

**Α.Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**  
**ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ**  
**ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**  
**Δρ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΑΝΙΟΣ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΙΟΓΚΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**  
**ΣΤΗΝ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ**  
**ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΕΛΕΝΙΤΣΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΚΩΣΤΑΣ ΜΑΝΙΑΔΑΚΗΣ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2003**

**Α.Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**  
**ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ**  
**ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**  
**Δρ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΑΝΙΟΣ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΙΟΓΚΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**  
**ΣΤΗΝ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ**  
**ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΩΝ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΚΩΣΤΑΣ ΜΑΝΙΑΔΑΚΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ**  
**ΕΛΕΝΙΤΣΑ ΙΩΑΝΝΗ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2003**

*Αφιερωμένη στους γονείς μου...*

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## **1. Εισαγωγή**

- 1.1 Οργανικά υλικά και Compost
- 1.2 Τεχνική και βασικοί παράγοντες του Composting

## **2. Πρώτες ύλες του Compost**

- 2.1 Διογκωτικά υλικά

## **3. Το Composting σαν μέθοδος επεξεργασίας οργανικών υλικών**

- 3.1 Συστήματα Composting
- 3.2 Διαδικασία Κομποστοποίησης
- 3.3 Σταθεροποίηση
- 3.4 Υγιεινοποίηση

## **4. Ιλύς βιολογικών καθαρισμών**

- 4.1 Χημική σύσταση της ιλύος
- 4.2 Παράγοντες που περιορίζουν την χρήση της ιλύος
- 4.3 Παθογόνοι μικροοργανισμοί και αξιοποίηση της ιλύος
- 4.4 Κίνδυνος ασθενειών – μολύνσεις
- 4.5 Βακτήρια , ιοί και άλλοι παράγοντες στη νωπή λάσπη
- 4.6 Μετακίνηση παθογόνων στο έδαφος και κίνδυνοι για τη μόλυνση του νερού
- 4.7 Μέθοδοι επεξεργασίας της ιλύος
  - 4.7.1 Σημασία της θερμοκρασίας
  - 4.7.2 Αναερόβια χώνευση

## **5. Βαρέα μέταλλα**

- 5.1 Βαρέα μέταλλα και οριακές τιμές
- 5.2 Νομοθετικό πλαίσιο στη χώρα μας για την αξιοποίηση της ιλύος
  - 5.2.1 Αξιοποίηση της ιλύος στη χώρα μας
  - 5.2.2(α) Γεωργική χρησιμοποίηση αστικών λυμάτων(Ιλύς Βιολογικού

Καθαρισμού). Κατάσταση – κατευθύνσεις – προοπτικές για τη χώρα μας

#### 5.2.2(β) ανάλυση του σχετικού προβληματισμού

### **6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

6.1 Εισαγωγή

6.2 Οι πρώτες ύλες των Compost

6.3 Μέθοδοι εργαστηριακών αναλύσεων

6.4 Πειραματικοί σωροί αναλογίες

6.5 Εγκατάσταση ,μεθοδολογία και μέσα κομποστοποίησης

6.6 Χειρισμοί κατά την διαδικασία του Composting στον 1<sup>ο</sup> πειραματικό σωρό

6.6.1 Χειρισμοί κατά την διαδικασία του Composting στα πειραματικά

σειράδια 2,3,4 και 5

### **7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

7.1 Μεταβολές της θερμοκρασίας χώνευσης

7.2 Μεταβολές βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων

7.3 Κοκκομετρία ώριμων κόμποστ

### **8. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

9. Φωτογραφίες

10. Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωργικών μηχανημάτων μονάδας κομποστοποίησης

11. Βιβλιογραφία

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Οργανικά υλικά και compost

Τα οργανικά υλικά εμπλουτίζουν το έδαφος με οργανική ουσία η οποία στα ελληνικά εδάφη

βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα που κυμαίνονται από 1-2.5% η οποία ασκεί στο έδαφος θετικές επιδράσεις .

Η μέθοδος του composting είναι μία από τις πλέον παλιές γεωργικές τεχνικές , που σήμερα εξαιτίας των προβλημάτων που δημιουργεί η ολοένα και μεγαλύτερη χρήση των χημικών λιπασμάτων και η αυξημένη παραγωγή οργανικών υπολειμμάτων ,μαζί με την αναγκαιότητα της διατήρησης της γονιμότητας των εδαφών ,φαίνεται να δίνει κάποια διέξοδο σε αυτά τα προβλήματα.

Με τον όρο composting αποδίδεται η επεξεργασία των οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων εκτός του εδάφους ,κάτω από ελεγχόμενες από τον άνθρωπο συνθήκες και ουσιαστικά αποτελεί μια απομίμηση της αερόβιας βιολογικής αποδόμησης που συμβαίνει φυσιολογικά στο έδαφος .

Το τελικό προϊόν της διαδικασίας αυτής είναι το COMPOST το οποίο χρησιμοποιείται και σαν εδαφοβελτιωτικό.

Η προσθήκη των ώριμων compost στο έδαφος όπως και κάθε βιοσταθεροποιούμενου οργανικού υλικού, οδηγεί στα θετικά αποτελέσματα που προκαλεί η αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους και είναι η βελτίωση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών.

Το οργανικό κολλοειδές κλάσμα του εδάφους διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στη συσσωμάτωση των κόκκων του , επιδρώντας ευνοϊκά στο πορώδες και τη δομή του και επομένως αυξάνει ο διαθέσιμος χώρος στο έδαφος για την κυκλοφορία του νερού και του αέρα. Παράλληλα βελτιώνει τη καμπύλη υγρασίας και έτσι το φυτό έχει στη διάθεσή του περισσότερο νερό, που δεν συγκρατείται με εξαιρετικά μεγάλες δυνάμεις.

Επίσης επιδρούν θετικά στην αύξηση της CEC του εδάφους και γενικά έχουν αυξημένη εναλλακτική ικανότητα , που είναι ανάλογη με το βαθμό αποδόμησης τους .Έτσι αυτά μπορούν να προσροφήσουν διάφορα στοιχεία με την ανιονική και κατιονική εναλλαγή και να τα αποδώσουν κάτω από ειδικές συνθήκες.

Η οργανική ουσία επίσης επιδρά στην αφομοιωτικότητα διαφόρων στοιχείων όπως το άζωτο (N) ο φώσφορος (P) και το θείο (S). Αυξάνει σημαντικά την ρυθμιστική ικανότητα στο έδαφος και ενισχύει το μικροβιακό πληθυσμό του εδάφους.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται διάφορες περιεκτικότητες σε μακροστοιχεία και μικροστοιχεία, διαφόρων Compost.

Πίνακας 1. Περιεκτικότητες θρεπτικών στοιχείων διαφόρων Compost. Τα μακροστοιχεία

εκφράζονται σε % ξηρής ουσίας και τα ιχνοστοιχεία σε ppm

1.Goluke (1972)

2.Mcintyre D.R et. al. (1997)

3.Bunt (1998)

4.Μανιός Β. και συνεργάτες (1987)

5.Sukmana (1993)

Στοιχεία	Compost απορριμμάτων	Compost Λ.Β.Κ	Compost Cofuna	Compost φύλλων ελιάς	Compost κληματίδων αμπελιού	Compost φλοιού κων/ρων
N	0.91	-	217	2.876	3.026	1.606
P	0.22	0.7	0.23	0.189	0.286	0.079
K	0.33	2.7	0.51	0.692	1.404	1.606
Ca	1.91	1.6	1.94	8534	3.168	1.080
Mg	1.92	0.84	0.13	0.635	0.611	0.128
Na	0.44	-	0.13	0.142	0.425	0.017
Fe	11000	32000	1400	2490	50	2530
Mn	500	480	20	130	87.7	1003
Zn	50	2900	100	40.9	106	268

2. Πρώτες ύλες του Compost

Οι πρώτες ύλες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή των composts, με την εφαρμογή της διαδικασίας του composting, είναι τα πάσης φύσεως οργανικά υπολείμματα της ζωικής και φυτικής παραγωγής, όπως είναι οι κοπριές των ζώων, τα

φυτικά υπολείμματα των διαφόρων καλλιεργειών και τα οργανικά υπολείμματα των γεωργικών βιομηχανιών.

Ακόμη το composting ,έχει εκτεταμένη εφαρμογή και στο οργανικό κλάσμα των οικιακών απορριμμάτων (Biowaste) όπως επίσης και στη λάσπη των βιολογικών καθαρισμών των αστικών λυμάτων. Βασικό στοιχείο για τη χρησιμοποίηση ενός οργανικού υπολείμματος, για την παρασκευή compost, δεν αποτελεί τόσο η φύση του υλικού ,η οποία με διάφορες επεμβάσεις μπορεί να βελτιωθεί και να αντιμετωπιστούν τα διάφορα προβλήματα του ,όσο τα ακόλουθα :

1. Το αρχικό κόστος του υλικού (πρώτη ύλη)
2. Η σταθερότητα στη συνεχή εξεύρεσή του ,για επιχειρηματική εκμετάλλευση
3. Η ύπαρξη τοπικής αγοράς για τη διάθεση του προϊόντος (compost)

Αναφέρονται κατωτέρω ονομαστικά, μερικά από τα οργανικά υπολείμματα και απόβλητα που στη χώρα μας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες για την παρασκευή composts.

1. Εκχυλισμένη ελαιοπυρήνα
2. Ελαιοπυρήνα φυγοκεντρικών ελαιουργείων
3. Φύλλα ελιάς
4. Στέμφυλα οινοποιείων
5. Κληματίδες αμπέλου
6. Κοπριές
7. Λέπυρα ρυζιού και υπολείμματα εκκοκιστηρίων βάμβακος
8. Δημοτικά απορρίμματα
9. Λάσπη βιολογικού καθαρισμού

## 2.1 Διογκωτικά υλικά

Για την περίπτωση υδαρών υλικών ,όπως είναι ορισμένες κατηγορίες κοπριάς ,τα biowaste των οικιακών απορριμμάτων και σαφώς για την μη αφυδατωμένη ιλύ των βιολογικών καθαρισμών, είναι ιδιαίτερα σημαντική η χρησιμοποίηση των λεγόμενων διογκωτικών υλικών.

Συγκεκριμένα για την ιλύ των βιολογικών καθαρισμών (για την οποία γίνεται εκτεταμένη αναφορά παρακάτω), η οποία έχει μία υγρασία από 70% έως 95% ,πρέπει να αναμειχθεί με ένα κατάλληλο διογκωτικό υλικό το οποίο θα χαμηλώσει αυτό το ποσοστό



γύρω στο 55 – 65% ,πριν αρχίσει η διαδικασία του composting.Τα κατάλληλα διογκωτικά υλικά ,πρέπει να έχουν υψηλή υδατική απορροφητική ικανότητα ,να αποδίδουν καλή δομή και πορώδες στο μείγμα και να αποτελούν πηγή άνθρακα ώστε να επιτευχθεί τελικά στο μείγμα η επιθυμητή σχέση C /N 30/1.

Το ρόλο των διογκωτικών υλικών μπορεί ουσιαστικά να παίξει κάθε οργανικό (κατά προτίμηση) χονδρόκοκκο υλικό που μπορεί με την προσθήκη του ,να απορροφήσει κάποια ποσότητα από την περίσσεια του νερού που υπάρχει στην πρώτη ύλη και με την χονδρόκοκκη δομή του ,να δημιουργήσει το αναγκαίο πορώδες κυκλοφορίας του ατμοσφαιρικού αέρα.

Η επιλογή των επιθυμητών διογκωτικών υλικών ,εξαρτάται από την ευκολία διάθεσης ,το κόστος και τις διάφορες ιδιότητές τους .Ως διογκωτικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ροκανίδια ,τα αλεσμένα φυτικά υπολείμματα ,τα άχυρα τα αλεσμένα χαρτόνια και χαρτιά κ.λ.π

Η ποικιλία των διογκωτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα σε μελέτες για το composting που πραγματοποιήθηκαν στο USDA Experimental Composting Site at Beltsville, Maryland ,φαίνονται στον παρακάτω πίνακα(2). Τέλος, η ποσότητα ή η αναλογία των διογκωτικών υλικών εξαρτάται από το προς χώνευση υλικό αλλά και το διογκωτικό και μπορεί να φτάσει μέχρι το 50% του βάρους της πρώτης ύλης .

Πίνακας 2. Διογκωτικά υλικά που έχουν αναφερθεί ως κατάλληλα σε πειράματα composting που πραγματοποιήθηκαν στο Beltsville , MD

---

Ροκανίδια	Τσόφλια φιστικιών
Σκόνη από πριονίδια	Φύλλα (διάφορα)
Κλαδοκάθαρα	Φλοιοί δέντρων
Υπολείμματα καλλιέργειας καλαμποκιού	Στάχτη από ροκανίδια

---

### 3. Το composting σαν μέθοδος επεξεργασίας οργανικών υλικών

Σε σχέση με άλλες πρακτικές επεξεργασίες οργανικών αποβλήτων ,η κομποστοποίηση συνιστά μία απλή ,πρακτική και ασφαλή μέθοδο η οποία παρουσιάζει αναμφισβήτητα

οικονομικά πλεονεκτήματα. Κατά τη διάρκεια της πορείας του φαινομένου αυτού ,παράγεται μέσω της μικροβιακής δράσης θερμότητα ,η οποία σε συνδυασμό με την αντιβιοτική δράση ορισμένων μεταβολικών προϊόντων μικροβιακής φύσης ,προκαλεί την αδρανοποίηση διαφόρων παθογενών μικροοργανισμών ,σπορίων και αυγών παρασίτων που υπάρχουν σε διάφορα κομποστοποιούμενα υλικά και κυρίως στην ιλύ και στο οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων (βιοαπορριμμάτων)

Εκτός αυτού ,η κομποστοποίηση αδρανοποιεί τις δυσάρεστες οσμές (χρησιμοποιείται και ως βιολογικό φίλτρο για τη δέσμευση οσμών σε απαγωγούς δύσοσμων αερίων διαφόρων βιομηχανιών ή άλλων εγκαταστάσεων), βελτιώνει την αποτελεσματικότητα των χημικών λιπασμάτων ,αυξάνει τη δραστηριότητα των οργανισμών του εδάφους και έχει ιδιαίτερα ευνοϊκές επιπτώσεις στην βελτίωση των φυσικών ,χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών αυτού.

Σε αυτά τα πλαίσια ως στόχος της κομποστοποίησης της ιλύος των αστικών λυμάτων ,βιοαπορριμμάτων και πολλών άλλων οργανικών υλικών ,είναι η παραγωγή ενός βιολογικώς σταθεροποιούμενου ,πλούσιου σε χουμικά συστατικά ,υγειονοποιημένου υλικού ,το οποίο ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία για λιπασματική και εδαφοβελτιωτική χρήση.

### 3.1 Συστήματα composting

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους τα συστήματα composting μπορούν να ταξινομηθούν ,αλλά από απόψεως λειτουργίας ,είναι συχνά κατάλληλο και βολικό να προτείνουμε συστήματα στα οποία επεμβαίνουμε και αυτά στα οποία δεν επεμβαίνουμε με κάποιο τρόπο κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης .Έτσι στα συστήματα στα οποία επεμβαίνουμε (interrentionary systems), χρησιμοποιείται κάποια μορφή ζύμωσης κατά τη διάρκεια της μεθόδου ,με την οποία μπορούν να γίνουν στους συντελεστές, όπως στο ποσοστό της υγρασίας, επεμβάσεις κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας .Παράδειγμα αυτού του τύπου των συστημάτων είναι οι Γυριζόμενοι σωροί (windrow piles) και οι Αεριζόμενοι κατά στρώματα σωροί (agitated / aerated bays) .

Αντίθετα ,στα συστήματα όπου δεν επεμβαίνουμε (non-interrentionary systems) μετά την πρώτη ανάμειξη των υλικών δεν υπάρχει δυνατότητα για παραπέρα ρυθμίσεις των παραμέτρων που απαιτούνται για την επεξεργασία .Το πιο κοινό παράδειγμα αυτού του τύπου συστήματος είναι ο Αεριζόμενος στατικός σωρός (ASP).

Προκειμένου όμως η ιλύ από την επεξεργασία των αστικών λυμάτων να αξιοποιηθεί πραγματικά στη γεωργία χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να προκληθούν δυσάρεστες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στο καταναλωτικό κοινό των παραγόμενων με αυτόν τον

τρόπο γεωργικών προϊόντων ,ενδείκνυται να έχουν προηγουμένως εξασφαλιστεί οι επιθυμητοί χαρακτήρες της πλήρους υγειοποίησης και της ενδεδειγμένης σταθεροποίησης αυτής .

### 3.2 Διαδικασία Κομποστοποίησης

Σε ένα σύστημα ανοικτής κομποστοποίησης ,με την προϋπόθεση της δημιουργίας κατάλληλων συνθηκών αερισμού ,υγρασίας και δράσης μικροοργανισμών (βακτηρίων,μυκήτων) αρχίζει στο κέντρο του σωρού σε πρώτη φάση , με τη δραστηριότητα των τελευταίων (1<sup>ο</sup> μεσόφυλο στάδιο ,αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι 40 C ) η αποδόμηση των περισσότερων εύληπτων θρεπτικών υλών (πρωτεΐνες ,αμινοξέα ,λιπίδια ,υδατάνθρακες μικρού μοριακού βάρους). Τούτο συνεχίζει σε δεύτερο θερμόφιλο στάδιο ,όπου η θερμοκρασία μπορεί να φτάνει μέχρι και τους 75 C ,αν και αυτή ενδείκνυται να μην υπερβαίνει τους 60 C .Κατά τη διάρκεια των δύο αυτών σταδίων ,εκτός από την απελευθέρωση ενέργειας υπό μορφή θερμότητας ,σχηματίζονται μέσω διαφόρων ενδιάμεσων προϊόντων CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O .Αναλόγως της φύσης των κομποστοποιούμενων υλικών και του συστήματος που ακολουθείται ,οι μεγαλύτερες τιμές της θερμοκρασίας επιτυγχάνονται μετά από ένα χρονικό διάστημα 2 εβδομάδων περίπου ,από την έναρξη της διαδικασίας.

Με τη χρησιμοποίηση διαφόρων υλικών (επιλογή κατάλληλου τύπου σωρού ,τακτικές αναστροφές ,κάλυψη του σωρού με συνθετικά υφάσματα κ.λ.π ) οι υψηλές θερμοκρασίες που καταλαμβάνουν αρχικά μόνο ένα τμήμα του εσωτερικού πυρήνα του σωρού ,μπορούν να επεκτείνονται ,υγειοποιώντας έτσι ολόένα και μεγαλύτερο όγκο υλικών .Ικανοποιητικά επίπεδα υγειοποίησης επιτυγχάνονται όταν όλα τα τμήματα του σωρού υποστούν θερμοκρασία 55 – 60 C.

Ακολουθεί το τρίτο στάδιο ,της ελάττωσης της θερμοκρασίας ,κατά τη διάρκεια του οποίου αποδομούνται ορισμένα πολυμερή (όπως ημι-κυτταρίνες και κυτταρίνες ) και διάφορες άλλες συνθετικές ύλες ,οι οποίες μετασχηματίζονται σε απλούστερα σάκχαρα και άλλα ενδιάμεσα μεταβολικά προϊόντα που καταναλίσκονται από άλλους οργανισμούς ,μικροβιακούς και ζωικούς ,με συνέπεια την επακόλουθη αύξηση των πληθυσμών αυτών. Αρχίζουν ήδη να σχηματίζονται χουμικές ουσίες αλλά αυτές είναι ασταθείς και οι χουμοποιητικές διαδικασίες συνεχίζονται.

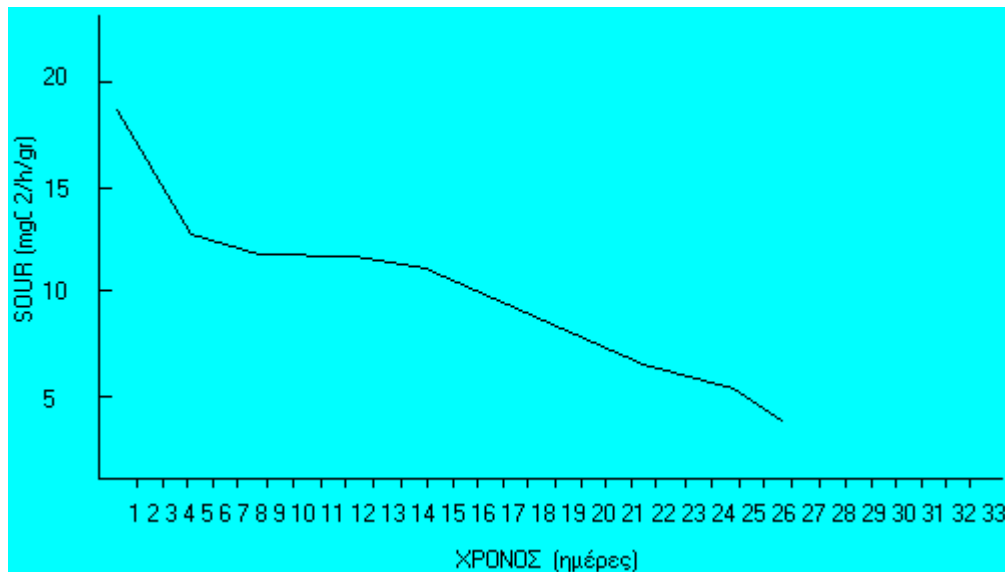
Η θερμοκρασία του σωρού προοδευτικώς εξισώνεται με εκείνη του περιβάλλοντος και τούτο ολοκληρώνεται ,αναλόγως της φύσης των κομποστοποιούμενων υλικών και των συνθηκών αερισμού και υγρασίας ,σε 4 – 10 εβδομάδες από την έναρξη της διαδικασίας .

Η διαδικασία αυτή συμπληρώνεται με το τελευταίο στάδιο της ωρίμανσης ,κατά τη διάρκεια του οποίου ,ενώ συμπληρώνεται ο αποικισμός του σωρού με διάφορους εκπροσώπους της εδαφοπανίδας (ακάρεα ,γαιοσκώληκες κ.λ.π ) ,συντελούνται οι τελικές διεργασίες σχηματισμού των χουμικών ουσιών. Όσο περισσότερο χρονικό διάστημα αφήνεται να διαρκέσει η φάση αυτή , η υφή της παραγόμενης κομπόστας γίνεται περισσότερο γαιώδης ,ενώ τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων χουμικών ουσιών βελτιώνονται σημαντικά. Σε αυτά τα πλαίσια, η κομποστοποίηση μπορεί να διαρκέσει 10 – 11 εβδομάδες περίπου.

### 3.3 Σταθεροποίηση

Όλα τα συστήματα composting ,είναι ικανά να δώσουν ένα σταθερό και υγιεινοποιημένο προϊόν κάτω από τις σωστές συνθήκες εφαρμογής τους ,ωστόσο ο χρόνος της διαδικασίας που θα απαιτηθεί ποικίλει πάρα πολύ. Ένα συνηθισμένο πρόβλημα με τους Αεριζόμενους στατικούς σωρούς (ASP) είναι το φαινόμενο της πρόωρης ξήρανσης του σωρού η οποία περιορίζει τη μικροβιακή δραστηριότητα πριν το υλικό είναι πλήρως σταθεροποιημένο. Έτσι η χρήση του μη σταθεροποιημένου υλικού στη γεωργική γη ,μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα ,ειδικά όσον αφορά τις δυσάρεστες οσμές όταν ξαναυργανθεί. Κατά καιρούς έχουν δοκιμαστεί διάφορες εφαρμογές ,υγραίνοντας ξανά το υλικό στους Αεριζόμενους στατικούς σωρούς ,με ποικίλους βαθμούς επιτυχίας .

Σε ένα πείραμα ο Robinson (1991) χρησιμοποίησε με επιτυχία ένα σύστημα με το οποίο εισαγόταν νερό μέσω του σωλήνα αερισμού του σωρού ,έτσι ώστε να μην εμφανίζεται το φαινόμενο της πτώσης της υγρασίας σε περιοριστικά επίπεδα .Έτσι αποφεύγονται δαπανηρές και χρονοβόρες διεργασίες όπως η αναμόχλευση του σωρού με παράλληλη προσθήκη νερού (γύρισμα) ώστε να ξαναρχίσει η διαδικασία αποδόμησης των υλικών. Μία από τις υποσχόμενες ,και συγκριτικά ανέξοδες μεθόδους ,είναι η oxygen up-take rate (OUR) , κατά την οποία καθώς η διαδικασία της χώνευσης των υλικών προχωρεί ,τόσο η (OUR) μειώνεται ,μέχρι να φτάσει μία σταθερή τιμή που αντικατοπτρίζει το βαθμό της σταθεροποίησης .Παρ' όλα αυτά ,ακόμα και με την (OUR) δεν υπάρχει ακόμα έως σήμερα μία καθιερωμένη επίσημη μεθοδολογία .Το διάγραμμα 3 ,δείχνει μια τυπική καμπύλη της OUR για τη χώνευση της νωπής λάσπης με ροκανίδια ,στην οποία το ποσοστό υγρασίας ρυθμίστηκε καθ'όλη τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής.



Διάγραμμα 1. Συγκεκριμένες αλλαγές οξυγόνου κατά τη διάρκεια του Composting της υγρής λάσπης με ροκανίδια ,στο κέντρο του σωρού. Robinson (1991)

### 3.4 Υγειονοποίηση

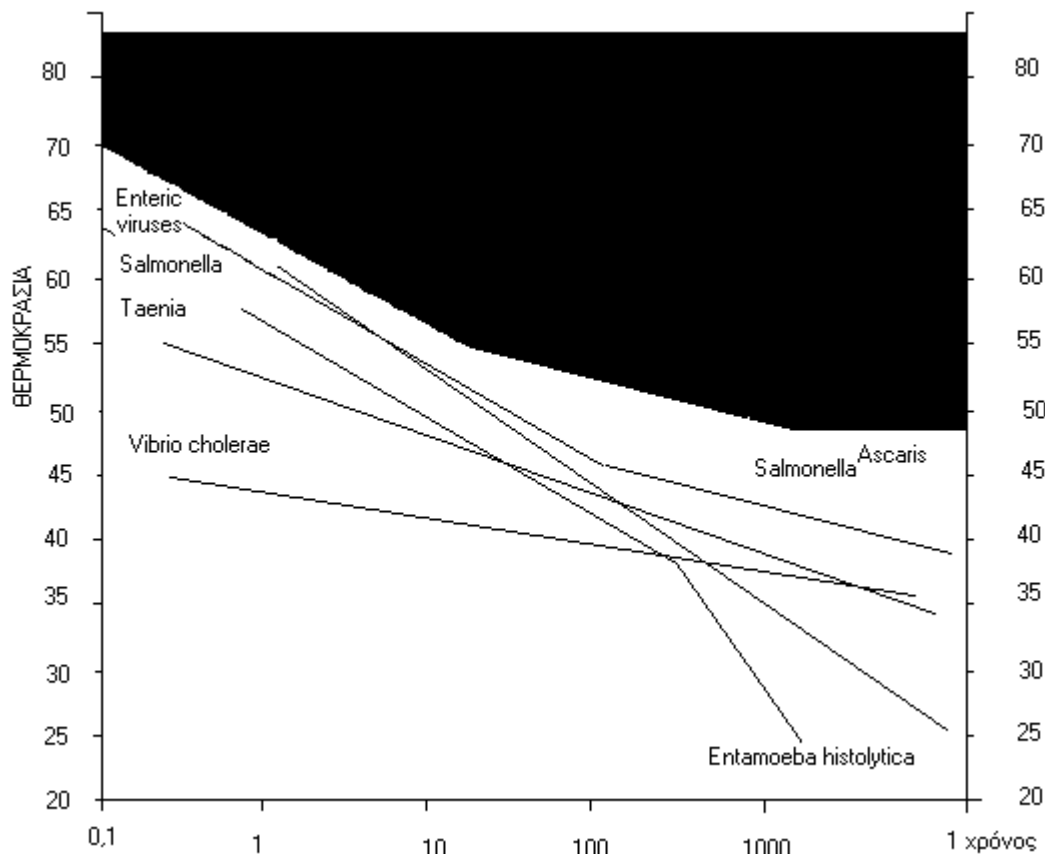
Ο σκοπός της υγειονοποίησης είναι να μειώσει όσο το δυνατόν τα επίπεδα των παθογενών έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος στη χρησιμοποίηση της ιλύος .Η πρακτική μέχρι σήμερα ήταν να καθορίζονται οι εφαρμογές της μεθόδου από πλευράς θερμοκρασίας / χρόνου έκθεσης του υλικού που υποβάλλεται σε χώνευση. Ο πίνακας 3 ,συνοψίζει τους κανονισμούς οι οποίοι υπάρχουν σε κάποιες χώρες της Ευρώπης .

Πίνακας 3. Κανονισμοί υγειονοποίησης για το Composting σε ορισμένες Ευρωπαϊκές χώρες.

Χώρα	Θερμοκρασία C	Έκθεση (ημέρες)
Αυστρία	65	6 (ή 2 X 3)
Βέλγιο	60	4
Δανία	55	14
Γαλλία	60	4
Ιταλία	55	3

Ολλανδία	55	2
----------	----	---

Η έκθεση των υπό ζύμωση υλικών σε θερμοκρασία / χρόνο ,χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια για την υγειονομοποίηση ,παστερίωση και αποστείρωση σε μια μεγάλη ποικιλία υλικών. Το διάγραμμα (2) απεικονίζει ποια μπορεί να είναι η ασφαλής ζώνη για την εξάλειψη των παθογενών τα οποία μας ενδιαφέρουν για την επεξεργασία υλικών αργότερα .(Feachem et al 1983) . Δυσκολίες παρουσιάζονται στα συστήματα σωρών στα οποία μερικά από τα υλικά δεν φτάνουν ποτέ σε θερμοκρασίες πολύ πάνω από τους 35 C . Από πλευράς των συνθηκών έκθεσης στο διάγραμμα (2) ,θα περιμέναμε πολλούς από τους παθογενείς οργανισμούς να επιβιώσουν από τη διαδικασία της χώνευσης .Ωστόσο ,η έρευνα έδειξε ότι υπάρχει σημαντική μείωση και των παθογενών και των δεικτών σε αυτές τις ψυχρότερες περιοχές .



Διάγραμμα 2. Όρια επιβίωσης για διάφορους μικροοργανισμούς κάτω από μεταβαλλόμενη

θερμοκρασία / χρόνο έκθεσης . (Feachem et al 1983)

#### 4. ΙΛΥΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΩΝ

Σύμφωνα με τους κανονισμούς (νομοθεσίες των χωρών της Ε.Ε και ειδικότερα της Γερμανίας) ιλύς των βιολογικών καθαρισμών είναι τα ιζήματα από αστικά λύματα τα οποία προκύπτουν στη φάση της κατεργασίας τους ,σε ειδικές εγκαταστάσεις με τρόπο μηχανικό, βιολογικό ή και χημικό. Αυτά μπορεί να είναι αποστραγγισμένα ή στεγνά και λόγω συντομίας θα αναφέρονται στη συνέχεια ως ιλύς .

Τα ιζήματα αυτά επειδή είναι πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία αλλά και σε οργανική ουσία, αξιοποιούνται ήδη από πολλά χρόνια στις γεωργικές εκτάσεις και αυτό γιατί είναι μία πλούσια πηγή Αζώτου ,Φωσφόρου και Καλίου η οποία μπορεί να αντικαταστήσει τα ανόργανα λιπάσμα-τα ,για τη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους και ειδικά για τα ελληνικά γεωργικά εδάφη τα οποία έχουν χαμηλό οργανικό περιεχόμενο.

##### 4.1 Χημική σύσταση της Ιλύος

Στην ιλύ όπως έχει διαπιστωθεί ,απαντούν μεγάλες ποσότητες αφομοιώσιμων θρεπτικών στοιχείων ,καθώς επίσης και οργανικές ουσίες που έχουν αποδομηθεί σε μεγάλο βαθμό. Από τα ποσοστά των μακροστοιχείων του παρακάτω πίνακα (4), προκύπτει ότι σε όλους τους τύπους της ιλύος η ποσότητα του P2O5 βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με το Άζωτο. Μάλιστα στις λάσπες που υπέστησαν αφυδάτωση, το P2O5 ξεπερνά σαφώς την ποσότητα του Αζώτου. Η ιλύς είναι φτωχή σε Κάλιο, ενώ οι ποσότητες Ασβεστίου βρίσκονται σε τέτοια επίπεδα ώστε με αυτές να επιτυγχάνεται ακόμη και διόρθωση της οξύτητας των υποβαθμισμένων εδαφών.

Πίνακας 4. Μέση οργανική και ανόργανη σύσταση των βιολογικών λασπών(ιλύος) οι οποίες είναι κατάλληλες για γεωργική αξιοποίηση.(σύμφωνα με έρευνες της LUFΑ του Augustenberg και του κρατικού Σταθμού Γεωργικής Χημείας Stuttgart – Hohenheim, 1980 – 1984)

Υγρές λάσπες 12 % ξηρά ουσία	Εν μέρει αποστραγγι- σμένη 13-30% ξηρά	Αποστραγγισμένες λάσπες 30% ξηρά
---------------------------------	---	-------------------------------------

		ουσία	ουσία
Ξηρή ουσία %	5.6	0.30	45.00
Βάρος όγκου (t/m <sup>3</sup> )	1.0	0.92	110.88

Μακροστοιχεία (ποσοστά στην φρέσκια ουσία εκφρασμένο σε Kg/m<sup>3</sup>)

Άζωτο N	2.2	5.00	8.50
Φώσφορος P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.0	5.60	11.40
Κάλιο K <sub>2</sub> O	0.3	0.70	1.20
Ασβέστιο CaO	4.2	16.60	71.00
Μαγνήσιο MgO	0.6	1.90	4.20

Βαρέα μέταλλα (ποσοστό σε ξηρά ουσία εκφρασμένο σε mg/Kg )

Μόλυβδος Pb	176.0	188.00	198.00
Κάδμιο Cd	4.1	4.20	4.00
Χρόμιο Cr	73.8	89.20	103.80
Χαλκός Cu	343.0	330.00	353.00
Νικέλιο Ni	33.6	35.70	36.40
Υδράργυρος Hg	2.7	2.80	2.80
Ψευδάργυρος Zn	1448.0	1419.00	1249.00

Με το βαθμό αφυδάτωσης όπως αποδεικνύεται από τα στοιχεία του πίνακα (4) ,όλα τα στοιχεία (μακροθρεπτικά και βαρέα μέταλλα) αυξάνονται σημαντικά. Τα θρεπτικά στοιχεία στην ιλύ και ειδικότερα το Άζωτο είναι εξίσου σημαντικά στη θρέψη των φυτών, όπως αυτά της ουρίας. Πάντως η σημασία της ιλύος σαν λίπασμα, οφείλεται στο Φώσφορο και το Άζωτο. Από φυτοτεχνική άποψη, θα πρέπει τόσο στη συμβατική όσο και στην βιολογική γεωργία,(και αφορά την περίπτωση της ιλύος ,με χαμηλά επίπεδα μικροστοιχείων και απουσία παθογόνων σπόρων),να λαμβάνεται υπόψη η υψηλή σχέση N / P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> και αυτό γιατί μία δόση των 10 m<sup>3</sup> ιλύος εξασφαλίζει τις ανάγκες των φυτών σε Φώσφορο, για μια ολόκληρη τριετία. Καθ' ότι την προς εφαρμογή ποσότητα ιλύος σε μία καλλιέργεια ,την προσδιορίζει εκτός από τα βαρέα μέταλλα και το Άζωτο που υπάρχει σε αυτή και είναι σκόπιμο να γνωρίζει κανείς τις ποσότητες και ιδιαίτερα τις μορφές του Αζώτου που περιέχει :

Πίνακας 5. Ποσότητες και περιεκτικότητες σε Άζωτο που περιέχονται σε 500 Kg βιολογικής λάσπης ανά στρέμμα (Στοιχεία της LUFA, Augustenberg, Γερμανία)

Τύποι βιολογικής	Αριθμός	Ποσοστό επί τοις %	Προσθήκη στο έδαφος
------------------	---------	--------------------	---------------------



λάσπης	μελετηθέντων βιολογικών λασπών	της ξηράς ουσίας		σε Kg / στρέμμα	
		Ολικό N	NH4 - N	Ολικό N	NH4 - N
Υγρή λάσπη	840	4.73	0.84	23.6	4.2
Μερικώς αποστραγγισμένη	170	2.79	0.28	14.0	1.4
Αποστραγγισμένη	169	1.78	0.17	8.9	0.9

#### 4.2 Παράγοντες που περιορίζουν τη χρήση της Ιλύος

Η χημική σύσταση της ιλύος σχετίζεται στενά με την περιοχή προέλευσης των λυμάτων. Έτσι ανάλογα με την προέλευση ,η ιλύς μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο περιεκτική σε ορισμένα βαρέα μέταλλα και παθογόνους μικροοργανισμούς .Επίσης σημαντικές διαφορές όσον αφορά την περιεκτικότητα της ιλύος στους παραπάνω παράγοντες ,προέρχονται και από το τεχνικό επίπεδο της εγκατάστασης του βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων ,αλλά και από τις ποσότητες προς επεξεργασία που δέχονται οι χώροι αυτοί .Ιδιαίτερης προσοχής πρέπει να τυγχάνουν τα λύματα που προέρχονται ή που διασχίζουν βιομηχανικές περιοχές ,λόγω της ανάμειξης των βιομηχανικών λυμάτων ,που περιέχουν σαφώς υψηλότερες ποσότητες τοξικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων σε σχέση με τα αστικά .

Οι προβληματισμοί από πλευράς εκμετάλλευσης της ιλύος εντοπίζονται κυρίως :

1. Στο επίπεδο της μόλυνσης από παθογόνους μικροοργανισμούς
2. Στο επίπεδο των ισχυρών τοξικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων
3. Στην σταθερότητα του οργανικού κλάσματος της ιλύος

#### 4.3 Παθογόνοι μικροοργανισμοί και αξιοποίηση της Ιλύος

Η ιλύς είναι δυνατόν να περιέχει διάφορους παθογόνους οργανισμούς οι οποίοι αδρανοποιούνται ,αφενός μεν λόγω του χρόνου και αφετέρου εξαιτίας της επαφής τους με το έδαφος .Μία λάσπη βιολογικού καθαρισμού, είναι υγιής ,μόνον όταν έχει υποστεί φυσική ή χημική μεταχείριση (π.χ ξήρανση ,θέρμανση ,χημική επεξεργασία με ασβέστιο κ.λ.π) ή μετά από κομποστοποίηση .Από τις παραπάνω διαδικασίες οι παθογόνες εστίες εξουδετερώνονται ή νεκρώνονται .Έτσι καθιερώθηκε νομικά σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ειδικότερα στη Γερμανία από τον Ιανουάριο του 1988 ,ότι οι

γεωργοί δεν μπορούν να εφαρμόσουν ιλύ βιολογικών καθαρισμών σε λειμώνες και βοσκότοπους ,εάν αυτή δεν είναι πιστοποιημένη για την απαλλαγή της από παθογόνα .

Έτσι για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος θα πρέπει να ρυθμιστούν νομικά τα ακόλουθα :

1. Τακτικός έλεγχος της ιλύος
2. Περιορισμός στις εφαρμοζόμενες ποσότητες ανά μονάδα εδάφους
3. Απαγόρευση εφαρμογής της ιλύος για ορισμένες περιπτώσεις
4. Ανάλυση σε εδάφη που δέχθηκαν ιλύ μετά από κάποιο χρονικό διάστημα

#### 4.4 Κίνδυνος ασθeneιών – μολύνσεις

Μερικά από τα κυρίως διαδιδόμενα με το νερό παθογόνα που μας αφορούν και τα οποία μπορεί να υπάρχουν στην ιλύ αναφέρονται στον πίνακα 6. Πολλά έχουν γίνει ώστε να περιοριστεί στο ελάχιστο το δυναμικό της μετάδοσης των παθογόνων, μειώνοντας την μολυσματικότητα της ιλύος διαμέσου μιας αποδοτικής διαδικασίας για απομάκρυνση των παθογόνων με λειτουργικούς περιορισμούς στις τεχνικές εφαρμογής και τη χρησιμοποίησης της στη γη. Γι' αυτό η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη χρήση της ιλύος στη γεωργία επιτρέπει μόνο κατάλληλα επεξεργασμένες λάσπες να εφαρμοστούν στη γεωργική γη. Ακατέργαστη ιλύ πρέπει να εγχυθεί ή να δουλέψει αμέσως μέσα στο έδαφος εξασφαλίζοντας ένα εμπόδιο για τη μόλυνση. Ένας επιπλέον περιορισμός ,προσδιορίζει στο ελάχιστο των 3 εβδομάδων ,χωρίς βοσκή των ζώων ,για να εξασφαλιστεί ότι τα επίπεδα οποιουδήποτε παθογόνου έχουν μειωθεί σε σημαντικό βαθμό πριν τα ζώα εισηχθούν πάλι για βοσκή σε γη όπου έχει εφαρμοστεί ιλύς .

Οι παραπάνω κανονισμοί εφαρμόζονται στην Αγγλία με βάση το «The sludge regulation» (Use in Agriculture) Si (1989). Ωστόσο υπάρχει αναπόφευκτα ένα στοιχείο κινδύνου για μόλυνση όταν η ιλύ εφαρμόζεται στη γεωργική γη ,γιατί δεν είναι οικονομικά αλλά και πρακτικά εφικτό να επιτύχουμε ένα απόλυτο μη επικίνδυνο επίπεδο ,παρόλο που μπορεί να είναι τεχνολογικά δυνατόν (WHO 1981)

Πίνακας 6. Μερικά από τα πιο σημαντικά διαδιδόμενα παθογενή με το νερό και οι επιδράσεις τους στην υγεία του ανθρώπου . Carrington (1978)

ΕΙΔΟΣ	ΓΕΝΟΣ	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ
-------	-------	---------------------------------

Bacteria	Salmonella	Thyphoid fever ,parathyphoid fever enteritis, salmonellosis ,food poisoning
	Shigella	Dysentery ,paradysendery
	Escherichia	Enteritis (pathogenic strains)
	Vibrio	Cholera ,enteritis ,food poisoning
	Clostridium	Gas gangrene ,tetanus ,botulism
	Leptospira	Leptospirosis
Viruses	Poliovirus	Fever ,poliomyelitis ,enteritis
	Coxsackievirus A	Headache ,muscular pain
	Coxsackievirus B	Nausea ,meningitis
	Echovirus	Diarrhoea ,hepatitis
	Adenovirus	Fever ,respiratory infection ,enteritis inflammation of eyes involvement of central nervous system
	Reovirus	Common cold ,respiratory tract infections ,diarrhoea ,hepatitis
Protozoa	Hepatitis A virus	Infectious hepatitis
	Rotavirus	Diarrhoea ,enteritis
Trematodes	Entamoeba	Amoebic dysentery
Cestodes	Giarda	Diarrhoea ,enteritis
	Cryptosporidium	Diarrhoea ,enteritis
Nematoides	Schistosoma	Schistosomiasis (bilharzias)
	Taenia	Tapeworm infestation in man Cysticercus bovis
	Ascaris	Roundworm infestation
	Toxocara	
	Ancylostoma	Hookworm infestation
	Trichuris	Whipworms
	Globodera	Potato cyst nematode

\* Δεν είναι παθογενή όλα τα είδη μέσα σε ένα γένος και οι φυλές μέσα σε ένα είδος .

\* Όλα τα συμπτώματα δεν δημιουργούνται από ένα είδος και δεν μπορούν να εμφανιστούν ταυτόχρονα Carrington (1978)

#### 4.5 Βακτήρια , ιοί και άλλοι παράγοντες στη νωπή λάσπη

Παθογενή βακτήρια και ιοί με την μεγαλύτερη σημασία ,είναι αυτά τα οποία διαδίδονται με τα περιττώματα χωρίς εναλλασσόμενους ξενιστές στον κύκλο διασποράς από άνθρωπο σε άνθρωπο. Οι επιπτώσεις τους στη νωπή ιλύ μελετήθηκαν από πολλούς ερευνητές Lund (1975) ,Pahres et al (1977) ,Burge and Marsh (1978) ,Carrington (1978) ,Engelbrecht (1978) .Από τα παθογενή βακτήρια με σημασία στην εφαρμογή της ιλύος ,η *Salmonella* spp είναι μεγάλου ενδιαφέροντος στην Αγγλία ,αλλά μόνο από την άποψη του κινδύνου για τα ζώα που βοσκούν (WHO 1981). Μία έρευνα για τη *Salmonella* σε 17 μη επεξεργασμένες λάσπες στην Αγγλία ,έδωσε μια μέση εκτίμηση τους 6,01 ,η μεγαλύτερη τιμή τους ήταν  $2,2 \times 10^6$  και 7 δείγματα λάσπης ήταν εντελώς χωρίς βακτήρια (Pike et al ,1988).

Η Leptospirosis, είναι βασικά μια ασθένεια όσων δουλεύουν στη γεωργία και αναφορές μολύνσεων μεταξύ ανθρώπων που έρχονται σε επαφή με τη λάσπη, είναι σπάνιες. Μεταξύ των ιών και των εντεροϊών ,συμβαίνει ευρύτατα στα νερά των αποχετεύσεων ένα μεμονωμένο είδος ιού ,να μπορεί να δημιουργήσει μία ποικιλία συμπτωμάτων στον άνθρωπο. Ο ιός της Ηπατίτιδας Α ανάμεσα στους εργάτες που εφαρμόζουν λάσπη σε ελάχιστες περιπτώσεις καθώς φαίνεται προκλήθηκε από την όχι καλής ποιότητας υγιεινή και μέτρων προστασίας που πάρθηκαν (Pike and Carrington ,1986).Επίσης δεν υπάρχουν αναφορές αλλά και στοιχεία ότι ο ιός της Ηπατίτιδας Β μεταφέρεται από μολυσμένα νερά και δεν είναι σημαντικό βιολογικό μόλυσμα της ιλύος .

#### 4.6 Μετακίνηση παθογόνων στο έδαφος και κίνδυνοι για τη μόλυνση του νερού

Λίγες έρευνες έχουν γίνει για την παρουσία των μικροοργανισμών στο αποστράγγισμα από τα τροποποιημένα με ιλύ εδάφη. Παρόλα αυτά οι διαθέσιμες πληροφορίες καταλήγουν στο ότι η εφαρμογή ιλύος στα εδάφη δεν έχει καμιά σημαντική επίδραση στα επιφανειακά νερά (Edmonds 1976 ,Lue Hing et al 1979 ,Melamen et al 1985) .Η χαμηλή επίπτωση των παθογενών παραγόντων στο νερό της στράγγισης ,μπορεί να προληφθεί δεδομένου ότι μόνο επεξεργασμένες λάσπες μπορούν να εφαρμοστούν επιφανειακά στο έδαφος ,ενώ αντιθέτως με επεξεργασμένες λάσπες που ενσωματώνονται ,μειώνουν τα προβλήματα εκπτώσεων των εδαφών. Οι εισαγωγές ιλύος στα εδάφη

εξαλείφουν αποτελεσματικά τα προβλήματα επιφανειακών απορροών και της μόλυνσης των επιφανειακών αποθεμάτων νερού από παθογόνα (Hall 1986). Ενώ η στράγγιση μπορεί να θεωρηθεί σε μεγάλο βαθμό σαν φυσική μεταφορά των μικροοργανισμών σχετιζόμενη με συγκεκριμένα υλικά ,η κάθετη μεταφορά των μικροβίων είναι πολύ πιο περίπλοκη. Γενικά οι μικροοργανισμοί διατηρούνται στα επιφανειακά εδαφικά στρώματα από την κολλοειδή ύλη του εδάφους (Coker 1983)

Έτσι ο σημαντικότερος κίνδυνος είναι ότι τα παθογενή μπορεί να εισέλθουν στα υπόγεια νερά διαμέσου των ρηχής και λεπτόκοκκης υφής εδαφών ,και σε τέτοιες ειδικές καταστάσεις ,είναι δυνατόν η ροή της υγρής ιλύος ,να εισχωρήσει ανάμεσα και κάτω από το έδαφος και όπως είναι αντιληπτό ,τέτοιες εφαρμογές θα πρέπει να αποφεύγονται (Coker 1983). Η μετακίνηση των βακτηρίων από τα αστικά λύματα ,διεισδύοντας ανάμεσα από το έδαφος οφείλεται σε δύο μηχανικές δράσεις ,τη στράγγιση ή το φιλτράρισμα στην επιφάνεια του εδάφους και την προσρόφηση στα εδαφικά μόρια.

Παρόλα αυτά τα προσροφημένα στοιχεία δεν μένουν μόνιμα σταθερά και η αποδέσμευση και μετακίνησή τους είναι σίγουρη ,καθώς η φυσική προσρόφηση στα τεμαχίδια ,είναι μια μη ανατρέψιμη διαδικασία .Μάλιστα ο Gerba διαπίστωσε μετακίνηση βακτηρίων στο έδαφος σε αποστάσεις που κυμαίνονταν από 0,9 – 456cm. Στις περισσότερες περιπτώσεις ωστόσο, τα παθογενή συγκρατούνται στα επιφανειακά εδαφικά στρώματα.

Ο Romero ,1970 υπολόγισε ότι το 92 – 97 % των βακτηρίων διατηρήθηκαν στο 1cm από την επιφάνεια του εδάφους και οι συγκεντρώσεις των βακτηρίων (coliforms) έπεσαν σε πολύ χαμηλά επίπεδα στα υγρά απόβλητα που διείσδυσαν στα 2cm από την επιφάνεια του εδάφους .Ακόμη και σε περιπτώσεις που εφαρμόστηκε μεγάλη δόση άρδευσης σε εδάφη βαριάς σύστασης ,το δύλισμα ήταν εντελώς καθαρό από τα βακτήρια (Faecal coliforms) μέχρι και σε βάθος 1,3m. (Glantz and Jacks, 1967) .Οι μικροβιακοί παράγοντες είναι αποτελεσματικά δεσμευμένοι στο έδαφος ,λόγω της προσρόφησης από τα εδαφικά μόρια και ο βαθμός προσρόφησης αυξάνει ,όσο αυξάνεται η περιεχόμενη άργιλος και οργανική ύλη του εδάφους (Sorber and Moore ,1987). Η μετακίνηση των ιών στο έδαφος σε πειράματα αγρού έχει περιγραφεί μέχρι βάθους 67cm. Ωστόσο σε έρευνες με λυσίμετρα ,μοντέλα εδαφών με προσθήκη ιλύος η οποία ήταν μολυσμένη με ιούς ,εκτεθειμένα σε φυσικές βροχοπτώσεις ,έδειξαν περιορισμένη ή καθόλου μετακίνηση τους κάτω από τα βάθη των 0,5 – 1,25m (Sorber and Moore ,1987). Σχετικά λίγες έρευνες έχουν διεξαχθεί όσον αφορά την εφαρμογή ιλύος και της πιθανής επίδρασής της στην εμφάνιση των παθογόνων στις πηγές νερού. Περιορισμένες έρευνες και έλεγχοι δεν έδειξαν καμία επίδραση της εφαρμογής ιλύος στα επίπεδα των Faecal coliforms στα υπόγεια νερά (Edmonds ,1976 Leu Hing ,1979) .Τέλος ,οι διαθέσιμες πληροφορίες

καταλήγουν ότι σε γενική εκτίμηση ,η επίδραση των παθογενών της νωπής ιλύος στην ποιότητα των υπογείων και επιφανειακών νερών είναι ενδεχόμενο να είναι πολύ ελάχιστη και όχι τόσο περιοριστική για την χρησιμοποίηση της ιλύος στην γεωργία .

## 4.7 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

### 4.7.1 Σημασία της θερμοκρασίας

Θερμοκρασίες άνω των 45 C προκαλούν μετατροπή της πρωτεΐνης και ως εκ τούτου το θάνατο όλων των θερμοανθεκτικών ειδών και σπόρων των βακτηριδίων σε συγκεκριμένο χρόνο έκθεσης (Pike and Carrington 1986) . Το μέγεθος της θνησιμότητας αυξάνει όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, όπως φαίνεται στο διάγραμμα (3) για ποικίλους οργανισμούς σε λάσπη , που έχουν υποστεί επεξεργασία με θερμότητα. Σε αυτήν τη βάση , οι συνδυασμοί του χρόνου και της θερμοκρασίας (π.χ 30 λεπτά σε 70 C ή 4 ώρες σε 55 C) ,αναφέρονται στις προτεινόμενες πρακτικές (DOE, 1989) για μερικές μεθόδους και αυτοί οι συνδυασμοί είναι δυνατόν να επιτύχουν τουλάχιστον 90% καταστροφή των κύριων παθογόνων παραγόντων, με την προϋπόθεση ότι όλοι οι οργανισμοί θα υποβληθούν σε αυτό το επίπεδο επεξεργασίας.

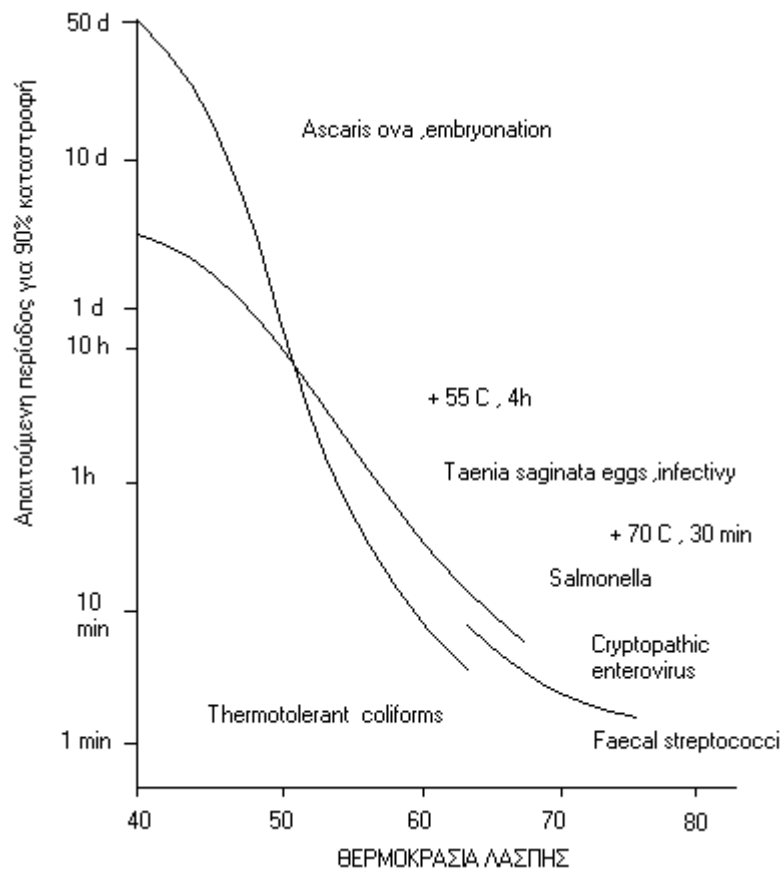
Αυτό το επίπεδο καταστροφής ,υποδεικνύει μία σημαντική μείωση στο μέγεθος του πληθυσμού των παθογόνων (Bruce et al 1990). Βέβαια τέτοιες μειώσεις δε μπορούν να εξισώνονται ακριβώς με το μικρότερο κίνδυνο μόλυνσεως , αλλά εξασφαλίζουν ένα επιπλέον εμπόδιο για τη μετάδοσή τους.

Διάγραμμα 3 . Επίδραση της θερμοκρασίας των επεξεργασιών της λάσπης σε σχέση με τον

τον χρόνο που απαιτείται για 95% καταστροφή των διάφορων παθογόνων

(Bruce

et al 1990) Code of practice (DOE 1989)



#### 4.7.2 Αναερόβια χώνευση

Η μεσοφιλική αναερόβια χώνευση (αποσύνθεση) είναι η μέθοδος σταθεροποίησης της ιλύος που χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία νερού στην Αγγλία και περίπου 44% της αγγλικής ιλύος (ξηρής ουσίας) που χρησιμοποιείται στη γεωργική γη ,επεξεργάζεται με αυτή τη μέθοδο (CES 1993).Η αναερόβια χώνευση της ιλύος μειώνει σημαντικά τα παθογόνα αλλά δεν τα εξαλείφει (Cocker 1983),παράλληλα ο Burd (1966) ανέφερε μια μείωση της τάξης του 99,9% στα παθογόνα βακτηρίδια μετά από 30 ημέρες αναερόβιας χώνευσης (πίνακας 7)



**Πίνακας 7.** Παραδείγματα αποτελεσματικών διαδικασιών επεξεργασίας της ιλύος

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΣ
<b>Παστερίωση λάσπης</b>	Ελάχιστο 30 λεπτών στους 70 C ή ελάχιστο 4 ωρών στους 55 C ακολουθούμενο σε όλες τις περιπτώσεις από μεσοφιλική αναερόβια χώνευση 1 <sup>ου</sup> βαθμού
<b>Μεσοφιλική αναερόβια Χώνευση</b>	Μέσος όρος διατήρησης τουλάχιστον 12 ημέρες σε χώνευση 1 <sup>ου</sup> βαθμού με εύρος θερμοκρασίας 30 +/- 3 C ή τουλάχιστον 20 ημέρες πρωτογενούς χώνευσης σε εύρος θερμοκρασίας 25 +/- 3 C ακολουθούμενη σε κάθε περίπτωση από δευτερεύον στάδιο το οποίο παρέχει μία περίοδο διατήρησης τουλάχιστον 14 ημερών
<b>Θερμοφιλική αναερόβια χώνευση</b>	Περίοδος μικρής διατήρησης για τουλάχιστον 7 ημέρες χώνευσης .Όλη η λάσπη να υποβληθεί σε ένα ελάχιστο 55 C για μια περίοδο τουλάχιστον 4 ωρών.
<b>Composting ( Γυριζόμενοι ή Αεριζόμενοι σωροί )</b>	Το compost πρέπει να διατηρείται στους 40 C για τουλάχιστον 5 ημέρες και για 4 ώρες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου σε ένα ελάχιστο των 55 C σε όλη τη μάζα του σωρού , ακολουθούμενο από μία περίοδο ωρίμανσης επαρκή να διασφαλίσει ότι η διαδικασία της χώνευσης έχει ουσιαστικά λήξει.

<p><b>Σταθεροποίηση υγρής λάσπης με ασβέστη</b></p>	<p>Προσθήκη ασβέστη για αύξηση του pH πάνω από το 12 και επαρκή ώστε να εξασφαλίσει ότι το pH δεν είναι μικρότερο από 12 για μια ελάχιστη περίοδο 12 ωρών .Η λάσπη τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα</p>
<p><b>Υγρή αποθήκευση</b></p>	<p>Αποθήκευση μη επεξεργασμένης υγρής λάσπης για τουλάχιστον 3 μήνες</p>
<p><b>Αφυδάτωση και αποθήκευση</b></p>	<p>Ρύθμιση μη επεξεργασμένης λάσπης με ασβέστη και στη συνέχεια αφυδάτωση και αποθήκευσή της πάστας για μια ελάχιστη περίοδο 3 μηνών. Αν η λάσπη έχει υποβληθεί σε πρωτογενή μεσοφιλική αναερόβια χώνευση ,η αποθήκευσή να γίνεται για μια ελάχιστη περίοδο 14 ημερών.</p>

Οι Lund and Rene (1973) ανίχνευσαν τον ιό ακόμα και μετά από 50 – 60 ημέρες χώνευσης ,που οφείλονταν μάλλον σε μόλυνση από μικρές προσμίξεις με μη επεξεργασμένη ιλύ (Leclerc 1973). Επίσης έρευνες έχουν δείξει ότι μεσοφιλική (35 C) αναερόβια χώνευση για μια περίοδο 4 ημερών που ακολουθείται από αποθήκευση της χωνεμένης ιλύος ,κατέληξε σε πλήρη αδρανοποίηση του **Cryptosporidium** (Whitmore 1993).

Παρ’ όλα αυτά τα ωάρια των παρασιτικών σκουληκιών είναι πιο ανθεκτικά ,έτσι τα ωάρια του **Ascaris** δεν επηρεάζονται από τη μεσοφιλική χώνευση της ιλύος μετά απο 3 μήνες (Gram 1973) .

Αντίθετα οι Silverman and Guiver (1960) αναφέρουν σε έρευνά τους την καταστροφή αβγών του **Taenia Saginata** με αναερόβια αποσύνθεση στους 35 C από 1- 5 ημέρες σε σειρά πειραμάτων. Η ανθεκτικότητα στην καταστροφή των παθογενών με την αναερόβια χώνευση του υλικού ,μπορεί να βελτιωθεί εμποδίζοντας την μόλυνση της επεξεργασμένης ιλύος με μη επεξεργασμένο υλικό ή εξασφαλίζοντας ένα δευτερογενές στάδιο επεξεργασίας που είναι γνωστό ότι είναι αποτελεσματικό στη μείωση των παθογενών ,όπως π.χ **Lagoon Storage** (Pike and Carrington 1986) Η μείωση του παθογενούς φορτίου της ιλύος διαμέσου της

αναερόβιας χώνευσης , είναι επαρκής για να είναι αποδεκτή η εφαρμογή της στη γεωργική γη .(Coker 1983 ,Stukenberg et. al 1994).

## 5. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα βαρέα μέταλλα , σαν στοιχεία του περιοδικού συστήματος ονομάζονται έτσι γιατί έχουν πυκνότητα (d) μεγαλύτερη από 5 g/cc (πίνακας 8).

**Πίνακας 8 . Ομάδα – Πυκνότητα και Ατομικό βάρος βαρέων μετάλλων**

Ομάδα περιοδικού συστήματος	IB	IB	IB	IIΒ	IIΒ	IIΒ	IVA	IVA	VIII	VIII	VII	VI
Βαρέα μέταλλα	Cu	Ag	Au	Zn	Cd	Hg	Pd	Sn	Fe	Co	Ni	Cr
Πυκνότητα (d)	8,96	10,5	19,3	7,14	5,65	13,6	11,4	7,3	7,86	8,9	8,9	7,1
Ατομικό βάρος	63,54	107,9	196,97	65,37	112,4	200,6	207,2	118,69	55,85	58,93	58,7	51,9

Τα βαρέα μέταλλα βρίσκονται στο επιφανειακό έδαφος σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις , σαν συστατικά ανόργανων ή οργανικών ενώσεων και σαν προσροφημένα ιόντα στα κolloειδή του.

Έτσι για παράδειγμα το Cd και ο Hg σε τυπικά εδάφη υπάρχουν σε μικρές ποσότητες ενώ το Ni και ο Pb κυμαίνονται από 10 – 100 mg / Kg και 16 – 50 mg / Kg αντίστοιχα (πίνακας 9)

**Πίνακας 9 . Περιεκτικότητα διαφόρων εδαφών σε βαρέα μέταλλα και ανώτατα όρια**

αντοχής σε mg / Kg ξηρού εδάφους .( DeHaan , Wiersma et . al 1986

,Lutz )

Στοιχεία	Αργιλώδη		Αμμώδη		Γερμανικά		Επιφανειακό έδαφος 5	Ανεκτά όρια επιφανειακού εδάφους 5
	1 εδάφη	2	1 εδάφη	2	3 εδάφη	4		
<b>Zn</b>	117	151	44	14	-	-	10-50	300
<b>Cu</b>	23	77	11	2	-	-	5-20	100
<b>Cr</b>	78	69	26	19	-	-	10-50	100
<b>Ni</b>	33	42	5	8	-	-	10-50	50
<b>Pb</b>	43	56	31	17	20	40	0,1-20	100
<b>Cd</b>	0,5	1,1	0,3	0,3	0,21	0,78	0,1-1	5
<b>Hg</b>	0,2	0,1	0,2	0,1	0,11	0,12	0,1-1	5
<b>As</b>	14	11,6	5	2	9	13	2-20	20
<b>Mn</b>	-	1024	-	67	-	-	-	-

Οι Chang et. al 1984 and Barbera 1987 προσδιορίζουν μία συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στο επιφανειακό έδαφος , η οποία οφείλεται στις επανειλημμένες εφαρμογές λάσπης και compost . Εξάλλου οι Fleisher ,Williams and David , αναφέρουν επίσης ότι σημαντικές πηγές Cd στο έδαφος είναι τα φωσφορικά λιπάσματα και η Λάσπη Βιολογικού Καθαρισμού Λυμάτων .(Λ.Β.Κ.Λ)

Έτσι η περιεκτικότητά τους στο έδαφος εξαρτάται από την γεωλογική του προέλευση, τη μόλυνση των επιφανειακών και υπογείων νερών ,τις συγκεντρώσεις στον αέρα και το πιο σημαντικό ,τις ανθρώπινες δραστηριότητες (απόθεση βιομηχανικών αποβλήτων ,προσθήκη διάφορων υλικών όπως λάσπη βιολογικού καθαρισμού λυμάτων ,δημιουργία μεγάλων αστικών κέντρων κ.λ.π) .Εφόσον υπάρχουν τέτοια στοιχεία στο έδαφος είναι φυσικό να προσλαμβάνονται από τα φυτά με τη βοήθεια του ριζικού συστήματος, από το εδαφικό

διάλυμα σαν ιόντα. Κατά την ενεργή απορρόφηση ,τα φυτά προσλαμβάνουν θρεπτικά στοιχεία ανταλλάσσοντας ιόντα με το εδαφικό διάλυμα ,π.χ ανταλλάσσουν κατιόντα **H** και κατιόντα **K** ή ανιόντα **HCO<sub>3</sub>** με ανιόντα **PHO<sub>4</sub>** . Κατά την παθητική απορρόφηση τα ιόντα στο εδαφικό διάλυμα συμπαρασύρονται από το ρεύμα του νερού που κινείται από τις διάφορες περιοχές του εδάφους προς τη ρίζα ,για να καλύψει το φυτό τις ανάγκες του σε νερό διαπνοής . Τα ιόντα που κινούνται με το ρεύμα του νερού διαπνοής μπορούν να θεωρηθούν ότι ,κάτω από αυτές τις συνθήκες

μεταφέρονται με τη μαζική ροή (Mass flow). Στη συνέχεια τα στοιχεία αυτά συμμετέχουν στις μεταβολικές και λοιπές δραστηριότητες των φυτών ή απλά συσσωρεύονται στους ιστούς λόγω του ότι δεν μπορούν να πάρουν μέρος σε αυτές .

**Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση των στοιχείων είναι :**

### **ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ**

1. Θερμοκρασία
2. Φως  
    θρεπτικά
3. Οξυγόνο
4. Διοξείδιο του άνθρακα
5. pH
6. Συγκέντρωση στοιχείων
7. Αλληλεπίδραση στοιχείων  
(ανταγωνισμός και συνεργισμός)

### **ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΙ**

1. Έκταση ριζικού συστήματος
2. Περιεκτικότητα του φυτού σε  
    στοιχεία και υδατάνθρακες
3. Βλαστικό στάδιο
4. Συμβίωση
5. Κληρονομικότητα

Η κύρια πηγή των βαρέων μετάλλων στα φυτά είναι το μέσο ανάπτυξης τους (το έδαφος ,θρεπτικό διάλυμα ,υπόστρωμα). Η απορρόφηση από τις ρίζες είναι η κύρια είσοδος των ιχνοστοιχείων στα φυτά , εν τούτοις , η ικανότητα άλλων ιστών να απορροφήσουν μερικά θρεπτικά στοιχεία συμπεριλαμβανομένων των βαρέων μετάλλων , έχει παρατηρηθεί (Pendias) .

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση των βαρέων μετάλλων είναι

1) Το είδος του φυτού : Έχει αποδειχτεί ότι η ικανότητα απορρόφησης διαφέρει μεταξύ των φυτών (Dehaan et . al 1985 ,Louchli and Bieleski 1983 ,Smilde 1983) .Έτσι για παράδειγμα σε πειράματα που είχαν γίνει στο ρύζι και στο τριφύλλι ,συγκέντρωσαν μικρές ποσότητες Cd ,ενώ το σπανάκι πολύ μεγαλύτερες ,όταν καλλιεργήθηκαν στο ίδιο έδαφος (Pendias)

2) Το pH : Η διαλυτότητα και διαθεσιμότητα των περισσότερων βαρέων μετάλλων μειώνεται σε υψηλές τιμές του pH (Dehaan et . al 1985 ,Louchli and Bielecki 1983 ). Σύμφωνα με τον Lutz τιμές pH μεγαλύτερες του 6,5 εξασφαλίζουν μία ελάχιστη απορρόφηση

3) Η οργανική ουσία και η τιμή της κανονικής εναλλακτικής ικανότητας (CEC) (Louchli and Bielecki 1983 ,Smilde 1983)

4) Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο εδαφικό διάλυμα ,καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων (ανταγωνισμός και συνεργισμός) ,(Smilde ,Pendias 1981)

5) Η προσθήκη ορισμένων χημικών ουσιών ,που έχουν την ικανότητα να αδρανοποιούν τα βαρέα μέταλλα και έτσι παρεμποδίζεται η απορρόφηση τους από τα φυτά και η τελική τους επίδραση (Mitchell and Karathanasis 1995)

6) Το περιβάλλον του μέσου ανάπτυξης (θερμοκρασία, αερισμός ,υγρασία, Pendias 1985) Τα βαρέα μέταλλα όχι μόνο δεν θεωρούνται απαραίτητα ,αλλά επηρεάζουν δυσμενώς τις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών ιδιαίτερα σε υψηλές συγκεντρώσεις .

Γενικά ,η υπερβολική ποσότητα βαρέων μετάλλων προκαλεί μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών που μπορεί να οδηγήσει στην τελική καταστροφή τους ,καθώς το είδος του φυτού ,η ηλικία και το είδος του μετάλλου καθορίζουν το μέγεθος της ζημιάς .Έτσι για διάφορα φυτικά είδη το Ni είναι σημαντικά πιο τοξικό από το Co ,τον Cu και τον Zn (Louchli and Bielecki 1983). Οι υψηλές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων πέρα από τις αρνητικές επιδράσεις στα φυτά αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για την ανθρώπινη και ζωική υγεία .Έτσι σαν ρυπαντές ,εισέρχονται στο κατώτερο τροφικό επίπεδο(φυτά) περνούν μέσω τις τροφικής αλυσίδας σε ανώτερα τροφικά επίπεδα (ζώα ,άνθρωποι) και εμφανίζονται όλο και πιο συμπυκνωμένα (βιολογική πυραμίδα)

## **5.1 Βαρέα μέταλλα και οριακές τιμές**

Τα γεωργικά εδάφη εμφανίζουν συνήθως χαμηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις ,ενώ αντίθετα η ιλύς περιέχει κατά κανόνα σημαντικά μεγαλύτερα φορτία σε τέτοια στοιχεία. Καθότι η μετακίνηση των βαρέων

μετάλλων με τα νερά προς τα βαθύτερα εδαφικά στρώματα είναι περιορισμένης έκτασης ,εκτός από τα εδάφη που εμφανίζουν μεγάλες σχισμές ,στις οποίες καταπίπτουν εδαφοτεμαχίδια από τα επιφανειακά στρώματα ,μία αξιόλογη συσσώρευσή τους αναμένεται να σημειωθεί μόνο στο αρόσιμο βάθος (0-30cm). Έτσι σε τακτά χρονικά διαστήματα η εφαρμογή ιλύος σε αγρούς, μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση βαρέων μετάλλων στο αρόσιμο βάθος .

Δεν είναι όλα τα βαρέα μέταλλα εξίσου επικίνδυνα για την υγεία των ζώων και των ανθρώπων ,αλλά ούτε και η οποιαδήποτε συγκέντρωσή τους στο έδαφος ή το φυτό. Γνωρίζουμε ότι όταν η συγκέντρωση κάποιων μετάλλων στο έδαφος και στο φυτό είναι πολύ χαμηλή ,αυτό μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα είναι δυνατόν να προκαλέσει προβλήματα γνωστά ως τροφοπενία μικροστοιχείων .Γι' αυτό ,όταν η αξιοποίηση της ιλύος γίνει σωστά ,λαμβάνοντας υπόψη τα αποθέματα του εδάφους σε βαρέα μέταλλα ,είναι δυνατόν να οδηγήσει μετά από μερικά χρόνια εφαρμογής στην εξαφάνιση φαινομένων τροφοπενίας σε φυτά και κατ' επέκταση σε άμβλυνση των σχετικών προβλημάτων στα ζώα και στους ανθρώπους.

Στις χώρες που επιτρέπεται η χρησιμοποίηση της ιλύος στην γεωργία ,επιβάλλεται ήδη από το 1983 η ανάλυση της ιλύος κάθε εξάμηνο για να διαπιστωθούν τα επίπεδά της σε βαρέα μέταλλα όπως μόλυβδος ,κάδμιο ,χαλκός ,νικέλιο ,υδράργυρος ,και ψευδάργυρος καθώς επίσης όσον αφορά τα μακροστοιχεία άζωτο ,φώσφορο ,κάλιο ,μαγνήσιο και ασβέστιο. Επίσης είναι απαραίτητη η ανάλυση τόσο των εδαφών που υπέστησαν μεταχείριση με ιλύ ,όσο και αυτών που πρόκειται να λιπανθούν.

Έχουν θεσπιστεί παραδεκτά όρια για την ιλύ αλλά ανώτερα όρια για τα εδάφη τα οποία δεν επιτρέπεται να παραβιάζονται.

**Πίνακας 10** . Οριακές τιμές σε βαρέα μέταλλα στην ιλύ και στο έδαφος και ποσότητες

πρόσληψης από τις καλλιέργειες

Βαρέα μέταλλα	Ιλύ		Πρόσληψη με τις καλλ/ες g / στρ./ έτος
	Έδαφος mg / Kg		
<b>Μόλυβδος (Pb)</b>	1200	100	5,0
<b>Κάδμιο (Cd)</b>	20	3	0,2
<b>Χρώμιο (Cr)</b>	1200	100	0,5
<b>Χαλκός (Cu)</b>	1200	100	7,0

<b>Νικέλιο (Ni)</b>	200	50	1,0
<b>Υδράργυρος (Hg)</b>	25	2	0,1
<b>Ψευδάργυρος (Zn)</b>	3000	300	30,0

Από τη στιγμή που θεσπίζονται μέτρα για τα επιτρεπτά επίπεδα των βαρέων μετάλλων στην ιλύ και στα εδάφη θα πρέπει να γνωστοποιούνται οι ποσότητες των στοιχείων ,αλλά και η συχνότητα εφαρμογής στο έδαφος τέτοιων υλικών. Παρά τις επιφυλάξεις σχετικά με την διακύμανση της περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα στην ιλύ ανάλογα με την προέλευσή τους και τις διαφορές που υπάρχουν στα εδάφη και στα φυτά ,η συνιστώμενη ποσότητα ιλύος δεν επιτρέπεται να ξεπερνά σε ξηρά ουσία τα 500 Kg / στρέμμα / 3 χρόνια .

Στον πίνακα (11) ,δίδονται οι ποσότητες των οργανικών ουσιών των στοιχείων και ορισμένων βαρέων μετάλλων στην ιλύ σε σύγκριση με το αστικό compost και την κοινή κοπριά.

**Πίνακας 11.** Μέσες τιμές σε θρεπτικά στοιχεία της βιολογικής ιλύος ,του αστικού compost

και της κοπριάς (Kg / 10t). Τα στοιχεία N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,K<sub>2</sub>O , CaOκαι MnO είναι

ποσότητες θρεπτικών στοιχείων των εμπορικών λιπασμάτων

	<b>10 m<sup>3</sup> βιολογικής λάσπης ~ 90% H<sub>2</sub>O</b>	<b>10 t πυκνής βιολογικής λάσπης 30 –40% ξηρά ουσία</b>	<b>10 t αστικό compost</b>	<b>10t κοπριά</b>
<b>Ενεργός οργανική ουσία</b>	300-400	1500-2000	900-1500	1800
<b>Αλκαλικής δράσης ουσίες υπολογιζόμενες σε CaO</b>	80-200	200-500	500-1000	60
<b>N</b>	~ 5-6	15-20	8-10	15-20
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	~ 10	~ 30	~ 10	15-20
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,5-1	Άνευ σημασίας	30-40	60-70



<b>MgO</b>	~ 40	~ 120	50-100	~ 15
<b>Ολικό S *</b>	5-15	15-45	50-300	20-30
<b>Ολικός χαλκός</b>	0,4-2	1,6-8	0,8-1,2	0,02
<b>Ολικός ψευδάργυρος</b>	0,3-2,6	1,2-10,5	8,0-1,2	0,12
<b>Ολικό μαγγάνιο</b>	~ 0,6	~ 2,4	4,2-6,0	0,4
<b>Ολικό μολυβδαίνιο</b>	< 0,01	< 0,1	0,1	0,001
<b>Ολικός μόλυβδος</b>	~ 0,020	~ 0,08	0,6-3,6	0,03-0,04

\* Το S και τα ιχνοστοιχεία αφορούν ολικές ποσότητες ,οι οποίες συμβάλλουν στην κάλυψη των αναγκών των φυτών .

Ενώ στην οργανική ουσία οι διαφορές μεταξύ των τριών κατηγοριών που προαναφέρθηκαν είναι σχετικά μικρές ,στις αλκαλικές ουσίες η ιλύς και κυρίως τα αστικά compost ,είναι κατά 10 φορές πιο περιεκτικές σε σύγκριση με την κοπριά .Λαμβάνοντας υπόψη μόνο αυτό το στοιχείο ,η χρήση της ιλύος και του compost θα έλεγε κανείς ότι περιορίζεται σε μία ορισμένη κατηγορία εδαφών (κυρίως σε όξινα ή σε βαριά ,ουδέτερης αλκαλικής αντίδρασης εδάφη). Από τα μακροστοιχεία ,περιέχει περισσότερο **P2O5** αλλά ίδιο **K** σε σχέση με την κοπριά .Το γεγονός αυτό την καθιστά κατάλληλη ουσία για ένα μεγάλο ποσοστό ελληνικών ,επαρκώς εφοδιασμένων με **K** γεωργικών εδαφών.

## 5.2 Νομοθετικό πλαίσιο στη χώρα μας για την αξιοποίηση της ιλύος

Το ισχύον μέχρι σήμερα νομοθετικό πλαίσιο χρονολογείται από τον Αύγουστο του έτους 1991 με τη δημοσίευσή του στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης Αρ.φύλλου 641 / 7-8-91. Στο άρθρο 12 του τεύχους αυτού καθορίζονται οι οριακές τιμές για τις περιεκτικότητες των βαρέων μετάλλων στο έδαφος ,την ιλύ καθώς επίσης οι ποσότητες που επιτρέπεται να εισαχθούν σε ετήσια βάση στα καλλιεργούμενα εδάφη. Οι τιμές που αφορούν το έδαφος και την ιλύ συμπίπτουν απόλυτα με αυτές του πίνακα (10) ,γι αυτό δεν παρατίθενται στη συνέχεια Σχετικά με τις ποσότητες των μετάλλων που επιτρέπεται να προστίθενται στο έδαφος ,αυτές δίδονται στον πίνακα (12).

**Πίνακας 12** . Ποσότητες σε βαρέα μέταλλα που μπορούν να προστίθενται ετησίως στα

καλλιεργούμενα εδάφη με βάση το μέσο όρο 10 ετών

<b>ΕΙΔΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ</b>	<b>ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ mg / στρ. / έτος</b>
<b>Κάδμιο</b>	0,015
<b>Χαλκός</b>	1,200
<b>Νικέλιο</b>	0,300
<b>Μόλυβδος</b>	1,500
<b>Ψευδάργυρος</b>	3,000
<b>Υδράργυρος</b>	0,010
<b>Χρόμιο</b>	-

Σύμφωνα με τον παραπάνω κανονισμό τα όρια ,όπως αυτά αναφέρονται στον πίνακα (10) ,μπορούν να επεκταθούν προς τα πάνω σε περίπτωση όπου οι αγροί καλλιεργούνται με φυτικά είδη που προορίζονται για ζωοτροφές .Για το Cr η επιτροπή δεν έχει καθορίσει ακόμη οριακές τιμές .

Ισχύει και για τη χώρα μας ότι η ιλύ πρέπει να αναλύεται κάθε 6 μήνες ,όταν το υλικό δεν είναι ομοιογενές ,ενώ κάθε (12) μήνες αν τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν σημαντικά από τις προηγούμενες αναλύσεις .Οι προς εξέταση παράμετροι της ιλύος είναι :

- Ξηρά ουσία και οργανική ύλη
- PH
- Άζωτο και φώσφορος
- Όλα τα βαρέα μέταλλα που αναφέρονται στον πίνακα (12)

### 5.2.1 Αξιοποίηση της ιλύος στη χώρα μας

Στη χώρα μας εδώ και 4 χρόνια ξεκίνησε μία σοβαρή προσπάθεια στον τομέα αυτό. Έτσι σχεδόν σε όλα τα ιδρύματα του ΕΘΙ.Α.Γ.Ε και των πανεπιστημίων υπάρχουν προγράμματα σε εξέλιξη.

Στις βορειότερες χώρες της Ε.Ε η ιλύς χρησιμοποιείται κυρίως για τη θρέψη φυτών και δευτερευόντως για τη βελτίωση της δομής των συνεκτικών εδαφών. Στη χώρα μας μπορούμε να αξιοποιήσουμε την ιλύ για τη βελτίωση των παθογενών, λόγω παρουσίας νατρίου στα εδάφη. (Σακελλαριάδης 1994) .Θα πρέπει να υπενθυμίσουμε στο σημείο αυτό ότι η επεξεργασμένη ιλύς που προέρχεται από πόλεις που δεν επηρεάζονται από βιομηχανίες τα επίπεδα των βαρέων μετάλλων ,αναμένονται να είναι πού χαμηλότερα από τα επιτρεπτά όρια.

Στις επαρχιακές πόλεις όπου λειτουργούν εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού ,αν ληφθούν ορισμένα πρώτα μέτρα όπως για παράδειγμα να μην διοχετεύουν οι βιομηχανίες (συνεργεία ,εργοστάσια λαδιού κ.λ.π) τα λύματα τους στο κοινό αποχετευτικό δίκτυο ,η ιλύς που θα προκύπτει μετά την επεξεργασία της θα είναι κατάλληλη για χρησιμοποίηση στις καλλιέργειες και μάλιστα σε μεγαλύτερες ποσότητες ή συχνότερες δόσεις από τις συνήθεις περιπτώσεις .Η χώρα μας δεν έχει εφαρμόσει τη σχετική με τα θέματα αυτά οδηγία της Ε.Ε (91 / 157 / ΕΟΚ) γεγονός που θα αποτελούσε σοβαρό βήμα ελάφρυνσης του περιβάλλοντος μα και παράδειγμα ανάπτυξης γενικότερα .

Ήδη σε πρόσφατη έρευνα που διεξήχθη από τους Σακελλαριάδη (1994),Κιοσέ – Καμπασακάλη κ.α ,προκύπτουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα βελτίωσης μέσω ιλύος παθογενών αλατούχων – αλκαλιωμένων εδαφών στη χώρα μας .Τα χαρακτηριστικά της ιλύος που μελετήθηκαν δίδονται στον πίνακα (13).

**Πίνακας 13 .** Γενικά χαρακτηριστικά της ιλύος\* (ξηράς ουσίας)

pH	Οργ.ουσία%	CaCO <sub>3</sub> %	E.C S/m	N %	P ppm	I.A.K meg / 100g
7,5	14,40	6,14	0,68	2,66	266,0	27,86

\* Προέρχεται από τον βιολογικό καθαρισμό της Κατερίνης

Εκτός από την οργανική ουσία που ξεπερνούσε το 14 % αξιοσημείωτες είναι οι ποσότητες σε άζωτο (26,6) και ιδιαίτερα σε φώσφορο. Η πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο (266 ppm) της ιλύος σηματοδοτεί το ρόλο που μπορεί να παίξει αυτή

στο πλαίσιο της P-θρέψης των φυτών. Ενώ επίσης εάν ληφθούν υπόψη οι περιεκτικότητες σε **Ca** και **Mn** που περιέχονται σε αυτή καθίσταται φανερός και ο ρυθμιστικός ρόλος της σχετικά με την οξύτητα των εδαφών. Από τα μονοσθενή κατιόντα το **Na** και το **K** απαντάται στην ιλύ σε σχετικά υψηλές ποσότητες .Στον πίνακα (14) ,αναφέρονται τα αποτελέσματα της έρευνας σε κάποιο έδαφος όπου έγινε προσθήκη ιλύος .Αν και εργαστηριακό πείραμα φαίνεται ότι η ιλύς συνέβαλε αποτελεσματικά στη μείωση του **Na** και **Cl** στο έδαφος που μελετήθηκε. Τα δύο αυτά στοιχεία είναι ως γνωστόν η κύρια αιτία της αλατότητας του εδάφους ,έτσι και τα δύο αυτά στοιχεία μειώθηκαν σημαντικά και μάλιστα πιο έντονα όσο πιο μεγάλες ήταν οι δόσεις της ιλύος που εφαρμόστηκαν

Η βελτιωτική επίδραση ήταν μετρήσιμη μέχρι το βάθος των 30-40 cm του εδάφους Αντίθετα από το **Cl** και το **Na** ,το **Ca** τείνει προς αύξηση , η οποία ήταν χαρακτηριστικότερη στα ανώτερα βάθη( 0-10 cm και 10-20 cm ) .Μία τάση για συσσώρευση στο ανώτατο βάθος των 0-10 cm διαπιστώθηκε για το **Mn** ,ενώ αντίθετα σε μεγαλύτερα βάθη ( 10-20cm ,20-30cm και 30-40cm ) περιορίζεται η παρουσία του σε επίπεδα που βρίσκονται πολύ πιο κάτω από αυτά του μάρτυρα (χωρίς προσθήκη ιλύος).

Επίσης όπως βλέπουμε από την εφαρμογή της ιλύος απομακρύνθηκαν κάποιες ποσότητες **Na** από το έδαφος ,πράγμα πολύ σημαντικό στην προσπάθεια εξυγίανσης των νατριούχων (αλκαλιωμένων) εδαφών

**Πίνακας 14.** pH, E.C, υδατοδιαλυτά κατιόντα και ιόντα των τεσσάρων μεταχειρίσεων

στα τέσσερα βάθη (Μ.Ο τριών επαναλήψεων)

Υδατοδιαλυτά άλατα meg / l	
Κατιόντα	Ανιόντα

Μεταχείρ. Ιλύ / στρ.	Βάθος cm	E.C S / m	pH	Ca	Mg	Na	K	SO	Cl	CO3	HCO3
Μάρτυρας	0-10	8,10	0,213	0,28	1,02	21,30	0,69	2,50	8,55	2,00	8,00
2	>>	8,04	0,196	0,92	1,11	19,13	0,94	4,15	6,33	3,33	6,17

4	>>	8,15	0,208	1,03	2,22	17,97	1,36	6,22	5,54	2,67	6,58
8	>>	7,85	0,278	3,02	4,57	14,87	1,92	5,80	4,75	2,50	8,42
<b>Μάρτυρας</b>	<b>10-20</b>	8,35	0,326	0,17	1,33	16,52	1,64	4,97	8,55	1,00	9,75
2	>>	8,52	0,256	0,41	0,64	20,87	0,68	4,97	7,76	4,17	11,33
4	>>	8,40	0,223	0,34	0,54	16,81	0,69	4,15	6,97	2,50	8,00
8	>>	8,24	0,242	0,28	0,56	13,91	0,74	4,15	5,07	2,50	6,86
<b>Μάρτυρας</b>	<b>20-30</b>	8,22	0,532	0,30	1,45	56,52	1,00	7,45	35,10	1,50	9,50
2	>>	8,32	0,391	0,28	0,76	41,02	0,73	5,80	23,73	2,83	9,75
4	>>	8,53	0,346	0,27	0,91	40,00	0,70	7,45	35,10	1,50	9,50
8	>>	8,55	0,328	0,24	0,70	35,36	0,68	4,97	12,03	4,33	12,17
<b>Μάρτυρας</b>	<b>30-40</b>	8,50	0,850	0,25	2,31	82,61	1,38	7,45	59,85	3,50	12,00
2	>>	8,55	0,691	0,33	1,71	63,77	1,18	5,38	46,87	5,17	13,42
4	>>	8,63	0,634	0,34	1,63	63,77	1,19	6,24	36,10	7,17	15,67
8	>>	8,64	0,570	0,32	1,20	59,42	0,91	4,64	33,23	6,50	16,67

Επίσης οι τιμές των βαρέων μετάλλων που αναφέρονται στον πίνακα (15) ,δείχνουν μία σαφή τάση αύξησης στο έδαφος των βαρέων μετάλλων όπου εφαρμόστηκε η ιλύς ,όμως οι τιμές του Fe ,Mn ,Ni κυμαίνονταν σε επιτρεπτά επίπεδα. Σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε για τον Zn ενώ ο Pb δεν επηρεάστηκε από την ποσότητα της ιλύος .Εδώ αξίζει να λεχθεί ότι οι επικρατέστερες μορφές μετάλλων στην ιλύ ,είναι οι ενώσεις με τα οξείδια του Fe και Mn ,ακολουθούν οι χημικές και τέλος οι ανθρακικές .

Έτσι σε εδάφη που είναι πλούσια σε ανθρακικά ,μειώνονται οι οργανικές μορφές ,ενώ αυξάνονται οι αλκαλικές και εκείνες με τα οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου ,οι οποίες είναι λιγότερο ευκίνητες και αξιοποιήσιμες από τα φυτά. Αυτά φανερώνουν ότι η χρήση της ιλύος στα αλκαλικής αντίδρασης εδάφη ,ευνοεί τη συσσώρευση των βαρέων μετάλλων αλλά και εξαιτίας των αυξήσεων που σημειώνονται στο Mg και Ca ,θα πρέπει να αποφεύγεται σε αυτήν την κατηγορία εδαφών .Αλκαλικά εδάφη εξαιτίας της παρουσίας του Na αποτελούν την εξαίρεση. Σε αυτά αντίθετα η ιλύς επιδρά βελτιωτικά.

**Πίνακας 15** . Ποσότητες βαρέων μετάλλων όπως προσδιορίστηκαν κατά την εκχύλιση

με 4NHNO<sub>3</sub> (Κιοσέ – Καμπασαλάκη κ.α 1994)

Μεταχείρ	Βάθος cm	Fe	Zn	Mn	Ni	Pb	Cu	Cr	Cd
		ppm							
<b>Μάρτυρας</b>	0-10	27856	75,7	629	30,8	31,9	26,9	95,3	1,24
>>	10-20	18288	54,6	541	26,5	22,3	24,4	89,1	1,12
>>	20-30	26741	45,3	426	25,6	20,2	27,8	82,4	1,18
>>	30-40	20519	42,4	603	26,9	16,5	28,6	90,8	1,20
<b>2t</b>	0-10	26836	81,7	595	27,1	30,7	28,9	98,6	1,18
>>	10-20	22511	127,3	614	28,7	25,3	27,6	93,9	1,73
>>	20-30	21814	156,4	637	27,5	22,6	28,9	84,1	1,55
>>	30-40	28431	71,5	729	32,6	24,6	34,4	143,4	1,39
<b>4t</b>	0-10	25120	123,1	551	29,3	29,6	30,3	106,9	1,78
>>	10-20	25435	136,7	660	28,6	17,7	28,1	96,0	1,40
>>	20-30	23504	140,2	686	27,2	14,9	28,4	98,2	1,31
>>	30-40	26463	115,4	700	30,6	20,4	32,7	141,1	1,90
<b>8t</b>	0-10	24472	202,2	653	25,5	35,4	36,5	109,7	1,37
>>	10-20	24263	151,0	734	28,9	18,6	28,9	94,7	2,78
>>	20-30	23205	182,0	781	28,1	14,9	29,6	98,6	2,24
>>	30-40	26720	116,5	678	31,0	22,9	33,1	144,7	1,63

### 5.2.2 Γεωργική χρησιμοποίηση αστικών λυμάτων (Ιλός βιολογικού καθαρισμού) **.Κατάσταση – κατευθύνσεις – προοπτικές για τη χώρα μας**

Η αρχή της γεωργικής χρησιμοποίησης των αστικών λυμάτων ,έχει μια πολύ μεγάλη παράδοση στην ιστορική εξέλιξη της ανθρώπινης κοινωνίας .Το βασικό της δόγμα συνίσταται στην επαναφορά στη φύση βιοοργανικών υλικών ανθρώπινης προέλευσης και στην αποκατάσταση του οικολογικού κύκλου. Η βιολογική επεξεργασία των υλικών αυτών στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων (ΕΕΑΛ) οδηγεί ,εκτός από τη δημιουργία ενός υγρού κλάσματος ,στο σχηματισμό στερεού υλικού (ιλός αστικών λυμάτων – ΙΑΛ) με ξηρά ουσία (ξ.ο) 25-30 % περίπου ,πλούσιου σε χουμικά συστατικά και με αξιοσημείωτη περιεκτικότητα σε άζωτο (1,5-3,5 %), φώσφορο (0,75-4,0%) και θρεπτικά στοιχεία (B, Mn ,Cu ,Zn) (Κουκουλάκης ,1997 Κουκουλάκης κ.α 2000).

Τα μεγέθη της ΙΑΛ που παράγεται στις σύγχρονες κοινωνίες ετησίως είναι τεράστια (Leschber et al 1996 Loll ,1989) με προοπτική συνεχούς ανόδου (Kionka ,1998 Wazlawik 1998) με αποτέλεσμα να θεμελιώνονται σοβαρές ανησυχίες αναφορικά με τους περισσότερους πρόσφορους ,σε κάθε περίπτωση ,τρόπους διάθεσης αυτής (Loll 1999). Και στις 15 Χώρες –μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) μαζί ,παράγονται ετησίως ποσότητες ΙΑΛ ίσες με 7.7 εκατομμύρια t / ξ.ο ,ενώ υπολογίζεται ότι το έτος 2005 οι ποσότητες αυτές θα φθάσουν τα 10.7 εκατομμύρια t / ξ.ο (Anonymoys ,2001 Kionka ,1998).Στη χώρα μας ,σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία για το έτος 1997 ,παράγονται ετησίως 58.993 t / ξ.ο ΙΑΛ, το ήμισυ των οποίων (52%) προέρχεται από το λεκανοπέδιο Αττικής .Στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε ,οι ποσότητες της παραγόμενης ιλύος έχουν οπωσδήποτε αυξηθεί (61.000 t / ξ.ο το έτος 1999)(αδημοσίευτα στοιχεία ΥΠΕΧΩΔΕ) .

Το έτος 1997 ήταν σε λειτουργία 138 συνολικά ΕΕΑΛ ,με τις οποίες είχαν συνδεθεί συνολικά 5.954.000 άτομα ,δηλαδή το 55 % του συνολικού πληθυσμού .Το έτος 1999 ήταν υπό ανέγερση 56 ΕΕΑΛ ,ενώ άλλες 22 ήταν σε φάση προγραμματισμού.

Είναι γενικώς αποδεκτό ,ότι οι δαπάνες για την προστασία του περιβάλλοντος είναι δυστυχώς πολύ υψηλές .Οι συνεχώς αυξανόμενες ποσότητες ΙΑΛ που παράγονται στην ΕΕ και ιδιαίτερες δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον που κατά καιρούς έχουν προκληθεί ,δημιουργούν την αναγκαιότητα της άσκησης σύντονων προσπαθειών για την επιλογή των κατάλληλων τρόπων επεξεργασίας της ΙΑΛ. Σε αυτό το πλαίσιο αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι το μέγεθος της Ευρωπαϊκής Αγοράς για την επεξεργασία της ΙΑΛ ανήλθε το έτος 1997 στο συνολικό ποσόν των 1,254 δισεκατομμυρίων Ευρώ ,ενώ αυτή η τιμή το έτος 2004 αναμένεται να φθάσει τα 2,0 δισεκατομμύρια (Kionka ,1998).

### **5.2.2.1 Ανάλυση του σχετικού προβληματισμού**

Η γεωργική χρησιμοποίηση της ΙΑΛ παρουσιάζει ,σε γενικές γραμμές ,τα εξής πλεονεκτήματα (Kassner and Schmuker ,1990 ,Loll ,1989)

- Η ελάττωση των ποσοτήτων ΙΑΛ που απορρίπτονται στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ,δημιουργεί σημαντική εξοικονόμηση χώρου ,επιβραδύνοντας τον ρυθμό πλήρωσης αυτών.
- Η εκμετάλλευση του οργανικού φορτίου της ΙΑΛ και η παροχή θρεπτικών δημιουργεί προϋποθέσεις μείωσης των εφαρμοζομένων

χημικών λιπασμάτων στις καλλιέργειες ,ελάττωσης των εισαγωγών και μείωσης του κόστους των προϊόντων ,όπου αυτή εφαρμόζεται. Επίσης επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χημικών λιπασμάτων.

- Η εφαρμογή της ΙΑΛ στο έδαφος βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους(βλ.Πίνακα16)(Κουκουλάκης κ.α 2000) Ειδικότερα ,με αυτόν τον τρόπο βελτιώνονται οι συνθήκες εδαφογένεσης ,η δομή του εδάφους (συσσωμάτωση και σταθερότητα των συσσωμάτων ,αύξηση της βιομάζας της μικροχλωρίδας και εδαφοπανίδας ),το πορώδες και η κατανομή των πόρων ,διηθητικότητα και η βιολογική ενεργότητα του εδάφους ,οι συνθήκες διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων ,ενώ επηρεάζεται αρνητικά η πορεία της νιτροποίησης .Σε αυτό το πλαίσιο η εφαρμογή της ΙΑΛ στο έδαφος μπορεί να προφυλάσσει τα εδάφη από τη διάβρωση και την ερημοποίηση,που αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της ελληνικής γεωργίας .
- Πολύ σημαντική εξοικονόμηση δαπανών ,δεδομένου ότι η πρακτική αυτή συνιστά την οικονομικότερη μέθοδο διαχείρισης της ΙΑΛ (Wazkawik ,1998)

**Πίνακας 16 .** Μεταβολές φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών εδαφών ,με την προσθήκη compost ΙΑΛ (Jacobowitz and Steenhuis)

Τύπος εδάφους	Compost προσθήκης (t / στρ.)	Φ.Ε.Β σε βάθος 3-6 cm (g/cm <sup>3</sup> )	Οργανική ουσία	pH	E.C (mmho S/ cm)	Σε εκχύλισμα εδάφους					
						NO <sub>3</sub> -N	P	K	Mg	Ca	Fe
						(ppm)					
Αμμο – πηλώδες	0	1,38a	0,9	5,1	0,13	30	10	115	260	2000	44
	5	1,22a	1,8	5,1	1,35	90	37	225	340	2700	31
	20	0,80b	2,9	6,3	-	-	109	330	445	5200	21
	50	0,69b	12,6	5,5	2,75	750	190	900	900	16300	24
Ιλοο – πηλώδες	0	1,26a	2,4	5,5	0,28	75	12	150	250	3100	37
	5	1,18ab	4,2	6,2	0,22	75	86	325	470	6100	26
	20	0,94bc	5,4	6,3	0,43	160	216	695	655	9900	21



	50	0,68c	13,9	6,6	1,68	195	205	1150	970	20000	22
--	----	-------	------	-----	------	-----	-----	------	-----	-------	----

Συμπερασματικά η πρακτική της γεωργικής χρησιμοποίησης της ΙΑΛ ενδείκνυται να ενθαρρυνθεί ,επιπροσθέτως ,ως συνέπεια και των εξής παραγόντων .

#### α) Νέο πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων

Μέχρι σήμερα η μόνη μέθοδος διαχείρισης της ΙΑΛ που ακολουθείται παραμένει η απόρριψή τους στους ΧΥΤΑ ,η οποία ,αν και είναι ιδιαίτερα ευχερής και λειτουργική ,προκαλεί χαρακτηριστικά δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον (ρύπανση και μόλυνση των εδαφών και των υπογείων υδροφορέων). Επίσης η απόρριψη της ΙΑΛ στους ΧΥΤΑ επιταχύνει τι ρυθμό υπερπλήρωσης αυτών ,δημιουργώντας συνθήκες κακής προοπτικής και προκαλώντας ιδιαίτερη ανησυχία στις τοπικές κοινωνίες ,ενώ επιβαρύνει υπέρμετρα το κόστος λειτουργίας .

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων ,με τη νέα στρατηγική διαχείρισης των αποβλήτων στην ΕΕ [Οδηγία 1999 / 31 / ΕΚ (Άρθρο 5) του Συμβουλίου της 26<sup>ης</sup> .04. 1999 περί Υγειονομικής Ταφής των αποβλήτων ],έχουν δρομολογηθεί προοπτικές μείωσης του όγκου των υλικών που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ για απόρριψη. Η οδηγία αυτή ,που είναι υποχρεωτική για τις Χώρες – μέλη της ΕΕ ,προβλέπει νέα χρονικά όρια ελάττωσης των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που οδεύουν στους ΧΥΤΑ ως εξής :

- Από το έτος 1995 μέχρι το έτος 2006: Ελάττωση στο 75 % κ.β.
- Από το έτος 2007 μέχρι το έτος 2009: Ελάττωση στο 50 % κ.β
- Από το έτος 2010 μέχρι το έτος 2016: Ελάττωση στο 35 % κ.β.

#### β) Ταχύς ρυθμός αύξησης των παραγόμενων ποσοτήτων ΙΑΛ

Δεδομένου ότι το πρόγραμμα δημιουργίας νέων Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων προωθείται τον τελευταίο καιρό με πολύ μεγάλη ένταση ,σε κάθε περίπτωση οι σχετικοί ρυθμοί παραγωγής ΙΑΛ έχουν συνεχή αυξητική τάση

.Πράγματι ,σύμφωνα με την ισχύουσα εθνική νομοθεσία [Άρθρο 7 της ΔΥΑ 5673 /400 / 05.03.1997 , " Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων " ], έχει τεθεί σαφές εθνικό χρονοδιάγραμμα για την ίδρυση και λειτουργία εγκαταστάσεων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αστικών λυμάτων σε όλες τις περιοχές της Χώρας ως εξής :

- μέχρι 31.12.2000 ,για οικισμούς με Ισοδύναμο Πληθυσμό ( Ι Π ) άνω των 15.000 και ,
- μέχρι 31.12.2005 ,για οικισμούς με Ι Π μεταξύ 10.000 και 15.000 ,καθώς επίσης και για οικισμούς με Ι Π μεταξύ 2000 και 10.000 ,όταν τα λύματα απορρίπτονται σε γλυκά νερά και εκβολές ποταμών

Είναι λοιπόν φανερό ,ότι ενώ οι ποσότητες των ΙΑΛ στις ελληνικές συνθήκες αυξάνονται συνεχώς με εντατικό ρυθμό ,δημιουργούνται συνεχώς προϋποθέσεις μιας ,με γεωμετρική προόδου, προοδευτικής όξυνσης της προβληματικής περί του ορθολογικού τρόπου διαχείρισης αυτών.

## 6 . Υλικά και Μέθοδοι

### 6.1 Εισαγωγή

Η διάθεση της ιλύος των αστικών λυμάτων ,συνιστά ένα από τα κυριότερα προβλήματα της σύγχρονης πραγματικότητας ,το οποίο προβληματίζει πολλούς φορείς διαχείρισης εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων .Σήμερα υπάρχουν σημαντικά βελτιωμένες μέθοδοι διάθεσης τόσο των απορριμμάτων όσο και της ιλύος των βιολογικών καθαρισμών με τις οποίες ελαχιστοποιούνται ή ακόμα εκμηδενίζονται οι περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις.

Σε αυτά τα πλαίσια ως στόχος της κομποστοποίησης της ιλύος και των διαφόρων αγροβιομηχανικών αποβλήτων ,είναι η παραγωγή ενός βιολογικώς σταθεροποιημένου ,υγειονομικού υλικού ,απαλλαγμένου δυσάρεστων οσμών ,πλούσιο σε χουμικά συστατικά ,με γαιώδη σύσταση και υφή ,το οποίο ως εκ τούτου μπορεί με επιτυχία να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό καλλιεργούμενων εκτάσεων και διαμόρφωσης τοπίου ή σαν υπόστρωμα ανάπτυξης σπορόφυτων και καλλωπιστικών φυτών γλάστρας .

Έτσι ,το αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι να αξιολογηθεί η πειραματικά παραγόμενη ποσότητα κόμποστ και η επίδραση των διαφόρων διογκωτικών υλικών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν.

Η παρασκευή των κόμποστ για το εν λόγω πείραμα από τη ιλύ του βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων της πόλης του Ηρακλείου Κρήτης ,βασίστηκε στην εμπειρία από προηγούμενα ερευνητικά προγράμματα του Εργαστηρίου Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και υγρών Αποβλήτων του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης και στις τελευταίες εξελίξεις ,διεθνώς ,επί του αντικειμένου. Ταυτόχρονα δόθηκε η ευκαιρία να δοκιμαστούν οι διάφορες επεμβάσεις όπως είναι η αναλογία της ιλύος και των διογκωτικών υλικών ,οι διάφορες κατηγορίες των διογκωτικών υλικών ,οι μεταβολές της υγρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, ο αριθμός των αναγκαίων αναστροφών κ.λ.π.

Για τις ανάγκες του πειράματος αυτού διαμορφώθηκαν συνολικά 5 πειραματικά σειράδια στο χώρο της πίστας κομποστοποίησης του αγροκτήματος του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης οι οποίοι θα περιγραφούν στη συνέχεια.

## 6.2 Πρώτες ύλες των Compost

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των πειραματικών σειραδίων κομποστοποίησης ήταν οι ακόλουθες :

- **Ψύς του βιολογικού καθαρισμού Ηρακλείου** .Η ψύς αυτή ήταν ενεργός και είχε υποστεί αναερόβιο χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου .Δεν έγινε καμία άλλη επέμβαση πριν τη χρησιμοποίησή της
- **Ροκανίδια λευκής ξυλείας πολυτεμαχισμένα** . Τα ροκανίδια που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από ξυλουργικά εργοστάσια του Ηρακλείου και δεν έγινε σε αυτά καμία πρόσθετη επέμβαση .
- **Ροκανίδια λευκής ξυλείας λεπτοτεμαχισμένα** . Τα ροκανίδια που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από ξυλουργικά εργοστάσια του Ηρακλείου και δεν έγινε σε αυτά καμία πρόσθετη επέμβαση
- **Φύλλα ελιάς** . Τα φύλλα ελιάς που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από ελαιουργία του Νομού και ήταν σε μερικώς προχωρημένο στάδιο αποδόμησης .Δεν έγινε σε αυτά καμία πρόσθετη επέμβαση

Στους πίνακες 17,18 και 19 παρουσιάζεται η κοκκομετρική κατανομή ,κατ' όγκον κατά βάρος των λεπτοτεμαχισμένων και πολυτεμαχισμένων ροκανιδιών και των φύλλων ελιάς ως είχαν ,χωρίς καμία πρόσθετη επέμβαση

Πίνακας 17 . Κοκκομετρική κατανομή του μεγέθους των τεμαχιδίων των  
λεπτοτεμαχισμένων ροκανιδιών

**Όγκος δείγματος : 500 ml Βάρος δείγματος : 33,9 gr Ειδικό βάρος : 0,0678 gr/  
cm<sup>3</sup>**

Κλάσματα σε mm	Όγκος		Βάρος	
	ml	%	gr	%
<i>Κλ &gt;31,55</i>	0	0	0	0
<b>31,55 Κλ&gt;19,00</b>	0	0	0	0
<b>19,00 &gt;Κλ&gt;10,00</b>	260	44,44	8,2	24,69
<b>10,00&gt; Κλ &gt; 6,30</b>	160	27,35	7,1	21,38
<b>6,3 &gt;Κλ &gt; 2,00</b>	150	25,64	12,2	36,74
<b>2,00 &gt; Κλ &gt; 1,00</b>	10	1,709	4,8	12,34
<b>Κλ &lt; 1,00</b>	5	0,854	1,6	4,82
<b>Σύνολο</b>	585	100	33,9	100
<b>Κλάσμα &lt;10,00 mm</b>	-	55,55	-	75,28
<b>Κλάσμα &lt; 2,00 mm</b>	-	2,56	-	17,16

Πίνακας 18 . Κοκκομετρική κατανομή του μεγέθους των τεμαχιδίων των  
πολυτεμαχισμένων ροκανιδιών

Όγκος δείγματος : 500 ml Βάρος δείγματος : 97,1 gr Ειδικό βάρος : 0,1942 gr/  
cm<sup>3</sup>

Κλάσματα σε mm	Όγκος		Βάρος	
	ml	%	gr	%
<i>Κλ &gt;31,55</i>	0	0	0	0
<b>31,55 Κλ&gt;19,00</b>	0	0	0	0
<b>19,00 &gt;Κλ&gt;10,00</b>	50	7,46	2,4	2,50
<b>10,00&gt; Κλ &gt; 6,30</b>	160	23,88	8,4	8,75
<b>6,3 &gt;Κλ &gt; 2,00</b>	200	29,85	23,2	24,19
<b>2,00 &gt; Κλ &gt; 1,00</b>	60	8,95	11,9	12,40
<b>Κλ &lt; 1,00</b>	200	29,85	50,0	52,13
<b>Σύνολο</b>	670	100	97,1	100
<b>Κλάσμα &lt;10,00 mm</b>	-	53,75	-	76,32
<b>Κλάσμα &lt; 2,00 mm</b>	-	38,8	-	64,53

Πίνακας 19 . Κοκκομετρική κατανομή του μεγέθους των τεμαχιδίων των φύλλων ελιάς

**Όγκος δείγματος : 500 ml Βάρος δείγματος : 40,2 gr Ειδικό βάρος : 0,0804 gr/cm<sup>3</sup>**

<b>Κλάσματα σε mm</b>	<b>Όγκος</b>		<b>Βάρος</b>	
	<b>ml</b>	<b>%</b>	<b>gr</b>	<b>%</b>
<b><i>Kλ &gt;31,55</i></b>	0	0	0	0
<b>31,55 <i>Kλ</i>&gt;19,00</b>	0	0	0	0
<b>19,00 &gt;<i>Kλ</i>&gt;10,00</b>	0	0	0	0
<b>10,00&gt; <i>Kλ</i> &gt; 6,30</b>	340	64,15	21,6	53,73
<b>6,3 &gt;<i>Kλ</i> &gt; 2,00</b>	140	26,41	10,1	25,12
<b>2,00 &gt; <i>Kλ</i> &gt; 1,00</b>	50	9,43	8,5	21,14
<b><i>Kλ</i> &lt; 1,00</b>	0	0	0	0
<b>Σύνολο</b>	530	100	40,2	100
<b>Κλάσμα &lt;10,00 mm</b>	-	64,15	-	53,73
<b>Κλάσμα &lt; 2,00 mm</b>	-	9,43	-	21,14

Στους παραπάνω πίνακες παρουσιάζεται η κοκκομετρική κατανομή ,κατ' όγκον των λεπτοτεμαχισμένων και πολυτεμαχισμένων ροκανιδιών καθώς και των φύλλων ελιάς ως είχαν ,χωρίς καμία πρόσθετη επέμβαση .Όπως προκύπτει από τα στοιχεία των πινάκων ,το μεγαλύτερο μέρος του όγκου των τεμαχιδίων των λεπτοτεμαχισμένων ροκανιδιών αλλά και των φύλλων ελιάς έχουν μέγεθος μεταξύ

των 2,00 και 19,00mm ενώ τα πολυτεμαχισμένα ροκανίδια μεταξύ του 1,00 και 19,00 mm.

Σημειώνεται ακόμα ότι ,κατά την κλασμάτωση των διογκωτικών υλικών για τον προσδιορισμό της κοκκομετρίας τους, το άθροισμα των όγκων των επιμέρους κλασμάτων παρουσιάζεται σημαντικά αυξημένο ως προς τον αρχικό ολικό όγκο του δείγματος .Αυτό οφείλεται στην ογκομέτρηση και μικρών τεμαχιδίων που στον αρχικό ολικό όγκο του δείγματος βρίσκονται μέσα στους πόρους των μεγάλων τεμαχιδίων.

Όλα τα διογκωτικά υλικά ,χρησιμοποιήθηκαν σε διαφορετικές ποσότητες και αναλογίες ,και ο σκοπός προσθήκης τους ήταν κυρίως , η θερμογόνος ενίσχυση του μείγματος για άνοδο της θερμοκρασίας της κομποστοποίησης , η βελτίωση της αγρονομικής ποιότητας του κόμποστ και δευτερεύοντος η συμβολή τους στη διαμόρφωση του αναγκαίου πορώδους για την αερόβια αποδόμηση των του μείγματος .

Στον παρακάτω πίνακα (20) ,παρουσιάζονται τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της ιλύος και των υπόλοιπων πρώτων υλών .Τα στοιχεία αυτά και ιδιαίτερα η υγρασία , είναι απαραίτητα για την ορθή προετοιμασία των μειγμάτων κομποστοποίησης και επιβάλλεται σε κάθε περίπτωση ο προσδιορισμός τους προκειμένου να αποφασιστεί η προσθήκη ή όχι νερού κατά την εγκατάσταση των σωρών .

Πίνακας 20 . Βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της ιλύος και των υπολοίπων πρώτων

υλών.

Πρώτες ύλες	Υγρασία (%)	pH	E.C (mS/cm)	Ολικός C	Στερεά πτητικά (%)
Ιλύς βιολογικού καθαρισμού	75,9	8,19	1,16	32,63	58,73
Ροκανίδια Λεπτο –	16,42	6,18	0,16	55,42	99,75



Τεμαχισμένα					
Ροκανίδια Πολύ – Τεμαχισμένα	17,55	7,16	0,52	54,66	98,40
Φύλλα ελιάς	22,45	6,65	1,97	50,23	90,41

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα ακόλουθα :

- Η αυξημένη υγρασία της ιλύος και η χαμηλή υγρασία των διογκωτικών υλικών ,δίδουν τη δυνατότητα για την παρασκευή μειγμάτων που η υγρασία τους μπορεί να κυμαίνεται στα επιθυμητά επίπεδα για την κομποστοποίηση, που είναι γύρω στο 60% σε υγρή βάση ,χωρίς την προσθήκη νερού. Αυτό όμως θα πρέπει να ελέγχεται σε κάθε διαφοροποίηση της αναλογίας της ιλύος προς τα διογκωτικά υλικά και βάσει αυτού να αποφασίζεται η προσθήκη ή όχι νερού κατά την εγκατάσταση των σειραδίων
- Το pH όλων των πρώτων υλών κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα (όχι απαγορευτικά για την έναρξη της κομποστοποίησης) και ως εκ τούτου δεν απαιτείται καμία διορθωτική παρέμβαση.
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C) όλων των πρώτων υλών ,εκτός των φύλλων ελιάς που είναι λίγο υψηλή ,κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και ως εκ τούτου και στα τελικά κόμποστ των μειγμάτων τους η E.C δεν μπορεί να διαμορφωθεί σε πολύ υψηλά επίπεδα .
- Η περιεκτικότητα των πρώτων υλών σε στερεά πτητικά (οργανική ουσία) κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα και προεικάζει την παρασκευή κόμποστ με καλά αγρονομικά χαρακτηριστικά

### 6.3 Μέθοδοι εργαστηριακών αναλύσεων

Οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για τις εργαστηριακές αναλύσεις ,τόσο των ενδιάμεσων δειγμάτων όσο και των τελικών κόμποστ , είναι οι ακόλουθες :

- Υγρασία % , σε υγρή βάση ,στους 105 C
- pH ,σε υδατικό εκχύλισμα με τη μέθοδο 1 : 1,5 κατ' όγκο
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C (mS/cm) ,σε υδατικό εκχύλισμα με τη μέθοδο 1 : 1,5 κατ' όγκο
- Οργανικός άνθρακας (C %) ,σε ξηρή βάση ,με τη μέθοδο της καύσης στους 600 C για 16 ώρες με βάση τη σχέση : Οργανικός άνθρακας % = (100% - Τέφρα%) / 1.8
- Οργανική ουσία , με τη μέθοδο της καύσης στους 600 C για 16 ώρες
- Η κοκκομετρική κατανομή του μεγέθους των τεμαχιδίων των διογκωτικών υλικών και των τελικών κόμποστ ,προσδιορίστηκε με εδαφολογικά κόσκινα των 31,55 – 19,00 – 10,00 – 6,3 – 2,00 και 1,00 mm

#### 6.4 Πειραματικοί σωροί , αναλογίες

Οι σωροί που διαμορφώθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος ,είχαν ως εξής :

- 1) Γυριζόμενος σωρός (WDP) με ιλύ βιολογικού καθαρισμού ,πολυτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς , σε αναλογία 1 : 1,3 : 0,7
- 2) Γυριζόμενος σωρός (WDP) με ιλύ βιολογικού καθαρισμού ,λεπτοτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς , σε αναλογία 1 : 0,5 : 0,5 κατ' όγκον (1:1)
- 3) Γυριζόμενος σωρός (WDP) με ιλύ βιολογικού καθαρισμού ,λεπτοτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς , σε αναλογία 1 : 1 : 1 κατ' όγκον (1:2)

- 4) Γυριζόμενος σωρός (WDP) με ιλύ βιολογικού καθαρισμού ,λεπτοτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς , σε αναλογία 1 : 1,5 : 1,5 κατ' όγκον (1:3)
- 5) Γυριζόμενος σωρός (WDP) με ιλύ βιολογικού καθαρισμού ,λεπτοτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς , σε αναλογία 1 : 2 : 2 κατ' όγκον (1:4)

#### 6.5 Εγκατάσταση , μεθοδολογία και μέσα κομποστοποίησης

Για την κομποστοποίηση των μειγμάτων της ιλύος με τα διογκωτικά οργανικά υλικά που περιγράφηκαν προηγουμένως ,εφαρμόστηκε όπως αναφέρεται η μέθοδος των αναστρεφόμενων σειραδίων .Η εγκατάσταση των τριών πειραματικών σειραδίων έγινε πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένη πίστα από μπετόν σε χώρο του αγροκτήματος του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης .Ταυτόχρονα όμως ,με την ίδια μέθοδο και μεταχείριση ,εγκαταστάθηκαν πάνω σε συμπίεμένο έδαφος τα άλλα δύο πειραματικά σειράδια .

Η εγκατάσταση των σειραδίων έγινε στις 20 / 06 / 2002 ,εκτός από τον σωρό ( 1 ),του οποίου η εγκατάσταση έγινε στις 06 / 03 / 2002 .Η διαδικασία ξεκίνησε με την βοήθεια ενός φορτωτή,όπου μεταφέρθηκαν στην πίστα από μπετόν οι ποσότητες των διογκωτικών υλικών που χρησιμοποιήσαμε. Ο φορτωτής τοποθέτησε τα διογκωτικά υλικά σε στρώματα πάχους 20 cm, που εναλλάσσονταν μεταξύ τους ,και σε ποσότητα εξαρτώμενη από την αναλογία που επιθυμούσαμε για κάθε σειράδιο. Η τοποθέτηση έγινε βάση των προκαθορισμένων διαστάσεων των σειραδίων ,οι οποίες είχαν επισημανθεί με σπάγκο.

Μετά την εναπόθεση των διογκωτικών υλικών ,το φορτηγό της ΔΕΥΑΗ εναπόθεσε πάνω από τα υλικά την ιλύ από τον βιολογικό καθαρισμό των αστικών λυμάτων. Στη συνέχεια ο φορτωτής εναπόθεσε ξανά διογκωτικά υλικά σε διαφορετική ποσότητα για το κάθε σειράδιο ,έτσι ώστε τελικά το μείγμα ιλύος – διογκωτικών υλικών ,να βρίσκεται στην κατάλληλη αναλογία που εμείς προεπιλέξαμε για κάθε έναν από τους σωρούς .

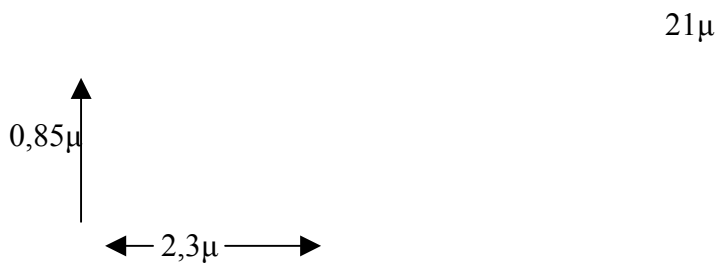
Με την βοήθεια ενός αναστροφέα ελκούμενου από γεωργικό ελκυστήρα ,τα υλικά αναμοχλεύτηκαν ,παίρνοντας το τελικό τους σχήμα και τις διαστάσεις που φαίνονται στο Σχήμα (1).

Ύψος : 0,85 μέτρα

Μήκος : 21 μέτρα

Πλάτος : 2,3 μέτρα  
(περίπου)

Σχήμα (1)



Με την βοήθεια του αναστροφέα γινόντουσαν και οι απαραίτητες και απαιτούμενες αναστροφές κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης. Το κριτήριο για εφαρμογή των αναστροφών των σειραδίων ήταν η πτώση της θερμοκρασίας κομποστοποίησης. Αυτό το κριτήριο ,αποτελεί απόδειξη επικράτησης αναερόβιων συνθηκών και αντιμετωπιζόταν με την αναστροφή των σειραδίων και την παροχή επομένως οξυγόνου.

Κατά την πραγματοποίηση των αναστροφών και εφόσον η υγρασία των σειραδίων είχε μειωθεί κάτω του επιθυμητού ορίου ,προστίθετο νερό υπό μορφή ψεκασμού με την βοήθεια κατάλληλου αρδευτικού δικτύου.

Η θερμοκρασία της κομποστοποίησης καταγραφόταν σε ημερήσια βάση με ηλεκτρονικό θερμόμετρο .Αμέσως μετά από κάθε γύρισμα γινόταν η λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος ,για την εργαστηριακή εκτίμηση των βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των κομποστοποιούμενων υλικών (μειγμάτων) ,και τον έλεγχο επομένως της πορείας της κομποστοποίησης .Η ταχεία φάση της κομποστοποίησης θεωρείτο ότι είχε ολοκληρωθεί ,όταν μετά από αναστροφή του σειραδίου η θερμοκρασία διαμορφωνόταν περίπου στο επίπεδο της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος ή ελαφρώς υψηλότερη. Μετά την ολοκλήρωση της ταχείας φάσης της κομποστοποίησης το σειράδιο αφηνόταν σε ηρεμία ,για 45 – 60 ημέρες ,για ωρίμανση. Μετά την ωρίμανση γινόταν λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος κόμποστ για την εργαστηριακή αξιολόγησή του τελικού πλέον παραγόμενου υλικού.

## 6.6 Χειρισμοί κατά την διαδικασία του composting στο πειραματικό σειράδιο (1)

Από την πρώτη μέρα εγκατάστασης του πρώτου γυριζόμενου σωρού (WDP) αλλά και καθ'όλη τη διάρκεια του composting γίνονταν δειγματοληψίες των βιοαποδομούμενων υλικών ανά τακτά χρονικά διαστήματα .Τα δείγματα παίρνονταν μετά, αλλά και πριν την αναστροφή και την προσθήκη νερού ,από το κέντρο του σωρού χώνευσης .

Ένα μέρος των δειγμάτων χρησιμοποιούταν αμέσως για τη μέτρηση της υγρασίας ,του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C) .Το υπόλοιπο μέρος των δειγμάτων ξηραινόταν σε ειδικό πυραντήριο με αέρα στο εργαστήριο σε θερμοκρασία περίπου 70 C για δύο ημέρες και αφού κονιορτοποιούνταν σε ειδικούς μεταλλικούς μύλους ,χρησιμοποιούταν για αναλύσεις του ολικού άνθρακα και των στερεών πτητικών .

Παρακάτω αναφέρονται οι ημερομηνίες δειγματοληψίας στο σειράδιο :

06 / 03 / 2002 : Δείγμα εγκατάστασης του σειραδίου (1)

29 / 03 / 2002 : Δείγμα πριν το 1<sup>ο</sup> γύρισμα

29 / 03 / 2002 : Δείγμα μετά το 1<sup>ο</sup> γύρισμα

12 / 04 / 2002 : Δείγμα πριν το 2<sup>ο</sup> γύρισμα

12 / 04 / 2002 : Δείγμα μετά το 2<sup>ο</sup> γύρισμα

29 / 04 / 2002 : Δείγμα πριν το 3<sup>ο</sup> γύρισμα

29 / 04 / 2002 : Δείγμα μετά το 3<sup>ο</sup> γύρισμα

Δείγμα τελικού κόμποστ , μετά από 45 – 60 ημέρες

Κάθε φορά που γινόταν γύρισμα και αναδιαμορφωνόταν το πειραματικό σειράδιο στην τελική του μορφή ,κατά την διάρκεια ή κατόπιν της αναστροφής ,γινόταν διαβροχή του σωρού εάν αυτό κρινόταν αναγκαίο ,έτσι ώστε να συνεχίζεται η βιοαποδόμηση του υλικού και με προσοχή ώστε να μην εμφανιστούν προβλήματα στη δομή των μειγμάτων του σειραδίου από υπερβολική ποσότητα νερού .

Ο έλεγχος και η καταγραφή της θερμοκρασίας ,γινόταν κανονικά πριν και μετά την κάθε αναστροφή ,αλλά και σε καθημερινή βάση .Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων για τις μεταβολές των βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών ,καθώς και η πορεία των θερμοκρασιών του σειραδίου

,παρουσιάζονται σε πίνακες και εικόνες παρακάτω .Εδώ ,θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια όλων των εργασιών, των επεμβάσεων και των εργαστηριακών αναλύσεων και γενικά των χειρισμών ,παίρνονταν όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας ,όπως γάντια ,μάσκες κ.λ.π

#### 6.6.1 Χειρισμοί κατά την διαδικασία του composting στα πειραματικά σειράδια 2, 3 ,4 και 5

Από την πρώτη μέρα εγκατάστασης των γυριζόμενων σειραδίων (WDP) αλλά και καθ'όλη τη διάρκεια του composting γίνονταν δειγματοληψίες των βιοαποδομούμενων υλικών ανά τακτά χρονικά διαστήματα .Τα δείγματα παίρνονταν μετά, αλλά και πριν την αναστροφή και την προσθήκη νερού ,από το κέντρο των σωρών χώνευσης .

Ένα μέρος των δειγμάτων χρησιμοποιούταν αμέσως για τη μέτρηση της υγρασίας ,του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C) .Το υπόλοιπο μέρος των δειγμάτων ξηραινόταν σε ειδικό πυραντήριο με αέρα στο εργαστήριο σε θερμοκρασία περίπου 70 C για δύο ημέρες και αφού κονιορτοποιούνταν σε ειδικούς μεταλλικούς μύλους ,χρησιμοποιούταν για αναλύσεις του ολικού άνθρακα και των στερεών πτητικών .

Παρακάτω αναφέρονται οι ημερομηνίες δειγματοληψίας στα σειράδια :

20 / 06 / 2002 : Δείγμα εγκατάστασης των σειραδίων 2 ,3 ,4 και 5

05 / 07 / 2002 : Δείγμα πριν το 1<sup>ο</sup> γύρισμα

05 / 07 / 2002 : Δείγμα μετά το 1<sup>ο</sup> γύρισμα

12 / 07 / 2002 : Δείγμα πριν το 2<sup>ο</sup> γύρισμα

12 / 07 / 2002 : Δείγμα μετά το 2<sup>ο</sup> γύρισμα

27 / 08 / 2002 : Δείγμα πριν το 3<sup>ο</sup> γύρισμα

27 / 08 / 2002 : Δείγμα μετά το 3<sup>ο</sup> γύρισμα

Δείγμα τελικών κόμποστ , μετά από 45 – 60 ημέρες

Κάθε φορά που γινόταν γύρισμα και αναδιαμορφωνόταν τα σειράδια στην τελική τους μορφή ,κατά την διάρκεια ή κατόπιν της αναστροφής ,γινόταν διαβροχή των σωρών εάν αυτό κρινόταν αναγκαίο ,έτσι ώστε να συνεχίζεται η βιοαποδόμηση του υλικού και με προσοχή ώστε να μην εμφανιστούν προβλήματα στη δομή των μειγμάτων των σειραδίων από υπερβολική ποσότητα νερού .

Ο έλεγχος και η καταγραφή της θερμοκρασίας γινόταν κανονικά πριν και μετά την κάθε αναστροφή ,αλλά και σε καθημερινή βάση .Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων για της αλλαγές των βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών ,καθώς και η πορεία των θερμοκρασιών του σειραδίου ,παρουσιάζεται σε πίνακες και εικόνες παρακάτω .Εδώ ,θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια όλων των εργασιών, των επεμβάσεων και των εργαστηριακών αναλύσεων ,παίρνονταν όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας ,όπως γάντια ,μάσκες κ.λ.π

## 7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

### 7.1 Μεταβολές της θερμοκρασίας χώνευσης

Στην εικόνα (1) παρουσιάζονται, η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας στο πρώτο σειράδιο με αναλογία (1:2) κατ'όγκον με ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με πολυτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς ,καθώς και η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη διάρκεια της φάσης της ταχείας χώνευσης .Ακόμη φαίνονται τα τρία γυρίσματα που έγιναν .

Όπως βλέπουμε και από την εικόνα (1) ,η θερμοκρασία στο κέντρο του σωρού από τους 22 βαθμούς Κελσίου ,όσο περίπου ήταν και η θερμοκρασία περιβάλλοντος την ημέρα εγκατάστασης του σωρού ,άρχισε σταδιακά να ανεβαίνει και έφτασε την 7<sup>η</sup> ημέρα χώνευσης στους 56 βαθμούς Κελσίου .Η θερμοκρασία παρέμεινε στους 50 με 53 βαθμούς για δύο εβδομάδες περίπου . Το 1<sup>ο</sup> γύρισμα έγινε με θερμοκρασία 33 C .Την αμέσως επόμενη μέρα η θερμοκρασία ανέβηκε στους 40 C και συνέχισε την ανοδική της πορεία μέχρι τους 58 βαθμούς .Το δεύτερο γύρισμα κυμάνθηκε από 54 έως 60 C .Το 3<sup>ο</sup> και το τελευταίο γύρισμα η θερμοκρασία κινήθηκε μεταξύ 56 και έως και 61 C καταλήγοντας στους 44 C ,την 73<sup>η</sup> ημέρα χώνευσης .Η διαδικασία της κομποστοποίησης σε εκείνο το σημείο θεωρήθηκε ότι τελειώνει και το σειράδιο αφέθηκε σε ηρεμία, ώστε να ωριμάσει.

Στην εικόνα (2) , παρουσιάζονται, η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας στο δεύτερο σειράδιο με αναλογία (1:1) κατ'όγκον με ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με λεπτοτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς ,καθώς και η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη διάρκεια της φάσης της ταχείας χώνευσης .Ακόμη φαίνονται τα τρία γυρίσματα που έγιναν .

Όπως βλέπουμε και στην εικόνα (2) ,η θερμοκρασία κατά την εγκατάσταση του σωρού βρισκόταν στα επίπεδα της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος .Αμέσως μετά την η θερμοκρασία άρχισε να ανεβαίνει μέχρι τους 44 βαθμούς Κελσίου, ενώ αργότερα ακολούθησε μία σταδιακή πτώση μέχρι τους 38 βαθμούς ,όπου έγινε και η 1<sup>η</sup> αναστροφή. Αμέσως μετά ξανάρχισε ανοδική πορεία, φτάνοντας την 4<sup>η</sup> ημέρα τους 48 C.

Κατά το 2<sup>ο</sup> γύρισμα η θερμοκρασία βρισκόταν στους 40 βαθμούς και αμέσως μετά ανέβηκε ξανά ,φτάνοντας τους 57 βαθμούς την 5<sup>η</sup> ημέρα μετά την αναστροφή. Στην τελευταία αναστροφή, οι τιμές της θερμοκρασίας δεν διαμορφώθηκαν σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδο. Η μη ικανοποιητική άνοδος των θερμοκρασιών καθ όλη τη διάρκεια των γυρισμάτων , είχε ως αποτέλεσμα τη μη ικανοποιητική ολοκλήρωση της κομποστοποίησης



Στην εικόνα (3) παρουσιάζονται, η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας στο τρίτο σειράδιο με αναλογία (1:2) κατ' όγκον με ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με λεπτοτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς ,καθώς και η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη διάρκεια της φάσης της ταχείας χώνευσης .Ακόμη φαίνονται τα τρία γυρίσματα που έγιναν

Παρατηρώντας την εικόνα (3),βλέπουμε ότι αμέσως μετά την εγκατάσταση του σειραδίου ,η θερμοκρασία ανεβαίνει και φτάνει έως τους 51 βαθμούς Κελσίου την 7<sup>η</sup> ημέρα όπου και διατηρείται για 4 ημέρες .Στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται έως το 1<sup>ο</sup> γύρισμα . Μετά την πρώτη αναστροφή ,θερμοκρασία φτάνει τους 58 βαθμούς την 5<sup>η</sup> ημέρα αρχίζει να μειώνεται, φτάνοντας τους 47 C ,όπου γίνεται η 2<sup>η</sup> αναστροφή .

Την 5<sup>η</sup> ημέρα η θερμοκρασία φτάνει τους 63 βαθμούς. Στο 3<sup>ο</sup> και τελευταίο γύρισμα, οι τιμές της θερμοκρασίας δεν διαμορφώθηκαν σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδο, ένδειξη ότι η διαδικασία της κομποστοποίησης ,πλησίασε προς το τέλος της .

Στην εικόνα (4) παρουσιάζονται, η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας στο τέταρτο σειράδιο με αναλογία (1:3) κατ' όγκον με ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με λεπτοτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς ,καθώς και η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη διάρκεια της φάσης της ταχείας χώνευσης .Ακόμη φαίνονται τα τρία γυρίσματα που έγιναν

Στην εικόνα (4) λοιπόν, παρατηρούμε πως κατά την εγκατάσταση του σειραδίου (4),όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις ,η θερμοκρασία είναι περίπου όμοια με εκείνη του περιβάλλοντος. Τις επόμενες μέρες ανεβαίνει σταδιακά και την 7<sup>η</sup> μέρα φτάνει τους 58 βαθμούς Κελσίου και διατηρείται εκεί για μικρό χρονικό διάστημα. Μετά το 1<sup>ο</sup> γύρισμα η άνοδος είναι πάλι εμφανής ,αλλά οι τιμές της θερμοκρασίας ανεβαίνουν υψηλότερα από 58 έως 62 βαθμούς .

Πριν την 2<sup>η</sup> αναστροφή ,η θερμοκρασία πέφτει στους 48 C ,και αμέσως μετά ανεβαίνει ξανά ,φτάνοντας την 5<sup>η</sup> ημέρα τους 68 βαθμούς . Σιγά σιγά ,αρχίζει να μειώνεται ώσπου φτάνει τους 33 βαθμούς .,όπου έγινε και το 3<sup>ο</sup> και τελευταίο γύρισμα . Στην τελευταία αναστροφή, οι τιμές της θερμοκρασίας δεν διαμορφώθηκαν σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδο, ένδειξη ότι η διαδικασία της κομποστοποίησης ,πλησίασε προς το τέλος της .

Στην εικόνα (5) παρουσιάζονται, η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας στο πέμπτο σειράδιο με αναλογία (1:4) κατ' όγκον με ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με λεπτοτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς ,καθώς και η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη διάρκεια της φάσης της ταχείας χώνευσης .Ακόμη φαίνονται τα τρία γυρίσματα που έγιναν

Στο σειράδιο (5) ,όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις ,αμέσως μετά την εγκατάσταση ,η θερμοκρασία άρχισε την ανοδική πορεία και την 7<sup>η</sup> ημέρα στο κέντρο του

σειραδίου διαμορφώθηκε στους 62 βαθμούς Κελσίου .Αμέσως μετά το 1<sup>ο</sup> γύρισμα η άνοδος ήταν αρκετά μεγάλη φτάνοντας την 5<sup>η</sup> ημέρα στους 70 βαθμούς .

Μετά την πτώση της στους 55 και την 2<sup>η</sup> αναστροφή ,ανέβηκε σε υψηλά πάλι επίπεδα ,φτάνοντας τους 71 C . Από εκείνο το σημείο άρχισε ξανά η βαθμιαία μείωση με αρκετές διακυμάνσεις ,ως τους 33 βαθμούς όπου έγινε και η τελευταία αναστροφή. Μετά το 3<sup>ο</sup> γύρισμα , οι τιμές της θερμοκρασίας δεν διαμορφώθηκαν σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδο, ένδειξη ότι η διαδικασία της κομποστοποίησης ,πλησίασε προς το τέλος της.

## 7.2 Μεταβολές βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων

Με βάση τα στοιχεία που προκύπτουν από τους πίνακες 21,22,23,24 και 25 για τις αλλαγές στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης προκύπτουν τα εξής

- Όπως παρατηρούμε η **υγρασία** κατά την εγκατάσταση του compost,βρίσκεται στα επιθυμητά επίπεδα και βαθμιαία μειώνεται ,έως την πλήρη ωρίμανση του προσπαθώντας ταυτόχρονα με την προσθήκη νερού κατά την διάρκεια των γυρισμάτων να την διατηρήσουμε σε ικανοποιητικά επίπεδα
- Το **pH** στην αρχή είχε μία αύξηση ,όμως στην συνέχεια είχε μία βαθμιαία πτώση μέχρι την τελική του τιμή κατά την ωρίμανση του compost
- Οι αλλαγές που εμφανίζονται στην **ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C)** είναι οι τυπικές αυτών που εμφανίζονται κατά την βιοσταθεροποίηση των οργανικών υλικών γενικά ,με μία συνεχή αύξηση των τιμών της μέχρι και το τέλος της ζύμωσης του υλικού παίρνοντας έτσι την τελική τιμή που αναγράφεται
- Τα **ολικά στερεά πτητικά (οργανική ουσία)**,εμφανίζουν μία σταδιακή πτώση στην τιμή τους ,μέχρι την ολοκλήρωση της βιοαποδόμησης ,πράγμα αναμενόμενο ,και παίρνουν μια τελική της τάξεως του 59% περίπου .

- **Ο ολικός άνθρακας** ,εμφανίζει μία βαθμιαία φυσιολογική πτώση έως την ωρίμανση του compost
- **Ο Όγκος**, παρουσιάζει μία σταθερή φυσιολογική απώλεια ,αποτέλεσμα της βιοαποδόμησης του μείγματος του σειραδίου

**Πίνακας 21.** Μεταβολές βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης στο πρώτο σειράδιο από ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με λεπτοτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς σε αναλογία ( 1:1,3:0,7 )

Ημερ/νύ Δειγματ ληψίας	Στάδια Κομποστοποίησης	Στοιχεία Σειραδίου Όγκος (m3)	Υγρασία	pH	E.C	Ολικός	Στερεά
			(%)			(%)	πηκτικό
06 / 03	<b>Εγκατάσταση</b>	31,7	58,07	8,29	1,44	37,11	66,81
29 / 03	<b>1<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	26,1	<b>Πριν</b> 61,83 <b>Μετά</b> 54,4	8,30	2,30	35,75	64,36
12 / 04	<b>2<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	23,2	<b>Πριν</b> 44,5 <b>Μετά</b> 54,1	8,55	4,09		
29 / 04	<b>3<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	21,72	<b>Πριν</b> 46,1	8,06	4,06	34,82	62,29

			<b>Μετά</b> 48,				
	<b>Τελικό Compost</b>	20,10	41,07	7,20	6,97	30,47	54,84

\* Υγρασία % : **Θεωρήσαμε σκόπιμο να γινόταν προσδιορισμός της υγρασίας και πριν το γύρισμα, για να καθορίζουμε την χρήση ή όχι ποσότητας νερού .**

**Πίνακας 22.** Μεταβολές βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης στο πρώτο σειράδιο από ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με πολυτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς σε αναλογία ( 1:0,5:0,5 )

Ημερ/νύ Δειγματ ληψίας	Στάδια Κομποστοποίησης	Στοιχεία Σειραδίου Όγκος (m3)	Υγρασία	pH	E.C	Ολικός	Στερεά
			(%)			(%)	πηκτικό
20 / 06	<b>Εγκατάσταση</b>	28,73	71,01	7,22	1,74	29,87	53,76
05 / 07	<b>1° Γύρισμα</b>	22,86	<b>Πριν</b> 78,83 <b>Μετά</b> 68,	8,47	3,60	35,56	64,01
12 / 07	<b>2° Γύρισμα</b>	20,21	<b>Πριν</b> 69,9	8,57	3,73	31,63	59,04

			<b>Μετά</b> 64,4				
27 / 08	<b>3<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	19,68	<b>Πριν</b> 58,2	8,28	6,60	24,84	44,72
			<b>Μετά</b> 51,				
	<b>Τελικό Compost</b>	19,68	43,95	7,32	5,85	25,84	46,53

\* Υγρασία % : Θεωρήσαμε σκόπιμο να γινόταν προσδιορισμός της υγρασίας και πριν το γύρισμα, για να καθορίζουμε την χρήση ή όχι ποσότητας νερού .

**Πίνακας 23.** Μεταβολές βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης στο πρώτο σειράδιο από ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με πολυτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς σε αναλογία ( 1:1:1 )

Ημερ/νί Δειγματ ληψίας	Στάδια Κομποστοποίησης	Στοιχεία Σειραδίου Όγκος (m3)	Υγρασία	pH	E.C	Ολικός	Στερεά
			(%)			(%)	πηκτικό
20 / 06	<b>Εγκατάσταση</b>	28,73	71,07	7,57	2,30	35,86	64,56
05 / 07	<b>1<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	24,92	<b>Πριν</b> 73,70	8,48	3,49	35,75	64,36
			<b>Μετά</b> 69,4				

12 / 07	<b>2<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	22,44	<b>Πριν</b> 60,9	8,27	4,02	34,44	61,99
			<b>Μετά</b> 58,1				
27 / 08	<b>3<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	19,88	<b>Πριν</b> 53,0	7,94	5,91	31,32	56,39
			<b>Μετά</b> 54,9				
	<b>Τελικό Compost</b>	19,88	58,07	7,56	5,13	32,04	57,67

\* Υγρασία % : Θεωρήσαμε σκόπιμο να γινόταν προσδιορισμός της υγρασίας και πριν το γύρισμα, για να καθορίζουμε την χρήση ή όχι ποσότητας νερού .

**Πίνακας 24.** Μεταβολές βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης στο πρώτο σειράδιο από ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με πολυτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς σε αναλογία ( 1:1,5:1,5 )

Ημερ/νί Δειγματ ληψίας	Στάδια Κομποστοποίησι	Στοιχεία Σειραδίου Όγκος (m3)	Υγρασία	pH	E.C	Ολικός	Στερεά
			(%)			(%)	πηκτικό
20 / 06	<b>Εγκατάσταση</b>	12,47	72,03	8,12	1,86	39,25	70,65
05 / 07	<b>1<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	11,30	<b>Πριν</b>	8,59	3,62	38,06	68,02

			70,67				
			<b>Μετά</b> 69,1				
12 / 07	<b>2° Γύρισμα</b>	11,26	<b>Πριν</b> 62,4	8,41	4,70	37,00	66,61
			<b>Μετά</b> 66,0				
27 / 08	<b>3° Γύρισμα</b>	11,11	<b>Πριν</b> 48,6	8,08	4,21	34,31	61,77
			<b>Μετά</b> 54,1				
	<b>Τελικό Compost</b>	11,11	42,97	7,50	5,65	34,83	62,70

\* Υγρασία % : Θεωρήσαμε σκόπιμο να γινόταν προσδιορισμός της υγρασίας και πριν το γύρισμα, για να καθορίζουμε την χρήση ή όχι ποσότητας νερού

**Πίνακας 25.** Μεταβολές βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης στο πρώτο σειράδιο από ιλύ βιολογικού καθαρισμού σε ανάμειξη με πολυτεμαχισμένα ροκανίδια και φύλλα ελιάς σε αναλογία ( 1:2:2 )

Ημερ/νί Δειγματ ληψίας	Στάδια Κομποστοποίησης	Στοιχεία Σειραδίου Όγκος (m3)	Υγρασία	pH	E.C	Ολικός	Στερεά
			(%)			(%)	πηκτικό
20 / 06		12,34					

	<b>Εγκατάσταση</b>		67,20	7,04	2,0	37,13	66,85
05 / 07	<b>1<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	9,32	<b>Πριν</b> 68,63	8,35	3,45	37,00	66,51
			<b>Μετά</b> 65,1				
12 / 07	<b>2<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	8,85	<b>Πριν</b> 50,5	8,50	4,75	35,56	64,12
			<b>Μετά</b> 60,1				
27 / 08	<b>3<sup>ο</sup> Γύρισμα</b>	8,28	<b>Πριν</b> 46,9	7,91	4,56	33,06	59,52
			<b>Μετά</b> 48,8				
	<b>Τελικό Compost</b>	8,28	43,27	7,29	6,19	32,70	58,86

\* Υγρασία % : Θεωρήσαμε σκόπιμο να γινόταν προσδιορισμός της υγρασίας και πριν το γύρισμα, για να καθορίζουμε την χρήση ή όχι ποσότητας νερού

### 7.3 Κοκκομετρία ώριμων κόμποστ

Στους πίνακες 26,27,28,29 και 30 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής κατανομής του μεγέθους των τεμαχιδίων των τελικών κόμποστς .Με βάση αυτά τα στοιχεία μπορούν να σημειωθούν τα ακόλουθα :

- Το μέγιστο μέρος των τεμαχιδίων όλων των κόμποστς έχουν μέγεθος μικρότερο των 10mm



- Σημαντικά επίσης αυξάνεται και το κλάσμα με τεμαχίδια κάτω των 2mm ,ειδικότερα στο πρώτο σειράδιο ,λόγω της προσθήκης των πολυτεμαχισμένων ροκανιδιών (μορφή σκόνης )
- Η διαφορά των ειδικών βαρών μεταξύ του δεύτερου σειραδίου και των υπολοίπων ,θα πρέπει να αποδοθεί στο ότι δεύτερο σειράδιο χρησιμοποιήσαμε λιγότερα διογκωτικά υλικά (αναλογία (1:1) κατ'όγκον ) ,από ότι στα υπόλοιπα σειράδια (1:2 , 1:3 ,1:4) .Άρα ,το υλικό του δεύτερου σειραδίου ήταν βαρύτερο από τα υπόλοιπα, καθώς σ'αυτό συνέβαλε και η μη ικανοποιητική κομποστοποίησή του.

Πίνακας 26 . Κοκκομετρική κατανομή του μεγέθους των τεμαχιδίων του ώριμου compost

από το Σειράδιο (1)

**Όγκος δείγματος : 500 ml Βάρος δείγματος : 283,0 gr Ειδικό βάρος : 0,566 gr/cm<sup>3</sup>**

Όγκος	Βάρος
-------	-------

<b>Κλάσματα σε mm</b>	<b>ml</b>	<b>%</b>	<b>gr</b>	<b>%</b>
<b>Κλ &gt;31,55</b>	0	0	0	0
<b>31,55 Κλ&gt;19,00</b>	0	0	0	0
<b>19,00 &gt;Κλ&gt;10,00</b>	80	13,79	50,1	17,70
<b>10,00&gt; Κλ &gt; 6,30</b>	80	13,79	44,9	15,87
<b>6,3 &gt;Κλ &gt; 2,00</b>	220	37,93	93,4	33,00
<b>2,00 &gt; Κλ &gt; 1,00</b>	100	17,24	38,2	13,49
<b>Κλ &lt; 1,00</b>	100	17,24	54,7	19,33
<b>Σύνολο</b>	580	100	283,0	100
<b>Κλάσμα &lt;10,00 mm</b>	-	31,03	-	35,2
<b>Κλάσμα &lt; 2,00 mm</b>	-	34,48	-	32,82

Πίνακας 27 . Κοκκομετρική κατανομή του μεγέθους των τεμαχιδίων του ώριμου compost

από το Σειράδιο (2)

Όγκος δείγματος : 500 ml Βάρος δείγματος : 359,4 gr Ειδικό βάρος : 0,7188 gr/cm<sup>3</sup>

Κλάσματα σε mm	Όγκος		Βάρος	
	ml	%	gr	%
<i>Κλ &gt;31,55</i>	0	0	0	0
<b>31,55 Κλ&gt;19,00</b>	0	0	0	0
<b>19,00 &gt;Κλ&gt;10,00</b>	180	31,86	117,1	32,58
<b>10,00&gt; Κλ &gt; 6,30</b>	115	20,35	73,2	20,36
<b>6,3 &gt;Κλ &gt; 2,00</b>	220	38,93	139,0	38,67
<b>2,00 &gt; Κλ &gt; 1,00</b>	45	7,96	24,1	6,70
<b>Κλ &lt; 1,00</b>	5	0,89	3,0	0,83
<b>Σύνολο</b>	565	100	359,4	100
<b>Κλάσμα &lt;10,00 mm</b>	-	21,24	-	21,19
<b>Κλάσμα &lt; 2,00 mm</b>	-	8,58	-	7,53

Πίνακας 28 . Κοκκομετρική κατανομή του μεγέθους των τεμαχιδίων του ώριμου compost

από το Σειράδιο (3)

Όγκος δείγματος : 500 ml Βάρος δείγματος : 250,4 gr Ειδικό βάρος : 0,5008 gr/cm<sup>3</sup>

Κλάσματα σε mm	Όγκος		Βάρος	
	ml	%	gr	%
<b>Κλ &gt;31,55</b>	0	0	0	0
<b>31,55 Κλ&gt;19,00</b>	0	0	0	0
<b>19,00 &gt;Κλ&gt;10,00</b>	95	16,66	50,7	20,25
<b>10,00&gt; Κλ &gt; 6,30</b>	150	26,31	53,2	21,25
<b>6,3 &gt;Κλ &gt; 2,00</b>	260	45,61	107,5	42,93
<b>2,00 &gt; Κλ &gt; 1,00</b>	60	10,52	31,7	12,66
<b>Κλ &lt; 1,00</b>	5	0,88	6,7	2,67
<b>Σύνολο</b>	570	100	250,4	100
<b>Κλάσμα &lt;10,00 mm</b>	-	27,19	-	23,92
<b>Κλάσμα &lt; 2,00 mm</b>	-	11,4	-	15,33

Πίνακας 29 . Κοκκομετρική κατανομή του μεγέθους των τεμαχιδίων του ώριμου compost

από το Σειράδιο (4)

**Όγκος δείγματος : 500 ml Βάρος δείγματος : 251,8 gr Ειδικό βάρος : 0,5036 gr/cm<sup>3</sup>**

<b>Κλάσματα σε mm</b>	<b>Όγκος</b>		<b>Βάρος</b>	
	<b>ml</b>	<b>%</b>	<b>gr</b>	<b>%</b>
<i>Κλ &gt;31,55</i>	0	0	0	0
<b>31,55 Κλ&gt;19,00</b>	0	0	0	0
<b>19,00 &gt;Κλ&gt;10,00</b>	110	19,30	54,0	21,44
<b>10,00&gt; Κλ &gt; 6,30</b>	130	22,80	45,3	17,99
<b>6,3 &gt;Κλ &gt; 2,00</b>	250	43,86	105,8	42,01
<b>2,00 &gt; Κλ &gt; 1,00</b>	70	12,28	34,3	13,62
<b>Κλ &lt; 1,00</b>	10	1,75	10,0	3,97
<b>Σύνολο</b>	570	100	251,8	100
<b>Κλάσμα &lt;10,00 mm</b>	-	24,55	-	21,96
<b>Κλάσμα &lt; 2,00 mm</b>	-	14,03	-	17,59

Πίνακας 30 . Κοκκομετρική κατανομή του μεγέθους των τεμαχιδίων του ώριμου compost

από το Σειράδιο (5)

Όγκος δείγματος : 500 ml Βάρος δείγματος : 227 gr Ειδικό βάρος : 0,454 gr/cm<sup>3</sup>

Κλάσματα σε mm	Όγκος		Βάρος	
	ml	%	gr	%
<i>Κλ &gt;31,55</i>	0	0	0	0
<b>31,55 Κλ&gt;19,00</b>	0	0	0	0
<b>19,00 &gt;Κλ&gt;10,00</b>	90	15,25	40,0	17,62
<b>10,00&gt; Κλ &gt; 6,30</b>	160	27,12	54,7	24,09
<b>6,3 &gt;Κλ &gt; 2,00</b>	260	44,06	90,7	39,95
<b>2,00 &gt; Κλ &gt; 1,00</b>	60	10,16	26,0	11,45
<b>Κλ &lt; 1,00</b>	20	3,39	11,3	4,98
<b>Σύνολο</b>	590	100	227	100
<b>Κλάσμα &lt;10,00 mm</b>	-	30,51	-	29,07
<b>Κλάσμα &lt; 2,00 mm</b>	-	13,55	-	16,43

## 8. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως αναφέρθηκε εκτενέστερα στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας ,η διάθεση της ιλύος των αστικών λυμάτων συνιστά ένα από τα κυριότερα προβλήματα της εποχής μας . Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος υιοθετούνται πολλές φορές λύσεις που δεν εξυπηρετούν τις αρχές της προστασίας του περιβάλλοντος . Ο πλέον συνήθης τρόπος διάθεσης αυτών των υλικών παλαιότερα σε ολόκληρο τον κόσμο ,αλλά και σήμερα σε μεγάλο αριθμό χωρών ,ήταν και είναι η ελεύθερη απόρριψη ή η ελεύθερη καύση .(Bajeat and Buguin. 1993 FWR ,1992).

Όπως είναι φυσικό ,τα οργανικά αυτά υλικά ,κάτω από αυτές τις συνθήκες διάθεσής τους με τα προϊόντα της αποσύνθεσης και καύσης τους (υγρά και αέρια) ,αλλά και με την αυξημένη περιεκτικότητά τους σε διάφορες τοξικές ουσίες και βαρέα μέταλλα ,ασφαλώς αποτελούν σοβαρό κίνδυνο περιβαλλοντολογικής υποβάθμισης και της δημόσιας υγείας .Σήμερα ,υπάρχουν σημαντικά βελτιωμένες μέθοδοι διάθεσης της ιλύος των βιολογικών καθαρισμών ,με τις οποίες ελαχιστοποιούνται ή ακόμα εκμηδενίζονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Οι κυριότερη από αυτές από λειτουργική και ορθολογική άποψη ,είναι η κομποστοποίηση. Το composting εντάσσεται στις διαδικασίες ανακύκλωσης που προωθεί και η Ε.Ε [com(97) 105.5.97] δεδομένου ότι μετατρέπει την ιλύ των βιολογικών καθαρισμών και διαφόρων οργανικών υπολειμμάτων ,σε ένα οργανοχουμικό βελτιωτικό εδάφους το **compost** , το οποίο επανέρχόμενο στο έδαφος συμβάλει στην αποκατάσταση της φυσικής διεργασίας ,της ανακύκλωσης της οργανικής ύλης μέσα από τη συνεχή δόμηση και αποδόμηση της ,διατηρώντας ταυτόχρονα την γονιμότητα του εδάφους σε υψηλά επίπεδα και γενικότερα έχει ιδιαίτερα ευνοϊκές επιπτώσεις στην βελτίωση των φυσικών ,χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους . Στην περίπτωση της ιλύος ,η ποιότητά της επηρεάζεται από την ποιότητα των επεξεργαζόμενων υλικών . Εάν μαζί με τα αστικά λύματα επεξεργάζονται και υγρά απόβλητα διαφόρων βιομηχανιών ,τότε υπάρχει η πιθανότητα η ιλύς να είναι ιδιαίτερα φορτισμένη σε βαρέα μέταλλα και τοξικές ουσίες και εμπεριέχει σοβαρούς κινδύνους η χρησιμοποίηση της ,καθώς δια μέσου της τροφικής αλυσίδας μπορεί να δημιουργηθούν σοβαρά προβλήματα όσον αφορά το περιβάλλον και τον άνθρωπο .

Έτσι ,όσον αφορά την ιλύ από τον βιολογικό καθαρισμό της πόλης του Ηρακλείου, δεν προέρχονταν από λύματα βαρέων βιομηχανιών όπως άλλωστε σύμφωνα και με προηγούμενες έρευνες ,φαίνεται ότι οι περισσότερες ιλύς των ελληνικών αστικών λυμάτων δεν περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και τοξικών ουσιών και ως εκ τούτου η πιο

ενδεδειγμένη και ιδανική μέθοδος αξιοποίησής τους να είναι η κομποστοποίηση τους .Στην περίπτωση της ιλύος των βιολογικών καθαρισμών ,η συνηθέστερη μέθοδος αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας είναι αυτή που εφαρμόσαμε στο πείραμα ,δηλαδή η πρόσμειξη της με διάφορα διογκωτικά υλικά ,τα οποία όπως έχει προαναφερθεί ενισχύουν την δομή της ζυμώμενης ιλύος και βελτιώνουν τις συνθήκες αερισμού ,με αποτέλεσμα να εξασφαλίζονται ευκολότερα και σε μεγαλύτερη χρονική περίοδο οι αερόβιες συνθήκες μέσα στη μάζα του compost .

Αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία γιατί η εξασφάλιση των αερόβιων συνθηκών έχει ως αποτέλεσμα την σε σημαντικό βαθμό μείωση της έκκληση ανεπιθύμητων δυσάρεστων οσμών ,δεδομένου ότι στην περίπτωση αυτή τα παραγόμενα οργανικά οξέα έχουν περισσότερο σταθερή σύσταση και αποδομούνται με αργό ρυθμό .

Η διαδικασία των αναστρεφόμενων σειραδίων που εφαρμόστηκε στα πέντε σειράδια του πειράματος ,για την κομποστοποίηση της ιλύος με την προσθήκη διαφόρων διογκωτικών υλικών και με σκοπό την μελέτη της επίδρασης των αναλογιών τους ,απέδωσε ικανοποιητικά συμπεράσματα ,τόσο ως προς αυτή καθ'αυτή τη διαδικασία ,όσο και ως προς την ποιότητα των τελικών compost.

Αυτά τα συμπεράσματα παρουσιάζονται παρακάτω συνοπτικά .

- Η αναλογία 1:1 της ιλύος προς τα διογκωτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ,δεν εξασφάλισε ικανοποιητική άνοδο της θερμοκρασίας ,σε ύψος και διάρκεια για την ολοκλήρωση της κομποστοποίησης και την καταστροφή των παθογόνων οργανισμών.
- Η αυξημένη συμμετοχή των διογκωτικών υλικών στις αναλογίες 1:2 , 1:3 και 1:4 ,είχε σαν αποτέλεσμα να επιμηκυνθεί ο χρόνος διατήρησης των αερόβιων συνθηκών στα σειράδια και αυτό με τη σειρά του να ελαχιστοποιεί τη δυσοσμία και να περιορίσει τον αριθμό των αναγκαίων αναστροφών σε τρεις .Επίσης συνέβαλε στην ενίσχυση της θερμογόνου δύναμης των μειγμάτων αυτών ,με την γρήγορη και σημαντική άνοδο της θερμοκρασίας κομποστοποίησης .
- Η σημαντική μείωση της υγρασίας του μείγματος της ιλύος και των διογκωτικών υλικών κατά την κομποστοποίηση ,θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα στις αναλογίες με αυξημένο ποσοστό διογκωτικών υλικών ,λόγω του ότι μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα αναστολής της δράσης των ωφέλιμων αποδομητικών μικροοργανισμών .
- Βελτιώνονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των κόμποστς ,με την αυξημένη συμμετοχή των φυτικών υπολειμμάτων.

Παρά τις υπάρχουσες θετικές ενδείξεις μέχρι στιγμής της επίδρασης των διαφόρων διογκωτικών υλικών στην κομποστοποίηση της ιλύος βιολογικών καθαρισμών ,είναι απαραίτητη η συστηματική μελέτη του θέματος



