κ. 1909/03).

Αν και αρκετές Οδηγίες έχουν επίδραση στη διαχείριση ιλύος όπως η 1999/31/EE περί υγειονομικής ταφής, αυτές που θεωρούνται σημαντικότερες είναι οι 86/278 και οι 91/271.

Η Οδηγία 86/278/EE, η οποία αναφέρεται στην προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη 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 τη

χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων (Φ.Ε.Κ. 6641/91, 07.08.91). Σε εθνικό επίπεδο, η σχετική νομοθεσία έχει ενσωματώσει την 86/278 χωρίς τροποποιήσεις, με μοναδική προσθήκη ορίων για το χρώμιο.

Σύμφωνα με αυτή 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 τη συγκομιδή και κατά τη διάρκεια της συγκομιδής. Επίσης επιβάλλει την πάροδο ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος (όχι μικρότερο των τριών εβδομάδων), από την προσθήκη της ιλύος στο έδαφος έως τη χρησιμοποίηση των λειμώνων για βοσκή και συγκομιδή.

Η ίδια Οδηγία προβλέπει να γίνονται αναλύσεις στο έδαφος που θα δεχτεί επεξεργασμένη ιλύ. Οι παράμετροι που θα εξετάζονται είναι το pH, το άζωτο, ο φώσφορος, το κάδμιο, ο χαλκός, το νικέλιο, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, ο υδράργυρος και το χρώμιο. Παράλληλα καθορίζει τις ακόλουθες οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος που θα δεχτεί την επεξεργασμένη ιλύ (βλέπε Πίνακα 2.5.1).

Πίνακας 2.5.1 : Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε εδάφη που έχουν δεχτεί ιλύ (σε mg/kg ξηράς ουσίας αντιπροσωπευτικού δείγματος εδάφους με pH 6-7)

Παράμετροι	Οριακές τιμές
κάδμιο	1-3
χαλκός	50-140
νικέλιο	30-75
μόλυβδος	50-300
ψευδάργυρος	150-300
υδράργυρος	15-1,5
χρώμιο	-

Επίσης η εν λόγω Οδηγία καθορίζει τις οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην επεξεργασμένη ιλύ που προορίζεται να διατεθεί στο έδαφος, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 2.5.2, καθώς και τις οριακές τιμές της ποσότητας βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται σε καλλιεργημένα εδάφη ανά έτος με βάση ένα μέσο όρο δέκα ετών (βλέπε Πίνακα 2.5.3).

Τέλος η Οδηγία μεταξύ άλλων ορίζει:

- ✓ μέτρα και διαδικασίες τήρησης των οριακών τιμών και
- ✓ μέθοδο ανάλυσης την φασματομετρία ατομικής απορρόφησης.

Πίνακας 2.5.2 : Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην ιλύ που πρόκειται να διατεθεί στο έδαφος (σε mg/kg ξηράς ουσίας)

Παράμετροι	Οριακές τιμές
κάδμιο	20-40
χαλκός	1000-1750
νικέλιο	300-400
μόλυβδος	750-1200
ψευδάργυρος	2500-4000
υδράργυρος	16-25
χρώμιο	-

Πίνακας 2.5.3 : Ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται σε καλλιεργημένα εδάφη ανά έτος με βάση ένα μέσο όρο δέκα ετών (σε kg/εκτάριο/έτος)

Παράμετροι	Οριακές τιμές
κάδμιο	0,15
χαλκός	12
νικέλιο	3
μόλυβδος	15
ψευδάργυρος	30
υδράργυρος	0,1
χρώμιο	-

Ιδιαίτερα σημαντική για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων υπήρξε η Οδηγία 91/271 «για την επεξεργασία αστικών λυμάτων», η οποία ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία το 1997 με την Κ.Υ.Α. 5673/400/1997 μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων». Αντικείμενο της Οδηγίας είναι ο προσδιορισμός ευαίσθητων και λιγότερο ευαίσθητων περιοχών.

Επίσης καθορίζονται οι προϋποθέσεις διάθεσης αστικών λυμάτων και ιλύος από σταθμούς επεξεργασίας εφόσον όμως έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία καθώς και μέτρα και προϋποθέσεις για τη διοχέτευση βιομηχανικών λυμάτων σε αποχετευτικά δίκτυα και σε

σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Μεταξύ άλλων προβλέπει τις προϋποθέσεις για την απευθείας διάθεση βιομηχανικών λυμάτων από συγκεκριμένους βιομηχανικούς τομείς. Το άρθρο 15 αναφέρεται στην παρακολούθηση των απορρίψεων από σταθμούς επεξεργασίας. Οι απαιτήσεις σχετικά με την απόρριψη επεξεργασμένων λυμάτων σε υδάτινους αποδέκτες παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.5.4). Τέλος στον Πίνακα 2.5.5 αναφέρονται οι απαιτήσεις για τη διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων σε ευαίσθητες περιοχές που παρουσιάζουν φαινόμενα ευτροφισμού.

Πίνακας 2.5.4 : Απαιτήσεις εκροών από μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων

Παράμετροι	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/l)	Ελάχιστη εκατοστιαία Μείωση
BOD₅	25	70-90
COD	125	75
TDS	35	90

Πίνακας 2.5.5 : Απαιτήσεις για τη διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων σε ευαίσθητες περιοχές

Παράμετροι	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/l)	Ελάχιστη εκατοστιαία μείωση
Ολικός φώσφορος	2 mg/L P (10000-100000 ι.π.)	80
	1 mg/L P (άνω των 100000 ι.π.)	
Ολικό άζωτο	15 mg/L N (10000-100000 ι.π.)	70-80
	10 mg/L N (άνω των 100000 ι.π.)	

Η Οδηγία 91/676/ΕΕ, «για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης», αποβλέπει στην περαιτέρω προστασία των υδάτων. Η διαπίστωση ότι η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και κόπρου, αποτελεί περιβαλλοντικό κίνδυνο έκανε επιτακτική την ανάγκη να ληφθούν μέτρα για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, της χλωρίδας, της πανίδας και των υδάτινων οικοσυστημάτων. Η Οδηγία λαμβάνει μέτρα για τη μείωση της διασποράς των αζωτούχων λιπασμάτων στο έδαφος και για την παρακολούθηση των υδάτων.

Στη Κ.Υ.Α. 114218/1997, καθορίζονται οι τεχνικές προδιαγραφές διαχείρισης της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Ειδικότερα προδιαγράφονται τα παρακάτω:

1. Πάχυνση ιλύος
2. Βιολογική χώνευση
3. Βελτίωση ιλύος
4. Αφυδάτωση και ξήρανση ιλύος

5. Καύση λάσπης

6. Κομποστοποίηση ιλύος

Με την Κ.Υ.Α. 50910/2727/2003 εντάσσεται στη ελληνική νομοθεσία ο Ευρωπαϊκός Κώδικας Αποβλήτων. Κύριος στόχος του Εθνικού Σχεδιασμού για την ιλύ που παράγεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, είναι η επίτευξη υψηλού ποσοστού αξιοποίησης με αντίστοιχη μείωση του ποσοστού τελικής διάθεσης. Σύμφωνα με την παραπάνω Κ.Υ.Α., 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. επανένταξη 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.

Η Κ.Υ.Α. 69269/5387/1990 αποτελεί την εναρμόνιση με την Κοινοτική Οδηγία 84/360/ΕΟΚ σχετικά με την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η οποία προέρχεται από βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η εν λόγω Κοινή Υπουργική Απόφαση, όπως προαναφέρθηκε, αφορά την κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες (οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας στερεών και υγρών αποβλήτων με καύση περιλαμβάνονται στην κατηγορία Α', ομάδα ΙΙ, αριθμός 10) και τον καθορισμό του περιεχομένου των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Φ.Ε.Κ. 678/Β', 25-10-1990). Επίσης καθορίζεται το περιεχόμενο των ειδικών περιβαλλοντικών μελετών και η διαδικασία κατάρτισης και έγκρισής τους, σύμφωνα με το άρθρο 21 του Ν. 1650/1986.

Κεφάλαιο 3^ο : Υλικά και μέθοδοι

3.1 Μονάδες δειγματοληψίας

Τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας σε μια προσπάθεια περιορισμού της υδατικής ρύπανσης και εφαρμογής της Οδηγίας 271/91, έχει κατασκευασθεί ένα πλήθος εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων που φθάνουν τις 290. Οι εγκαταστάσεις αυτές καλύπτουν ένα πληθυσμό απογραφής της τάξης του 75% του ισοδύναμου πληθυσμού της χώρας.

Τα κυριότερα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων σύμφωνα με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό είναι: οι συμβατικές μονάδες ενεργού ιλύος και τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού. Ως αποτέλεσμα της επεξεργασίας των λυμάτων παράγονται σημαντικές ποσότητες ιλύος, που για το έτος 2002 εκτιμώνται περί τους 76,000 τόνους ξηρής λάσπης/έτος, ενώ μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του συνόλου των απαιτούμενων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων στη χώρα θα παράγονται περί τους 165.000 τόνους ξηρής λάσπης/έτος. Περίπου στο 90% των εγκαταστάσεων, που εξυπηρετεί το 99% του πληθυσμού, η ιλύς που παράγεται είναι σταθεροποιημένη και αφυδατωμένη.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος επεξεργασίας ιλύος είναι η αερόβια σταθεροποίηση, κυρίως μέσω των συστημάτων παρατεταμένου αερισμού, που αντιστοιχούν στο 80% των έργων επεξεργασίας. Σε όρους ισοδύναμου πληθυσμού, αυτός ο τύπος επεξεργασίας αντιστοιχεί σε ένα σημαντικά χαμηλότερο ποσοστό (33%), εξαιτίας του γεγονότος ότι οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, κλπ) χρησιμοποιούν αναερόβια σταθεροποίηση και επιπρόσθετη παραγωγή ενέργειας από το παραγόμενο βιοαέριο. Η αφυδάτωση σε κλίνες ξήρανσης είναι ακόμα συχνή στις μικρές εγκαταστάσεις (περίπου 40% των εγκαταστάσεων), αλλά τα προβλήματα που σχετίζονται μ' αυτές (απαιτήσεις γης, μυρωδιές, αυξημένη χειρωνακτική εργασία) τείνουν να τις περιορίσουν. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελευταία 5-6 χρόνια, η μηχανική αφυδάτωση είναι η τυπική πρακτική ακόμα και σε σχετικά μικρές καινούργιες εγκαταστάσεις και τείνει να αντικαταστήσει τις υπάρχουσες κλίνες σε παλιότερα έργα. Ανάμεσα στους τύπους της μηχανικής αφυδάτωσης, οι ταινιοφιλτρόπρεσες είναι η συνηθέστερη μέθοδος αφυδάτωσης, αν και τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν φυγοκεντρητές.

Στην Ελλάδα, η διάθεση σε χωματερές είναι η συχνότερα εφαρμοζόμενη μέθοδος διάθεσης. Σήμερα, περίπου το 98% της παραγόμενης ιλύος στην Ελλάδα καταλήγει σε χωματερές ένα ποσοστό που είναι από τα μεγαλύτερα στην Ε.Ε., όπου ο αντίστοιχος ευρωπαϊκός μέσος όρος

δεν υπερβαίνει το 25%. Η διάθεση σε χωματερές, συνήθως μαζί με στερεά απόβλητα, είναι μια ελκυστική μέθοδος, εξαιτίας του χαμηλού κόστους. Παρόλα αυτά, σε πολλές περιπτώσεις η επιλογή του κατάλληλου Χ.Υ.Τ.Α., έχει αποδειχθεί μια πολύ πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία, εξαιτίας των αντιδράσεων των τοπικών κοινωνιών, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αφυδατωμένης ιλύος δυσκολεύουν την υιοθέτηση μίας τέτοιας λύσης.. Επιπρόσθετα, η εκφρασμένη ισχυρή προτίμηση της Ε.Ε. στην επαναχρησιμοποίηση της ιλύος έναντι της διάθεσης σε χωματερές καθώς και η επιβαλλόμενη, από την Οδηγία 1999/31/Ε.Ε. “περί υγειονομικής ταφής απορριμμάτων”, σταδιακή μείωση του διατιθέμενου οργανικού φορτίου στερεών αποβλήτων σε Χ.Υ.Τ.Α., δημιουργούν επιτακτική ανάγκη υιοθέτησης εναλλακτικών τρόπων επαναχρησιμοποίησης ή και διάθεσης της ιλύος (Andreadakis A., et al., 2001).

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που επιλέχθηκαν για δειγματοληψία ήταν συνολικά 24. Συγκεκριμένα δείγματα ιλύος λήφθηκαν από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων του Ρεθύμνου, του Ηρακλείου, του Βόλου, της Λάρισας, της Χερσονήσου, των Τρικάλων, της Καρδίτσας, του Λουτρακίου, της Κορίνθου, του Κιάτου, του Ξυλόκαστρου, της Θήβας, της Λαμίας, της Πάτρας, του Άργους-Ναυπλίου-Νέας Κίου, της Λιβαδειάς, της Τρίπολης, της Βέροιας, των Ιωαννίνων, της Αλεξανδρούπολης, των Χανίων, της Σητείας, της Ιεράπετρας και της Ψυττάλειας. Η γεωγραφική κατανομή των μονάδων δειγματοληψίας φαίνεται στο χάρτη 3.1.1. Οι δειγματοληψίες διεξήχθησαν κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου από 04-06-2005 έως 19-09-2005. Τέλος, από τις μονάδες βιολογικού καθαρισμού επιλέχθηκαν σύνθετα δείγματα αφυδατωμένης ιλύος.

Χάρτης 3.1.1: Γεωγραφική κατανομή των σημείων δειγματοληψίας (μαύρες περιοχές)



3.2 Συνοπτική περιγραφή των διεργασιών επεξεργασίας ύλως στις μονάδες δειγματοληψίας

Η επεξεργασία των λυμάτων στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας περιλαμβάνει προεπεξεργασία στη θέση Ακροκέραμος Κερατσινίου και κύρια επεξεργασία (πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια) στη νήσο Ψυττάλεια. Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας αποτελεί τελικό αποδέκτη των αστικών λυμάτων και των επεξεργασμένων υγρών βιομηχανικών αποβλήτων του λεκανοπεδίου της Αττικής και της νήσου Σαλαμίνας, των εκροών από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Μεταμόρφωσης καθώς και των όμβριων απορροών του ιστορικού κέντρου των Αθηνών.

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων γίνεται σε δεξαμενές καθίζησης και κατόπιν, τα επεξεργασμένα λύματα εισάγονται στη βιολογική βαθμίδα. Η βιολογική επεξεργασία των πρωτοβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται με το σύστημα της ενεργούς ύλως. Ο διαχωρισμός των στερεών/υγρών γίνεται σε δεξαμενές τελικής καθίζησης. Η καθιζάνουσα ύλως

επιστρέφει στους βιοαντιδραστήρες μέσω των αντλιοστασίων ανακυκλοφορίας ιλύος, ενώ μέρος της ιλύος απομακρύνεται από το σύστημα μέσω του αντλιοστασίου περίσσειας ιλύος.

Η παραγόμενη ιλύς παχύνεται σε παχυντές βαρύτητας, ενώ η περίσσεια βιολογική ιλύς σε τράπεζες πάχυνσης. Τα δύο ρεύματα ιλύος αναμιγνύονται και στη συνέχεια αντλούνται στις εγκαταστάσεις της αναερόβιας χώνευσης για σταθεροποίηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι το βιοαέριο που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση της ιλύος αξιοποιείται για θέρμανση των ιδίων των χωνευτών (παραγωγή ζεστού νερού) και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Μετά από προσωρινή αποθήκευση της λάσπης σε κατάλληλες δεξαμενές και προκειμένου να επιτευχθεί περεταίρω μείωση του όγκου της σταθεροποιημένης ιλύος, πραγματοποιείται η μηχανική αφυδάτωση της σε φυγοκεντρητές. Η διάθεση της αφυδατωμένης ιλύος υλοποιείται επί του παρόντος μόνο μέσω της απόθεσης στο Χ.Υ.Τ.Α. Άνω Λιοσίων. Επίσης στο Χ.Υ.Τ.Α. μεταφέρονται τα εσχαρώματα, βαρέα στερεά και η άμμος της προεπεξεργασίας των λυμάτων (Βιλλιώτη Γ. και Τζουβάρας Ν., 2000).

Η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της Αλεξανδρούπολης δέχεται τα αστικά λύματα της πόλης καθώς και βοθρολύματα. Ιλύς παράγεται από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση των λυμάτων, η οποία καταλήγει στον παχυντή με στόχο την μείωση του όγκου της. Ακολουθεί αναερόβια χώνευση στους 35-37 °C με ταυτόχρονη ανάδευση της λάσπης. Κατά το στάδιο αυτό παράγεται βιοαέριο, το οποίο αξιοποιείται για τη θέρμανση της λάσπης αλλά και για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ίδιας της εγκατάστασης.

Η σταθεροποίηση της λάσπης επιτυγχάνεται με προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη και κατόπιν γίνεται μηχανική αφυδάτωση με ταινιοφιλτρόπρεσσες. Η διάθεση της αφυδατωμένης ιλύος γίνεται στο Χ.Υ.Τ.Α. της περιοχής.

Στο βιολογικό καθαρισμό του Κιάτου πραγματοποιείται μόνο δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων. Η βιολογική επεξεργασία γίνεται με το σύστημα της ενεργούς ιλύος. Ο διαχωρισμός των στερεών/υγρών γίνεται σε δεξαμενή καθίζησης, από όπου η καθιζάνουσα ιλύς επιστρέφει στο σύστημα μέσω του αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος, ενώ η περίσσεια ιλύος απομακρύνεται από το σύστημα και καταλήγει σε παχυντές βαρύτητας. Ακολουθεί σταθεροποίηση της ιλύος με προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη και μηχανική αφυδάτωση αυτής με τη βοήθεια ταινιοφιλτρόπρεσσων. Τέλος η αφυδατωμένη λάσπη καταλήγει στο Χ.Υ.Τ.Α. της περιοχής.

Οι μονάδες βιολογικού καθαρισμού της Κορίνθου και του Λουτρακίου, οι οποίες συστεγάζονται ακολουθούν την ίδια διαδικασία επεξεργασίας της λάσπης με αυτή που αναφέραμε στην περίπτωση του βιολογικού καθαρισμού του Κιάτου με μοναδική διαφορά ότι η αφυδατωμένη ιλύς καταλήγει σε χωματερές.

Στη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων του Ξυλοκάστρου γίνεται μόνο βιολογική επεξεργασία των λυμάτων. Ιλύς αποβάλλεται από τη δευτεροβάθμια – βιολογική καθίζηση, ένα μέρος της οποίας ανακυκλοφορεί, ενώ η περίσσεια υπόκειται σε πάχυνση. Στη συνέχεια προστίθενται κροκιδωτικά και κατόπιν πραγματοποιείται μηχανική αφυδάτωση είτε με ταινιοφιλτρόπρεσσες, είτε με κλίνες ξήρανσης (κυρίως το καλοκαίρι). Η αφυδατωμένη ιλύς διατίθεται σε χωματερή (έχει δρομολογηθεί η κατασκευή Χ.Υ.Τ.Α.).

Στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Λειβαδιάς πραγματοποιείται πρωτοβάθμιος, δευτεροβάθμιος και τριτοβάθμιος καθαρισμός των λυμάτων. Η ιλύς που αποβάλλεται από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση ανακυκλοφορεί, ενώ η περίσσεια καταλήγει στον παχυντή. Η βελτίωση των χημικών ιδιοτήτων της ιλύος γίνεται με την προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη ΔΕΤΑ64 και ακολουθεί αφυδάτωση με ταινιοφιλτρόπρεσσες, που φθάνει το 25%. Η τριτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει μείωση των συγκεντρώσεων φωσφόρου και αζώτου στα λύματα. Τέλος η διάθεση της παραγόμενης ιλύος γίνεται σε Χ.Υ.Τ.Α.

Στο βιολογικό καθαρισμό της Θήβας γίνεται μόνο δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων. Ένα μέρος της λάσπης που αποβάλλεται τροφοδοτεί το σύστημα με τη βοήθεια φρεατίου ανακυκλοφορίας, ενώ η περίσσεια κατευθύνεται μετά από την προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη σε ταινιοφιλτρόπρεσσες όπου γίνεται η μηχανική αφυδάτωση. Η αφυδατωμένη ιλύς καταλήγει σε χωματερή.

Η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της Βέροιας διενεργεί δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Η σταθεροποίηση της λάσπης επιτυγχάνεται με παρατεταμένο αερισμό, ακολουθεί πάχυνση αυτής σε παχυντές βαρύτητας, προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη και τέλος μηχανική αφυδάτωση με ταινιοφιλτρόπρεσσες. Η αφυδατωμένη ιλύς διατίθεται σε Χ.Υ.Τ.Α.

Ο βιολογικός καθαρισμός της Πάτρας περιλαμβάνει πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Η βιολογική επεξεργασία γίνεται με το σύστημα της ενεργούς ιλύος. Η λάσπη που συλλέγεται από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση είτε τροφοδοτεί το σύστημα, είτε κατευθύνεται στον παχυντή (πάχυνση με φυγόκεντρο). Κατόπιν πραγματοποιείται

αναερόβια χώνευση και ακολουθεί προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη και αφυδάτωση με φυγόκεντρο. Η αφυδατωμένη λάσπη καταλήγει σε χώρο υγειονομικής ταφής.

Η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της Λαμίας πραγματοποιεί δευτεροβάθμια επεξεργασία με το σύστημα της ενεργούς ιλύος. Η καθιζάνουσα λάσπη αποβάλλεται από δεξαμενές οξείδωσης και στη συνέχεια ένα μέρος της ανακυκλοφορεί, και η περίσσεια υπόκειται σε πάχυνση. Δεν πραγματοποιείται χώνευση, αλλά μετά από την προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη αφυδατώνεται με τη βοήθεια ταινιοφιλτρόπρεσσων. Η επεξεργασμένη λάσπη απορρίπτεται στο Χ.Υ.Τ.Α. της περιοχής.

Ο βιολογικός καθαρισμός του Ναυπλίου δέχεται αστικά λύματα από τις πόλεις του Ναυπλίου, του Άργους και της Νέας Κίου, βοθρολύματα από όλους τους δήμους του Αργολικού πεδίου καθώς και λύματα από βιομηχανίες χυμοποιείας, από ένα τυροκομείο και από ένα εργοστάσιο επεξεργασίας βάμβακος. Διενεργείται μόνο δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων. Η καθιζάνουσα λάσπη αποβάλλεται από δεξαμενή παρατεταμένου αερισμού και στη συνέχεια τροφοδοτεί το σύστημα. Η περίσσεια της λάσπης κατευθύνεται στον παχυντή και αφού προστεθεί πολύ-ηλεκτρολύτης περνάει από ταινιοφιλτρόπρεσσες. Η λάσπη είναι σταθεροποιημένη από τον παρατεταμένο αερισμό και δεν υπόκειται σε διαδικασία αερόβιας ή αναερόβιας χώνευσης. Μετά την μηχανική αφυδάτωση, η αφυδατωμένη ιλύς καταλήγει σε χωματερή.

Στο βιολογικό καθαρισμό της Τρίπολης γίνεται δευτεροβάθμια επεξεργασία, ενώ η διαδικασία επεξεργασίας της λάσπης που αποβάλλεται από τη δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης περιλαμβάνει πάχυνση, αναερόβια χώνευση και μετά από προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη αφυδάτωση σε ταινιοφιλτρόπρεσσες. Τέλος η αφυδατωμένη ιλύς διατίθεται σε χωματερή.

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων των Ιωαννίνων πραγματοποιεί πρωτοβάθμιο, δευτεροβάθμιο και τριτοβάθμιο καθαρισμό. Η γραμμή επεξεργασίας της λάσπης είναι η ακόλουθη: πάχυνση, αναερόβια χώνευση, προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη, αφυδάτωση με φυγοκέντρηση και διάθεση σε χωματερή.

Η μονάδα βιολογικού καθαρισμού της Λάρισας πραγματοποιεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, κατά την οποία η καθιζάνουσα λάσπη που αποβάλλεται από τη δεξαμενή οξείδωσης κατευθύνεται σε παχυντές βαρύτητας. Ακολουθεί αναερόβια χώνευση στους 35 °C και μετά από προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη η λάσπη οδηγείται σε ταινιοφιλτρόπρεσσες για αφυδάτωση. Αφού

ολοκληρωθεί η παραπάνω επεξεργασία, η λάσπη οδηγείται σε χώρο υγειονομικής ταφής όπου και απορρίπτεται.

Στο βιολογικό καθαρισμό των Τρικάλων γίνεται βιολογική επεξεργασία των λυμάτων με το σύστημα του παρατεταμένου αερισμού, που συνοδεύεται από ταυτόχρονη διάχυση αέρα. Η λάσπη που καθιζάνει στις δεξαμενές οξείδωσης οδηγείται σε παχυντές και στη συνέχεια προστίθεται πολύ-ηλεκτρολύτης, προτού καταλήξει στην ταινιοφιλτρόπρεσσα. Η αφυδάτωση δύναται να πραγματοποιηθεί και σε κλίνες ξήρανσης, σε περίπτωση που καταστεί αναγκαίο (π.χ. βλάβη της ταινιοφιλτρόπρεσσας). Η διάθεση της ιλύος γίνεται σε χωματερή της περιοχής.

Η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της Καρδίτσας περιλαμβάνει δευτεροβάθμιο καθαρισμό. Η λάσπη που αποβάλλεται από τις δεξαμενές αερισμού, οδηγείται σε παχυντές βαρύτητας για πάχυνση. Τελικά μετά από αφυδάτωση σε κλίνες ξήρανσης καταλήγει σε χωματερή.

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του Βόλου περιλαμβάνει πρωτοβάθμιο, δευτεροβάθμιο και τριτοβάθμιο καθαρισμό. Ιλύς αποβάλλεται από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση. Η λάσπη που συλλέγεται από την πρωτοβάθμια καθίζηση οδηγείται στους προπαχυντές. Από την άλλη πλευρά μέρος της λάσπης που αποβάλλεται από τις δεξαμενές αερισμού (βιολογική καθίζηση) ανακυκλοφορεί, ενώ η περίσσεια οδηγείται μετά από προσθήκη πολύ-ηλεκτρολύτη σε μηχανικό παχυντή. Στη συνέχεια αναμειγνύεται με τη βοήθεια συστήματος ομογενοποίησης η λάσπη που αποβλήθηκε από την πρωτοβάθμια καθίζηση με τη λάσπη που προήλθε από τη δευτεροβάθμια καθίζηση. Ακολουθεί αναερόβια χώνευση του μίγματος της λάσπης στους 35 °C για τουλάχιστον 20 ημέρες. Κατόπιν η ιλύς οδηγείται σε μεταπαχυντές και έπειτα σε ταινιοφιλτρόπρεσσες για αφυδάτωση. Κατά την αναερόβια χώνευση παράγεται βιοαέριο το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας και για τη θέρμανση των χωνευτών. Τέλος η αφυδατωμένη ιλύς αποτίθεται σε χωματερή, αν και στο νομό του Βόλου υπάρχει χώρος υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων.

Στο βιολογικό καθαρισμό του Ηρακλείου διενεργείται πρωτοβάθμιος και δευτεροβάθμιος καθαρισμός. Η λάσπη που αποβάλλεται από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση κατευθύνεται αρχικά σε παχυντές. Ακολουθεί αναερόβια χώνευση στους 35 °C για περισσότερες από 25 ημέρες. Τέλος μετά από πάχυνση της λάσπης σε παχυντές βαρύτητας, προστίθεται πολύ-ηλεκτρολύτης και αφυδατώνεται μηχανικά σε ταινιοφιλτρόπρεσσες. Η απόθεση της γίνεται σε χωματερή.

Στη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της Χερσονήσου πραγματοποιείται μόνο δευτεροβάθμια επεξεργασία. Από τις δεξαμενές αερισμού αποβάλλεται λάσπη στην οποία αφού προστεθεί πολύ-ηλεκτρολύτης αφυδατώνεται μηχανικά με φυγοκέντρηση και καταλήγει άλλοτε σε Χ.Υ.Τ.Α. και άλλοτε σε χωματερή. Η μονάδα διαθέτει δεξαμενές αερόβιας χώνευσης, οι οποίες όμως δε χρησιμοποιούνται λόγω του υψηλού κόστους συντήρησης.

Στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Ιεράπετρας διενεργείται δευτεροβάθμιος καθαρισμός των λυμάτων. Μέρος της ιλύος που καθιζάνει στις δεξαμενές οξείδωσης είτε ανακυκλοφορεί δηλαδή επιστρέφει στο σύστημα μέσω αντλιών που την οδηγεί στο βιοεπιλογέα (δεξαμενή εισόδου του λύματος), είτε μέσω των αντλιών περίσσειας καταλήγει σε στατικό αναμείκτη όπου προστίθεται πολύ-ηλεκτρολύτης. Από εκεί μέσω αγωγού καταλήγει σε ταινιοφιλτρόπρεσες όπου διενεργείται αρχικά πάχυνση με βαρύτητα και ακολουθεί συμπίεση. Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας η λάσπη αποτίθεται σε χωματερή.

Η μονάδα βιολογικού καθαρισμού των Χανίων περιλαμβάνει πρωτοβάθμια και βιολογική επεξεργασία των λυμάτων. Η λάσπη που αποβάλλεται από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης υπόκειται σε αναερόβια χώνευση και αφού προστεθεί πολύ-ηλεκτρολύτης ακολουθεί αφυδάτωση αυτής με ταινιοφιλτρόπρεσες. Η λάσπη που αποβάλλεται από τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης παχύνεται με φυγοκέντρηση και αφού υποστεί αναερόβια χώνευση αφυδατώνεται μηχανικά με ταινιοφιλτρόπρεσες. Τέλος η αφυδατωμένη ιλύς αποτίθεται σε χώρο υγειονομικής ταφής.

Ο βιολογικός καθαρισμός του Ρεθύμνου αν και έχει τις απαιτούμενες εγκαταστάσεις για την πραγματοποίηση πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, διενεργεί μόνο δευτεροβάθμια επεξεργασία. Η καθιζάνουσα λάσπη που αποβάλλεται από τις δεξαμενές οξείδωσης οδηγείται για πάχυνση η οποία επιτυγχάνεται με σύστημα επίπλευσης διαλυμένου αέρα. Ακολουθεί αναερόβια χώνευση, σε 3 χωνευτές στους 32-35 °C, για χρονικό διάστημα 25 ημερών. Έπειτα οδηγείται σε μηχανικούς παχυντές βαρύτητας και στη συνέχεια προστίθεται πολύ-ηλεκτρολύτης και αφυδατώνεται μηχανικά σε ταινιοφιλτρόπρεσες. Για την περαιτέρω υγειονομοποίηση του υλικού πραγματοποιείται επεξεργασία με ασβέστη (προσθήκη οξειδίου του ασβεστίου 10%), η οποία επιτυγχάνει άνοδο του pH στο 12,5. Η λάσπη μετά από ηλιακή ξήρανση οδηγείται σε χώρο υγειονομικής ταφής.

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Σητείας διενεργεί μόνο πρωτοβάθμιο καθαρισμό. Η λάσπη που συλλέγεται μετά από την πρωτοβάθμια καθίζηση οδηγείται για πάχυνση σε τράπεζα

πάχυνσης και αφού προστεθεί πολύ-ηλεκτρολύτης αφυδατώνεται μηχανικά σε ταινιοφιλτρόπρεσες. Η διάθεση της γίνεται σε χωματερή.

3.3 Φυσικές και χημικές παράμετροι της ιλύος

3.3.1 Υγρασία

Η υγρασία προσδιορίστηκε από την απώλεια βάρους τριών δειγμάτων των 10 γραμμαρίων, ύστερα από θέρμανση στους 105 °C για 24 ώρες (FCQAO, 1994). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων εκφράζονται με βάση το ξηρό βάρος της ιλύος.

3.3.2 Πτητικά στερεά

Ο προσδιορισμός των πτητικών στερεών έγινε όπως περιγράφεται στις προδιαγραφές ανάλυσης νερών και λυμάτων των Η.Π.Α. (APHA, 1992). Η διαδικασία έχει ως εξής: καύση των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της υγρασίας σε αποτεφρωτικό κλίβανο στους 550 °C για τέσσερις ώρες. Τα πτητικά στερεά προσδιορίζονται από την απώλεια βάρους μετά την αποτέφρωση.

3.3.3 pH

Το pH προσδιορίστηκε σε υδατικά αιωρήματα ιλύος με αναλογία 1:10, δηλαδή προστέθηκαν 10 γραμμάρια ιλύος σε 100 ml απιονισμένο νερό. Ακολούθησε ανάδευση σε ανακινούμενο επωαστικό θάλαμο για δύο ώρες στους 25 °C. Στη συνέχεια τα υδατικά διαλύματα διηθήθηκαν υπό κενό και στα παραληφθέντα εκχυλίσματα μετρήθηκε το pH με τη βοήθεια ψηφιακού πεχάμετρου τύπου WTW, pH 537 (APHA, 1992, FCQAO, 1994).

3.3.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα προσδιορίστηκε στα ίδια διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μέτρηση του pH (APHA, 1992, FCQAO, 1994) με τη βοήθεια ψηφιακού αγωγιμόμετρου τύπου WTW, LF330/SET.

3.3.5 Βαρέα μέταλλα

Οι αναλύσεις, σχετικά με τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα δείγματα ιλύος, πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια του Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Τα διαλύματα μέτρησης παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο της υγρής καύσης. Ο προσδιορισμός των στοιχείων πραγματοποιήθηκε με Φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης τύπου Perkin Elmer, μοντέλο 2100.

3.4 Μικροβιολογικές παράμετροι της ιλύος

3.4.1 Εκτίμηση μικροβιακών πληθυσμών

Για την καταμέτρηση των πληθυσμών της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας, των μικροοργανισμών δεικτών (ολικά κολίμορφα, *E. coli*, περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι και *Clostridium perfringens*), καθώς και των πληθυσμών των μυκήτων και των ζυμών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των διαδοχικών δεκαδικών αραιώσεων σε υδατικό διάλυμα Ringer's $\frac{1}{4}$, με επίστρωση σταθερού όγκου σε τρυβλία με εκλεκτικό θρεπτικό υπόστρωμα.

Για να πραγματοποιηθεί η μέθοδος των διαδοχικών δεκαδικών αραιώσεων απαιτείται η παρασκευή Ringer's $\frac{1}{4}$ (1 ταμπλέτα σε 500ml απιονισμένο νερό και αποστείρωση στους 121°C για 15 λεπτά). Στη συνέχεια προστίθενται 10g λάσπης σε 90ml Ringer's. Ακολουθεί ανάδευση του αιωρήματος ιλύος σε ανακινούμενο επωαστικό θάλαμο για δύο ώρες. Κατόπιν, λαμβάνεται με ασηπτική τεχνική 1ml το οποίο υποβάλλεται σε διαδοχικές αραιώσεις σε φιαλίδια Mc Cartney, που το καθένα περιέχει 9 ml διαλύματος Ringer's. Από την αντίστοιχη αραιώση πραγματοποιήθηκε εμβολιασμός και επίστρωση με 0,1 ml σε κάθε τρυβλίο, ενώ για κάθε αραιώση έγιναν τρεις επαναλήψεις. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας εκτίμησης των μικροβιακών πληθυσμών.

3.4.1.1 Εκτίμηση του πληθυσμού της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας

Η εκτίμηση του πληθυσμού της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο των διαδοχικών δεκαδικών αραιώσεων (η οποία αναφέρθηκε στην ενότητα 3.4.1) από 10^{-1} έως 10^{-6} και ακολούθησε επίστρωση δείγματος 0,1 ml σε τρυβλία Petri. Το θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Plate Count Agar (20,5 g σε 1 L απιονισμένο νερό), υλικό που αποστειρώνεται στους 121 °C για 15 λεπτά. Για κάθε αραιώση έγιναν τρεις επαναλήψεις. Τέλος αφού τα τρυβλία επωάστηκαν στους 37 °C για 48 ώρες, έγινε καταμέτρηση των αποικιών που είχαν σχηματισθεί.

3.4.1.2 Εκτίμηση των πληθυσμών των ολικών κολίμορφων και των *E. coli*

Για να εκτιμηθούν οι πληθυσμοί των ολικών κολίμορφων βακτηρίων και του *E. coli*, εφαρμόστηκε η μέθοδος καταμέτρησης των βιώσιμων αναπαραγωγικών μονάδων. Το θρεπτικό υπόστρωμα ήταν το Chromocult, το οποίο παρασκευάζεται ως εξής:

- προσθέτουμε 26,5 σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό, το αναδεύουμε ελαφρά και το ομογενοποιούμε με θέρμανση σε φούρνο μικροκυμάτων.
- Το αφήνουμε να κρυώσει (45-50 °C) και στη συνέχεια το μοιράζουμε σε τρυβλία.

Αρχικά έγιναν διαδοχικές δεκαδικές αραιώσεις (από 10^{-1} έως 10^4) και ακολούθησε επίστρωση 0,1 ml από καθεμία από τις παραπάνω αραιώσεις σε τρυβλία με θρεπτικό υπόστρωμα Chromocult, ενώ για κάθε αραιώση έγιναν τρεις επαναλήψεις. Τέλος μετά από επώαση των τρυβλίων στους 37 °C για 24 ώρες, καταμετρήθηκαν οι αποικίες που είχαν σχηματισθεί. Ως ολικά κολίμορφα θεωρήθηκαν όλες οι αποικίες μπλε ή ροζ χρώματος, ενώ ως *E. coli* όλες οι μπλε αποικίες (Finney *et al.*, 2003).

3.4.1.3 Εκτίμηση του πληθυσμού των περιττωματικών στρεπτόκοκκων

Η εκτίμηση του πληθυσμού των περιττωματικών στρεπτόκοκκων πραγματοποιήθηκε με διαδοχικές δεκαδικές αραιώσεις από 10^{-1} έως 10^5 . Στη συνέχεια από κάθε αραιώση έγινε εμβολιασμός και επίστρωση 0,1 ml σε τρυβλία με εκλεκτικό θρεπτικό υπόστρωμα Membrane-filter enterococcus selective agar Slanetz and Bartley. Μετά από επώαση των τρυβλίων στους 37 °C για 48 ώρες, έγινε καταμέτρηση των αποικιών που σχηματίστηκαν (Konrad *et al.*, 2003).

Σχετικά με την παρασκευή του θρεπτικού υλικού Slanetz and Bartley έγιναν τα ακόλουθα:

- προσθέτουμε 41,5 g υλικού σε 1 L απιονισμένο νερό,
- ομογενοποιούμε με θέρμανση του μίγματος σε φούρνο μικροκυμάτων (δεν χρειάζεται αποστείρωση) και μοιράζουμε σε τρυβλία.
-

3.4.1.4 Εκτίμηση του πληθυσμού των μυκήτων και των ζυμών

Η εκτίμηση των πληθυσμών των μυκήτων και των ζυμών έγινε με τη μέθοδο της καταμέτρησης των βιώσιμων αναπαραγωγικών μονάδων. Το εκλεκτικό θρεπτικό υλικό, στο οποίο αναπτύχθηκαν οι πληθυσμοί αυτοί ήταν το Sabouraud Dextrose Agar, το οποίο για να παρασκευαστεί χρειάστηκε η προσθήκη 62 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό. Μετά από ανάδευση, το μίγμα αποστειρώθηκε στους 121 °C για 15 λεπτά. Αφού το υλικό ψύχθηκε στους 47 °C προστέθηκαν δύο φιαλίδια αντιβιοτικού Streptomycin sulfate, προκειμένου να αυξηθεί περισσότερο η επιλεκτικότητα του υλικού (αποφυγή εμφάνισης βακτηρίων στα τρυβλία).

Ύστερα από διαδοχικές δεκαδικές αραιώσεις από 10^{-1} έως 10^3 , έγινε εμβολιασμός και επίστρωση των τρυβλίων με 0,1 ml από κάθε αραιώση (συνολικά τρεις επαναλήψεις για καθεμία από τις αραιώσεις). Ακολούθησε επώαση των εμβολιασμένων τρυβλίων στους 30 °C για 3-5 ημέρες. Μετά την επώαση μετρήθηκαν οι αποικίες των μυκήτων και των ζυμών. Για τις ζύμες χρειάστηκε να γίνει μικροσκοπική παρατήρηση, έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι πρόκειται για αποικίες ζυμών και όχι βακτηριακές.

3.4.1.5 Εκτίμηση του πληθυσμού των θειοαναγωγικών κλωστριδίων

Η εκτίμηση του πληθυσμού του *Clostridium perfringens* έγινε επίσης με τη μέθοδο των διαδοχικών δεκαδικών αραιώσεων από 10^{-1} έως 10^3 , ακολούθησε εμβολιασμός και επίστρωση 0,1 ml σε τρυβλία με εκλεκτικό θρεπτικό υπόστρωμα Perfringens Agar Base και επώαση αυτών στους 42 °C για 24 ώρες. Μετά την επώαση μετρήθηκαν οι αποικίες που σχηματίστηκαν στα τρυβλία. Για την παρασκευή του θρεπτικού υλικού προστέθηκαν 46 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό. Ύστερα από ανάδευση και αποστείρωση του υλικού στους 121°C για 10 λεπτά, το ψύχουμε στους 47 °C και στη συνέχεια προσθέτουμε δύο φιαλίδια αντιβιοτικού Cycloserine. Τέλος αναδεύουμε και πάλι το θρεπτικό υλικό και το μοιράζουμε σε τρυβλία Petri.

3.4.2 Έλεγχος για την ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών

3.4.2.1 *Salmonella* spp.

Ο έλεγχος για την παρουσία του παθογόνου βακτηρίου *Salmonella* spp. στα δείγματα της αφυδατωμένης ιλύος, έγινε με βάση τη μέθοδο 1682 (U.S. EPA, 1998). Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο, η διαδικασία της ανίχνευσης του παθογόνου αυτού περιλαμβάνει τρία στάδια: το στάδιο του προεμπλουτισμού, το στάδιο του εμπλουτισμού και το στάδιο της απομόνωσης στελεχών που εμφανίζουν χαρακτηριστικά που ανήκουν στο συγκεκριμένο γένος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα υλικά που απαιτούνται και η διαδικασία παρασκευής τους, καθώς και η μεθοδολογία.

Αρχικά προσθέτουμε 50 g λάσπης σε 500 ml phosphate buffered water και ομογενοποιούμε το δείγμα σε stomacher (Laboratory blender 400 by Seward), για 5 λεπτά σε κανονική ταχύτητα. Για την παρασκευή 500 ml Phosphate buffered water προσθέτουμε 0,625 ml stock phosphate buffer solution, 2,5 ml stock magnesium chloride solution και 0,5 ml Tween - 80 σε 500 ml απιονισμένο νερό.

Το Phosphate buffered stock solution (1 L) παρασκευάζεται ως εξής: διαλύουμε 34 g KH_2PO_4 σε 500 ml απιονισμένο H_2O και ρυθμίζουμε το pH στο $7,2 \pm 0,5$ χρησιμοποιώντας περίπου 175 ml 1N NaOH. Προστίθεται αποσταγμένο H_2O έως τελικό όγκο 1L. Για την παρασκευή ενός λίτρου Magnesium chloride stock solution διαλύουμε 81,1 g $\text{MgCl}_2 \times 6 \text{H}_2\text{O}$ σε 1 L αποσταγμένο H_2O .

Προεμπλουτισμός

Μετά την ομογενοποίηση του δείγματος στο stomacher ακολουθεί εμβολιασμός, δοκιμαστικών σωλήνων που περιέχουν θρεπτικό υλικό Peptone Water (buffered). Το θρεπτικό υπόστρωμα

Peptone Water παρασκευάζεται με την προσθήκη 25 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό, στη συνέχεια το μοιράζουμε σε δοκιμαστικούς σωλήνες και το αποστειρώνουμε στους 121 °C για 15 λεπτά.

Ο εμβολιασμός των σωλήνων με το αιώρημα λάσπης γίνεται ως εξής:

- 5 σωλήνες που περιέχουν 10 ml διπλής δύναμης Peptone Water εμβολιάζονται με 10 ml αιωρήματος. Το Peptone Water διπλής δύναμης παρασκευάζεται με τον ίδιο τρόπο διαλύοντας όμως την διπλάσια ποσότητα υλικού στον ίδιο όγκο,
- 5 σωλήνες που περιέχουν 10 ml Peptone Water εμβολιάζονται με 1 ml αιωρήματος και τέλος
- 5 σωλήνες που περιέχουν 10 ml Peptone Water εμβολιάζονται με 0,1 ml αιωρήματος.

Στη συνέχεια οι εμβολιασμένοι σωλήνες επωάζονται στους 37 °C για 24 ώρες.

Εμπλουτισμός

Μετά την επώαση των 24 ωρών, από κάθε σωλήνα εμβολιάζονται με 0.1 ml αντίστοιχοι σωλήνες που περιέχουν θρεπτικό υλικό Rappaport - Vasilliadis broth και επωάζονται στους 43 °C για 48 ώρες.

Το θρεπτικό υλικό Rappaport - Vasilliadis παρασκευάζεται με προσθήκη 41,8 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό και στη συνέχεια μοιράζουμε 10 ml υλικού σε δοκιμαστικούς σωλήνες, οι οποίοι αποστειρώνονται στους 115 °C για 15 λεπτά.

Απομόνωση

Από κάθε θετικό σωλήνα με θρεπτικό υπόστρωμα Rappaport - Vasilliadis εμβολιάζονται με γραμμική διασπορά αντίστοιχα τρυβλία με εκλεκτικό υπόστρωμα XLD και ακολουθεί επώαση αυτών στους 37 °C για 24 ώρες. Τα τρυβλία XLD εξετάζονται για την εμφάνιση τυπικών αποικιών του γένους *Salmonella* ή αν δεν βρεθούν, εξετάζονται για την παρουσία άτυπων αποικιών. Οι τυπικές αποικίες του γένους *Salmonella* εμφανίζονται με μαύρο κέντρο, διάφανη περιφέρεια και δεν αλλάζουν το χρώμα του υποστρώματος. Οι άτυπες αποικίες του γένους *Salmonella* εμφανίζουν διάφανες αποικίες που δεν αλλάζουν το χρώμα του υποστρώματος ή ελαφρώς αδιαφανείς πορτοκαλί αποικίες. Στη συνέχεια από κάθε τρυβλίο που αναπτύχθηκαν τυπικές ή άτυπες αποικίες, μεταφέρονται σε καινούργιο υπόστρωμα με στόχο να δημιουργηθούν καθαρά στελέχη, τα οποία θα οδηγηθούν σε ταυτοποίηση. Ο καθαρισμός γίνεται με γραμμική διασπορά μίας τυπικής ή άτυπης αποικίας σε Lysine Mannitol Glycerol Agar (LMG), τα οποία επωάζονται στους 37 °C για 24 ώρες. Υπάρχει πιθανότητα να χρειαστεί και δεύτερος

καθαρισμός ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι έχουμε παραλάβει καθαρή καλλιέργεια. Οι τυπικές αποικίες *Salmonella* στο LMG εμφανίζονται με μαύρο κέντρο οι οποίες περιβάλλονται από κίτρινη-πορτοκαλί ή ροζ ζώνη και οι άτυπες αποικίες *Salmonella* είναι ροζ ή άχρωμες αποικίες με ροζ ζώνες.

Για την παρασκευή του θρεπτικού υποστρώματος XLD διασπείρουμε 53,5 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό και αφού ανακατέψουμε καλά το μίγμα αποστειρώνουμε με βρασμό. Τέλος αφού το αφήσουμε να ψυχθεί στους 47 °C, το μοιράζουμε σε τρυβλία Petri.

Το Lysine-Mannitol-Glycerol Agar (LMG) φτιάχνεται ως εξής σε 1L απιονισμένο νερό προσθέτουμε:

- ✓ 3 g proteose peptone,
- ✓ 5 g yeast extract,
- ✓ 5 g lysine,
- ✓ 5 g mannitol,
- ✓ 5 g glycerol,
- ✓ 5 g NaCl,
- ✓ 1 g sodium desoxyholate,
- ✓ 4 g sodium thiosulfate,
- ✓ 1 g ferric ammonium citrate,
- ✓ 0.1 g phenol red,
- ✓ 15 g agar.

Τα υλικά αυτό υπόκειται σε βρασμό για 2-3 λεπτά για να ομογενοποιηθεί (δεν αποστειρώνεται) και αφού ψυχθεί στους 45-50 °C μοιράζεται σε τρυβλία petri.

Επιβεβαιωτικές δοκιμές – Βιοχημικά test

Οι δοκιμές αυτές γίνονται για την βιοχημική επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθή διεκπεραίωση των επιβεβαιωτικών δοκιμών είναι οι καλλιέργειες να είναι καθαρές. Η διαδικασία έχει ως εξής: από καθαρές καλλιέργειες εμβολιάζουμε σωλήνα με θρεπτικό υπόστρωμα Triple Sugar Iron agar (TSI) και σωλήνα με θρεπτικό υπόστρωμα Lysine Iron Agar (LIA) με τη μέθοδο “streak and stab” καθώς και σωλήνα με θρεπτικό ζωμό ουρίας για τη δοκιμή της ουρεάσης. Στη συνέχεια οι εμβολιασμένοι σωλήνες επωάζονται στους 37 °C για 24 ώρες. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βιοχημικά test, οι διαδικασίες

παρασκευής των θρεπτικών υλικών TSI, LIA και Urea Broth καθώς και αντιδράσεις που δίνει το *Salmonella* spp. σε καθένα από τα ανωτέρω θρεπτικά υποστρώματα.

- Δοκιμή Triple Sugar Iron Agar (TSI)

Το TSI είναι θρεπτικό υπόστρωμα με το οποίο μπορεί να ελεγχθεί το στέλεχος που εξετάζεται ως προς τη ζύμωση της λακτόζης, της γλυκόζης, της σουκρόζης και την παραγωγή υδρόθειου. Τα βακτήρια που ζυμώνουν τα σάκχαρα παράγουν οξέα, τα οποία αλλάζουν το χρώμα του υποστρώματος (από κόκκινο σε κίτρινο) εξαιτίας της παρουσίας ενός δείκτη pH. Η παραγωγή αερίου φαίνεται από την ύπαρξη φυσαλίδων ή ραγισμάτων στο υλικό. Για την παρασκευή του θρεπτικού υλικού TSI προσθέτουμε 65 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό και αφού αναδεύσουμε καλά το μίγμα, το μοιράζουμε σε δοκιμαστικούς σωλήνες (12 ml / σωλήνα) και το αποστειρώνουμε στους 121 °C για 15 λεπτά. Μετά την αποστείρωση του υλικού, το αφήνουμε να πήξει σε κεκλιμένο επίπεδο.

Ο εμβολιασμός σε αυτή τη δοκιμή γίνεται με τη βοήθεια βακτηριολογικής βελόνας, με την οποία αφού πάρουμε αρκετές αποικίες από την καλλιέργεια, τη βυθίζουμε στο θρεπτικό υλικό έως 0,5-1,0 cm πριν τη βάση του σωλήνα και στη συνέχεια κάνουμε γραμμική διασπορά στην επιφάνεια. Ακολουθεί επώαση του σωλήνα στους 37 °C για 24 ώρες. Τα στελέχη του γένους *Salmonella* είναι θετικά σε αυτή την αντίδραση και δίνουν στον πυθμένα κίτρινο χρώμα λόγω της παραγωγής οξέος ή και μαύρο χρώμα λόγω της παραγωγής H₂S (το μαύρισμα οφείλεται στην ύπαρξη ενός δείκτη καθώς το υδρόθειο είναι άχρωμο). Μάλιστα πολλές φορές τυχαίνει το μαύρο χρώμα να είναι τόσο έντονο ώστε το κίτρινο να μη διακρίνεται. Στην επιφάνεια του κεκλιμένου άγαρ τα στελέχη *Salmonella* δίνουν είτε πιο έντονο κόκκινο λόγω της αύξησης του pH είτε το χρώμα δεν αλλάζει.

- Δοκιμή Lysine Iron Agar (LIA)

Για την παρασκευή αυτού του υλικού απαιτείται η προσθήκη 31,5 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό, το μίγμα αναδεύεται και θερμαίνεται προκειμένου να ομογενοποιηθεί. Κατόπιν αφού μοιράσουμε 12 ml υλικού σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα, αποστειρώνουμε στους 121 °C για 15 λεπτά. Το αφήνουμε να πήξει σε κεκλιμένο επίπεδο.

Ο εμβολιασμός σε αυτή την περίπτωση γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο που πραγματοποιήθηκε η δοκιμή TSI. Τα στελέχη του γένους *Salmonella* παρουσιάζονται θετικά σε αυτή την αντίδραση και δημιουργούν αλκαλική πλευρά και αλκαλική βάση, προσδίδοντας τόσο στον πυθμένα όσο και στην επιφάνεια του κεκλιμένου άγαρ χρώμα μωβ-βιολετί. Εξαιρέση αποτελούν κάποια

στελέχη *Salmonella*, τα οποία εξαιτίας της παραγωγής υδρόθειου δίνουν στον πυθμένα μαύρο χρώμα,.

▪ Δοκιμή ουρεάσης

Ο θρεπτικός ζωμός ουρίας παρασκευάζεται με την προσθήκη 0,9 g σκόνης σε 95 mlς απιονισμένο νερό, ακολουθεί ανάδευση του υλικού και αποστείρωση αυτού στους 121 °C για 15 λεπτά. Η ουρία προστίθεται μετά την αποστείρωση και το υλικό μοιράζεται ασηπτικά σε αποστειρωμένους δοκιμαστικούς σωλήνες (4-5 ml/σωλήνα).

Τα στελέχη του γένους *Salmonella* είναι αρνητικά στην ουρεάση άρα θα δώσουν κίτρινο χρώμα μετά την επώαση, ενώ σε περίπτωση που μετά την επώαση ο ζωμός έχει κόκκινο - ροζ χρώμα τότε η δοκιμή είναι θετική στην ουρεάση, διότι απελευθερώθηκε αμμωνία από την ουρία με αποτέλεσμα να ανέβει το pH και να αλλάξει το χρώμα του δείκτη από κίτρινο σε κόκκινο.

Ταυτοποίηση

Τα στελέχη που απομονώθηκαν από τα θετικά τρυβλία ελέγχθηκαν ως προς την δοκιμή της οξειδάσης και στη συνέχεια ταυτοποιήθηκαν με τη βοήθεια του συστήματος API 20E (Biomerieux), το οποίο δίνει τη δυνατότητα της ταυτόχρονης διενέργειας πολλών βιοχημικών δοκιμών του μικροοργανισμού που εξετάζεται. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί μια πλαστική ταινία, η οποία αποτελείται από 20 σωληνίσκους και παρέχει τη δυνατότητα της ταυτόχρονης διενέργειας 23 διαφορετικών βιοχημικών δοκιμών. Κάθε σωληνίσκος περιέχει αφυδατωμένο υπόστρωμα απαραίτητο για την διεξαγωγή της εκάστοτε βιοχημικής δοκιμής. Για τον εμβολιασμό των σωληνίσκων χρησιμοποιείται αιώρημα κυττάρων του υπό μελέτη μικροοργανισμού σε φυσιολογικό ορό. Ορισμένες αντιδράσεις απαιτούν αναερόβιες συνθήκες, οι οποίες εξασφαλίζονται με την προσθήκη mineral oil στους αντίστοιχους σωλήνες. Μετά τον εμβολιασμό των σωληνίσκων και την προσθήκη mineral oil όπου απαιτείται, η ταινία του API 20E επωάζεται για 18-24 στους 37 °C. Τέλος αφού προστεθούν κάποια αντιδραστήρια σε ορισμένους σωληνίσκους, καταγράφονται τα αποτελέσματα.

Η δοκιμή της οξειδάσης είναι πολύ χρήσιμη στο διαχωρισμό διαφόρων ομάδων βακτηρίων και γίνεται ως εξής: με τη βοήθεια βακτηριολογικού κρίκου μεταφέρουμε μια ποσότητα κυττάρων σε διηθητικό χαρτί κάνοντας επίχρισμα. Κατόπιν στάζουμε μία μικρή ποσότητα αντιδραστηρίου οξειδάσης (Biomerieux), το οποίο ανιχνεύει το ένζυμο cytochrome oxydase. Η θετική αντίδραση εκδηλώνεται σε 10-15 δευτερόλεπτα και οδηγεί σε μαύρισμα των κυττάρων ενώ στην αρνητική αντίδραση δεν εκδηλώνεται μεταβολή του χρώματος (Κώτσου κ.α., 2003). Τα στελέχη του

γένους *Salmonella* είναι αρνητικά στην οξειδάση, οπότε δεν παρατηρείται αλλαγή του χρώματος των κυττάρων.

Τελικά, όσες αποικίες ταυτοποιηθούν ως *Salmonella* αντιστοιχούν σε θετικούς αρχικούς σωλήνες και υπολογίζεται ο πλέον πιθανός αριθμός από τους πίνακες (U.S. EPA 1998).

3.4.2.2 *Listeria* spp.

Η διαδικασία ανίχνευσης της παρουσίας του παθογόνου *Listeria* spp. στα δείγματα ιλύος, περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια (ISO/ Committee Draft 11290, Garrec *et al.*, 2003):

Εμπλουτισμός

Ο εμπλουτισμός του δείγματος γίνεται με τη βοήθεια του θρεπτικού υποστρώματος ½ Frazer Broth, το οποίο παρασκευάζεται με την προσθήκη 55 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό. Ακολουθεί ανάδευση του μίγματος και αποστείρωση 121 °C για 10 λεπτά. Αφού ψυχθεί στους 47 °C προσθέτουμε δύο φιαλίδια αντιβιοτικού (×194), τα οποία εμποδίζουν την ανάπτυξη άλλων βακτηριακών πληθυσμών. Τέλος μοιράζουμε το υλικό σε αποστειρωμένους σωλήνες και κωνικές φιάλες.

Επί της διαδικασίας, σε κωνική φιάλη που περιέχει 90ml ½ Frazer Broth τοποθετούμε 10g λάσπης (αναλογία 1:9) και ακολουθεί ομογενοποίηση του αιωρήματος ιλύος σε ανακινούμενο επωαστικό θάλαμο για δύο ώρες. Κατόπιν, γίνονται διαδοχικές αραιώσεις από 10⁻¹ έως 10⁻³ κατά τις οποίες λαμβάνονται με ασηπτική τεχνική:

- 10 ml αιωρήματος ιλύος και τοποθετούνται σε άδειο αποστειρωμένο δοκιμαστικό σωλήνα (πραγματοποιούνται συνολικά 5 επαναλήψεις),
- 1 ml αιωρήματος ιλύος και τοποθετείται σε δοκιμαστικό σωλήνα, που περιέχει 9 ml ½ Frazer Broth (πραγματοποιούνται συνολικά 5 επαναλήψεις) και
- 0,1 ml αιωρήματος ιλύος και τοποθετείται σε δοκιμαστικό σωλήνα, που περιέχει 9 ml ½ Frazer Broth (πραγματοποιούνται συνολικά 5 επαναλήψεις).

Τέλος οι εμβολιασμένοι δοκιμαστικοί σωλήνες επωάζονται στους 37 °C για 48 ώρες.

Απομόνωση

Μετά την επώαση, από κάθε θετικό δοκιμαστικό σωλήνα γίνεται γραμμική διασπορά σε ένα τρυβλίο με θρεπτικό υπόστρωμα Palcam. Ακολουθεί επώαση των τρυβλίων στους 37 °C για 24 ώρες και έλεγχος για τυπικές αποικίες. Οι τυπικές αποικίες των στελεχών του γένους *Listeria* εμφανίζονται με χρώμα γκρι-πράσινο, οι οποίες σχηματίζουν μία μαύρη περιφερειακή ζώνη.

Από τα θετικά τρυβλία γίνεται γραμμική διασπορά σε τρυβλία με θρεπτικό υπόστρωμα *Listeria Isolation Medium* (Oxford formulation), προκειμένου να παραλάβουμε καθαρές καλλιέργειες. Τα τρυβλία επωάζονται για 24 ώρες στους 37 °C.

Το θρεπτικό υλικό Palcam παρασκευάζεται ως εξής: διαλύουμε 71 g σκόνης Palcam Agar Base σε 1 L απιονισμένο νερό και αφού το αποστειρώσουμε στους 121 °C για 15 λεπτά, προσθέτουμε 2 φιαλίδια διαλύματος P.A.C. Το διάλυμα περιέχει ένα συνδυασμό αντιβιοτικών ουσιών που παρεμποδίζουν την ανάπτυξη άλλων βακτηρίων. Τέλος μοιράζουμε το υλικό σε τρυβλία.

Σε ότι αφορά την παρασκευή του θρεπτικού υλικού *Listeria Isolation Medium*, διασπείρουμε 57,5 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό, αναδεύουμε το μίγμα για 10 λεπτά και το αποστειρώνουμε στους 121 °C για 15 λεπτά. Αφού ψυχθεί στους 47 °C προσθέτουμε δύο φιαλίδια αντιβιοτικού διαλύματος (×123) και μοιράζουμε σε τρυβλία.

Επιβεβαιωτικές δοκιμές και ταυτοποίηση

Τα στελέχη ελέγχθηκαν ως προς τις παρακάτω επιβεβαιωτικές δοκιμές, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε καθαρές καλλιέργειες του προς εξέταση οργανισμού:

- Αντίδραση της καταλάσης

Η καταλάση είναι ένα ένζυμο που μετατρέπει το υπεροξείδιο του υδρογόνου σε νερό και οξυγόνο, γι' αυτό την παράγουν οι περισσότεροι αερόβιοι μικροοργανισμοί προκειμένου να προστατευτούν από το τοξικό υπεροξείδιο του υδρογόνου.

Η δοκιμή αυτή γίνεται με τη βοήθεια μικροβιολογικού κρίκου, με τον οποίο μεταφέρουμε μια αποικία σε αντικειμενοφόρο πλάκα. Στη συνέχεια στάζουμε 1 σταγόνα διαλύματος υπεροξειδίου του υδρογόνου 3% επάνω στην αποικία και παρακολουθούμε τις αντιδράσεις. Αν παρατηρηθεί αφρισμός κατά την προσθήκη του εν λόγω διαλύματος, λόγω απελευθέρωσης οξυγόνου, τότε η αντίδραση είναι θετική (Κώτσου κ.α., 2003). Τα κύτταρα του γένους *Listeria* δίνουν θετικές αντιδράσεις διότι διαθέτουν το ένζυμο της καταλάσης (Diagnostic Microbiology).

- Δοκιμή του ινδολίου

Η δοκιμή του ινδολίου εξετάζει την ικανότητα ορισμένων βακτηρίων να σχηματίζουν ινδόλιο από τρυπτοφάνη. Η διαδικασία έχει ως εξής: με τη βοήθεια μικροβιολογικού κρίκου παίρνουμε αποικίες του οργανισμού από καθαρές καλλιέργειες και εμβολιάζουμε δοκιμαστικούς σωλήνες με θρεπτικό υπόστρωμα Peptone Water (25 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό, μοιράζουμε σε σωλήνες (5 ml/σωλήνα) και αποστειρώνουμε στους 121 °C για 15 λεπτά). Μετά από επώαση

των σωλήνων στους 37 °C για 24 ώρες, προστίθενται 3 ml αντιδραστηρίου Kovacs. Αναταράσσουμε ελαφρά τον σωλήνα και παρατηρούμε ότι σχηματίζεται μία στοιβάδα αλκοόλης στο άνω μέρος του σωλήνα. Αν η στοιβάδα έχει κόκκινο χρώμα τότε η αντίδραση είναι θετική, δηλαδή έχει παραχθεί ινδόλιο (Κώτσου κ.α, 2003). Η *Listeria* είναι αρνητική σε αυτή την αντίδραση, δηλαδή δεν παράγει ινδόλιο.

- Κατανάλωση κιτρικών ως πηγή άνθρακα

Η δοκιμή αυτή προσδιορίζει την ικανότητα ενός μικροοργανισμού να αξιοποιεί τα κιτρικά ως πηγή άνθρακα. Το θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε γι' αυτό το σκοπό ήταν το Simmons' Citrate Agar, στο οποίο μοναδική πηγή άνθρακα είναι το κιτρικό οξύ. Τα εν λόγω υλικά παρασκευάζεται με προσθήκη 22,5 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό. Ομογενοποιούμε το μίγμα με θέρμανση και αφού το μοιράσουμε σε δοκιμαστικούς σωλήνες (6-7 ml/σωλήνα), το αποστειρώνουμε στους 121 °C για 15 λεπτά. Τέλος το αφήνουμε να πήξει σε κεκλιμένο επίπεδο. Με χρήση του μικροβιολογικού κρίκου λαμβάνουμε αποικίες του μικροοργανισμού από καθαρές καλλιέργειες και εμβολιάζουμε με γραμμική διασπορά δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει στερεό κεκλιμένο κιτρικό άγαρ. Η καλλιέργεια επωάζεται στους 37 °C για 48 ώρες. Η δοκιμή χαρακτηρίζεται θετική αν μετά την επώαση παρατηρηθεί ανάπτυξη του μικροοργανισμού και μεταβολή του χρώματος του υλικού από πράσινο σε κυανό (η αύξηση του pH μεταβάλλει το χρώμα του δείκτη κυανού της βρωμοθυμόλης). Η *Listeria* είναι αρνητική σε αυτή τη δοκιμή δηλαδή δεν χρησιμοποιεί τα κιτρικά ως πηγή άνθρακα (Κώτσου κ.α., 2003).

- Δοκιμή Voges Proskauer

Με τη δοκιμή αυτή διαπιστώνεται αν ο υπό εξέταση μικροοργανισμός διαθέτει τη μεταβολική οδό της βουτανεδιολικής ζύμωσης της γλυκόζης. Το Voges Proskauer test πραγματοποιείται ως εξής: εμβολιάζουμε με στελέχη του μικροοργανισμού δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει γλυκόζη-φωσφορικό υπόστρωμα και το επωάζουμε στους 37 °C για 48 ώρες. Μετά την επώαση προσθέτουμε στο σωλήνα, ο οποίος περιέχει 1 ml καλλιέργειας, 0,5 ml Barrit's A και 0,5 ml Barrit's B, αναδεύουμε και το αφήνουμε σε ηρεμία για περίπου 10 λεπτά. Η δοκιμή χαρακτηρίζεται θετική εάν το διάλυμα εμφανίσει χρώμα κόκκινο. Επειδή πολλές φορές η ανάπτυξη χρώματος καθυστερεί, θα πρέπει να περάσουν τουλάχιστον 4 ώρες μετά την προσθήκη του Barrit's B προτού απορριφθούν σωλήνες ως αρνητικοί (Κώτσου κ.α., 2003). Η *Listeria* είναι θετική σε αυτή τη δοκιμή δηλαδή διαθέτει τη μεταβολική οδό της βουτανεδιολικής ζύμωσης της γλυκόζης.

Το θρεπτικό υπόστρωμα που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση, παρασκευάζεται με την προσθήκη 7 g Peptone, 5 g Glucose, 5 g K_2HPO_4 σε 1 L απιονισμένο νερό. Ακολουθεί ανάδευση του υλικού και ρύθμιση του pH στο 7,0. Τέλος μοιράζουμε σε δοκιμαστικούς σωλήνες και αποστειρώνουμε στους 121 °C για 15 λεπτά.

- Δοκιμή ερυθρού του μεθυλίου - Methyl Red

Η δοκιμή αυτή ανιχνεύει την παρουσία μικροοργανισμών, οι οποίοι δεν μετατρέπουν τα όξινα προϊόντα σε ουδέτερα, οπότε λόγω του χαμηλού pH ο δείκτης του μεθυλίου δίνει χρώμα κόκκινο. Η διαδικασία περιλαμβάνει εμβολιασμό δοκιμαστικών σωλήνων με θρεπτικό υπόστρωμα γλυκόζη-φωσφορικό (η διαδικασία παρασκευής του αναφέρθηκε προηγουμένως) με στελέχη του υπό εξέταση μικροοργανισμού. Μετά από επώαση των σωλήνων στους 37 °C για 48 ώρες, προσθέτουμε σε 4 ml καλλιέργειας 2-3 σταγόνες Methyl Red. Σε περίπτωση που παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος σε κόκκινο τότε η δοκιμή θεωρείται θετική (Κώτσου κ.α., 2003). Η *Listeria* παρουσιάζει θετική αντίδραση στην εν λόγω δοκιμή.

- Ανάπτυξη σε θρεπτικό υπόστρωμα Triple Sugar Iron Agar (TSI)

Το Triple Sugar Iron Agar είναι θρεπτικό υλικό με το οποίο διαπιστώνεται αν ο εξεταζόμενος μικροοργανισμός ζυμώνει τη λακτόζη, τη γλυκόζη, τη σουκρόζη καθώς και αν παράγει υδρόθειο. Όπως προαναφέρθηκε τα βακτήρια που ζυμώνουν τα σάκχαρα παράγουν οξέα, τα οποία αλλάζουν το χρώμα του υποστρώματος από κόκκινο σε κίτρινο, εξαιτίας της παρουσίας ενός δείκτη pH. Ο τρόπος παρασκευής του υλικού αυτού αναφέρεται στη σελίδα 60.

Ο εμβολιασμός γίνεται με τη βοήθεια βακτηριολογικής βελόνας, με την οποία αφού πάρουμε αρκετές αποικίες από την καλλιέργεια, τη βυθίζουμε στο θρεπτικό υλικό έως 0,5-1,0 cm πριν τη βάση του σωλήνα και στη συνέχεια κάνουμε γραμμική διασπορά στην επιφάνεια. Κατόπιν επωάζουμε το σωλήνα στους 37 °C για 24 ώρες. Τα στελέχη του γένους *Listeria* ζυμώνουν τα σάκχαρα και επομένως έχουμε παραγωγή οξέος τόσο στη βάση όσο και στην επιφάνεια του σωλήνα, δηλαδή η καλλιέργεια παίρνει κίτρινο χρώμα.

- Δοκιμή ουρεάσης

Αρχικά με τη βοήθεια μικροβιολογικού κρίκου παίρνουμε αποικίες του μικροοργανισμού και εμβολιάζουμε δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει περίπου 4 ml Urea Broth Base (ο τρόπος παρασκευής του θρεπτικού ζωμού ουρίας παρουσιάστηκε στην σελίδα 61). Επωάζουμε το σωλήνα στους 37 °C για 24 ώρες. Η αντίδραση χαρακτηρίζεται θετική όταν μετά την επώαση οι

καλλιέργειες εμφανίσουν κόκκινο – ροζ χρώμα. Τα στελέχη του γένους *Listeria* είναι αρνητικά στην ουρεάση και επομένως θα εμφανίσουν κίτρινο χρώμα μετά την επώαση.

Τα στελέχη που έδωσαν τις τυπικές αντιδράσεις του γένους *Listeria* στις παραπάνω επιβεβαιωτικές δοκιμές ταυτοποιήθηκαν με τη βοήθεια του συστήματος API *Listeria* (Biomerieux), το οποίο δίνει τη δυνατότητα της ταυτόχρονης διενέργειας δέκα διαφορετικών βιοχημικών αντιδράσεων. Από εικοσιτετράωρη καλλιέργεια του μικροοργανισμού σε αιματούχο άγαρ Columbia Agar Base (41 g σκόνης σε 1L απιονισμένο νερό, αποστείρωση στους 121 °C για 15 λεπτά και αφού ψυχθεί προσθέτουμε 5-7% απινωδογονωμένο αίμα) μεταφέρουμε με μικροβιολογικό κρίκο αποικίες σε Mc Carthney που περιέχει 2 ml αποστειρωμένο νερό. Το αιώρημα των κυττάρων πρέπει να είναι τόσο θαμπό όσο 0,5 MacFarland (Bille *et al.*, 1992). Από αυτό το αιώρημα εμβολιάζουμε τους σωληνίσκους της ταινίας του API *Listeria*. Μετά από επώαση 24 ωρών καταγράφηκαν οι αντιδράσεις του οργανισμού. Τελικά, όσες αποικίες ταυτοποιηθούν ως *Listeria* αντιστοιχούν σε θετικούς αρχικούς σωλήνες και υπολογίζεται ο πλέον πιθανός αριθμός από τους πίνακες.

3.4.3 Απομόνωση και ταυτοποίηση στελεχών *Enterococcus* spp.

Η απομόνωση στελεχών του γένους *Enterococcus* πραγματοποιήθηκε σε θρεπτικό υπόστρωμα Slanetz and Bartley (η παρασκευή του οποίου περιγράφεται στη σελίδα 56). Ακολούθησαν οι παρακάτω επιβεβαιωτικές δοκιμές, προκειμένου να ταυτοποιηθούν τα στελέχη ως *Enterococcus*:

- Δοκιμή της καταλάσης

Η δοκιμή αυτή γίνεται με τη βοήθεια μικροβιολογικού κρίκου, με τον οποίο μεταφέρουμε μια αποικία σε αντικειμενοφόρο πλάκα. Στη συνέχεια στάζουμε 1 σταγόνα διαλύματος υπεροξειδίου του υδρογόνου 3% επάνω στην αποικία. Αν παρατηρηθεί αφρισμός κατά την προσθήκη του εν λόγω διαλύματος, τότε η αντίδραση είναι θετική (Κώτσου κ.α., 2003). Τα κύτταρα του γένους *Enterococcus* δίνουν αρνητικές αντιδράσεις διότι δε διαθέτουν το ένζυμο της καταλάσης.

- Αύξηση στους 10 °C

Εμβολιάζουμε δοκιμαστικούς σωλήνες που περιέχουν 4 ml θρεπτικό υλικό Brain Heart Infusion Broth με μία αποικία από καθαρή καλλιέργεια και στη συνέχεια επωάζουμε στους 10 °C για 7-10 ημέρες. Εάν θολώσουν οι σωλήνες τότε τα κύτταρα που εμβολιάστηκαν κατάφεραν να αναπτυχθούν σε αυτή τη θερμοκρασία. Το θρεπτικό υλικό Brain Heart Infusion Broth φτιάχνεται ως εξής: σε 1 L απιονισμένο νερό διαλύουμε 37 g σκόνης, έπειτα μοιράζουμε το μίγμα σε δοκιμαστικούς σωλήνες, τους οποίους αποστειρώνουμε για 15 λεπτά στους 121 °C.

- Ανάπτυξη στους 45 °C

Εμβολιάζουμε δοκιμαστικούς σωλήνες που περιέχουν 4 ml θρεπτικό υλικό Brain Heart Infusion Broth με μία αποικία και τους επωάζουμε στους 45 °C έως 48 h . Η ανάπτυξη των στελεχών του μικροοργανισμού κρίνεται από το θόλωμα των σωλήνων.

- Ανθεκτικότητα στο χλωριούχο νάτριο (NaCl)

Η δοκιμή περιλαμβάνει εμβολιασμό δοκιμαστικών σωλήνων που περιέχουν θρεπτικό υλικό Brain Heart Infusion Broth ενισχυμένο με 6,5% NaCl με μία αποικία και επώαση αυτών στους 37 °C για 1-2 ημέρες. Η δοκιμή χαρακτηρίζεται ως θετική για στελέχη του γένους *Enterococcus* εάν οι σωλήνες παρουσιάσουν θόλωμα.

- Ανάπτυξη σε Esculin bile agar

Το θρεπτικό υλικό Esculin bile agar παρασκευάζεται με προσθήκη 64 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό. Έπειτα ομογενοποιούμε το μίγμα με θέρμανση, το μοιράζουμε σε δοκιμαστικούς σωλήνες και το αποστειρώνουμε στους 121 °C για 15 λεπτά. Προκειμένου να εξεταστεί η ανάπτυξη των στελεχών σε Esculin bile agar, εμβολιάζονται οι δοκιμαστικοί σωλήνες που περιέχουν το παραπάνω θρεπτικό υπόστρωμα με μία αποικία και επωάζονται στους 37 °C για δύο ημέρες. Εάν μετά την επώαση παρατηρηθεί μαύρισμα του υλικού, τότε η δοκιμή χαρακτηρίζεται θετική για στελέχη του γένους *Enterococcus*.

Μετά τις επιβεβαιωτικές δοκιμές ακολούθησε αποθήκευση των στελεχών του γένους *Enterococcus* στους – 80 °C και -20 °C σε διάλυμα γλυκερόλης 30%κ.ο (stock καλλιέργειες). Υγρές καλλιέργειες των στελεχών σε Nutrient broth χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των stock καλλιεργειών. Το θρεπτικό υλικό Nutrient broth φτιάχνεται με τη διάλυση 8 g σκόνης σε 1 L απιονισμένο νερό και αφού μοιράσουμε το μίγμα σε δοκιμαστικούς σωλήνες, αποστειρώνουμε στους 121 °C για 15 λεπτά.

Κεφάλαιο 4^ο : Αποτελέσματα - Σχολιασμός

4.1 Μονάδες δειγματοληψίας

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, 24 σύνθετα δείγματα αφυδατωμένης ιλύος, από τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του ελλαδικού χώρου υποβλήθηκαν σε αναλύσεις φυσικό-χημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, δείγματα αφυδατωμένης ιλύος λήφθηκαν από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων του Ρεθύμνου, του Ηρακλείου, του Βόλου, της Λάρισας, της Χερσονήσου, των Τρικάλων, της Καρδίτσας, του Λουτρακίου, της Κορίνθου, του Κιάτου, του Ξυλόκαστρου, της Θήβας, της Λαμίας, της Πάτρας, του Αργους-Ναυπλίου-Νέας Κίου, της Λιβαδειάς, της Τρίπολης, της Βέροιας, των Ιωαννίνων, της Αλεξανδρούπολης, των Χανίων, της Σητείας, της Ιεράπετρας και της Ψυττάλειας.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος επεξεργασίας της ιλύος είναι η αερόβια σταθεροποίηση, κυρίως μέσω των συστημάτων παρατεταμένου αερισμού. Τα τελευταία χρόνια, η μηχανική αφυδάτωση είναι η συνηθέστερη πρακτική και τείνει να αντικαταστήσει τις υπάρχουσες κλίνες ξήρανσης. Αναλυτικότερα, μηχανική αφυδάτωση της ιλύος γίνεται στην πλειοψηφία των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων από τις οποίες λήφθηκαν δείγματα λάσπης, ενώ αφυδάτωση σε κλίνες ξήρανσης πραγματοποιείται μόνο στη μονάδα της Καρδίτσας. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων των Τρικάλων και του Ξυλόκαστρου διαθέτουν επίσης κλίνες ξήρανσης, τις οποίες χρησιμοποιούν όταν κριθεί αναγκαίο. Ανάμεσα στους τύπους της μηχανικής αφυδάτωσης, οι ταινιοφιλτρόπρεςες είναι η συνηθέστερη μέθοδος αφυδάτωσης, ποσοστό 79% επί του συνόλου των μονάδων δειγματοληψίας. Αφυδάτωση με φυγοκέντρωση πραγματοποιείται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Ψυττάλειας, της Πάτρας, των Ιωαννίνων και της Χερσονήσου (βλέπε διάγραμμα 4.1.1).



Διάγραμμα 4.1.1: Μέθοδος αφυδάτωσης της ιλύος στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που εξετάστηκαν.

Στην Ελλάδα η εδαφική διάθεση (σε χωματερές και Χ.Υ.Τ.Α.) είναι η συχνότερα εφαρμοζόμενη μέθοδος διάθεσης. Η εδαφική διάθεση, συνήθως μαζί με στερεά απόβλητα, είναι μια ελκυστική μέθοδος, εξαιτίας του χαμηλού κόστους. Πιο αναλυτικά, το 54% των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων που εξετάστηκαν, απορρίπτουν την ιλύ σε ανεξέλεγκτους χώρους, χωρίς κανένα μέσο περιβαλλοντικής προστασίας (χωματερές). Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 4.1.2 μόνο 11 από τις 24 εγκαταστάσεις, από τις οποίες λήφθηκαν δείγματα, χρησιμοποιούν χώρους υγειονομικής ταφής για την απόθεση της αφυδατωμένης ιλύος.



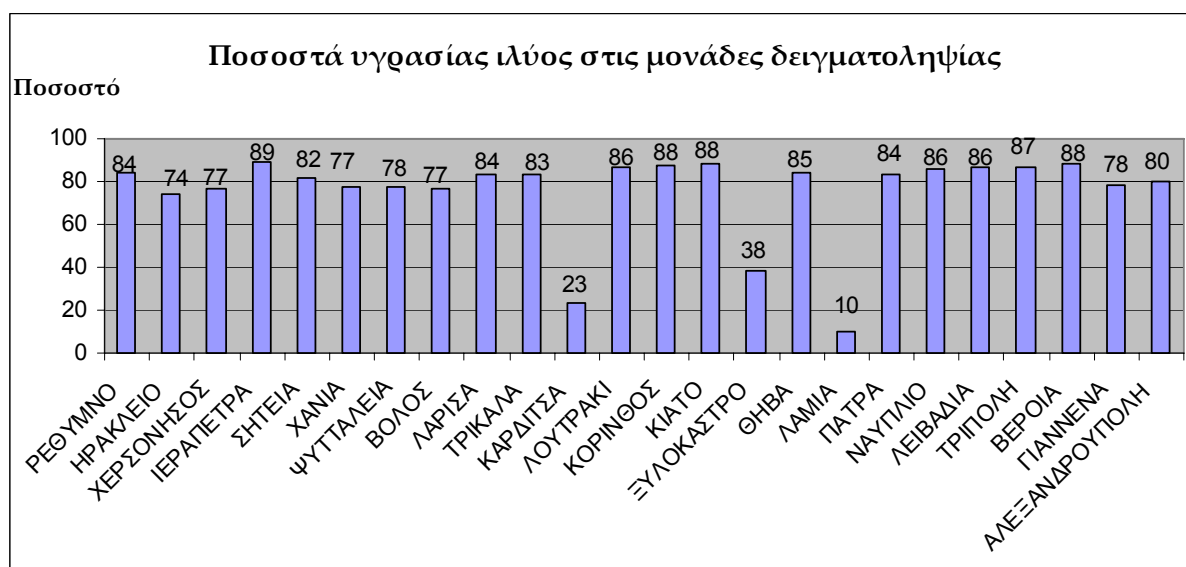
Διάγραμμα 4.1.2: Οι συνηθέστεροι τρόποι διάθεσης της ιλύος που παράγεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που εξετάστηκαν.

4.2 Φυσικές και χημικές παράμετροι ιλύος

4.2.1 Υγρασία

Η υγρασία της ιλύος κυμαίνεται μεταξύ 77-89%, κατά μέσο όρο 82%, με εξαίρεση τη λάσπη των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων της Καρδίτσας, του Ξυλοκάστρου και της Λαμίας όπου η υγρασία ανέρχεται μόλις στο 23%, 38% και 10% αντίστοιχα.

Τα ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά υγρασίας των δειγμάτων ιλύος από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Καρδίτσας και του Ξυλοκάστρου, οφείλονται πιθανότατα στη μέθοδο επεξεργασίας που εφαρμόζουν. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι παραπάνω εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν κλίνες ξήρανσης για να επιτύχουν περεταίρω μείωση της περιεκτικότητας της λάσπης σε υγρασία και ότι η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά την θερινή περίοδο, δικαιολογείται η χαμηλή περιεκτικότητα των ανωτέρω δειγμάτων σε νερό. Σε ότι αφορά το δείγμα ιλύος από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Λαμίας, το χαμηλό επίπεδο υγρασίας που μετρήθηκε σε αυτό δεν φαίνεται να οφείλεται στη μέθοδο αφυδάτωσης με ταινιοφιλτρόπρεσσες, η οποία εφαρμόζεται στην εν λόγω μονάδα. Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζονται αναλυτικά τα ποσοστά υγρασίας της λάσπης από κάθε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων που εξετάστηκε.



Διάγραμμα 4.2.1.1: Ποσοστά υγρασίας της λάσπης για κάθε μονάδα δειγματοληψίας.

Η υγρασία της ιλύος είναι σημαντική παράμετρος ποιότητας διότι προσδιορίζει σε ένα βαθμό τις δυνατότητες περεταίρω αξιοποίησης και διάθεσης της λάσπης. Συγκεκριμένα η υγρασία είναι ιδιαίτερα σημαντική για να λάβει χώρα η διαδικασία της κομποστοποίησης, αφού επίπεδα

υγρασίας μεταξύ 40-65% ευνοούν τη μικροβιακή δραστηριότητα, με αποτέλεσμα η διαδικασία να πραγματοποιείται στο βέλτιστο βαθμό (Stentiford, 2001).

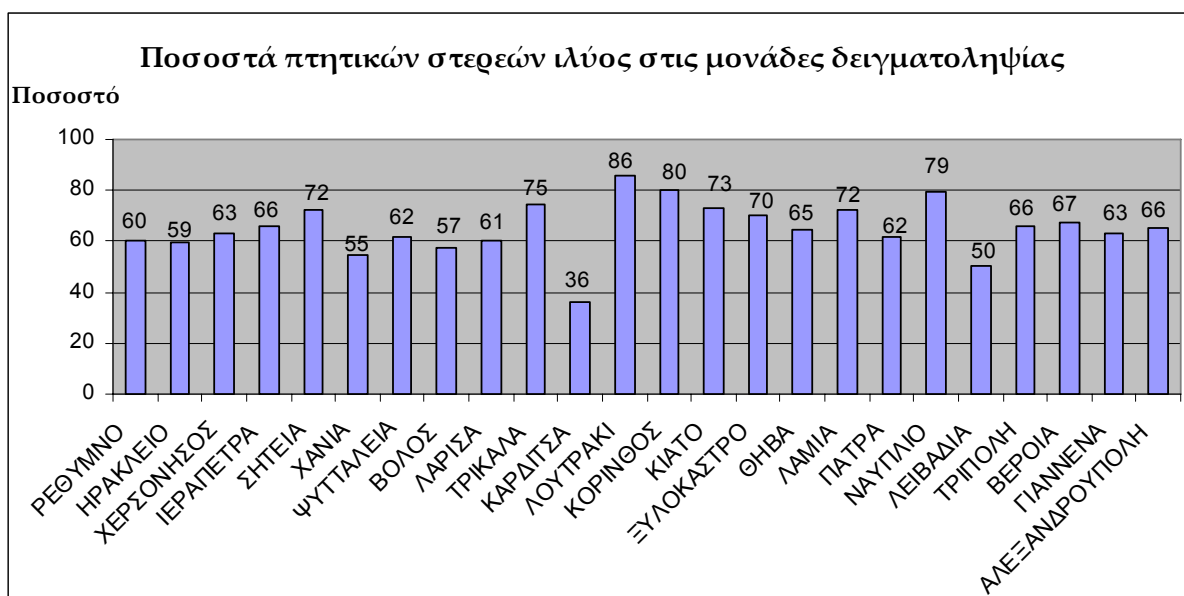
Το νερό είναι βασικός παράγοντας στην αποικοδομητική δραστηριότητα και η έλλειψή του αποτελεί τον πιο κοινό περιοριστικό παράγοντα για τη μικροβιακή δραστηριότητα στα στερεά υποστρώματα. Συνθήκες χαμηλής υγρασίας περιορίζουν την κινητικότητα των βακτηρίων, ενώ η υπερβολική υγρασία καταλαμβάνει με νερό τους θύλακες αέρα που βρίσκονται μεταξύ των σωματιδίων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες (Richard *et al.*, 2002).

4.2.2 Πτητικά στερεά

Η τέφρα είναι το υλικό που απομένει μετά την καύση δειγμάτων στους 550 °C και αντιπροσωπεύει την κατά προσέγγιση περιεκτικότητα σε μέταλλα και σε ανόργανη ύλη που περιέχονται στα δείγματα ιλύος. Η οργανική ύλη δηλαδή τα πτητικά στερεά υπολογίζονται από την αφαίρεση της επί τοις εκατό τέφρας από το 100 (Schaub-Szabo and Leonard, 1999).

Η υψηλή περιεκτικότητα της ιλύος σε οργανική ύλη και θρεπτικά συστατικά, καθιστά την κομποστοποίηση την οικονομικότερη λύση στο πρόβλημα της διάθεσης της ιλύος. Η λύση αυτή συμφέρει τους γεωργούς δεδομένου ότι προμηθεύονται ένα προϊόν χρήσιμο για τα φυτά και σε ανταγωνιστική τιμή (Andreadakis *et al.*, 2001). Ειδικά στη Ελλάδα που ο κυριότερος τρόπος διάθεσης της λάσπης είναι η απόρριψη σε Χ.Υ.Τ.Α. και χωματερές (βλέπε Πίνακα 2.4.1.1 σελίδα 28) επιβάλλεται να προωθηθεί η παραπάνω λύση.

Τα ποσοστά των πτητικών στερεών ήταν κατά μέσο όρο 65%. Τα μεγαλύτερα ποσοστά οργανικής ύλης περιλαμβάνονταν στις λάσπες από τους βιολογικούς καθαρισμούς του Λουτρακίου (86%), της Κορίνθου (80%) και του Ναυπλίου (79%). Αντίθετα το χαμηλότερο ποσοστό περιεκτικότητας της λάσπης σε πτητικά στερεά βρέθηκε στο δείγμα ιλύος της μονάδας της Καρδίτσας (Διάγραμμα 4.2.2.1).

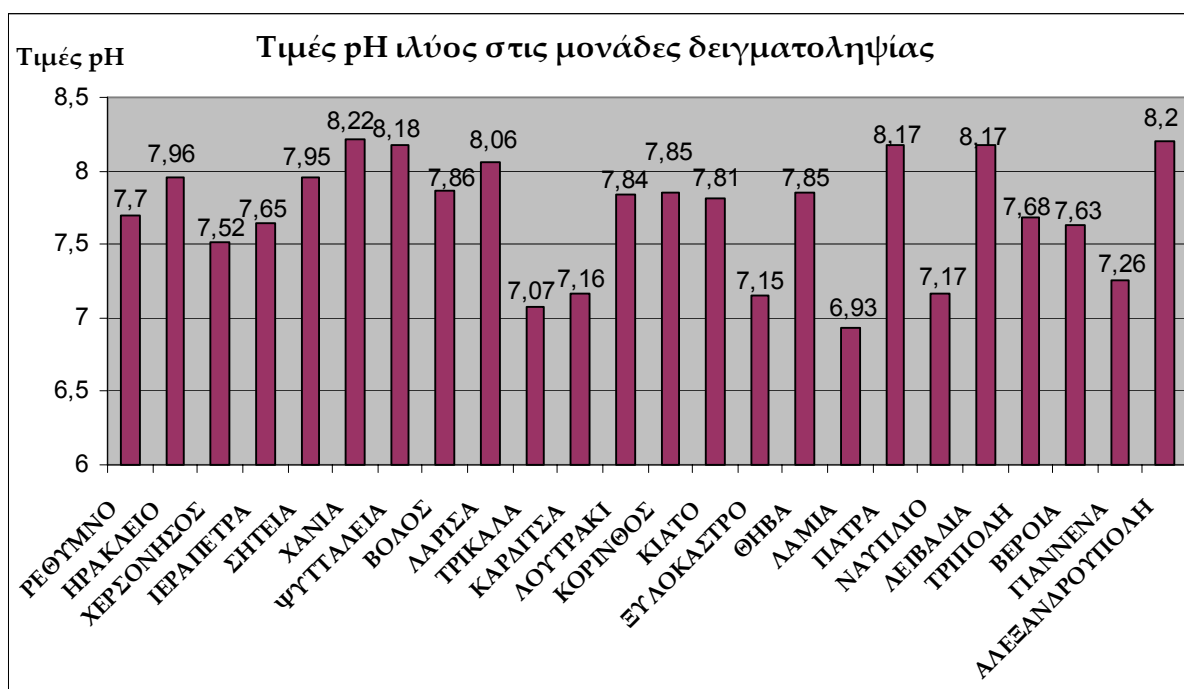


Διάγραμμα 4.2.2.1: Ποσοστά πτητικών στερεών στα δείγματα ιλύος.

4.2.3 pH

Το pH της λάσπης αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τις συγκεντρώσεις και τους ρυθμούς μείωσης των μικροοργανισμών στην ιλύ. Σύμφωνα με τους Jean *et al.* (1999) εάν ρυθμίσουμε το pH της λάσπης στο 11, οι ρυθμοί μείωσης των συγκεντρώσεων των ολικών κολίμορφων και των ολικών μεσόφιλων βακτηρίων φθάνουν το 80% και 57% αντίστοιχα. Εάν πάλι ρυθμίσουμε την τιμή του pH στο 5 τότε οι ρυθμοί μείωσης των ολικών κολίμορφων και των ολικών μεσόφιλων βακτηρίων φθάνουν το 46% και 14% αντίστοιχα. Τέλος για τιμή pH 3 οι ρυθμοί μείωσης δεν ξεπερνούν το 41% για τα ολικά κολίμορφα και το 37% για ολικά μεσόφιλα βακτήρια. Μέγιστες συγκεντρώσεις των παραπάνω μικροοργανισμών στη λάσπη συναντάμε όταν η τιμή του pH πλησιάζει το 7.

Οι τιμές του pH στα δείγματα λάσπης κυμαίνονται μεταξύ 6,93-8,22 με μέσο όρο 7,71. Οι τιμές αυτές του pH είναι εντός των ορίων για κομποστοποίηση pH: 6-9 (Μανιός και Μανιαδάκης, 2001), συνεπώς το pH όλων των δειγμάτων λάσπης δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα μιας ενδεχόμενης διαδικασίας κομποστοποίησης. Στο διάγραμμα 4.2.3.1 φαίνονται οι τιμές του pH για κάθε δείγμα λάσπης.

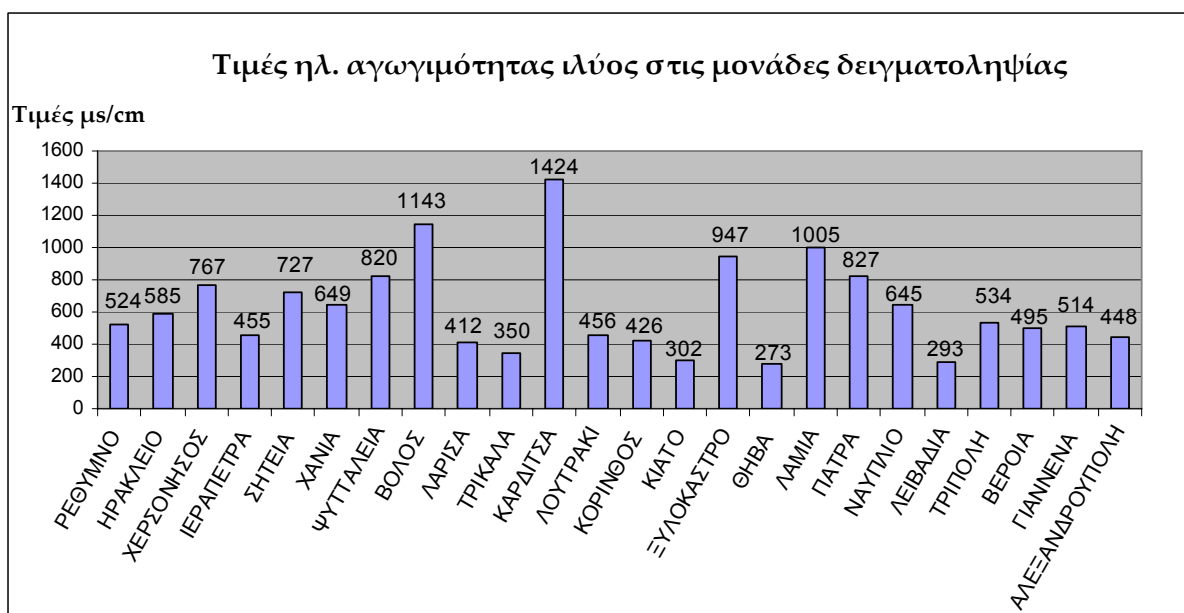


Διάγραμμα 4.2.3.1: Οι τιμές του pH σε καθένα από τα δείγματα λάσπης.

4.2.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των δειγμάτων ιλύος παρουσιάζει μεγάλο εύρος διακύμανσης από 273 -1424 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η ελληνική νομοθεσία ορίζει ανώτατο όριο τα 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, συνεπώς κανένα από τα δείγματα δεν αποκλίνει από τα επιτρεπόμενα όρια. Σύμφωνα με τους Μανιό και Μανιαδάκη (2001), η ηλεκτρική αγωγιμότητα της λάσπης δε πρέπει να ξεπερνά τα 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ διότι μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην αρχή της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Γεγονός είναι ότι κανένα από τα δείγματα ιλύος δε παρουσιάζει τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεγαλύτερη των 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Στο διάγραμμα 4.2.4.1 παρουσιάζονται οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας για καθένα από τα δείγματα λάσπης. Όπως παρατηρούμε υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας εμφανίζουν τα δείγματα λάσπης από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Καρδίτσας, του Βόλου και της Λαμίας με τιμές 1424 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1143 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και 1005 $\mu\text{S}/\text{cm}$ αντίστοιχα. Οι σχετικά αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε ορισμένα από τα δείγματα λάσπης πιθανότατα οφείλονται στη σύσταση της ιλύος (υψηλή συγκέντρωση αλάτων). Αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στα δείγματα των μονάδων της Θήβας, της Λειβαδιάς και του Κιάτου με τιμές 273 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 293 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και 302 $\mu\text{S}/\text{cm}$ αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.2.4.1: Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα λάσπης εκφρασμένη σε $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.2.5 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων

Για την χρήση της ιλύος στην γεωργία κρίσιμη παράμετρο αποτελεί η περιεκτικότητα της σε βαρέα μέταλλα. Τα βαρέα μέταλλα δεν καταστρέφονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, αντίθετα συγκεντρώνονται ως επί το πλείστον στην διαχωριζόμενη ιλύ.

Η ιλύς μπορεί να περιέχει σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων, όπως το κάδμιο, το χρώμιο, ο χαλκός, το νικέλιο, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος, τα οποία αποτελούν δυνητικά παθογόνα για τα φυτά και για άλλους ζωντανούς οργανισμούς (Μανιός και Μανιαδάκης, 2001). Οι οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην επεξεργασμένη ιλύ, που προορίζεται να διατεθεί στο έδαφος, καθορίζονται στην Οδηγία 86/278 της Ευρωπαϊκής Ένωσης (βλέπε Πίνακα 2.5.2, σελίδα 43).

Στην παρούσα μελέτη μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις του χαλκού, του ψευδάργυρου, του νικελίου, του μόλυβδου και του καδμίου σε δείγματα ιλύος που λήφθηκαν από 24 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, στην Ελλάδα. Στον Πίνακα 4.2.5.1 παρουσιάζονται οι εν λόγω συγκεντρώσεις, ενώ παράλληλα παρατίθενται οι οριακές τιμές όπως καθορίζονται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία (Οδηγία 86/278), καθώς και από την νομοθεσία των Η.Π.Α. (U.S. EPA, 1995). Στον ίδιο πίνακα φαίνονται και οι οριακές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων που έχουν προταθεί, προκειμένου να αντικαταστήσουν τα υπάρχοντα όρια της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας.

Μελετώντας τον πίνακα, διαπιστώνουμε ότι όλα τα δείγματα ιλύος που εξετάστηκαν, εμφανίζουν χαμηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, οι οποίες μάλιστα είναι πολύ χαμηλότερες από αυτές που ορίζει η Ευρωπαϊκή νομοθεσία και η νομοθεσία των Η.Π.Α. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, στο σύνολό τους, φαίνεται να παράγουν λάσπη ικανοποιητικής ποιότητας, κατάλληλη για χρήση ως εδαφοβελτιωτικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων είναι πολύ χαμηλότερες και από τις οριακές τιμές που έχουν προταθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, οι οποίες είναι αυστηρότερες σε σχέση με αυτές που καθορίζονται στην Οδηγία 86/278 της Ε.Ε.

Πίνακας 4.2.5.1: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα δείγματα ιλύος.

Προέλευση δείγματος	Cu ppm	Zn ppm	Ni ppm	Pb ppm	Cd ppm
Ρέθυμνο	188,5	226,1	42,6	56,6	0,3
Ηράκλειο	135,7	206,5	21,6	18,7	0,9
Βόλος	119,1	237,2	19,6	30,7	0,7
Λάρισα	117,4	231,4	28,9	11,4	1,3
Χερσόνησος	280,2	225,0	55,8	48,2	1,2
Τρίκαλα	73,2	196,8	32,1	17,3	3,7
Καρδίτσα	59,8	201,3	75,2	20,0	0,9
Προέλευση δείγματος	Cu ppm	Zn ppm	Ni ppm	Pb ppm	Cd ppm
Λουτράκι	111,0	204,6	37,2	0,0	0,3
Κόρινθος	83,3	199,0	23,1	16,8	1,5
Κιάτο	151,5	218,6	8,2	31,1	1,7
Ευλόκαστρο	100,9	180,4	11,6	23,8	0,6
Θήβα	194,9	190,5	95,3	39,6	0,3
Λαμία	230,6	222,3	35,0	6,0	0,6
Αργος-Ναύπλιο-Ν. Κίος	133,4	218,7	27,6	43,1	2,1
Πάτρα	115,7	208,0	36,2	30,6	2,0
Λειβαδιά	163,2	240,5	40,2	13,9	1,6
Τρίπολη	136,7	234,2	38,4	34,6	2,3
Βέροια	84,9	241,0	19,4	0,0	0,3
Ιωάννινα	148,3	250,2	9,6	14,0	1,8
Αλεξανδρούπολη	137,8	229,1	2,1	0,0	1,4
Χανιά	154,0	245,5	14,8	25,9	2,1
Σητεία	171,1	243,9	42,5	80,5	0,8
Ιεράπετρα	100,7	217,6	38,5	21,5	1,7
Ψυττάλεια	153,7	197,5	46,9	5,9	1,3
EU 86/27	1000-1750	2500-4000	300-400	750-1200	20-40
EU proposal 2 nd draft	1000	2500	300	750	10
US EPA (PCL)	1500	2800	420	300	39

Σύμφωνα με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Andredakis *et al.* (2001), μετά από εξέταση δειγμάτων ιλύος από διάφορες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του ελλαδικού χώρου, προέκυψε ότι η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων παράγει λάσπη με μικρή περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, με εξαίρεση το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας.

Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα λάσπης από το βιολογικό καθαρισμό της Ψυττάλειας παρουσίασε γενικά υψηλότερες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων συγκριτικά με τα άλλα δείγματα, με τη συγκέντρωση του ψευδάργυρου να υπερβαίνει τα καθορισμένα όρια. Συγκεκριμένα, οι Andreidakis *et al.* (2001) και οι Christoulas *et al.* (2000), υποστηρίζουν ότι δεν είναι δυνατή η γεωργική αξιοποίηση της λάσπης που παράγεται από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας, εξ αιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε ψευδάργυρο, η οποία υπερβαίνει τα ανώτερα επιτρεπόμενα όρια όπως αυτά καθορίζονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στην Οδηγία 86/278.

4.3 Μικροβιολογικές παράμετροι ιλύος

4.3.1 Εκτίμηση μικροβιακών πληθυσμών

4.3.1.1 Ολική μεσόφιλη χλωρίδα

Οι πληθυσμοί των ολικών αερόβιων βακτηρίων καταμετρήθηκαν στα επίπεδα που φαίνονται στο διάγραμμα 4.3.1.1. Οι μεγαλύτεροι πληθυσμοί ολικών αερόβιων βακτηρίων βρέθηκαν στα δείγματα λάσπης των εγκαταστάσεων του Ηρακλείου, της Σητείας, της Θήβας, της Λαμίας και της Αλεξανδρούπολης με πληθυσμούς $1,43 \times 10^9$ κύτταρα/gdw, $2,19 \times 10^9$ κύτταρα/gdw, 1×10^9 κύτταρα/gdw, $4,74 \times 10^9$ κύτταρα/gdw και $1,37 \times 10^9$ κύτταρα/gdw αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον Deportes *et al.* (1995), οι τιμές των εν λόγω βακτηρίων σε ιλύ βιολογικού καθαρισμού κυμαίνονται από $1,5 \times 10^6$ έως $5,6 \times 10^7$ κύτταρα/gdw. Οι Selinovskaya *et al.* (2001), μέτρησαν σε δείγματα λάσπης πληθυσμούς ολικών αερόβιων βακτηρίων της τάξης των $1,2 \times 10^7$ κύτταρα/gdw. Μελετώντας το παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 4.3.1.1), διαπιστώνουμε ότι μόνο οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Καρδίτσας, της Τρίπολης και των Χανίων εμφανίζουν πληθυσμούς ανάλογους με αυτούς που μέτρησαν στην έρευνα τους οι Deportes *et al.* (1995).



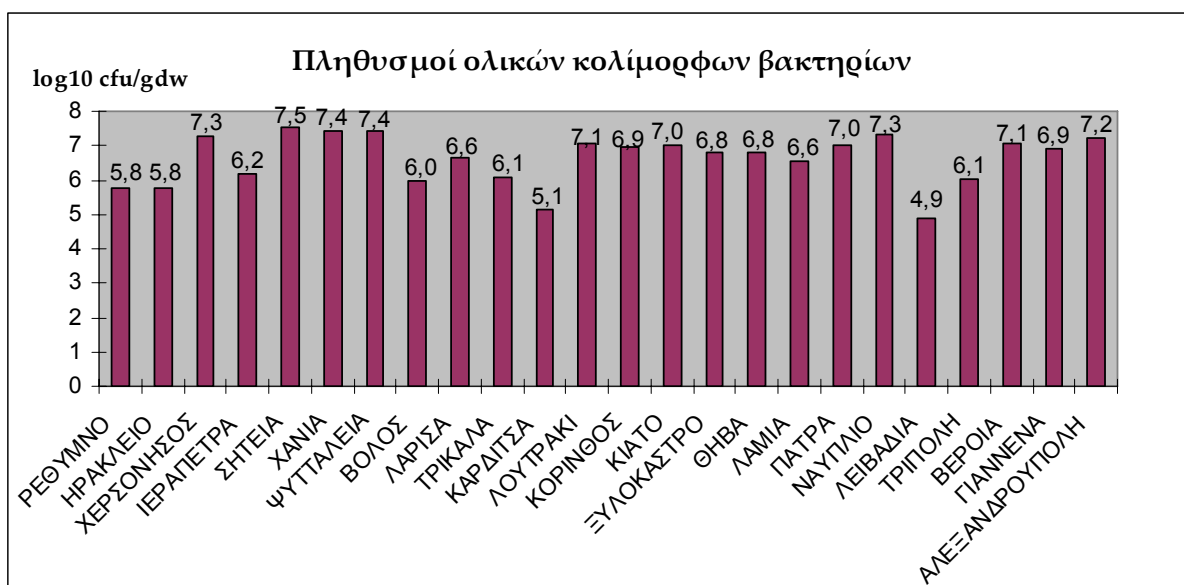
Διάγραμμα 4.3.1.1: Πληθυσμοί ολικής μεσόφιλης χλωρίδας στα δείγματα λάσπης.

4.3.1.2 Πληθυσμοί ολικών κολίμορφων και *E. coli*

Τα ολικά κολίμορφα δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως περιττωματικοί δείκτες, διότι κάποια από αυτά μπορεί να υπάρχουν στο έδαφος και στο νερό. Η καταμέτρηση του πληθυσμού τους, όμως, δίνει σημαντικές πληροφορίες για την κατάσταση του δείγματος, διότι είναι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούν εύκολα αποδομήσιμα οργανικά υποστρώματα.

Οι πληθυσμοί των ολικών κολίμορφων βακτηρίων, που μετρήθηκαν στα δείγματα λάσπης, κυμαίνονται μεταξύ $7,3 \times 10^4$ έως $3,3 \times 10^7$ κύτταρα/gdw, με το μεγαλύτερο πληθυσμό ολικών κολίμορφων βακτηρίων να εμφανίζεται στην ιλύ του βιολογικού καθαρισμού της Σητείας ($3,3 \times 10^7$ κύτταρα/gdw) και το μικρότερο στο δείγμα της μονάδας της Λειβαδιάς ($7,3 \times 10^4$ κύτταρα/gdw). Οι πληθυσμοί των ολικών κολίμορφων βακτηρίων παρουσιάζονται στο διάγραμμα 4.3.1.2.1.

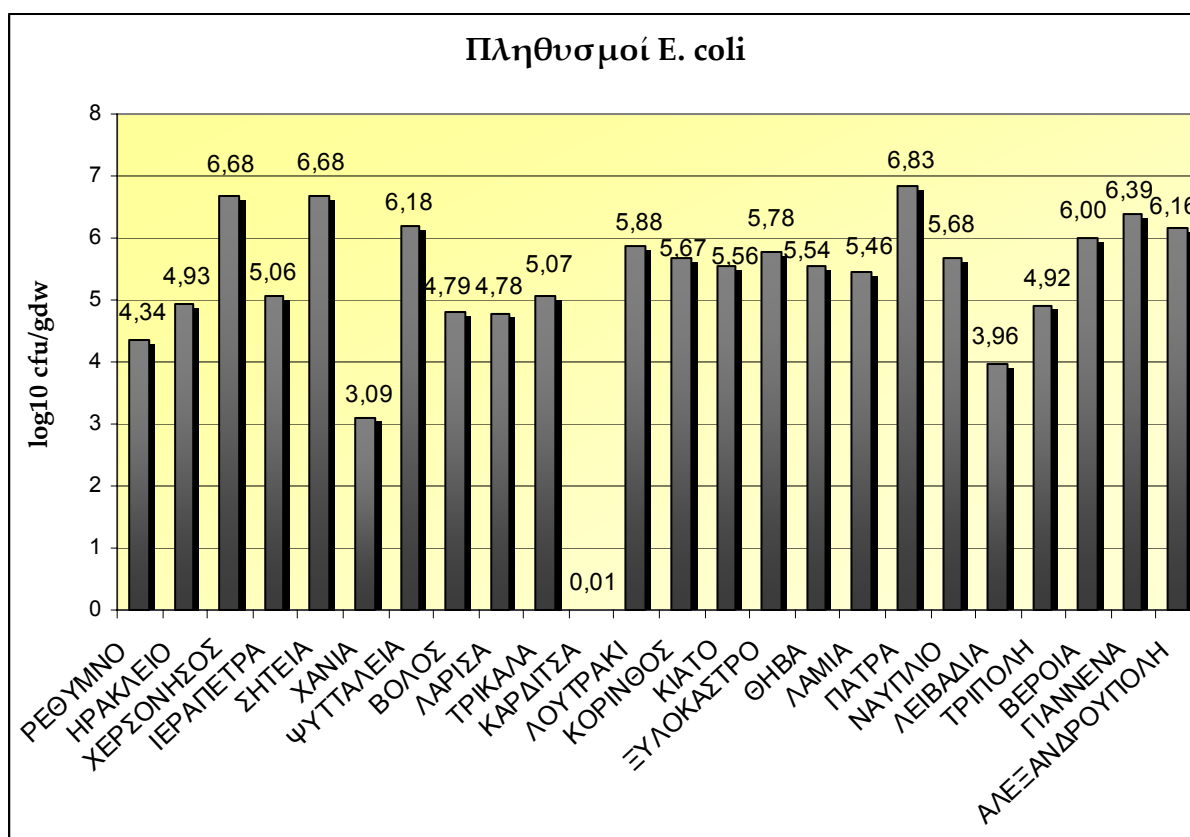
Οι ερευνητές Deportes *et al.* (1998) και Hassen *et al.* (2001) έχουν προτείνει οι πληθυσμοί των κολίμορφων βακτηρίων στη λάσπη που προέρχεται από την επεξεργασία αστικών λυμάτων, να μην ξεπερνούν τα 5×10^2 κύτταρα ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης, προκειμένου να είναι ασφαλής η διάθεση της ιλύος. Είναι γεγονός ότι κανένα από τα δείγματα λάσπης που εξετάστηκαν δεν βρίσκεται εντός των ορίων που προτάθηκαν από τους παραπάνω ερευνητές.



Διάγραμμα 4.3.1.2.1: Συγκεντρώσεις ολικών κολλίμορφων βακτηρίων στην ιλύ.

Σε ότι αφορά, τις συγκεντρώσεις του βακτηρίου *E. coli*, που αποτελεί περιττωματικό δείκτη, αυτές κυμαίνονται μεταξύ $1,3 \times 10^3$ έως $6,8 \times 10^6$ κύτταρα/gdw. Εξαίρεση αποτελεί η λάσπη από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Καρδίτσας, η οποία περιέχει λιγότερα από 130 κύτταρα/ξηρό βάρος (διάγραμμα 4.3.1.2.2). Ο Carrington (2001) συνιστά η συγκέντρωση του *E. coli* στη λάσπη που προέρχεται από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, να μην υπερβαίνει τα 1000 κύτταρα ανά γραμμάριο ξηρού βάρους.

Επίσης στους κανονισμούς για την λάσπη, που εκδίδονται από τον U.S. EPA “Class A”, αναφέρεται ότι οι πληθυσμοί παθογόνων μικροοργανισμών πρέπει να είναι κάτω από τα όρια ανίχνευσης, ενώ για το *E.coli* ορίζεται ανώτατη τιμή τα 10^3 κύτταρα ανά γραμμάριο λάσπης (ξηρό βάρος).

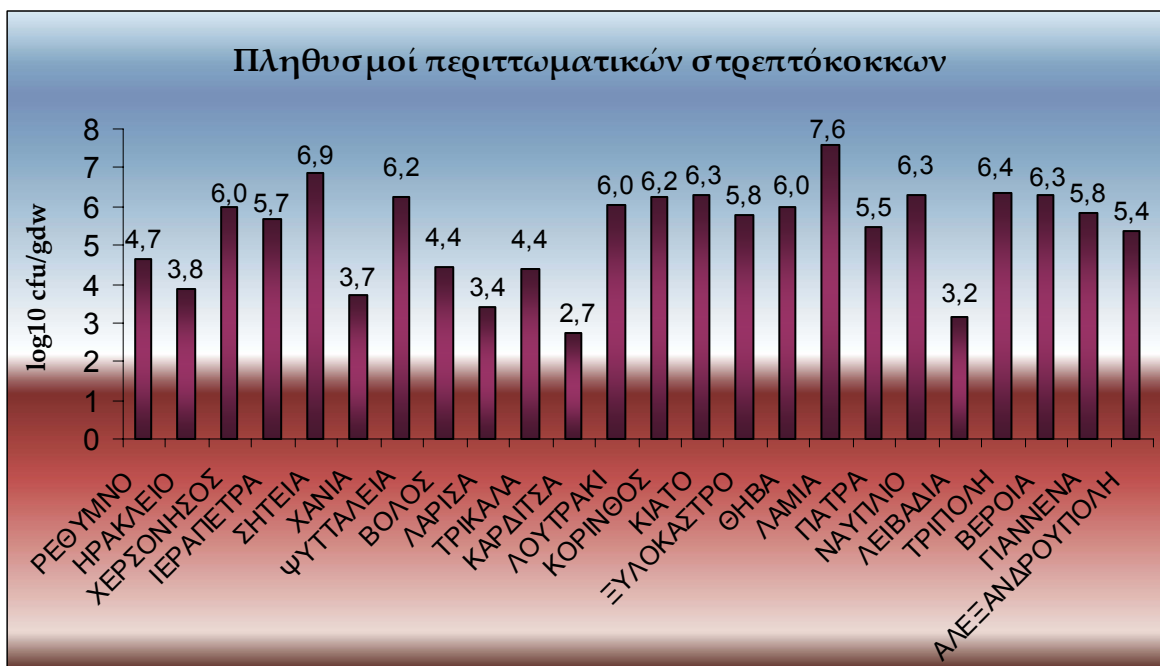


Διάγραμμα 4.3.1.2.2: Συγκεντρώσεις *E.coli* βακτηρίων στα δείγματα ιλύος.

4.3.1.3 Εκτίμηση του πληθυσμού των περιττωματικών στρεπτόκοκκων

Οι συγκεντρώσεις των εντερόκοκκων κυμαίνονται μεταξύ $5,7 \times 10^2$ έως 4×10^7 κύτταρα/gdw, με τους μικρότερους πληθυσμούς να εμφανίζονται στα δείγματα λάσπης από τους βιολογικούς καθαρισμούς της Λειβαδιάς, της Λάρισας και της Καρδίτσας, με τιμές $1,8 \times 10^3$ κύτταρα/gdw, $2,8 \times 10^3$ κύτταρα/gdw και $5,7 \times 10^2$ κύτταρα/gdw αντίστοιχα (βλέπε διάγραμμα 4.3.1.3).

Πολλοί ερευνητές (Deportes *et al.*, 1998, Hassen *et al.*, 2001) έχουν προτείνει οι πληθυσμοί των περιττωματικών στρεπτόκοκκων στη λάσπη να μην ξεπερνούν τα 5×10^3 κύτταρα ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης. Η πλειοψηφία των δειγμάτων ιλύος που εξετάστηκαν υπερβαίνει το παραπάνω όριο, με εξαίρεση τα δείγματα λάσπης από τις μονάδες της Λειβαδιάς, της Λάρισας και της Καρδίτσας και των Χανίων με πληθυσμούς $1,8 \times 10^3$ κύτταρα/gdw, $2,8 \times 10^3$ κύτταρα/gdw, $5,7 \times 10^2$ κύτταρα/gdw και 5×10^3 κύτταρα/gdw. Σε άλλες μελέτες, οι συγκεντρώσεις των εντερόκοκκων μετρήθηκαν στα $9,2 \times 10^6$ κύτταρα ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης (Garrec *et al.*, 2003).



Διάγραμμα 4.3.1.3: Συγκεντρώσεις περιττωματικών στρεπτόκοκκων στα δείγματα λάσπης.

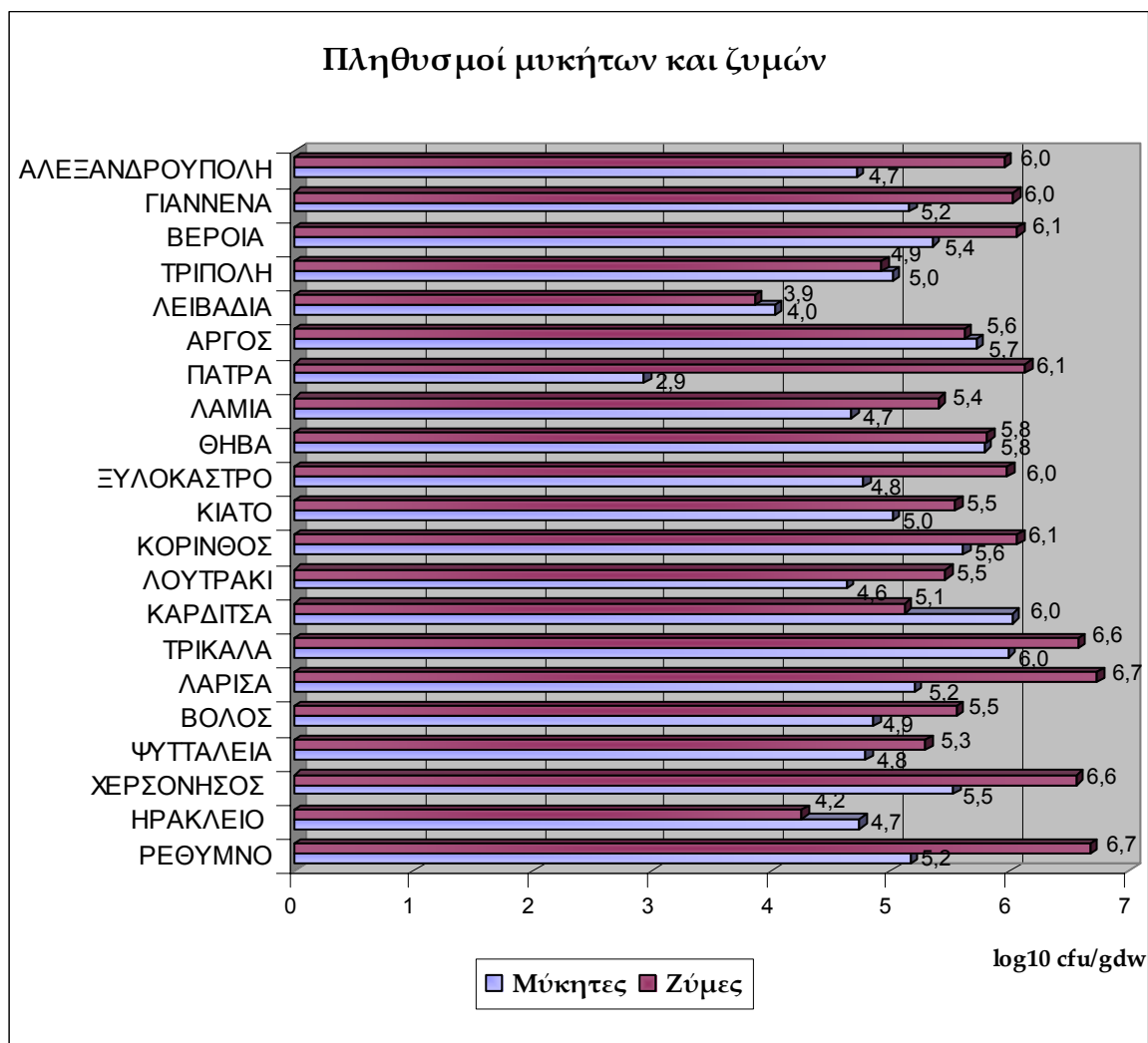
4.3.1.4 Εκτίμηση του πληθυσμού των μυκήτων και των ζυμών

Οι μύκητες εμπλέκονται ενεργά στην αποικοδόμηση της κυτταρίνης, ημικυτταρίνης και της λιγνίνης που βρίσκονται στην οργανική ύλη, επιτρέποντας κατ' αυτό τον τρόπο στα βακτήρια να συνεχίσουν τη διαδικασία της αποσύνθεσης. Απλώνονται και μεγαλώνουν ενεργά, παράγοντας πολλά κύτταρα και λεπτές υφές. Αναπτύσσονται ακόμα και σε οργανικά υπολείμματα με χαμηλή υγρασία, όξινο pH και χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο (Goyal et al., 2005 ; Trautman and Plynciw, 2000).

Ο υψηλότερος πληθυσμός μυκήτων ανιχνεύθηκε στο δείγμα της Καρδίτσας με τιμή $1,1 \times 10^6$ κύτταρα/gdw. Επαληθεύεται λοιπόν ότι οργανικά υποστρώματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, δεν αναχαιτίζουν την ανάπτυξη των μυκήτων. Ο χαμηλότερος πληθυσμός μυκήτων συναντάται στο δείγμα που λήφθηκε από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Πάτρας ($9,1 \times 10^2$ κύτταρα/gdw).

Σε ότι αφορά τις ζύμες, οι πληθυσμοί τους κυμαίνονται μεταξύ $7,3 \times 10^3$ έως $5,1 \times 10^6$ κύτταρα/gdw, με τον υψηλότερο πληθυσμό να εμφανίζεται στο δείγμα ιλύος από τη μονάδα του Ρεθύμνου και τον χαμηλότερο στη λάσπη από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Λειβαδιάς.

Στο διάγραμμα 4.3.1.4 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των μυκήτων και των ζυμών στα δείγματα ιλύος.



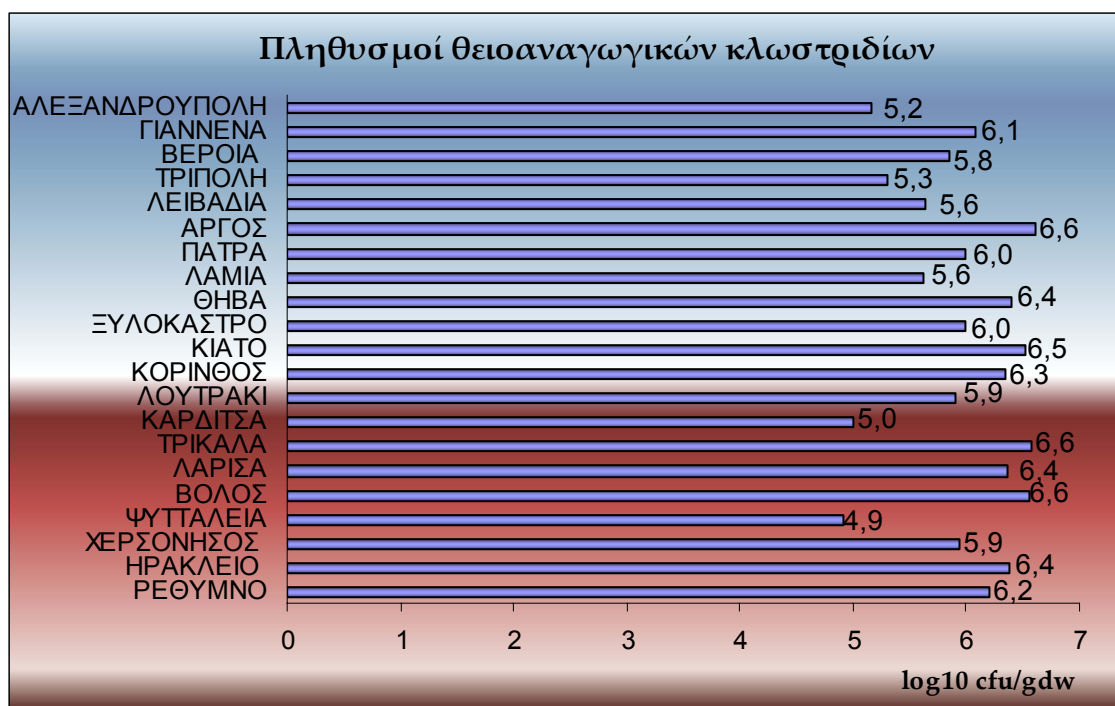
Διάγραμμα 4.3.1.4: Συγκεντρώσεις μυκήτων και ζυμών στα δείγματα ιλύος.

4.3.1.5 Εκτίμηση του πληθυσμού των θειοαναγωγικών κλωστριδίων

Τα θειοαναγωγικά κλωστρίδια είναι αναερόβια βακτήρια, Gram θετικά, τα οποία έχουν την ιδιότητα να σχηματίζουν ενδοσπόρια. Το *Clostridium perfringens* ανήκει στα θειοαναγωγικά κλωστρίδια και αποτελεί περιττωματικό δείκτη. Συναντώνται κυρίως στο έδαφος και στα απόβλητα ανθρώπινης προέλευσης και αποτελούν ευκαιριακά παθογόνα για τον άνθρωπο και τα ζώα (Singleton, 1999).

Οι πληθυσμοί των θειοαναγωγικών κλωστριδίων στα δείγματα ιλύος κυμαίνονται μεταξύ $8,1 \times 10^4$ έως $4,3 \times 10^6$ κύτταρα/gdw. Ο υψηλότερος πληθυσμός εμφανίζεται στο δείγμα από το

βιολογικό καθαρισμό του Άργους και ο χαμηλότερος στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (βλέπε διάγραμμα 4.3.1.5). Οι διαφορές μεταξύ των τιμών των θειοαναγωγικών κλωστριδίων στα δείγματα ιλύος, πιθανόν οφείλονται στις μεθόδους επεξεργασίας της λάσπης που ακολουθεί κάθε εγκατάσταση αλλά και στην αποτελεσματικότητα αυτών των διαδικασιών.



Διάγραμμα 4.3.1.5: Συγκεντρώσεις θειοαναγωγικών κλωστριδίων στα δείγματα ιλύος.

Επειδή το *Clostridium perfringens* έχει παρόμοια ανθεκτικότητα στην επεξεργασία με αυτή των παθογόνων οργανισμών έχει προταθεί από τον Carrington (2001), να χρησιμοποιηθεί ως μικροοργανισμός – δείκτης. Σε ότι αφορά τη συγκέντρωση του δοκιμαστικά συνιστάται τα σπόρια του *Clostridium perfringens* να μην υπερβαίνουν τα 3000 ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης (Carrington, 2001).

Σε μία άλλη μελέτη, που πραγματοποιήθηκε με δείγμα λάσπης από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων των Τρικάλων, υπολογίστηκε ότι ο αριθμός του *Clostridium perfringens* δεν ξεπερνούσε τα 24 κύτταρα ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης (Κουτσομήτρου, 2004). Οι πληθυσμοί του ίδιου βακτηρίου όπως υπολογίστηκαν από την παρούσα έρευνα είναι σημαντικά αυξημένοι σε σχέση με αυτούς που μετρήθηκαν στην παραπάνω μελέτη.

4.3.2 Έλεγχος για την ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών

4.3.2.1 *Salmonella* spp.

Ο έλεγχος για την παρουσία του παθογόνου βακτηρίου *Salmonella* spp. στα δείγματα της αφυδατωμένης ιλύος, έγινε με βάση τη μέθοδο 1682 (U.S. EPA, 1998). Η διαδικασία περιλαμβάνει:

- Προεμπλουτισμό σε σωλήνες με Peptone Water,
- Εμπλουτισμός δηλαδή από κάθε ένα σωλήνα με Peptone Water εμβολιάζονται με 0.1 ml αντίστοιχοι σωλήνες με θρεπτικό υπόστρωμα Rappaport-Vasiliadis,
- Απομόνωση κατά την οποία από κάθε σωλήνα Rappaport-Vasiliadis εμβολιάζονται με γραμμική διασπορά αντίστοιχα τρυβλία με θρεπτικό υλικό XLD. Τα τρυβλία XLD εξετάζονται για την εμφάνιση τυπικών και άτυπων αποικιών. Ο καθαρισμός γίνεται με γραμμική διασπορά μίας τυπικής ή άτυπης αποικίας σε Lysine Mannitol Glycerol Agar (LMG).

Τα αποτελέσματα από τη γραμμική διασπορά σε τρυβλία με θρεπτικό υπόστρωμα XLD παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.3.2.1.1: Αποτελέσματα ανάπτυξης στελεχών *Salmonella* spp. σε τρυβλία με θρεπτικό υπόστρωμα X.L.D.

Προέλευση δείγματος	αραίωση	1	2	3	4	5	Προέλευση δείγματος	αραίωση	1	2	3	4	5
Ρέθυμνο	10ml	+	-	-	-	-	Θήβα	10ml	+	+	-	-	-
	1ml	+	-	-	-	-		1ml	-	-	-	-	-
	0,1ml	+	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Ηράκλειο	10ml	+	+	+	-	-	Λαμία	10ml	+	+	+	+	+
	1ml	+	+	+	+	+		1ml	+	+	+	+	+
	0,1ml	+	+	+	+	-		0,1ml	+	+	+	+	+
Βόλος	10ml	+	+	-	-	-	Πάτρα	10ml	+	+	+	+	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	+	+	+	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Λάρισα	10ml	+	+	-	-	-	Αργος	10ml	+	+	+	+	+
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	+	+	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Χερσόνησος	10ml	+	-	-	-	-	Λειβαδιά	10ml	-	-	-	-	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	-	-	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Τρίκαλα	10ml	-	-	-	-	-	Τρίπολη	10ml	+	+	+	+	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	+	+	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Καρδίτσα	10ml	-	-	-	-	-	Βέροια	10ml	+	+	+	+	+
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	-	-	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Λουτράκι	10ml	+	+	+	+	+	Ιωάννινα	10ml	+	+	+	+	+
	1ml	+	+	-	-	-		1ml	+	-	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Κόρινθος	10ml	+	+	+	+	-	Αλεξ/πολη	10ml	+	+	+	+	+
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	+	+	+	+	+
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	+	+	-	-	-
Κιάτο	10ml	+	+	+	+	+	Ψυττάλεια	10ml	+	+	+	+	+
	1ml	+	-	-	-	-		1ml	+	+	+	+	+
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	+	+	+	+	-
Ξυλόκαστρο	10ml	-	-	-	-	-							
	1ml	-	-	-	-	-							
	0,1ml	-	-	-	-	-							

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα από τα συνολικά 21 δείγματα λάσπης που εξετάστηκαν ως προς την παρουσία του παθογόνου βακτηρίου *Salmonella* spp., μόνο σε 4 από αυτά τελικά δεν εντοπίστηκε το εν λόγω βακτήριο. Αυτά τα δείγματα λήφθηκαν από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων των Τρικάλων, της Καρδίτσας, του Ξυλοκάστρου και της Λειβαδιάς, ενώ οι πληθυσμοί του *Salmonella* spp. υπολογίζεται ότι είναι μικρότερη από τα 1,1 MPN/gdw, 0,2 MPN/gdw, 0,3 MPN/gdw και 1,3 MPN/gdw αντίστοιχα.

Από τα τρυβλία με θρεπτικό υπόστρωμα X.L.D. που εμφάνισαν τυπικές αποικίες του γένους *Salmonella* spp. έγινε γραμμική διασπορά σε τρυβλία με θρεπτικό υλικό LMG όπου και πάλι παρουσιάστηκαν τυπικές αποικίες του προς εξέταση βακτηρίου. Στη συνέχεια εμβολιάστηκαν από κάθε τρυβλίο LMG αντίστοιχοι σωλήνες με θρεπτικά υλικά TSI, LIA και Urea Broth base.

Τα στελέχη του προς εξέταση οργανισμού, από όλα τα δείγματα ιλύος που εξετάστηκαν, εμφανίστηκαν αρνητικά στη δοκιμή της ουρεάσης, γεγονός που ενίσχυσε την πιθανότητα ταυτοποίησης του μικροοργανισμού σε *Salmonella* spp. Όσον αφορά τις άλλες δύο βιοχημικές δοκιμές που διενεργήθηκαν, δηλαδή την δοκιμή TSI και τη δοκιμή LIA, διαπιστώθηκε ότι όλοι οι σωλήνες που εμβολιάστηκαν με αποικίες από τρυβλία LMG παρουσίασαν το χαρακτηριστικό φαινότυπο του γένους *Salmonella* spp.

Πριν την ταυτοποίηση των στελεχών με το σύστημα API 20E πραγματοποιήθηκε μία ακόμη επιβεβαιωτική δοκιμή, η δοκιμή της οξειδάσης. Κατά τη δοκιμή αυτή διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρξε αλλαγή του χρώματος των κυττάρων και επομένως όλα τα στελέχη ήταν αρνητικά στην οξειδάση (τα στελέχη του γένους *Salmonella* είναι αρνητικά στην οξειδάση). Τέλος, τα παραπάνω στελέχη ταυτοποιήθηκαν με το σύστημα API 20E (bioMerieux), τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 4.3.2.1.2.

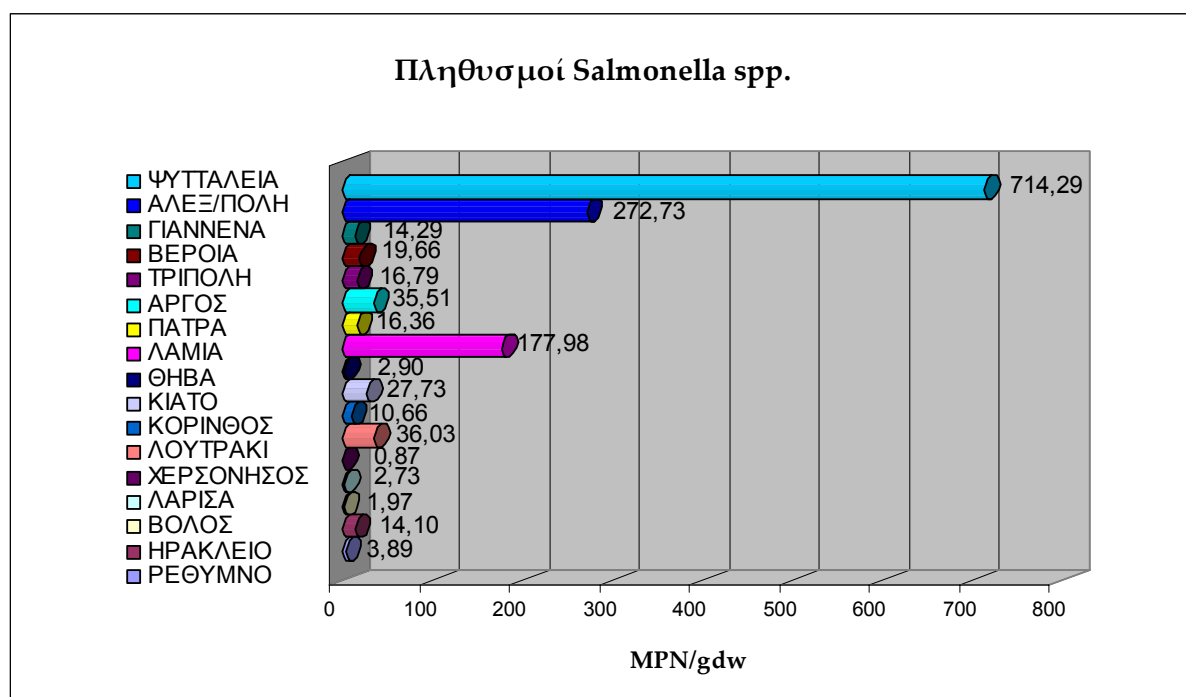
Πίνακας 4.3.2.1.2: Ταυτοποιήσεις του γένους *Salmonella* spp. με το σύστημα API 20E.

Προέλευση δείγματος	Είδος	% i.d.	T	Ταυτοποίηση
Θήβα	1. <i>Salmonella</i> spp..	99,9	0,97	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	0.1	0,25	
Λαμία	1. <i>Salmonella</i> spp.	99,9	0,97	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	0.1	0,25	
Πάτρα	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Άργος	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Τρίπολη	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Βέροια	1. <i>Salmonella</i> spp.	99,9	0,84	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	0,1	0,00	
Ιωάννινα	1. <i>Salmonella</i> spp.	99,9	0,97	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	0,1	0,25	
Αλεξανδρούπολη	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Ψυττάλεια	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Ρέθυμνο	<i>Salmonella</i> spp.	99,9	0,99	Άριστη
Ηράκλειο	<i>Salmonella</i> spp.	99,9	0,99	Άριστη
Βόλος	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Λάρισα	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Χερσόνησος	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Κόρινθος	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Λουτράκι	1. <i>Salmonella</i> spp.	89,4	1,00	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	10,5	0,75	
Κιάτο	1. <i>Salmonella</i> spp.	77,8	0,85	Άριστη
	2. <i>Salmonella arizonae</i>	22,1	0,66	

Εξετάζοντας τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε ότι όλα τα τρυβλία που εμφάνισαν τυπικές αποικίες του γένους *Salmonella* spp. αποδείχθηκαν τελικά θετικά ως προς την ύπαρξη αυτού, με άριστη ταυτοποίηση ως προς το γένος. Δηλαδή από τα συνολικά 21 δείγματα λάσπης που

εξετάστηκαν σε 17 ανιχνεύθηκαν στελέχη του γένους *Salmonella* spp., ενώ στα υπόλοιπα δεν ανιχνεύθηκε το εν λόγω βακτήριο.

Ο υπολογισμός του πλέον πιθανού αριθμού της σαλμονέλας στα δείγματα έγινε με βάση τον πίνακα (<http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-a2.html>), ο οποίος όμως αναφέρεται σε σωλήνες με εμβόλια 0,1 0,01 και 0,001 g ξηρού βάρους. Για το λόγο αυτό χρειάστηκε να γίνουν αναγωγές για εμβόλια 1, 0,1 και 0,01 g μικτού βάρους (δηλαδή $\times 0,1$) και στη συνέχεια ανάγουμε τον πλέον πιθανό αριθμό σε ξηρό βάρος. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα. Ο υψηλότερος πληθυσμός του γένους *Salmonella* spp. παρατηρήθηκε στο δείγμα ιλύος που λάβαμε από το κέντρο επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (714,29 MPN/gdw). Γενικά οι πληθυσμοί της σαλμονέλας κυμαίνονται από 0,86 έως 714,29 MPN/ gdw.



Διάγραμμα 4.3.2.1: Επίπεδα πληθυσμών του *Salmonella* spp. στα δείγματα ιλύος.

Ερευνητές όπως οι Deportes *et al.* (1998) και Hassen *et al.* (2001) αναφέρουν ότι για να είναι ασφαλής η διάθεση της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία αστικών λυμάτων, θα πρέπει να μην ανιχνεύονται στελέχη του γένους *Salmonella* spp. ανά 100 γραμμάρια ξηρής λάσπης. Ο Strauch (1998) επίσης υποστηρίζει ότι αμέσως μετά από την επεξεργασία της ιλύος δε πρέπει να ανιχνευθεί σαλμονέλα.

Στους κανονισμούς για τη λάσπη που εκδίδονται από τον U.S. EPA “Class A”, ορίζεται ότι ο πληθυσμός της σαλμονέλας στη λάσπη δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3 MPN (πλέον πιθανός αριθμός) ανά 4 γραμμάρια λάσπης (ξηρό βάρος), δηλαδή τα 0,75 MPN ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης.

Λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέρθηκαν και μελετώντας προσεκτικά το παραπάνω διάγραμμα, διαπιστώνουμε ότι στα περισσότερα δείγματα λάσπης τα επίπεδα του *Salmonella* spp. είναι εμφανώς υψηλότερα από αυτά που ορίζονται από τον U.S. EPA “Class A”. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα λάσπης από τους βιολογικούς καθαρισμούς των Τρικάλων, της Καρδίτσας, της Λειβαδιάς και του Ξυλοκάστρου όπου δεν ανιχνεύθηκε *Salmonella* spp.

4.3.2.2 *Listeria* spp.

Η διαδικασία ανίχνευσης της παρουσίας του παθογόνου *Listeria* spp. στα δείγματα ιλύος, περιλαμβάνει αρχικά εμπλουτισμό σε θρεπτικό υπόστρωμα Fraser Broth (σε κωνικές φιάλες), στο οποίο όλα τα στελέχη από τα δείγματα λάσπης που εξετάστηκαν εμφάνισαν ανάπτυξη. Στη συνέχεια από τις θετικές κωνικές φιάλες έγινε γραμμική διασπορά σε τρυβλία με θρεπτικό υπόστρωμα Palcam Agar. Τα αποτελέσματα από τη γραμμική διασπορά σε τρυβλία με Palcam παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.2.2.1. Οι τυπικές αποικίες του γένους *Listeria*, οι οποίες εμφανίζονται με χρώμα γκρι-πράσινο και σχηματίζουν μαύρη περιφερειακή ζώνη, μεταφέρονται με γραμμική διασπορά από τα τρυβλία με Palcam σε τρυβλία με θρεπτικό υπόστρωμα *Listeria* Isolation Medium με σκοπό να παραλάβουμε καθαρές καλλιέργειες του μικροοργανισμού.

Πίνακας 4.3.2.2.1: Εμφάνιση τυπικών αποικιών του γένους *Listeria* spp. σε θρεπτικό υπόστρωμα Palcam Agar.

Προέλευση δείγματος	αραίωση	1	2	3	4	5	Προέλευση δείγματος	αραίωση	1	2	3	4	5
Ρέθυμνο	10ml	-	-	-	-	-	Θήβα	10ml	+	+	+	-	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	+	+	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	+	+	+	-	-
Ηράκλειο	10ml	-	-	-	-	-	Λαμία	10ml	+	+	+	+	+
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	+	+	+	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	+	-	-	-	-
Βόλος	10ml	-	-	-	-	-	Πάτρα	10ml	+	-	-	-	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	+	+	+	+	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	+	+	+	+	-
Λάρισα	10ml	-	-	-	-	-	Αργος	10ml	+	+	+	-	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	+	+	+	-	-
	0,1ml	+	-	-	-	-		0,1ml	+	+	+	-	-
Χερσόνησος	10ml	-	-	-	-	-	Λειβαδιά	10ml	-	-	-	-	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	-	-	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Τρίκαλα	10ml	-	-	-	-	-	Τρίπολη	10ml	+	-	-	-	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	-	-	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Καρδίτσα	10ml	-	-	-	-	-	Βέροια	10ml	+	-	-	-	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	-	-	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Λουτράκι	10ml	-	-	-	-	-	Ιωάννινα	10ml	-	-	-	-	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	-	-	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	+	-	-	-	-
Κόρινθος	10ml	-	-	-	-	-	Αλεξ/πολη	10ml	-	-	-	-	-
	1ml	+	-	-	-	-		1ml	-	-	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Κιάτο	10ml	-	-	-	-	-	Ψυττάλεια	10ml	-	-	-	-	-
	1ml	-	-	-	-	-		1ml	-	-	-	-	-
	0,1ml	-	-	-	-	-		0,1ml	-	-	-	-	-
Ξυλόκαστρο	10ml	-	-	-	-	-							
	1ml	-	-	-	-	-							
	0,1ml	-	-	-	-	-							

Μελετώντας τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε ότι τα δείγματα ιλύος που λήφθηκαν από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του Ρεθύμνου, του Ηρακλείου, του Βόλου, της Χερσονήσου, των Τρικάλων, της Καρδίτσας, του Λουτρακίου, του Κιάτου, του Ξυλοκάστρου, της Λειβαδιάς, της Αλεξανδρούπολης και της Ψυττάλειας αποδείχθηκαν αρνητικά ως προς την παρουσία στελεχών του γένους *Listeria* spp., εφόσον δεν εμφάνισαν τυπικές αποικίες. Τα στελέχη που απομονώθηκαν σε τρυβλία με θρεπτικό υπόστρωμα *Listeria* Isolation Medium, ελέγχθηκαν ως προς τη δοκιμή της καταλάσης, τη δοκιμή του ινδολίου, την κατανάλωση

κιτρικών ως πηγή άνθρακα, τη δοκιμή Voges Proskauer, τη δοκιμή ερυθρού του μεθυλίου, την ανάπτυξη σε θρεπτικό υπόστρωμα Triple Sugar Iron Agar και τη δοκιμή της ουρεάσης. Μετά τη διενέργεια των παραπάνω δοκιμών αποδείχθηκε ότι τα δείγματα λάσπης από τους βιολογικούς καθαρισμούς της Πάτρας και της Θήβας δεν περιείχαν στελέχη του γένους *Listeria* spp., εφόσον δεν έδωσαν τις τυπικές αντιδράσεις, δηλαδή από τα συνολικά 21 δείγματα λάσπης που εξετάστηκαν ως προς την παρουσία του εν λόγω παθογόνου, σε 14 από αυτά δεν ανιχνεύθηκε το εν λόγω βακτήριο.

Τα δείγματα ιλύος που λάβαμε από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Κορίνθου, του Άργους, της Τρίπολης, της Βέροιας, των Ιωαννίνων, της Λάρισας και της Λαμίας έδωσαν τις τυπικές αντιδράσεις του γένους *Listeria* spp. στις επιβεβαιωτικές δοκιμές. Συγκεκριμένα διαπιστώθηκε ότι τα παραπάνω στελέχη κατά την αντίδραση της καταλάσης έδωσαν θετική αντίδραση, δηλαδή απελευθέρωσαν οξυγόνο και επομένως περιέχουν το ένζυμο της καταλάσης. Κατά την δοκιμή του ινδολίου, τα παραπάνω στελέχη δεν παρήγαγαν ινδόλιο, δηλαδή ήταν αρνητικά στην αντίδραση αυτή. Επίσης διαπιστώθηκε ότι ήταν αρνητικά στη δοκιμή για την κατανάλωση κιτρικών ως πηγή άνθρακα. Όσον αφορά στη δοκιμή Voges Proskauer, τα ανωτέρω στελέχη εμφανίστηκαν θετικά δηλαδή διαθέτουν τη μεταβολική οδό της βουτανεδιολικής ζύμωσης της γλυκόζης. Επίσης στη δοκιμή ερυθρού του μεθυλίου είχαμε θετική αντίδραση, αφού παρατηρήθηκε αλλαγή του χρώματος. Μετά από ανάπτυξη των στελεχών σε θρεπτικό υπόστρωμα Triple Sugar Iron Agar διαπιστώθηκε ότι ζυμώνουν τα σάκχαρα και επομένως έχουμε παραγωγή οξέος τόσο στη βάση όσο και στην επιφάνεια του σωλήνα, δηλαδή η καλλιέργεια παίρνει κίτρινο χρώμα. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η δοκιμή της ουρεάσης κατά την οποία τα στελέχη έδωσαν αρνητική αντίδραση, δηλαδή ήταν αρνητικά στην ουρεάση.

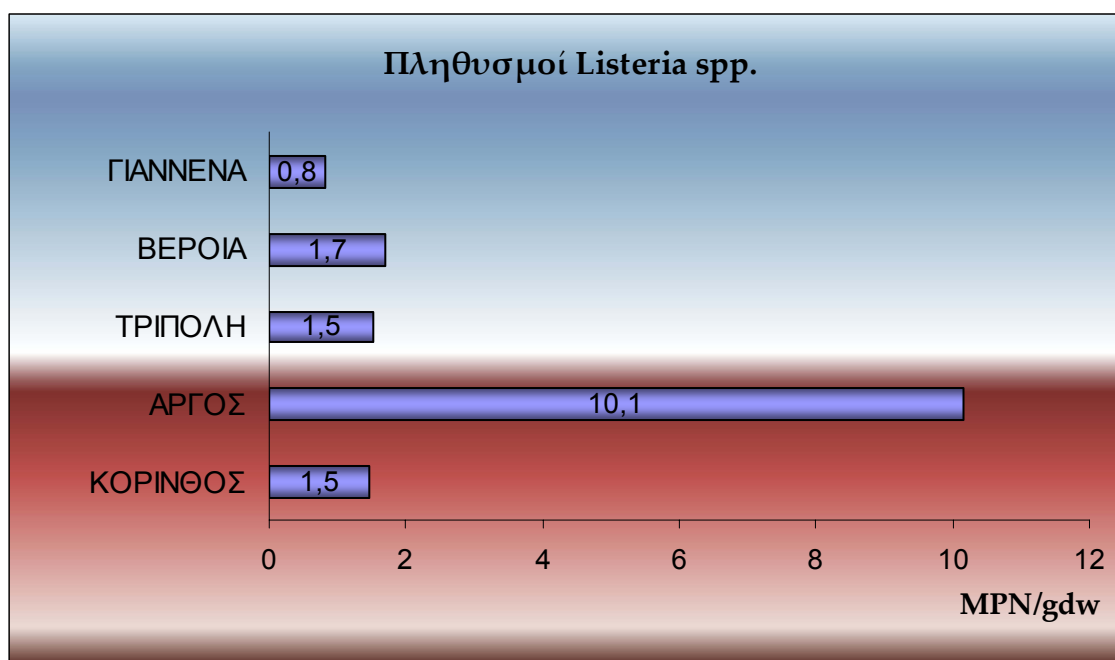
Τα στελέχη που έδωσαν τις τυπικές αντιδράσεις του γένους *Listeria* spp. στις παραπάνω επιβεβαιωτικές δοκιμές ταυτοποιήθηκαν με τη βοήθεια του συστήματος API *Listeria* (Biomerieux), με εξαίρεση τα στελέχη που απομονώθηκαν από τα δείγματα λάσπης που παραλάβαμε από το βιολογικό καθαρισμό της Λαμίας και της Λάρισας, όπου εξ αιτίας μιας μόλυνσης ήταν ανέφικτη η παραλαβή καθαρής καλλιέργειας του μικροοργανισμού. Τα αποτελέσματα του API *Listeria* παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.2.2.2. Τελικά, όσες αποικίες ταυτοποιήθηκαν ως *Listeria* spp. αντιστοιχούν σε θετικούς αρχικούς σωλήνες και υπολογίστηκε ο πλέον πιθανός αριθμός από τους πίνακες.

Πίνακας 4.3.2.2.2: Ταυτοποιήσεις του γένους *Listeria* spp. με το σύστημα API *Listeria*.

Προέλευση δείγματος	Είδος	% i.d.	T	Ταυτοποίηση
Κόρινθος	<i>Listeria innocua</i>	99,9	1,00	Πολύ καλή
Άργος	<i>Listeria innocua</i>	99,6	1,00	Πολύ καλή
Τρίπολη	<i>Listeria innocua</i>	99,6	1,00	Πολύ καλή
Βέροια	<i>Listeria innocua</i>	99,6	1,00	Πολύ καλή
Ιωάννινα	1. <i>Listeria monocytogenes</i>			Μη αποδεκτό προφίλ
	2. <i>Listeria seeligeri</i>			
	3. <i>Listeria ivanivii</i>			
	4. <i>Listeria innocua</i>			

Εξετάζοντας τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε ότι σε όλα τα δείγματα ιλύος που ταυτοποιήθηκαν με το σύστημα API *Listeria*, με εξαίρεση αυτό των Ιωαννίνων, ανιχνεύθηκε *Listeria innocua* με πολύ καλή ταυτοποίηση. Όσον αφορά στο δείγμα ιλύος από το βιολογικό καθαρισμό των Ιωαννίνων, τα στελέχη που έδωσαν τυπικές αποικίες του γένους *Listeria* spp. παρουσίασαν αιμόλυση μετά από εικοσιτετράωρη επώαση τους σε αιματούχο άγαρ Columbia Agar Base, γεγονός που επαληθεύει την ταυτοποίησή τους μέσω του συστήματος API *Listeria* ως *Listeria monocytogenes*.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο πλέον πιθανός αριθμός του *Listeria* spp. στα δείγματα ιλύος στα οποία ανιχνεύθηκε και τελικά ταυτοποιήθηκε μέσω του API *Listeria*. Οι πληθυσμοί του *Listeria* spp. στα δείγματα ιλύος κυμαίνονται μεταξύ 0,8 έως 10,1 MPN/gdw. Ο υψηλότερος πληθυσμός εμφανίστηκε στο δείγμα λάσπης που λάβαμε από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του Άργους με 10,1 MPN/gdw.



Διάγραμμα 4.3.2.2: Πληθυσμοί *Listeria* spp. στα δείγματα ιλύος.

Και σε άλλες μελέτες όπως αυτές των Garrec *et al.* (2003) και των Ganzter *et al.* (2001) απομονώθηκε *Listeria* spp. από ιλύ μονάδας επεξεργασίας λυμάτων και μάλιστα *Listeria monocytogenes* σε ποσοστό 95%. Σύμφωνα με τους Garrec *et al.* (2003), ο χρόνος ζωής του *Listeria* spp. στην ιλύ εξαρτάται από την υγρασία της ιλύος, γι' αυτό και στην αφυδατωμένη ιλύ οι πληθυσμοί είναι μικρότεροι, ενώ φαίνεται να μειώνονται ή και να εξαφανίζονται, έπειτα από έκθεση της ιλύος στον ήλιο. Αυτό εξηγεί γιατί δεν βρέθηκε *Listeria* spp. σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που διενεργούν αφυδάτωση της ιλύος σε κλίνες ξήρανσης όπως οι μονάδες του Ξυλοκάστρου και της Καρδίτσας, καθώς και στην εγκατάσταση του Ρεθύμνου όπου πραγματοποιείται εκτός των άλλων και ηλιακή ξήρανση της παραγόμενης λάσπης.

Όσον αφορά στους πληθυσμούς του βακτηρίου *Listeria* spp. στα υπόλοιπα δείγματα ιλύος βρίσκονται κάτω από τα όρια ανίχνευσης και υπολογίστηκε ότι δεν ξεπερνούν τις τιμές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.3.2.2.3: Πληθυσμοί *Listeria* spp. στα δείγματα ιλύος που δεν ανιχνεύθηκε.

Προέλευση δείγματος	<i>Listeria</i> spp. (MPN /gdw)
Ψυττάλεια	<0.8
Βόλος	<0.8
Τρίκαλα	<1.1

Προέλευση δείγματος	<i>Listeria</i> spp. (MPN /gdw)
Λουτράκι	<1.3
Κιάτο	<1.5
Ξυλόκαστρο	<0.3
Θήβα	<1.2
Πάτρα	<1.1
Καρδίτσα	<0.2
Λειβαδιά	<1.3
Αλεξανδρούπολη	<0.9
Ρέθυμνο	<1,1
Ηράκλειο	<0,7
Χερσόνησος	<0,8

4.3.3 Απομόνωση και ταυτοποίηση στελεχών *Enterococcus* spp.

Η απομόνωση στελεχών του γένους *Enterococcus* πραγματοποιήθηκε σε θρεπτικό υπόστρωμα Slanetz and Bartley. Απομονώθηκαν συνολικά 190 στελέχη, τα οποία ελέγχθηκαν ως προς τις ακόλουθες επιβεβαιωτικές δοκιμές, προκειμένου να ταυτοποιηθούν ως *Enterococcus* spp.:

- Δοκιμή της καταλάσης

Τα κύτταρα του γένους *Enterococcus* δίνουν αρνητικές αντιδράσεις διότι δε διαθέτουν το ένζυμο της καταλάσης.

- Αύξηση στους 10 °C

Εάν θολώσουν οι σωλήνες τότε τα κύτταρα που εμβολιάστηκαν κατάφεραν να αναπτυχθούν σε αυτή τη θερμοκρασία.

- Ανάπτυξη στους 45 °C

Η ανάπτυξη των στελεχών του μικροοργανισμού κρίνεται από το θόλωμα των σωλήνων.

- Ανθεκτικότητα στο χλωριούχο νάτριο (NaCl)

Η δοκιμή χαρακτηρίζεται ως θετική για στελέχη του γένους *Enterococcus* εάν οι σωλήνες παρουσιάσουν θόλωμα.

- Ανάπτυξη σε Esculin bile agar

Εάν μετά την επώαση παρατηρηθεί μαύρισμα του υλικού, τότε η δοκιμή χαρακτηρίζεται θετική για στελέχη του γένους *Enterococcus*.

Τελικά ταυτοποιήθηκαν 167 στελέχη, τα οποία αποθηκεύτηκαν στους -80°C και -20°C σε διάλυμα γλυκερόλης 30%κ.ο (stock καλλιέργειες). Τα υπόλοιπα στελέχη, που δεν παρουσίασαν τις τυπικές αντιδράσεις του γένους *Enterococcus* στις επιβεβαιωτικές δοκιμές, αποκλείστηκαν.

Οι περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι σχετίζονται με λοιμώξεις του ουροποιητικού και του γαστρεντερικού συστήματος. Η παρουσία τους στη λάσπη, η οποία παράγεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, περιορίζει την γεωργική της αξιοποίηση, δεδομένου ότι μπορούν να μολύνουν το έδαφος καθώς και τις καλλιέργειες που υποστηρίζει.

Κεφάλαιο 5ο: Συμπεράσματα - Προτάσεις

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η εκτίμηση βασικών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της αφυδατωμένης ιλύος από μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων, σε όλη την Ελλάδα. Αξίζει να σημειωθεί ότι βασική επιδίωξη της έρευνας ήταν η αποτύπωση σε μια χρονική στιγμή της γεωγραφικής κατανομής των ποιοτικών χαρακτηριστικών της ιλύος στον Ελλαδικό χώρο.

Τα δείγματα ιλύος λήφθηκαν από 24 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του ελλαδικού χώρου και εξετάστηκαν ως προς την ποιότητα τους σε φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε η μικροβιακή οικολογία της ιλύος, η παρουσία επιλεγμένων παθογόνων όπως *Salmonella* spp. και *Listeria* spp. και οργανισμών δεικτών (περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι, *E. coli* και *Clostridium perfringens*). Επίσης μετρήθηκαν η υγρασία, τα πτητικά στερεά, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τιμές που αναφέρονται στην εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία, αλλά και με τιμές άλλων ερευνητών. Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση των συμπερασμάτων που προέκυψαν.

5.1 Κυριότεροι τρόποι επεξεργασίας και διάθεσης της ιλύος στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων που εξετάστηκαν

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος επεξεργασίας ιλύος είναι η αερόβια σταθεροποίηση, κυρίως μέσω των συστημάτων παρατεταμένου αερισμού. Τα τελευταία χρόνια, η μηχανική αφυδάτωση αποτελεί τη συνηθέστερη πρακτική και τείνει να αντικαταστήσει τις υπάρχουσες κλίνες ξήρανσης. Ανάμεσα στους τύπους της μηχανικής αφυδάτωσης, οι ταινιοφιλτρώπρεσες είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος αφυδάτωσης, και ακολουθεί η αφυδάτωση με φυγοκεντρήτες.

Στην Ελλάδα η εδαφική διάθεση είναι η συχνότερα εφαρμοζόμενη μέθοδος διάθεσης της ιλύος, που παράγεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, το 54% των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων που εξετάστηκαν απορρίπτει την παραγόμενη ιλύ σε ανεξέλεγκτους χώρους, χωρίς κανένα μέσο περιβαλλοντικής προστασίας (χωματερές) και όχι σε οργανωμένους Χ.Υ.Τ.Α.. Η εδαφική διάθεση, συνήθως μαζί με στερεά απόβλητα, είναι μια ελκυστική μέθοδος, εξαιτίας του χαμηλού κόστους. Το 46% των εγκαταστάσεων από τις οποίες λήφθηκαν δείγματα, χρησιμοποιούν χώρους υγειονομικής ταφής για την απόθεση της αφυδατωμένης ιλύος. Γενικά το 98% της παραγόμενης ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων καταλήγει σε Χ.Υ.Τ.Α, ένα ποσοστό που είναι από τα μεγαλύτερα στην Ε.Ε., όπου ο αντίστοιχος ευρωπαϊκός μέσος όρος δεν υπερβαίνει το 27%.

Σύμφωνα με την πολιτική διαχείρισης αποβλήτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, βασική προτεραιότητα τίθεται η επαναχρησιμοποίηση τους. Η βέλτιστη και περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση στην περίπτωση της ιλύος που παράγεται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι η χρήση της ως εδαφοβελτιωτικό. Κάτι τέτοιο προϋποθέτει κατάλληλη επεξεργασία της ιλύος, καθώς και έλεγχο των εισροών στις αποχετεύσεις (περιορισμός των βιομηχανικών και βιοτεχνικών λυμάτων), ώστε το τελικό προϊόν να είναι ασφαλές τόσο για τις καλλιέργειες, όσο και για την δημόσια υγεία.

5.2 Φυσικο - χημικές παράμετροι ιλύος

Η υγρασία των δειγμάτων λάσπης που λήφθηκαν κυμαίνεται μεταξύ 77-89%, με εξαίρεση τη λάσπη των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων της Καρδίτσας, του Ξυλοκάστρου και της Λαμίας όπου η υγρασία ανέρχεται μόλις στο 23%, 38% και 10% αντίστοιχα. Συνθήκες χαμηλής υγρασίας περιορίζουν την κινητικότητα των βακτηρίων, ενώ η υπερβολική υγρασία δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες (Richard *et al.*, 2002). Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, κρίνεται αναγκαία η ρύθμιση της υγρασίας σε όλα τα δείγματα λάσπης, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της κομποστοποίησης δεδομένου ότι επίπεδα υγρασίας μεταξύ 40-65% ευνοούν τη μικροβιακή δραστηριότητα, με αποτέλεσμα η διαδικασία να πραγματοποιείται στο βέλτιστο βαθμό (Stentiford, 2002).

Οι τιμές του pH στα δείγματα λάσπης κυμαίνονται μεταξύ 6,93-8,22. Οι τιμές αυτές του pH θεωρούνται ικανοποιητικές και βρίσκονται εντός των ορίων 6-9 για βέλτιστη κομποστοποίηση (Μανιός και Μανιαδάκης 2001). Το pH της λάσπης αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τις συγκεντρώσεις και τους ρυθμούς μείωσης των μικροοργανισμών στην ιλύ.

Όσον αφορά στην ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει μεγάλο εύρος διακύμανσης από 273 έως 1424 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο σύνολο των δειγμάτων ιλύος, βρίσκονται κάτω από το όριο που έχει θεσπίσει η ελληνική νομοθεσία δηλαδή τα 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ενώ παράλληλα δεν ξεπερνούν τα 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, κάτι που αν συνέβαινε ίσως προκαλούσε προβλήματα στην αρχή της διαδικασίας της κομποστοποίησης (Μανιός και Μανιαδάκης 2001).

Τέλος, σε ότι αφορά τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα δείγματα ιλύος, κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, που δεν ξεπερνούν τις οριακές τιμές που έχουν καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία καθώς και από την νομοθεσία των Η.Π.Α. Μάλιστα οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα δείγματα ιλύος, είναι χαμηλότερες από τις οριακές τιμές που έχουν

προταθεί σε μια προσπάθεια αναθεώρησης της Οδηγίας 86/278 της Ε.Ε. και υιοθέτησης αυστηρότερων προτύπων. Γενικά θα λέγαμε ότι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων από τις οποίες λήφθηκαν δείγματα ιλύος, παράγουν λάσπη ικανοποιητικής ποιότητας, κατάλληλη για γεωργική εφαρμογή.

5.3 Μικροβιολογικές παράμετροι

Οι πληθυσμοί των ολικών μεσόφιλων βακτηρίων στα δείγματα ιλύος κυμάνθηκαν μεταξύ 10^7 έως $4,7 \times 10^9$ κύτταρα/gdw. Οι τιμές αυτές είναι πολύ υψηλότερες από τα όρια που πρότειναν οι Deportes *et al.* (1995), αλλά και από τους πληθυσμούς ολικών μεσόφιλων βακτηρίων που μέτρησαν οι Selinovskaya *et al.* (2001) σε δείγματα λάσπης από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα ιλύος από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Καρδίτσας, της Τρίπολης και των Χανίων, στα οποία μετρήθηκαν πληθυσμοί ανάλογοι με αυτούς που μέτρησαν στην έρευνα τους οι Deportes *et al.* (1995).

Οι πληθυσμοί των ολικών κολίμορφων βακτηρίων, που μετρήθηκαν στα δείγματα λάσπης, κυμαίνονται μεταξύ $7,3 \times 10^4$ έως $3,3 \times 10^7$ κύτταρα/gdw. Οι ερευνητές Deportes *et al.* (1998) και Hassen *et al.* (2001) έχουν προτείνει οι πληθυσμοί των κολίμορφων βακτηρίων στη λάσπη που προέρχεται από την επεξεργασία αστικών λυμάτων, να μην ξεπερνούν τα 5×10^2 κύτταρα ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης, προκειμένου να είναι ασφαλής η διάθεση της ιλύος. Ωστόσο, κανένα από τα δείγματα λάσπης που εξετάστηκαν δεν βρίσκεται εντός των ορίων που προτάθηκαν από τους παραπάνω ερευνητές.

Σε ότι αφορά τις συγκεντρώσεις του βακτηρίου *E. coli*, που αποτελεί περιττωματικό δείκτη, κυμάνθηκαν μεταξύ $1,3 \times 10^3$ έως $6,8 \times 10^6$ κύτταρα/gdw. Εξαιρέση αποτελεί η λάσπη από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Καρδίτσας, η οποία περιέχει λιγότερα από 0,01 κύτταρα/γραμμάριο μεικτού βάρους. Ο Carrington (2001) συνιστά η συγκέντρωση του *E. coli* στη λάσπη που προέρχεται από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, να μην υπερβαίνει τα 1000 κύτταρα ανά γραμμάριο ξηρού βάρους, το ίδιο όριο καθορίζεται και στους κανονισμούς του U.S. EPA “Class A”. Είναι προφανές ότι εξαιρουμένου του δείγματος λάσπης από το βιολογικό καθαρισμό της Καρδίτσας, τα υπόλοιπα εμφανίζουν πολύ υψηλότερους πληθυσμούς του εν λόγω βακτηρίου, από αυτά που προτείνονται από τον Carrington και από το U.S. EPA.

Οι συγκεντρώσεις των περιττωματικών στρεπτόκοκκων κυμαίνονται μεταξύ $5,7 \times 10^2$ έως 4×10^7 κύτταρα/gdw. Πολλοί ερευνητές (Deportes *et al.*, 1998, Hassen *et al.*, 2001) έχουν προτείνει οι πληθυσμοί των περιττωματικών στρεπτόκοκκων στη λάσπη να μην ξεπερνά τα 5×10^3

κύτταρα ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης. Η πλειοψηφία των δειγμάτων ιλύος υπερβαίνει το παραπάνω όριο, με εξαίρεση τα δείγματα λάσπης από τις μονάδες των Χανίων, της Λάρισας και της Καρδίτσας. Σε άλλες μελέτες οι συγκεντρώσεις των εντερόκοκκων μετρήθηκαν στα $9,2 \times 10^6$ κύτταρα ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης (Garrec *et al.*, 2003).

Τα θειοαναγωγικά κλωστρίδια είναι αναερόβια βακτήρια, Gram θετικά, τα οποία έχουν την ιδιότητα να σχηματίζουν ενδοσπόρια. Το *Clostridium perfringens* ανήκει στα θειοαναγωγικά κλωστρίδια και αποτελεί περιττωματικό δείκτη. Οι πληθυσμοί των θειοαναγωγικών κλωστριδίων στα δείγματα ιλύος κυμαίνονται μεταξύ $8,1 \times 10^4$ έως $4,3 \times 10^6$ κύτταρα/gdw. Σε ότι αφορά τη συγκέντρωση του *Clostridium perfringens* δοκιμαστικά συνιστάται τα σπόρια του να μην υπερβαίνουν τα 3000 ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης (Carrington, 2001).

Σε ότι αφορά την παρουσία του *Salmonella* spp. στα δείγματα ιλύος, ανιχνεύθηκε σε 17 από τα 21 δείγματα που εξετάστηκαν με άριστη ταυτοποίηση ως προς το γένος, ενώ στα υπόλοιπα δεν ανιχνεύθηκε το εν λόγω βακτήριο. Ο υψηλότερος πληθυσμός του γένους *Salmonella* spp. παρατηρήθηκε στο δείγμα ιλύος που λάβαμε από το κέντρο επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (714,29 MPN/gdw). Γενικά οι πληθυσμοί της σαλμονέλας κυμαίνονται από 0,86 έως 714,29 MPN/ gdw.

Ερευνητές όπως οι Deportes *et al.* (1998) και Hassen *et al.* (2001) αναφέρουν ότι για να είναι ασφαλής η διάθεση της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία αστικών λυμάτων, θα πρέπει να μην ανιχνεύονται στελέχη του γένους *Salmonella* spp. ανά 100 γραμμάρια ξηρής λάσπης. Ο Strauch (1998) επίσης υποστηρίζει ότι αμέσως μετά από την επεξεργασία της ιλύος δε πρέπει να ανιχνευθεί σαλμονέλα. Στους κανονισμούς για τη λάσπη που εκδίδονται από τον US EPA “Class A”, ορίζεται ότι ο πληθυσμός της σαλμονέλας στη λάσπη δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3 MPN (πλέον πιθανός αριθμός) ανά 4 γραμμάρια λάσπης (ξηρό βάρος), δηλαδή τα 0,75 MPN ανά γραμμάριο ξηρής λάσπης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι στα περισσότερα δείγματα λάσπης τα επίπεδα του *Salmonella* spp. είναι εμφανώς υψηλότερα από αυτά που ορίζονται από τον US EPA “Class A”. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα λάσπης από τους βιολογικούς καθαρισμούς των Τρικάλων, της Καρδίτσας, της Λειβαδιάς και του Ξυλοκάστρου όπου δεν ανιχνεύθηκε το εν λόγω βακτήριο.

Τέλος από τα συνολικά 21 δείγματα ιλύος που εξετάστηκαν ως προς την παρουσία του παθογόνου βακτηρίου *Listeria* spp., σε 7 από αυτά απομονώθηκαν στελέχη που έδωσαν τις τυπικές αντιδράσεις του γένους *Listeria* spp. στις επιβεβαιωτικές δοκιμές. Τα στελέχη αυτά απομονώθηκαν από τα δείγματα λάσπης που λήφθηκαν από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Κορίνθου, του Άργους, της Τρίπολης, της Βέροιας, των Ιωαννίνων, της Λαμίας και της Λάρισας. Ακολούθησε ταυτοποίηση των στελεχών αυτών σε επίπεδο είδους και βρέθηκε ότι σε όλα τα δείγματα ιλύος, με εξαίρεση αυτό των Ιωαννίνων, ανιχνεύθηκε *Listeria innocua*. Όσον αφορά στο δείγμα ιλύος από το βιολογικό καθαρισμό των Ιωαννίνων, βρέθηκε ότι ήταν *Listeria monocytogenes*.

Οι πληθυσμοί του *Listeria* spp. στα δείγματα ιλύος κυμαίνονται μεταξύ 0,8 έως 10,1 MPN/gdw. Και σε άλλες μελέτες όπως αυτές των Garrec *et al.* (2003) και των Ganzter *et al.* (2001) απομονώθηκε *Listeria* spp. από ιλύ μονάδας επεξεργασίας λυμάτων και μάλιστα *Listeria monocytogenes* σε ποσοστό 95%.

5.4 Προτάσεις

Ενώ η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων, θέτει ως βασική προτεραιότητα την επαναχρησιμοποίηση τους, στην Ελλάδα μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό της παραγόμενης λάσπης αξιοποιείται γεωργικά, με το μεγαλύτερο μέρος της ιλύος να καταλήγει σε χωματερές και Χ.Υ.Τ.Α. Αντίθετα σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες η πιο διαδεδομένη μέθοδος διάθεσης της ιλύος είναι η γεωργική αξιοποίηση. Κρίνεται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη προώθησης μεθόδων επαναχρησιμοποίησης της ιλύος και στη χώρα μας.

Η γεωργική αξιοποίηση της ιλύος λύνει αυτόματα το πρόβλημα της διάθεσης το οποίο είναι ιδιαίτερα οξύμενο στην Ελλάδα, καθώς όπως προαναφέρθηκε οι περισσότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων απορρίπτουν την ιλύ σε χωματερές ή σε Χ.Υ.Τ.Α. Παράλληλα η γεωργική αξιοποίηση της παραγόμενης λάσπης θα εξοικονομούσε πόρους και για τους αγρότες (χαμηλότερο κόστος της λάσπης συγκριτικά με τα χημικά λιπάσματα).

Το μόνο ανησυχητικό είναι ότι στα δείγματα ιλύος που εξετάστηκαν, ανιχνεύθηκαν παθογόνα βακτήρια όπως η σαλμονέλα και η λιστέρια, γεγονός που καθιστά αναγκαία την πραγματοποίηση μελετών σχετικά με τους τρόπους εξάλειψης των παθογόνων από την ιλύ. Επίσης πρέπει να διερευνηθεί σε ποιες καλλιέργειες μπορεί να εφαρμοστεί η λάσπη, ώστε να αποφεύγονται οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και να εξασφαλίζεται η γεωργική παραγωγή.

Γενικά για να επιτευχθεί ολοκληρωμένη διαχείριση της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία των λυμάτων προτείνεται:

1. Αλλαγή του συστήματος διαχείρισης στην κατεύθυνση της αξιοποίησης των αποβλήτων με ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση και ανάκτηση ενέργειας.
2. Σε μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, στις οποίες η εισροή βιομηχανικών αποβλήτων είναι περιορισμένη, φαίνεται ότι η διάθεση της ιλύος στο έδαφος για γεωργικούς σκοπούς αποτελεί έναν πολύ καλό τρόπο διάθεσης. Για την ικανοποιητική ποιότητα του τελικού προϊόντος θα πρέπει να προηγείται κατάλληλη επεξεργασία της ιλύος, ώστε να ικανοποιούνται οι όροι του Σχεδίου Αναθεώρησης της Οδηγίας 86/278 (κομποστοποίηση, επεξεργασία με ασβέστη κτλ.)
3. Η διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ μπορεί να εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που δεν μπορούν να εφαρμοστούν πιο φιλικόι προς το περιβάλλον τρόποι διάθεσης. Σε κάθε περίπτωση η ιλύς πρέπει να έχει ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά για την ασφαλή διάθεσή της στο Χ.Υ.Τ.Α.
4. Πρέπει να προωθηθεί η κατασκευή των αναγκαίων έργων με στόχο την ορθολογική επεξεργασία και διαχείριση της ιλύος (μονάδες κομποστοποίησης, αναερόβιας χώνευσης, ξήρανσης κ.α.).

Κεφάλαιο 6^ο : Βιβλιογραφία

1. Andreadakis A., Mamais D., Gavalaki E., Kampylafka S., (2001), “Sludge utilisation agriculture: possibilities and prospects in Greece”, National Technical University of Athens, 7th International Conference on Environmental Science and technology, Syros island, Greece, September 2001.
2. APHA (1992), “Standard methods for examination of water and wastewater” 18th ed. APHA, AWWA, WPCF, Washington, DC.
3. Barzily A. and Kott Y., (1989), “Survival of pathogenic bacteria in elevated temperature oxidation ponds”.
4. Beuchat L. (1996), “Listeria monocytogenes: incidence on vegetables”, *Food Control*, Vol. 7, Is. 415, pp 223-228.
5. Bille J., Catimel B., Binnerman E., Jacquet C., Yersin M.N., Caniaux I., Monget D., Rocourt J., (1992), “API *Listeria*, a new and promising one day system to identify *Listeria* isolates”, *Applied and Environmental Microbiology*, June 1992, Vol. 58, No. 6, pp. 1857-1860.
6. Carrington, E.G., Davis, R.D., Hall, J.E., Pike, E.B., Smith, S.R. and Unwin, R.J., (1998), “Review of the scientific evidence relating to the controls on the agricultural use of sewage sludge”, Report DETR 4415/3 [part1] and Report DETR 4454/4 [part 2] WRc plc, Medmenham.
7. Carrington E.G., (2001), “Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction – final report”, Study Contract No B4-3040/2001/322179/MAR/A2 for the European Commission, Directorate-General Environment, Report No.: CO 5026/1, September 2001.
8. Chipasa Kangala (2003), “Accumulation and fate of selected heavy metals in a biological wastewater treatment system”, *Waste management*, Vol. 23, pp 135-143.
9. Christoulas D.G., Andreadakis A.D., Kouzeli-Katsiri A., Aftias E., Mamais D., (2000), “Alternative schemes the management of the sludge produced at Psytalia WWTP”, *Wat. Sch. Tech.*, Vol. 42 Is. 9, pp 29-36.
10. Ciavatta C., Goui M., Simoni A., Squi P., (1993), “Evaluation of heavy metals during stabilization of organic matter in compost produced with municipal solid wastes”, *Biosource Technology*, Vol 43, pp 114-153.
11. Curtis T.P., D. Duncan Mara, and Silva S.A. (1992), “Influence of pH, Oxygen, and Humic Substances on Ability of Sunlight To Damage Fecal Coliforms in Waste Stabilization Pond Water “, *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 58 pp 1335-1343.

12. Davis, R.D., Carrington, E.G., Gendebien, A., Aitken, M.N., Fenlon, D. and Svoboda, I., (1999), "A user's guide to research on application of organic wastes to land", Report SR 4624/3, WRc, Medmenham.
13. De Bertoli M., Sequi P., Lemmer B., Tiziano P., (1996), "The role of composting in suitable agriculture", Chapman and Hall, England.
14. Déportes I., Benoit Evejod J., Zmirou D., (1995), "Hazard to man and environment posed by the use of urban waste compost: a review" *The science of the Total Environment*, Vol. 172, pp 197-222.
15. European Community (2000), "Working Document on Sludge 3rd Draft", Brussels, ENV.E.3./LM.
16. FCQAO (1994), "Methods book for the Analysis of Compost", Kompost-Information, NR.230, *Butesgutemeinschaft Kompost e.V.*, English translation by W. Bidlingmaier, Essen, Germany.
17. Finney M., Smullen J., Foster H.A., Brokx S., Storey D.M., (2003), "Evaluation of Chromocult coliform agar for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae from faecal samples from healthy subjects", *Journal of Microbiological Methods*, Vol. 54, pp 353– 358
18. Ganzer C., Gaspard P., Galvez L., Huyard A., Dumouthier N., Schwartzbrod J., (2001), "Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge", *Water Research*, Vol. 35, Is 16, pp 3763-3770.
19. Garrec N., Picard-Bonnauad F., Pourcher A.M., (2003), "Occurrence of *Listeria sp* and *Listeria monocytogenes* in sewage sludge used for land application: effect of dewatering, limiting and storage in tank on survival of *Listeria species*", *FEMS-Immunology and Medical Microbiology*, Vol. 135, pp 275-283.
20. Gerba C.P. (1983), "Pathogens in utilisation of municipal wastewater and sludge on land", University of California.
21. Goyal S., Dhull S.K., Kapoor K.K., (2005), "Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity", *Bioresource Technology*, Vol 96, pp 1584-1591
22. Hassen A., Belguith K., Jedidi A., Cherif A., Cherif M., Boudabous A., (2001), "Microbial characterization during composting of municipal solid waste" *Bioresource Technology*, Vol. 80, pp 217-225.
23. Haug R.T., (1993), "The practical handbook of compost engineering", Lewis Publishers, USA.

24. Hayes B., (1997), "Potencial for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludges", *Water Research*, Vol. 11, Is. 7, pp 583-595.
25. Jean D.S., Chang Bea-Ven, Liao G.S., Tsou G.W., Lee D.J., (1999), "Reduction of microbial density level in sewage sludge through pH adjustment and ultrasonic treatment", Taiwan, 1999.
26. Juang D.F. and Hwu C.S. (2003), "Agar plated bacteria found in the activated sludge of lab-scale SBR and CFSTR systems", *Bioresource Technology*, pp 1-5.
27. Kloepper-Sams E., Torfs F., Feijtel T., Gooch J., (1996), "Effects assessment for surfactants in sludge amended soils: a literature review and perspectives for terrestrial risk assessment", *The Science of the Total Environment*, Vol 185, pp 171-185.
28. Konrad J. Domig, Helmut K. Mayer, Wolfgang Kneifel (2003), "Methods used for the isolation, enumeration, characterisation and identification of Enterococcus spp. 1. Media for isolation and enumeration", *International Journal of Food Microbiology*, Vol 88, pp 147-164.
29. Kowal N.E. (1982), "Health effects of land treatment", USEPA, Publication no EPA-600/1-82-007.
30. Kuai L., Doulamy F., Verstraete W., (2000), "Sludge treatment and reuse as soil conditioner for small rural communities", *Bioresource Technology*, Vol. 73, pp 213-219.
31. Mathur S.P. (1991), "Composting processes. In: *bioconversion of waste materials to industrial products*", Elsevier Applied Science, London and New York, pp 147-183.
32. Pike E.B., Carrington E.G., Harman S.A., (1988), "Destruction of Salmonellas, Enteroviruses and ova of parasites in wastewater sludge by pasteurisation and anaerobic digestion", *Wat. Sch. Tech.*, Vol 20 11/12, pp 337-343.
33. Reddy K.R., Khaleen R., Overcash M.R., (1981), "Behaviour and transport of microbial pathogens and indicator organisms in soils treated with organic wastes", *J. Envirnm. Qual.*, vol 10, pp 255-266.
34. Richard T.L., Hamelers H.V.M., Veeken A., Silva T., (2002), "Moisture relationships in composting processes", *Compost Science and Utilization*, Vol 10, no 4, pp 286-302.
35. Schaub-Szabo S.M. and Leonard J.J., (1999), "Characterizing the bulk density", *Compost Science and Utilization*. Vol 7, Is. 4, pp 15-24.
36. Selivanovskaya S., Latypova V.Z., Kiyamova S.N., Alimova F.K., (2001), "Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to gray forest soil of Tatarstan", *Agriculture Ecosystems and Environment*, Vol. 86, pp 145-153.
37. Singleton Paul (1999), "Bacteria in Biology, Biotechnology and Medicine", Wiley, N. York.

38. Stentiford E.I. (2001), "Composting-optimizing the process and keeping the neighbours happy" In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ., ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων, 22-23 Ιουνίου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
39. Strauch, D., (1998). "Pathogenic micro-organisms in sludge. Anaerobic digestion and disinfection methods to make sludge usable as a fertiliser", *European water Management*.
40. U.S. EPA, (1995), "Solid Waste Disposal - Emission Factors, Section 2.2." *Sewage Sludge Incineration*, July 1995.
41. U.S. EPA (1998), "Method 1682: *Salmonella* spp. in Biosolids by Enrichment, Selection and Biochemical Characterization", August 1998.
42. U.S. EPA, (1999), "Environmental regulations and technology. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Report EPA/625/R-92/013", US EPA, Washington DC.
43. Water Quality International (1998), "Germany raises alarm over treatment chemicals", Vol. 03-04/1998.
44. WHO (1981), "The risk to health of microbes in sewage sludge applied to land. Report on a WHO Working Group, Stevenage, 6-9/1/1981", Copenhagen, 1981.
45. Zessner M. and Nowak O., (1999), "Considerations on the quality of sewage sludge for agricultural use", *Specialized Conference on disposal and utilization of sewage sludge: Treatment methods and application modalities*, October 13-15, Athens, 1999.
46. Αγγελάκης Α., Διαβάτης Η., Ευμορφοπούλου Α., Κάρτσωνας Ν., Μαμάης Δ., Μποσδογιάννη Α., Στάμου Α., Βούρβαχη Ν., (2005), «Εναλλακτικοί Τρόποι Διαχείρισης των Παραπροϊόντων από Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων», Αθήνα, ΤΕΕ, Φεβρουάριος 2005.
47. Αραβώσης Κ., Κούγκολος Α., Λέγκας Κ., Μάκκας Α., Πατσης Κ., (2003), «Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης», Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Ιούνιος 2003.
48. Βαβίζος, Γ., (1995) «Βιολογικός Καθαρισμός» Γ' Έκδοση, ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα.
49. Βιλλιώτη Γ.Π. και Τζουβάρας Ν.Π., (2000), «Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλειας: στατιστική αποτίμηση τετραετούς λειτουργίας (9/1996 – 8/2000)», ΕΥΔΑΠ, Δ/ση Αντιρρύπανσης, Αθήνα.
50. Ισραηλίδης Κ. (2001), «Αξιοποίηση στερεών οργανικών αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων», *Διημερίδα για την ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, σελ. 123-130, Αθήνα 2001.

51. Κουλουμπής Π. (2001), «Δυνατότητες γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των αστικών λυμάτων», *Διημερίδα για την ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, σελ. 179-189, Αθήνα 2001.
52. Κουτσομήτρου Θ., (2004), «Ολοκληρωμένη διαχείριση αποβλήτων της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων του νομού Τρικάλων», διπλωματική εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα 2004.
53. Κ.Υ.Α. 69269/5387/1990 «Σχετικά με την κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και τον καθορισμό του περιεχομένου των Μελετών Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης (Φ.Ε.Κ. 678/Β', 25-10-1990)».
54. Κ.Υ.Α. 80568/4225/1991 «Για τη χρήση της ιλύος που προέρχεται από οικιακά και αστικά απόβλητα στη γεωργία (Φ.Ε.Κ. 6641/91, 07-08-1991)».
55. Κ.Υ.Α. 82805/2224/1993 «Για την αποφυγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την αποτέφρωση αποβλήτων (Φ.Ε.Κ. 699/93)».
56. Κ.Υ.Α. 5673/400/1997 «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων (Φ.Ε.Κ. 192/Β', 14-3-1979)».
57. Κ.Υ.Α. 114218/97 «Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων (Φ.Ε.Κ. 1016/97)».
58. Κ.Υ.Α. 29407/3508/2002 «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (Φ.Ε.Κ. 1572/02)».
59. Κ.Υ.Α. 50910/2727/2003 «Μέτρα και όροι για την διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης (Φ.Ε.Κ. 1909/03)».
60. Κυριακού Μ. (2002), «Σημειώσεις εφαρμοσμένης μικροβιολογίας», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
61. Κώτσου Μ., Τασιοπούλου Σ., Κυριακού Μ., (2002), «Εργαστηριακές ασκήσεις εφαρμοσμένης μικροβιολογίας», Εργαστήριο Μικροβιολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
62. Μανιός Β.Ι. και Μανιαδάκης Κ.Μ., (2001), «Προδιαγραφές ποιότητας κομπόστ. Ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων», Διημερίδα Κοπμόστ-Νετ, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
63. Μαρκαντωνάτος, Γ., (1990), «Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων. Αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα» Β' Έκδοση, Αθήνα.
64. Μαυρίδου Α., Παπαπετροπούλου Μ., (1995), «Μικροβιολογία του υδάτινου περιβάλλοντος», Εκδόσεις Τραυλός-Κωσταράκη.
65. Μόρτογλου Τ. και Μόρτογλου Κ., (2002), «Διατροφή από το σήμερα για το αύριο», Τόμος ΙΙ, Εκδόσεις Γιαλλέλη, Αθήνα 2002.

66. Μπουζιάνη, Α., (2002), «Επιλογή μεθόδου επεξεργασίας λυμάτων και χωροθέτηση κατάλληλων μονάδων επεξεργασίας στο Δήμο Γόμφων του Νομού Τρικάλων», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος.
67. Ν. 1650/86 «Για την προστασία του περιβάλλοντος».
68. Οδηγία 86/278/ΕΕ «Σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία».
69. Οδηγία 91/271/ΕΕ «Για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων».
70. Οδηγία 91/676/ΕΕ «Για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης».
71. Οδηγία 1999/31/ΕΕ «Περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων».
72. Οδηγία 2003/33/ΕΕ «Για τον καθορισμό κριτηρίων και διαδικασιών αποδοχής των αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής σύμφωνα με το άρθρο 16 και το παράρτημα ΙΙ της Οδηγίας 1999/31/ΕΕ».
73. Οδηγία 2000/76/ΕΕ «Για την αποτέφρωση των αποβλήτων».
74. Παπαπολυμέρου, Γ., (1999), «Σχεδιασμός, λειτουργία, και βελτιστοποίηση αντιρρυπαντικών εγκαταστάσεων υγρών αποβλήτων», Σημειώσεις μαθήματος ΤΕΙ Λάρισας, Λάρισα.
75. Στάμου Α. (1995), «Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1995.
76. Χριστούλας Δ., Ανδρεαδάκης Α., Κουζέλη-Κατσίρη Α., Αφτιάς Ε., Μαμάης Δ. (1999), «Διαχείριση της παραγόμενης ιλύος κατά την λειτουργία του Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας», Heleco '99, Τόμος Ι., σ.σ. 63-71, Θεσσαλονίκη 1999.