ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ
Π.Μ.Σ. ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΛΥΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΚΩ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΛΕΜΟΝΙΑ ΕΥΦΡΟΣΥΝΗ
ΑΜ 22204

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
Κ. ΛΑΖΑΡΙΔΗ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΑΘΗΝΑ, 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ 5

2.1 Γενικά- Ορισμός 5

2.2. Στόχοι της κομποστοποίησης 6

2.3. Η αρχή του περιοριστικού παράγοντα 6

2.4. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας 7

2.4.1. Αερισμός 7

2.4.2. Θερμοκρασία 9

2.4.3. Άνθρακας- Άζωτο 11

2.4.4. pH – Ηλεκτρική Αγωγιμότητα: 13

2.5. Η διαδικασία της κομποστοποίησης 13

2.6. Συστήματα κομποστοποίησης 14

2.6.1. Σειράδια (windrow): 15

2.6.2. Αεριζόμενοι σωροί (aerated static pile): 17

2.6.3. Σε δοχεία (in vessel composting): 18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ 19

3.1. Γενικά 19

3.2 Κοινοτική και εθνική νομοθεσία 19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ 25

4.1 Γενικά 25

4.2. Παραγωγή κα αξιοποίηση ιλύος 25

4.3. Αξιοποίηση της ιλύος στη γεωργία. 29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ 33

5.1 Υλικά- προμήθεια 33

5.1.1 Προμήθεια υλικών 33

5.1.2 Προετοιμασία 33

5.2 Μέθοδος κομποστοποίησης- Παρακολούθηση διαδικασίας 34

5.2.1. Περιγραφή συστήματος 34

5.2.2. Ημερολόγιο 39

5.3 Μέθοδοι Αναλύσεων 40

5.3.1. Φυσικές και Χημικές Αναλύσεις 40

5.3.2. Δοκιμές αναπνευστικής δραστηριότητας 41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ 43

6.1. Θερμοκρασία: 43
6.2. Υγρασία: 45
6.3. Λόγος C/N: 47
6.4. pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα: 48
6.5. Οργανικά πτητικά στερεά: 50
6.6. Ροή του αέρα: 51
6.7. CO_2: 52
6.8. Βαρέα Μέταλλα: 53
6.9. Θρεπτικά συστατικά: 54
6.10. Δείκτες ωριμότητας: 57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 60

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Βιώσιμη Ανάπτυξη» στον τομέα της«Διαχείρισης του Περιβάλλοντος», του τμήματος Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου.

Με βάση τους άξονες της νέας προτεινόμενης οδηγίας για τη διαχείριση της βιολογικής ιλύος αλλά και της ισχύουσας Οδηγίας για την Υγειονομική Ταφή, η κομποστοποίηση αναδεικνύεται ως μία από τις καταλληλότερες επιλογές. Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων κομποστοποίησης ιλύος από το βιολογικό καθαρισμό της Κω με στόχο τη βελτιστοποίηση του ελέγχου της διεργασίας για την ταχύτερη ωρίμανση του οργανικού υλικού.

Η βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει τα περιβαλλοντικά προβλήματα από την συχνά ανεξέλεγκτη διάθεσή τους, παράγοντας ταυτόχρονα το κομπόστ, μια χουμοποιημένη οργανική ύλη, πολύτιμη για το έδαφος ειδικά στις Μεσογειακές περιοχές που απειλούνται από την ερημοποίηση.

Η κομποστοποίηση ως τρόπος επεξεργασίας της ιλύος των εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη εργασία. Ο δήμος της Κω ήταν αυτός που μας προμήθευσε με ιλύ αλλά και τεμαχισμένα πράσινα απορρίμματα, ως διογκωτικό υλικό.

Η κομποστοποίηση είναι μια φαινομενικά απλή διεργασία και η ιδέα μετατροπής της ιλύος σε εδαφοβελτιωτικό είναι ελκυστική. Για την παραγωγή όμως ενός αξιοποιήσιμου προϊόντος θα πρέπει να υπάρχει καλός έλεγχος, τόσο των αρχικών υλικών όσο και της διαδικασίας.

Η δομή της εργασία έχει ως εξής: στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της διαδικασίας της κομποστοποίησης, τις θεμελιώδεις παραμέτρους και τις διεργασίες. Στο τρίτο κεφάλαιο καταγράφεται το θεσμικό πλαίσιο που βρίσκεται σε ισχύ σε Ε.Ε. και Ελλάδα και αφορά θέματα διαχείρισης, επεξεργασίας και απόθεσης αποβλήτων. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τρόποι αξιοποίησης και επαναχρησιμοποίησης της ιλύος. Το κεφάλαιο 5 παρουσιάζει τα υλικά και τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμά μας, η προετοιμασία τους και η εφαρμογή

τους. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συζήτηση σε σχέση και με προηγούμενες εργασίες. Τελειώνοντας στο κεφάλαιο 7 υπάρχουν συλλογικά τα συμπεράσματα που αφορούν το σύνολο της εργασίας.

Η καθοδήγηση και οι συμβουλές της κ. Κ. Λαζαρίδη, υπεύθυνη για την παρούσα εργασία ήταν πολύτιμη και καθοριστική για την δημιουργία του συγκεκριμένου πονήματος. Σημαντική ήταν και η βοήθεια της κ. Α. Κυριακού με την ιδιαίτερη μέριμνά της στο πειραματικό μέρος της εργασίας. Ένα ακόμη ευχαριστώ οφείλω και στην κ. Μ. Κώτσιου για τις συμβουλές και τη βοήθειά κατά τη χρήση του εργαστηρίου μικροβιολογίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στο προσωπικό του εργαστηρίου Οικολογίας του Εδάφους και Βιοτεχνολογίας του Κέντρου Γαία του Μουσείου Γουλανδρή και ιδιαιτέρως τον κ. Στ. Σταματιάδη.

Το τελευταίο ευχαριστώ οφείλω να το χαρίσω στους γονείς μου για όλα όσα έκαναν για μένα και στο σύζυγό μου για την υπομονή και την υποστήριξή του.

Λεμονιά Ευφροσύνη,

Ηράκλειο, 2005

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

2.1 Γενικά- Ορισμός

Το γήινο οικοσύστημα χαρακτηρίζεται από συνεχή και ασταμάτητη ανακύκλωση συστατικών οργανικών και ανόργανων, στο κέντρο των οποίων βρίσκονται οι μικροοργανισμοί. Μια από τις μεθόδους που στηρίζεται στη δράση μικροοργανισμών για την βιοσταθεροποίηση των οργανικών υπολειμμάτων είναι αυτή της κομποστοποίησης.

Η διαδικασία της κομποστοποίησης είναι πιθανόν η πρώτη φυσική διαδικασία αξιοποίησης των αποβλήτων που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και παρήγαγε ένα προϊόν που βοηθούσε την ανάπτυξη των φυτών πριν από χιλιάδες χρόνια (Stentiford, 2001). Από τότε με την εξέλιξη της τεχνολογίας μπορέσαμε να κατανοήσουμε καλύτερα αυτή τη διαδικασία και να την υποβοηθήσουμε, ώστε να παράγεται καλύτερης ποιότητας προϊόν.

Κομποστοποίηση (composting) των οργανικών υπολειμμάτων είναι η βιολογική (φυσική), μικροβιακή, αερόβια, θερμόφιλη διαδικασία αποικοδόμησης και σταθεροποίησης των υλικών αυτών και το προϊόν που προκύπτει ονομάζεται κομπόστ.

Πολύπλοκα οργανικά μόρια διασπούνται κάτω από τη δράση μικροοργανισμών σε απλούστερες οργανικές ενώσεις με την ταυτόχρονη απελευθέρωση κυρίως CO_2, υδρατμών και ενέργειας (Μανιός, 2001).

Μια πληθώρα οργανικών αποβλήτων μπορούν με την κατάλληλη επεξεργασία να μετατραπούν σε ένα πλούσιο φυτόχωμα, το κομπόστ, το οποίο μπορεί να βρει πολλές εφαρμογές στη γεωργία, στα πάρκα, και στην ανάπλαση και αναδάσωση προβληματικών εκτάσεων (Hassen *et.al.,* 1998). Η κομποστοποίηση μιμείται και επιταχύνει τις διεργασίες αποδόμησης των οργανικών ουσιών που συμβαίνουν αυθόρμητα στη φύση.

Η κομποστοποίηση είναι μια βιολογική διεργασία, αφού αποτελεί μέρος της διαδικασίας αποδόμησης των οργανικών ενώσεων που πραγματοποιείται στο φυσικό περιβάλλον και η παρέμβαση του ανθρώπου απλώς έχει εντατικοποιήσει και μεγιστοποίηση την απόδοσή της (Eggen and Vethe, 2001). Ένας πολυπληθέστατος συνδυασμός διαφορετικών μικροοργανισμών (μύκητες, βακτήρια, ακτινομύκητες κ.α.) είναι υπεύθυνοι για τη διαδικασία

αυτή (Γιαννακοπούλου, 2001, Κυριακού, 2001). Η παρουσία επαρκούς ποσότητας οξυγόνου είναι αναγκαία για τη γρήγορη, αποτελεσματική και χωρίς προβλήματα αποδόμηση της οργανικής ουσίας μέσω των αερόβιων (κυρίως) μικροοργανισμών. Ταυτόχρονα ως αποτέλεσμα της μικροβιακής αποικοδόμησης παράγεται ενέργεια που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών που αποικοδομούνται και σε μεγάλο μέρος οφείλεται και στον σχηματισμό των υλικών (σωροί) όπου η παραγόμενη θερμότητα συγκρατείται και συσσωρεύεται (Adani *et.al.,* 1999).

2.2. Στόχοι της κομποστοποίησης

Οι βασικοί στόχοι της κομποστοποίησης είναι (Βουρδιάς, 2001, Μανιός, 2001, Levanon and Pluda, 2002, Erhart and Burian, 1997, EC, 2000):

- Η μετατροπή του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος σε ένα βιολογικά σταθερό και σχετικά αδρανή υλικό.
- Η καταστροφή, για τη μείωση ή και εξαφάνιση του παθογόνου για τον άνθρωπο μικροβιακό φορτίο αλλά και το παθογόνο για τα φυτά οργανικό φορτίο.
- Η συγκράτηση στο προϊόν της βέλτιστης ποσότητας θρεπτικών συστατικών.
- Η μείωση ή ακόμα και η εξαφάνιση δυσάρεστων οσμών που κάποια υλικά αναδίδουν κυρίως όταν οι ποσότητες είναι πολύ μεγάλες.
- Η παραγωγή τελικά ενός οργανικού υλικού, που θα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε διάφορες καλλιέργειες, καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες σε οργανικό λίπασμα.

2.3. Η αρχή του περιοριστικού παράγοντα

Η κομποστοποίηση είναι μια φαινομενικά απλή διεργασία, όμως μπορεί να οδηγηθεί συχνά σε λάθη, αν αγνοηθούν οι βασικές αρχές και οι παράμετροι της διεργασίας. Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι η αποτυχία ακόμη και ακριβών συστημάτων κομποστοποίησης οφείλεται συνήθως στην παράβλεψη βασικών λειτουργικών, τροφικών, και περιβαλλοντικών παραγόντων.

Η αρχή του περιοριστικού παράγοντα, που ισχύει για όλα τα βιολογικά συστήματα, σημαίνει ότι υπάρχουν ανώτατα και κατώτατα όρια για όλες τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την κομποστοποίηση. Έξω από αυτά τα όρια η διεργασία επιβραδύνεται σημαντικά ή και σταματά εντελώς. Ο περιοριστικός παράγοντας είναι εκείνος που βρίσκεται σε μικρή διαθέσιμη ποσότητα, εξαντλείται πρώτος, ή παίρνει πρώτος μη ευνοϊκές τιμές. Έτσι γίνεται εκείνος ο παράγοντας που περιορίζει την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για την κομποστοποίηση. Για να μην υπάρξουν προβλήματα στην κομποστοποίηση και να προχωρήσει η διεργασία με τον βέλτιστο τρόπο πρέπει να εξετάζονται όλες οι παράμετροι του συστήματος και να λαμβάνονται μέτρα ώστε να παραμένουν μέσα σε όρια κατάλληλα για την κομποστοποίηση (Compost-net, 2001)

2.4. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας

Κάποια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο, τόσο στο ξεκίνημα της κομποστοποίησης όσο και σε όλη τη διάρκειά της είναι:

2.4.1. Αερισμός

Η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία και ως τέτοια χρειάζεται παροχή αέρα για αναπλήρωση του οξυγόνου μέσα στη μάζα των αποβλήτων που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς. Για να είναι αποτελεσματικός ο αερισμός πρέπει τα απόβλητα να έχουν «δομή» ώστε να υπάρχουν κενά ανάμεσα στα σωματίδια της μάζας που κομποστοποιείται, όπου να μπορεί να εισχωρήσει εύκολα ο φρέσκος αέρας. Για το σκοπό αυτό συχνά προστίθενται διογκωτικά υλικά (άχυρο, τεμάχια ξύλου κ.α.), ιδίως όταν τα απόβλητα δεν έχουν από μόνα τους μια δομή (π.χ. λάσπη βιολογικών καθαρισμών). Όμως η οξυγόνωση δεν είναι η μοναδική λειτουργία του αερισμού. Εξ' ίσου βασικός είναι και ο ρόλος του στη διατήρηση της θερμοκρασίας του σωρού σε ευνοϊκά για την κομποστοποίηση επίπεδα (Baker et.al., 1999).

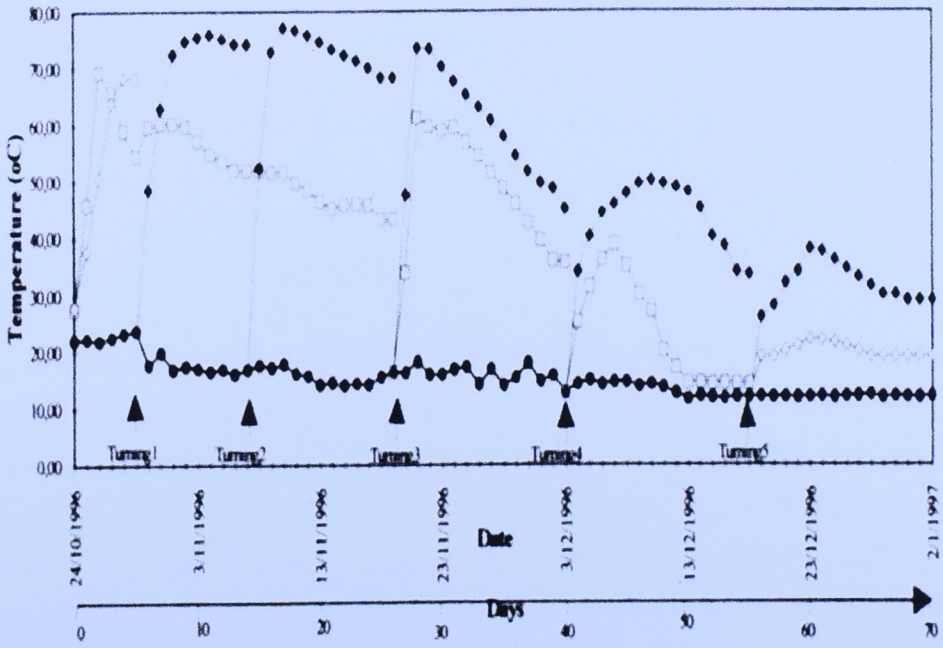
Όπως προαναφέρθηκε, κατά την κομποστοποίηση εκλύεται θερμότητα η οποία ανεβάζει τη θερμοκρασία του σωρού. Αν δεν ελεγχθεί, η θερμοκρασία

μπορεί να φτάσει σε απαγορευτικά για τους μικροοργανισμούς επίπεδα, ξεπερνώντας τους 70°C. Σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες, οι μικροοργανισμοί πεθαίνουν ή αδρανοποιούνται και η διεργασία επιβραδύνεται ή σταματά εντελώς και είναι στόχος του αερισμού να εμποδίσει την επιβράδυνση, διατηρώντας τη θερμοκρασία γύρω στους 55 °C. Η ποσότητα του αέρα που χρειάζεται για την ψύξη του σωρού είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για την οξυγόνωση. Καθώς ο ψυχρός εισερχόμενος αέρας θερμαίνεται, περνώντας μέσα από το σωρό, αυξάνει το σημείο κορεσμού του σε υδρατμούς. Έτσι, εξατμίζεται νερό μέσα από το σωρό και ελαττώνεται το ποσοστό υγρασίας του κομπόστ. Επιτυγχάνεται έτσι μια «βιολογική» ξήρανση των αποβλήτων, παράλληλα με τον μετασχηματισμό τους σε πιο σταθερές μορφές (Stediford, 2001). Στα απλούστερα συστήματα κομποστοποίησης, όπου δεν υπάρχει μηχανικός αερισμός του σωρού, τόσο η οξυγόνωση όσο και η ψύξη γίνονται με «γυρίσματα» (δηλαδή με κατάλληλη ανάδευση) του σωρού. Η συχνότητα του γυρίσματος εξαρτάται από το είδος των υλικών και το στάδιο της διεργασίας, και έχει πρωταρχικό στόχο τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σωρού. Η αλληλεξάρτηση ανάμεσα στην υγρασία και τον αερισμό προκύπτει από το γεγονός ότι ο αποτελεσματικός αερισμός της μάζας του κομπόστ στο σωρό εξαρτάται από τα διάκενα ανάμεσα στα σωματίδια του κομπόστ. Καθώς αυξάνει η υγρασία οι πόροι γεμίζουν νερό, τα διάκενα όπου μπορεί να κυκλοφορήσει ο αέρας μειώνονται και αρχίζουν να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες σε τμήματα του σωρού. Από την άλλη μεριά, η κομποστοποίηση είναι μια βιολογική διεργασία που οφείλεται κατά κύριο λόγο σε βακτήρια, των οποίων η μεταβολική δραστηριότητα πραγματοποιείται στην υγρή φάση. Θεωρητικά δεν υπάρχει ανώτατο όριο υγρασίας για τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών (Richard *et.al.,* 2002). Ωστόσο, οι τεχνικές δυσκολίες και η οικονομική επιβάρυνση που συνεπάγεται ο επαρκής αερισμός ενός υγρού, θέτουν ένα ανώτατο όριο στο ποσοστό υγρασίας, για βέλτιστη κομποστοποίηση. Η βέλτιστη υγρασία εξαρτάται εν μέρει από τη σύνθεση και τη φυσική δομή των υλικών προς κομποστοποίηση. Όμως ως γενικός κανόνας, η αρχική υγρασία πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο 55-70% και να μην αφήνεται να πέσει κάτω από 30-35%. Κάτω από 25% υγρασία, η μικροβιακή δραστηριότητα παρεμποδίζεται ισχυρά, ενώ κάτω από 10-15% σταματά τελείως. Μια συνέπεια της έλλειψης

νερού είναι ότι, καθώς εμποδίζεται η μικροβιακή δραστηριότητα, το υλικό δίνει μια ψευδή εικόνα σταθεροποίησης και μπορεί να διατεθεί ως έτοιμο κομπόστ στην αγορά (Hassen *et.al.*, 2001).

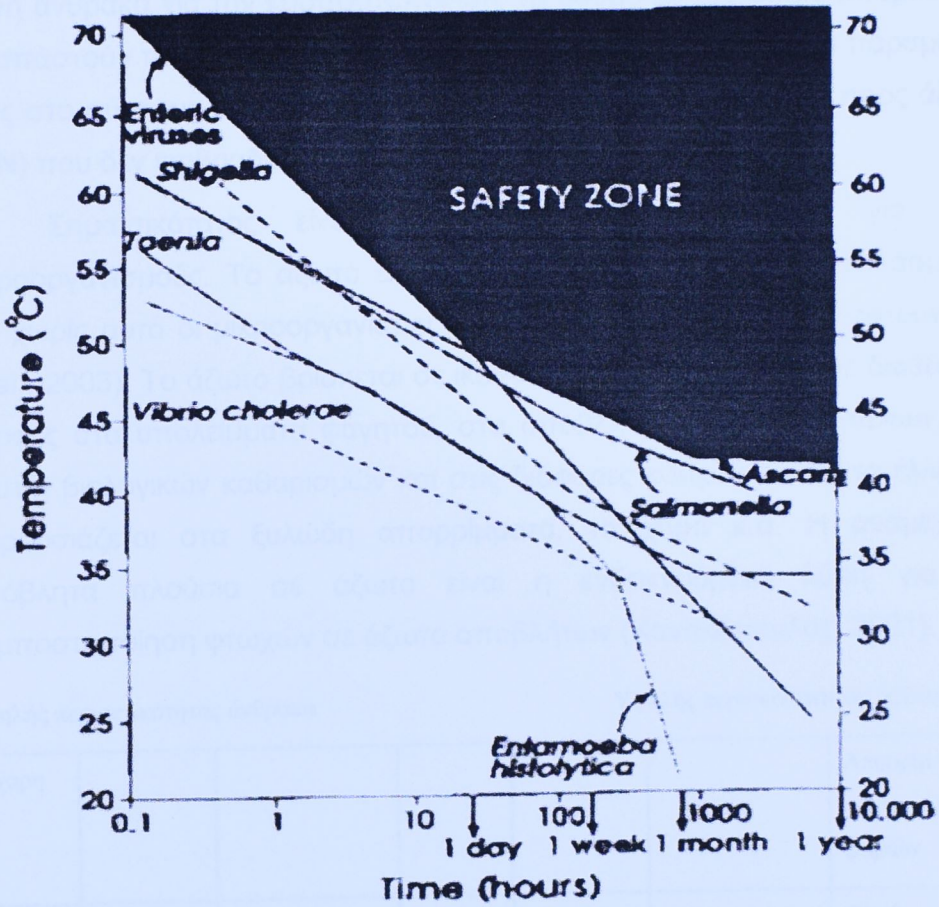
2.4.2. Θερμοκρασία

Καθώς οι μικροοργανισμοί αποδομούν τα οργανικά συστατικά στα απορρίμματα παράγεται θερμότητα η οποία εγκλωβίζεται στη μάζα του σωρού και ανεβάζει τη θερμοκρασία. Αρχικά η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, οι οποίοι παράγουν περισσότερη θερμότητα και αυξάνουν και άλλο τη θερμοκρασία. Όταν όμως η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 45-50°C, η δραστηριότητα των μικροοργανισμών αρχίζει να ελαττώνεται και πάνω από τους 75°C πρακτικά μηδενίζεται. Έτσι για να πετύχουμε το μέγιστο ρυθμό βιο-αποδόμησης των οργανικών υλικών, πρέπει να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία σε ευνοϊκά για τους μικροοργανισμούς επίπεδα (Hassen et.al., 2001,Stentiford, 2001).



Διάγραμμα 2.1: Μεταβολές στη θερμοκρασία στην καρδιά σειραδίων οργανικών υπολειμμάτων σε σύγκριση με την ατμοσφαιρική θερμοκρασία (Μανιός, 2001)

Ο άλλος ρόλος της θερμοκρασίας στην κομποστοποίηση είναι ότι η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες για κάποιο χρονικό διάστημα καταστρέφει πιθανούς παθογόνους οργανισμούς για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά. Πρέπει λοιπόν να ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία σε τέτοια επίπεδα ώστε αφ' ενός να μην παρεμποδίζεται η δραστηριότητα των ωφέλιμων μικροοργανισμών και αφ' ετέρου να καταστρέφονται αποτελεσματικά οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Μία θερμοκρασία γύρω στους 55 ^{o}C που θα διατηρηθεί για τουλάχιστον 3 ημέρες σε όλη τη μάζα του σωρού θεωρείται αρκετή για την καταστροφή των παθογόνων, για σταθεροποίηση και εξυγίανση (Adani *et.al.,* 1999, WHO, 2000). Έχει αποδεικτεί (Deportes *et.al.,* 1998, Sidhu *et.al.,* 1999, Garrec *et.al.,* 2002, Reinthaler *et.al.,* 2000) ότι η θανάτωσή τους δεν οφείλεται μόνο στην δράση της θερμοκρασίας αλλά και σε άλλα φαινόμενα και κυρίως στην ανταγωνιστική δράση των μικροοργανισμών, αφού είναι γνωστό ότι μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών παράγουν αντιβιοτικά στην προσπάθειά τους να κυριαρχήσουν έναντι ανταγωνιστικών μικροοργανισμών.



Διάγραμμα 2.2: Η θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών υπό την επίδραση της θερμοκρασίας.

2.4.3. Άνθρακας- Άζωτο

Ο άνθρακας δίνει την απαραίτητη ενέργεια στους μικροοργανισμούς, μέσω της οξείδωσης του κατά το μεταβολισμό, και είναι το σημαντικότερο συστατικό στη σύνθεση των τοιχωμάτων του κυττάρου και των άλλων κυτταρικών δομών (Μανιός, 2001). Στην οξείδωση του άνθρακα σε CO_2 οφείλεται το μεγαλύτερο μέρος της απώλειας μάζας κατά την κομποστοποίηση και η χαρακτηριστική έκλυση θερμότητας. Εκτός από το ποσοστό του άνθρακα στα απόβλητα, σημασία για την κομποστοποίηση έχει και η χημική του μορφή. Αυτή καθορίζει τη διαθεσιμότητα του άνθρακα, δηλ. τη δυνατότητα των μικροοργανισμών να τον αφομοιώσουν. Πρακτικά η διαθεσιμότητα του άνθρακα καθορίζει την καταλληλότητα των αποβλήτων ως

πηγή άνθρακα για την κομποστοποίηση, το ρυθμό με τον οποίο μπορούν να διασπαστούν τα απόβλητα - και συνεπώς τον απαιτούμενο χρόνο παραμονής τους στο σύστημα, και το ανώτατο όριο του λόγου του άνθρακα προς άζωτο (C/N) που δεν επιβραδύνει τη διεργασία (Stentiford, 2001).

Σημαντικότατος είναι και ο ρόλος του αζώτου για τους μικροοργανισμούς. Το άζωτο είναι βασικά συστατικό του πρωτοπλάσματος και χωρίς αυτό οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να πολλαπλασιαστούν (He et.al., 2003). Το άζωτο βρίσκεται σε ικανοποιητικό ποσοστό και σε διαθέσιμες μορφές στα υπολείμματα φαγητού, στα απόβλητα κήπων και πάρκων, στη λάσπη βιολογικών καθαρισμών και στις διάφορες κοπριές. Αντίθετα έλλειμμα παρουσιάζεται στα ξυλώδη απορρίμματα, το χαρτί κ.α. Η ανάμιξη με απόβλητα πλούσια σε άζωτο είναι η ενδεικνυόμενη λύση για την κομποστοποίηση φτωχών σε άζωτο αποβλήτων (Κανακόπουλος, 2001).

Υψηλής περιεκτικότητας άνθρακα — Υψηλής περιεκτικότητας αζώτου

Ζάχαρη						Απορρίμ-ματα ψαριών	Γρήγορης διαθεσι-μότητας
			Κοπριά αλόγων			Αυγά	
						Κοπριά πουλερι-κών	
					Οικιακά απορρίμματα		
				Κοπριά αγελάδων	Υπολείμματα λαχανικών		
	Χορτάρια						
	Άχυρα	Απορρίμματα κήπου			Ιλύς βιολογικών καθαρισμών		Βραδείας διαθεσι-μότητας
Πριονίδι		Φύλλα			Μαλλί		

Πίνακας 2.1: Κατάταξη υλικών

Η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N) είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους. Η βέλτιστη αναλογία για την κομποστοποίηση κυμαίνεται από 20 έως 30 μέρη διαθέσιμου άνθρακα προς 1 μέρος διαθέσιμου αζώτου. Υψηλότερες τιμές του λόγου C/N, επιβραδύνουν τη διεργασία της κομποστοποίησης. Κατά την ενεργή φάση της διεργασίας το πρόβλημα εκδηλώνεται με μείωση της παραγωγής θερμότητας. Όταν ο λόγος C/N είναι χαμηλότερος από περίπου 18-19/1, το πλεόνασμα του αζώτου χάνεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή αμμωνίας με αποτέλεσμα να μπορούν έτσι να προκληθούν δυσάρεστες οσμές, και να αυξηθεί το pH σε επίπεδα δυσμενή για την κομποστοποίηση (Hue and Sobieszczyk, 1999).

2.4.4. pH – Ηλεκτρική Αγωγιμότητα:

Το pH πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή 6 έως 9, αλλά επειδή πολύ σπάνια τα οργανικά υπολείμματα παρουσιάζουν τιμές εκτός αυτών των ορίων, το pH δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Το ίδιο συμβαίνει και με την ηλεκτρική αγωγιμότητα που έτσι και αλλιώς συνήθως είναι κάτω από 2 mS/cm (Μανιός, 2001).

Για τη μεγιστοποίηση, λοιπόν της απόδοσης της διαδικασίας της κομποστοποίησης, τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες που πρέπει να προσέξουμε: Να υπάρχει επαρκής αερισμός των υλικών, η θερμοκρασία να βρίσκεται περίπου στους 55°C για όσο το δυνατό περισσότερο χρονικό διάστημα και η υγρασία ανάμεσα στο 50-60%.

2.5. Η διαδικασία της κομποστοποίησης

Τη διαδικασία της κομποστοποίησης μπορούμε να τη χωρίσουμε σε τρεις φάσεις (Γιαννακοπούλου, 2001, Μανιός, 2001, Hassen *et.al.*, 2001, Lasaridi *et.al.*, 2000):

1η φάση:

Ξεκινά η διαδικασία με τη διάσπαση των πλέον απλών μορίων όπως σάκχαρα κυρίως από βακτήρια που αποτελούν και το κυρίαρχο είδος

μικροοργανισμών καθ' όλη τη διάρκειά της. Ψυχρόφιλοι και μεσόφιλοι μικροοργανισμοί είναι αυτοί που επικρατούν μαζί με κάποιους μύκητες αφού η θερμοκρασία ακόμα είναι χαμηλή. Επειδή οι διεργασίες αυτές είναι εξώθερμες, αυξάνουν γρήγορα τη θερμοκρασία (από 15-50°C, σε συνάρτηση φυσικά και με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος) και η φάση διαρκεί μικρό χρονικό διάστημα.

2^{η} Φάση:

Οι θερμοκρασίες έχουν φτάσει πάνω από 50 ^{o}C και τα βακτήρια που λειτουργούν κάτω από αυτές τις συνθήκες ονομάζονται θερμόφιλα. Αν αφήσουμε τη θερμοκρασία να αυξηθεί πολύ, τότε ακόμα και τα θερμόφιλα βακτήρια θα νεκρωθούν και θα έχουμε πτώση της βιολογικής δραστηριότητας και πτώση της θερμοκρασίας. Γι' αυτό όταν η θερμοκρασία πέφτει πρέπει να ανακατέψουμε το υλικό. Έτσι προσθέτουμε οξυγόνο και χαμηλώνουμε τη θερμοκρασία, ενώ φέρνουμε στο κέντρο του σωρού νέα υλικά προς αποδόμηση. Αν μετά την ανάδευση δεν έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας, μπορούμε να προσθέσουμε νερό, αν έχει πρόβλημα και η υγρασία, διαφορετικά σημαίνει ότι η θερμόφιλη φάση τα διαδικασίας έχει ολοκληρωθεί.

3^{η} Φάση:

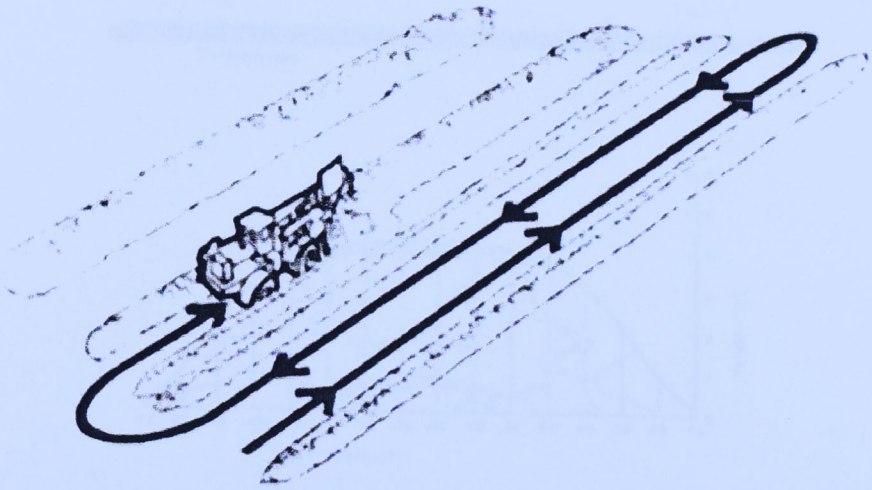
Είναι μια φάση μεσόφιλη, που η θερμοκρασία μειώνεται και αυτή τη φορά έχουμε την εμφάνιση μυκήτων και ακτινομυκήτων. Οι μικροοργανισμοί αυτοί προσβάλουν τα πλέον δύσκολα αποικοδομούμενα οργανικά μόρια, όπως αυτά της κυτταρίνης και της λιγνίνης. Οι διεργασίες αυτές είναι αρκετά πιο αργές γι' αυτό δεν έχουμε και εμφανή φυσικά αποτελέσματα όπως η αύξηση της θερμοκρασίας. Έτσι ολοκληρώνεται η αποδόμηση των οργανικών μορίων και η παραγωγή ενός πλούσιου σε οργανική αδρανή ουσία υλικού.

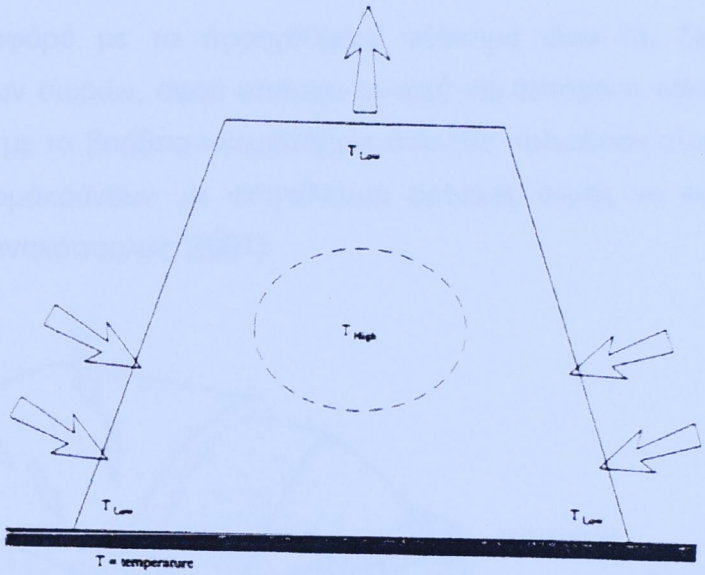
2.6. Συστήματα κομποστοποίησης

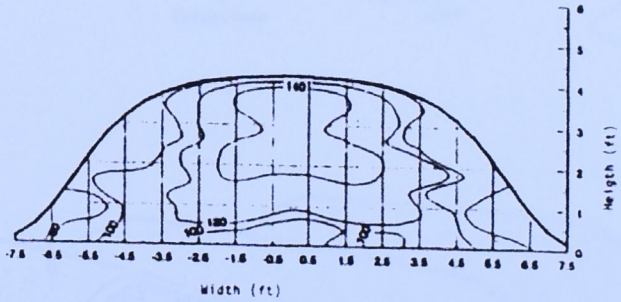
Τα πλέον συνηθισμένα και αποδοτικά συστήματα κομποστοποίησης για τη βελτιστοποίηση του ελέγχου και της εφαρμογής της διαδικασίας είναι τρία:

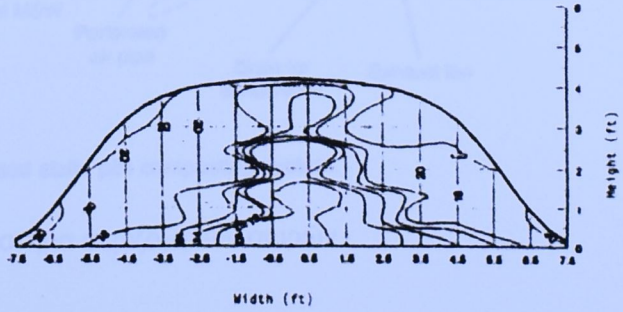
2.6.1. Σειράδια (windrow):

Το υλικό τοποθετείται σε μακρόστενους σωρούς που οι διαστάσεις τους ποικίλουν αλλά συνήθως διατηρούνται μεταξύ 3- 4 μέτρα πλάτος και 2-3 μέτρα ύψος. Η θερμοκρασία μπορεί να ελέγχεται αυτόματα ή χειρονακτικά και όταν φτάσει πάνω από 65°C, τότε με τη βοήθεια ειδικών μηχανημάτων ανακατεύεται ο σωρός προσθέτοντας αέρα στο σύστημα και κάποιες φορές και υγρασία. Στην πράξη η ανάδευση των σωρών γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα χωρίς να καθορίζεται από τη θερμοκρασία (Lasaridi et.al., 2000, Κανακόπουλος, 2001, Μανιός, 2001).





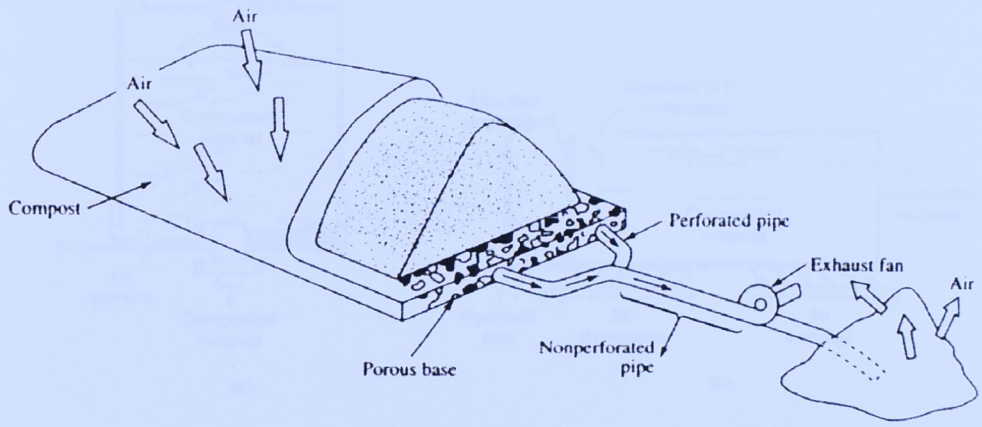


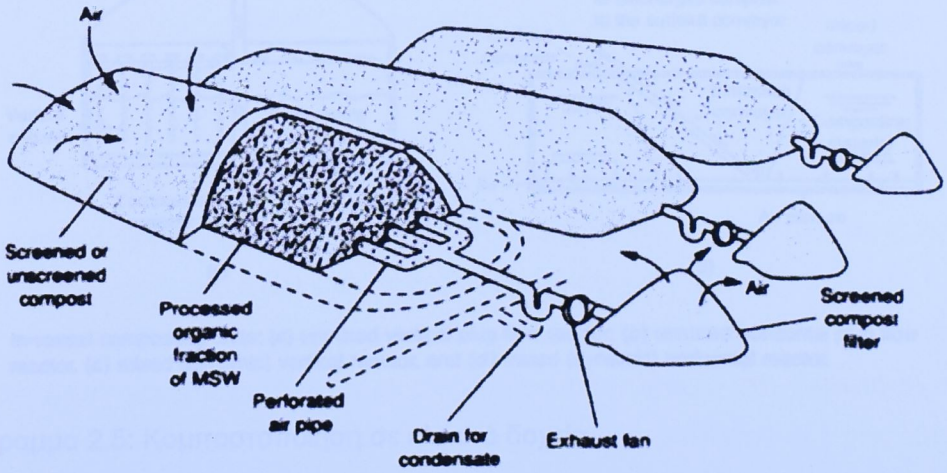


Διάγραμμα 2.3: Συστήματα σταθερών σειραδίων - windrow

2.6.2. Αεριζόμενοι σωροί (aerated static pile):

Η διαφορά με το προηγούμενο σύστημα είναι ότι δεν χρειάζεται ανάδευση των σωρών, αφού υπάρχει συνεχή και αυτόματη προσθήκη αέρα. Αυτό γίνεται με τα βοήθεια ανεμιστήρων που είτε προωθούν αέρα στο σωρό, είτε τον απομακρύνουν, με αποτέλεσμα φρέσκος αέρας να εισέρχεται στο σύστημα (Κανακόπουλος, 2001).



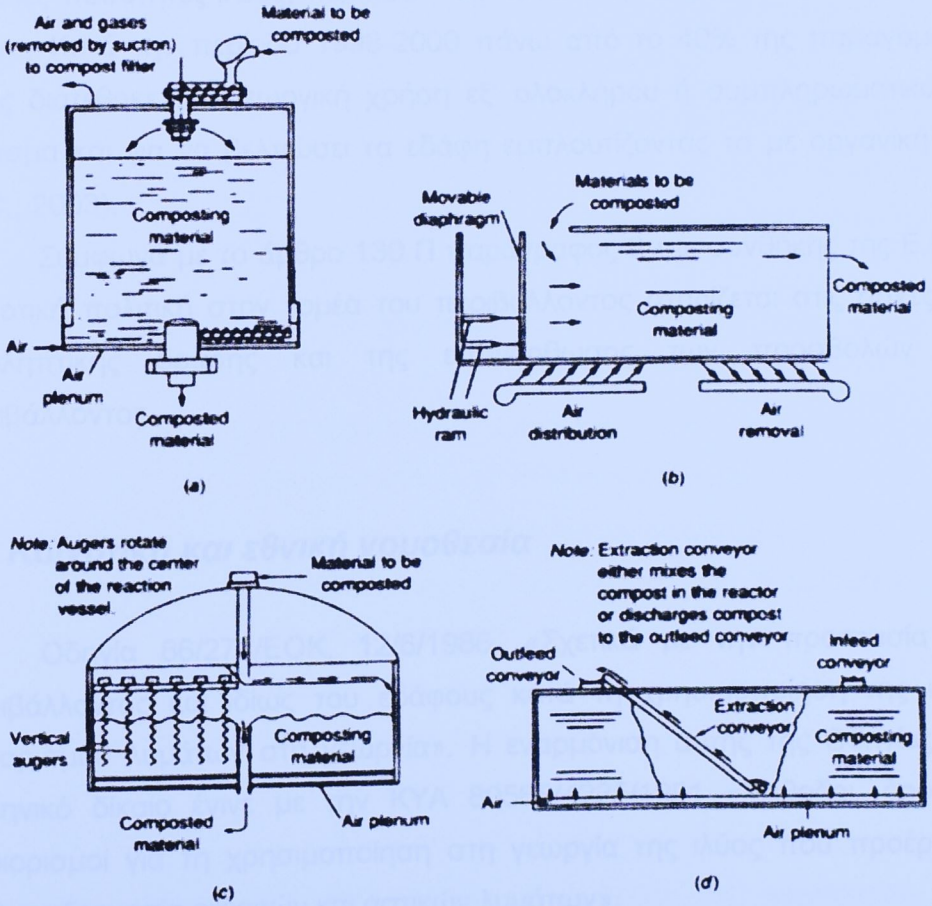


Schematic of aerated static pile composting system.

Διάγραμμα 2.4: Σύστημα αεριζόμενων σωρών

2.6.3. Σε δοχεία (in vessel composting):

Είναι το πιο καινούριο σύστημα κομποστοποίησης, όπου η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε κλειστά δοχεία με πλήρη έλεγχο της θερμοκρασίας, του αερισμού και της υγρασίας (Μανιός, 2001).



In-vessel composting units: (a) unmixed vertical plug flow reactor, (b) unmixed horizontal plug flow reactor, (c) mixed (dynamic) vertical reactor, and (d) mixed (dynamic) horizontal reactor.

Διάγραμμα 2.5: Κομποστοποίηση σε κλειστά δοχεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1. Γενικά

Κατά την επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων παράγονται μεγάλες ποσότητες ιλύος, περίπου 7 εκ. τόνοι στην Ευρωπαϊκή Ένωση κάθε χρόνο. Κατά την περίοδο 1998-2000 πάνω από το 40% της παραγόμενης ιλύος διατέθηκε για γεωργική χρήση εξ' ολοκλήρου ή συμπληρωματικά ως λίπασμα και για να βελτιώσει τα εδάφη εμπλουτίζοντάς τα με οργανική ύλη (Ε.C., 2003).

Σύμφωνα με το άρθρο 130 Π παράγραφος 2 της συνθήκης της Ε.Ε., η κοινοτική πολιτική στον τομέα του περιβάλλοντος στηρίζεται στις αρχές της προληπτικής δράσης και της επανόρθωσης των προσβολών του περιβάλλοντος.

3.2 Κοινοτική και εθνική νομοθεσία

Οδηγία 86/278/ΕΟΚ, 12/6/1986, «Σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία». Η εναρμόνιση αυτής της Οδηγίας στο Ελληνικό δίκαιο έγινε με την ΚΥΑ 80568/4225/1991 «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων».

Σκοπό έχουν να ρυθμίσουν την χρησιμοποίηση της ιλύος, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στη βλάστηση, στα ζώα και τον άνθρωπο. Αποσκοπεί επίσης στην ενθάρρυνση της ορθής επαναχρησιμοποίησης της ιλύος στον γεωργικό τομέα.

Ειδικότερα οι κύριες διατάξεις της οδηγίας είναι οι εξής:

- Δίνονται οι ορισμοί των εννοιών «ιλύς» (Ιλύς καθαρισμού λυμάτων, ιλύς που προέρχεται από σηπτικούς βόθρους και άλλα είδη ιλύος), «επεξεργασμένη ιλύς» (με βιολογική, χημική ή θερμική επεξεργασία, με μακροχρόνια αποθήκευση ή με οποιαδήποτε άλλη κατάλληλη διαδικασία, ώστε να μειωθεί σημαντικά η ικανότητα της προς

ζύμωση και ο κίνδυνος για την υγεία που προκύπτει από τη χρησιμοποίησή της) και «χρησιμοποίηση» (η διασπορά της ιλύος επί του εδάφους ή οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή της ιλύος επί και εντός του εδάφους) (άρθρο 2)

- Παρουσιάζονται οι τιμές συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο έδαφος και στην ιλύ και οι ανώτατες ετήσιες ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται στο έδαφος.

- Η ιλύς θα πρέπει να υφίσταται επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθεί στη γεωργία, αν και με ειδικές προϋποθέσεις που μπορούν να ορίζουν τα κράτη- μέλη μπορεί ανεπεξέργαστη να εγχέεται ή να παραχώνεται στο έδαφος.

- Απαγορεύεται η χρησιμοποίηση της ιλύος στις παρακάτω περιπτώσεις:

1. σε λειμώνες ή εκτάσεις καλλιέργειας ζωοτροφών, εφόσον πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για βοσκή ή οι ζωοτροφές πρόκειται να συγκομιστούν πριν από την πάροδο ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος. Το χρονικό διάσημα αυτό καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη την γεωγραφική και κλιματολογική τους κατάσταση, και σε καμιά περίπτωση δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τρεις εβδομάδες.
2. σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης, με εξαίρεση τις καλλιέργειες τω οπωροφόρων δένδρων.
3. σε εδάφη που προορίζονται για καλλιέργειες οπωροκηπευτικών, οι οποίες συνήθως βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και κανονικά καταναλίσκονται σε νωπή κατάσταση για περίοδο δέκα μηνών πριν τη συγκομιδή και κατά τη διάρκεια της συγκομιδής.

- Για τη χρησιμοποίηση της ιλύος πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες θρέψεως των φυτών και να μην υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους και των επιφανειακών και

υπόγειων υδάτων. Γι' αυτό τόσο για την ιλύ όσο και για τα εδάφη θα πρέπει να γίνονται δειγματοληπτικά οι κατάλληλες αναλύσεις.

- Τέλος η Οδηγία δίνει τη δυνατότητα στα κράτη- μέλη να θεσπίσουν αυστηρότερους όρους για τους τρόπους συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας και χρησιμοποίησης της ιλύος, καθώς και στις οριακές τιμές των βαρέων μετάλλων στην ιλύ και το έδαφος, εφόσον το επιθυμούν.

Πίνακας 3.1. Ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κομπόστ σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/ΕΟΚ.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΤΙΜΕΣ
Κάδμιο	10 mg/kg ξηρού βάρους
Χαλκός	500 mg/kg ξηρού βάρους
Νικέλιο	200 mg/kg ξηρού βάρους
Μόλυβδος	500 mg/kg ξηρού βάρους
Χρώμιο III	500 mg/kg ξηρού βάρους
ΧρώμιοVI	10 mg/kg ξηρού βάρους
Ψευδάργυρος	2000 mg/kg ξηρού βάρους
Αρσενικό	15 mg/kg ξηρού βάρους
Υδράργυρος	5 mg/kg ξηρού βάρους
PH	6- 8
Εντεροβακτήρια	Μηδέν
Περιεκτικότητα σε πλαστικό	< 0,3 ξηρού βάρους
Περιεκτικότητα σε γυαλί	< 0,5 ξηρού βάρους
Υγρασία	< 40%
Κοκκομετρική διαβάθμιση	Για το 90% κατά βάρος, μέγεθος <10mm

Πίνακας 3.2. Παράμετροι που εξετάζονται για την ιλύ και το έδαφος σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/ΕΟΚ.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΙΛΥΣ	ΕΔΑΦΟΣ
PH	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Ξηρά ουσία	ΝΑΙ	-
Οργανική ύλη	ΝΑΙ	-
Άζωτο και φώσφορος	ΝΑΙ	-
Υδράργυρος (Hg)	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Κάδμιο (Cd)	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Χαλκός (Cu)	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Νικέλιο (Ni)	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Μόλυβδος (Pb)	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Ψευδάργυρος (Zn)	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Χρώμιο (Cr)	ΝΑΙ	ΝΑΙ

Πίνακας 3.3. Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ που χρησιμοποιείται στη γεωργία σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/ΕΟΚ.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ (mg/kg ξηράς ουσίας)
Υδράργυρος (Hg)	16- 25
Κάδμιο (Cd)	20- 40
Χαλκός (Cu)	1000- 1750
Νικέλιο (Ni)	300- 400
Μόλυβδος (Pb)	750- 1200
Ψευδάργυρος (Zn)	2500- 4000
Χρώμιο (Cr^{+3})	500
Χρώμιο (Cr^{+6})	10

Η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ (21.5.1991) «Για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων», εναρμονίζεται στο ελληνικό δίκαιο με την ΚΥΑ 5673/400 «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων» (ΦΕΚ 192Β/14-3-1997).

Η Οδηγία αυτή αφορά τη συλλογή, την επεξεργασία και την απόρριψη των αστικών και βιομηχανικών λυμάτων. Σκοπός είναι η προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές συνέπειες που λαμβάνουν χώρα κατά την απόρριψη των λυμάτων.

Ειδικότερα οι κύριες διατάξεις είναι οι εξής:

- Δημιουργία δικτύων αποχέτευσης αστικών λυμάτων για οικισμούς με πληθυσμό άνω των 15.000 ως τις 31/12/2000 και το αργότερο ως τις 31/12/2005 για οικισμούς με πληθυσμό από 2.000 έως 15.000.

- Τα κράτη- μέλη θα πρέπει να φροντίσουν να υπάρχει δευτεροβάθμια ή σε ισοδύναμη επεξεργασία ως τις 31/12/2000 για όλες τις απορρίψεις λυμάτων από οικισμούς με ισοδύναμο πληθυσμό άνω των 15.000, ως τις 31/12/2005 για οικισμούς από 10.000 έως 15.000 κατοίκους και ως τις 31/12/2005 για τα λύματα που αποβάλλονται σε γλυκά νερά και σε εκβολές ποταμών, από οικισμούς με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 2.000 και 10.000.

Η τελευταία Οδηγία προωθώντας με μεγάλη ένταση τη δημιουργία νέων εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων, προδιαγράφει ουσιαστικά τον ταχύ ρυθμό αύξησης των παραγόμενων ποσοτήτων ιλύος. Σε αυτό το πλαίσιο δημιουργούνται συνεχώς οι προϋποθέσεις μιας προοδευτικής όξυνσης του θέματος περί ορθολογικού τρόπου διαχείρισης των υλικών αυτών. Μέχρι σήμερα η μόνη μέθοδος διαχείρισης της ιλύος είναι η απόρριψή της σε ΧΥΤΑ, η οποία όμως δημιουργεί συνθήκες κακής προοπτικής για τις τοπικές κοινωνίες.

Τέλος ψηφίζεται η Οδηγία 1999/31/ΕΚ (26.04.1999) «Περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων», η οποία προβλέπει χρονικά όρια μείωσης των βοαποικοδομήσιμων αστικών αποβλήτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ:

- από το 1995 ως το 2006:ελάττωση στο 75% κ.β.
- από το 2007 ως το 2009: ελάττωση στο 50% κ.β.

- από το 2010 ως το 2016: ελάττωση στο 35% κ.β.

Αυτό το χρονοδιάγραμμα πιέζει περισσότερο στην εξεύρεση και εφαρμογή λύσεων για την διαχείριση της παραγόμενης ιλύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

4.1 Γενικά

Η αρχή της γεωργικής χρησιμοποίησης των αστικών λυμάτων έχει μακρά ιστορία και συνίσταται στην επαναφορά στη φύση οργανικών υλικών ανθρώπινης προέλευσης και στην αποκατάσταση του οικολογικού κύκλου.

Η βιολογική επεξεργασία των αστικών λυμάτων στους βιολογικούς καθαρισμούς οδηγεί εκτός από τη δημιουργία ενός υγρού κλάσματος, στο σχηματισμό στερεού υλικού –της ιλύος- με ξηρά ουσία περίπου 25- 30%, πλούσιου σε χουμικά συστατικά και με αξιοσημείωτη περιεκτικότητα σε άζωτο (1,5- 3,5%), φώσφορο (0,75- 4,0%) και θρεπτικά συστατικά (Στάμος, 1995).

Η παραγωγή ιλύος στην Ε.Ε. με επίσημα στοιχεία για το έτος 1997 (EC, 2000) ήταν 7,7 εκατομμύρια τόνοι ξ.ο. και αναμένεται ότι το έτος 2005 οι ποσότητες αυτές θα φτάσουν τα 10,7 εκ. τόνους.

4.2. Παραγωγή κα αξιοποίηση ιλύος

Μεταξύ των χωρών της Ε.Ε. η Γερμανία (λόγω πληθυσμού) κατέχει την πρώτη θέση στην παραγωγή ιλύος (2,7 εκ. τ.) και ακολουθεί η Μεγάλη Βρετανία με μικρότερη από την μισή παραπάνω ποσότητα.

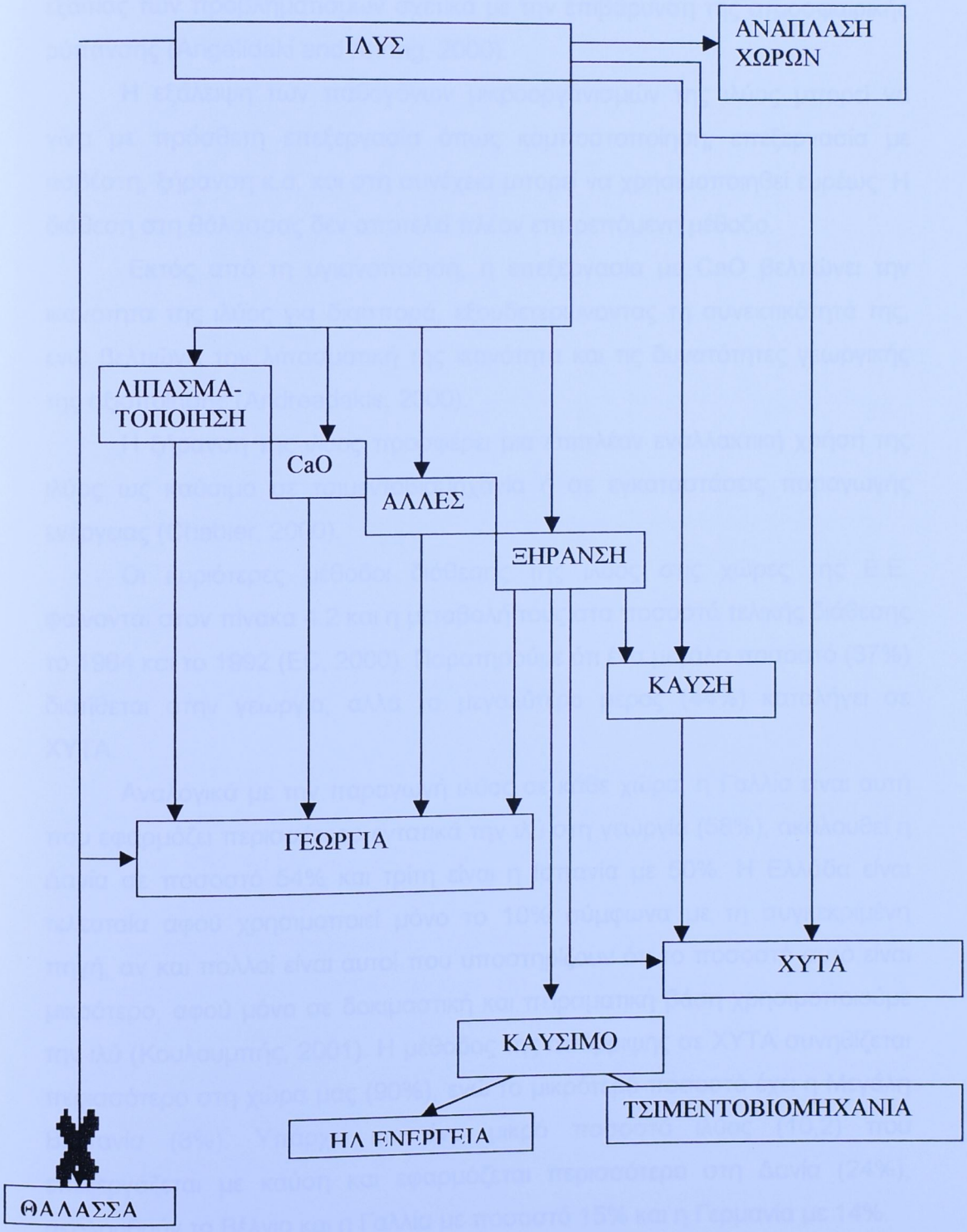
Η Ελλάδα το 1997 παρήγαγε 58.993 τόνους/ ξ.ο., από τους οποίους το μισό προέρχονταν από την Αττική. Το 1997 ήταν σε λειτουργία 138 συνολικά εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, με τις οποίες είχαν συνδεθεί συνολικά σχεδόν 6.000.000 άτομα, το 55% του συνολικού πληθυσμού. Το 1999 ήταν υπό ανέγερση 56 ακόμα εγκαταστάσεις και άλλες 22 ήταν σε φάση προγραμματισμού (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1997).

Πίνακας 4.1. Χώρα, πληθυσμός, παραγωγή και επαναχρησιμοποίηση της ιλύος για τα κράτη- μέλη της Ε.Ε. το 2005 (Ε.C., 2001)

Χώρα	Πληθυσμός (εκατ.)	Παραγωγή ιλύος 1000 t(d.w.)/ετ.	Επανα-χρησιμοποίηση	%
Φιλανδία	5,1	160	115	72
Σουηδία	8,9	-	-	-
Ιρλανδία	3,7	113	84	74
Ισπανία	39,4	1088	589	54
Ελλάδα	10,5	99	7	7
Αυστρία	8,1	196	68	35
Γαλλία	60,4	1172	765	65
Πορτογαλία	10,8	359	108	30
Δανία	5,3	200	125	63
Λουξεμβούργο	0,4	14	9	64
Ιταλία	57,6	-	-	-
Γερμανία	82	2786	1391	50
Μεγ. Βρετανία	58,6	1583	1118	71
Βέλγιο	10,2	160	47	29
Ολλανδία	15,8	401	110	27

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται συνοπτικά εναλλακτικές μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης και διάθεσης της ιλύος. Η σταθεροποιημένη (αναερόβια ή αερόβια) και αφυδατωμένη ιλύς αποτελεί τις περισσότερες φορές το τυπικό παραπροϊόν των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Η ιλύς αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διαμόρφωση τοπίων ή στη γεωργία αλλά με περιορισμούς και σε συνδυασμό με κατάλληλες λειτουργικές επεξεργασίες.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ



Διάγραμμα 4.1 Εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασία και διάθεσης της ιλύς.

Η αποτέφρωση, συχνά με ανάκτηση ενέργειας, αποτελεί μια εναλλακτική επιλογή, αν και αρκετά δαπανηρή, και όχι ιδιαίτερα δημοφιλής

εξαιτίας των προβληματισμών σχετικά με την επιβάρυνση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Angelidaki and Ahring, 2000).

Η εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών της ιλύος μπορεί να γίνει με πρόσθετη επεξεργασία όπως κομποστοποίηση, επεξεργασία με ασβέστη, ξήρανση κ.α. και στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως. Η διάθεση στη θάλασσας δεν αποτελεί πλέον επιτρεπόμενη μέθοδο.

Εκτός από τη υγιεινοποίηση, η επεξεργασία με CaO βελτιώνει την ικανότητα της ιλύος για διασπορά, εξουδετερώνοντας τη συνεκτικότητά της, ενώ βελτιώνει την λιπασματική της ικανότητα και τις δυνατότητες γεωργικής της αξιοποίησης (Andreadakis, 2000).

Η ξήρανση της ιλύος προσφέρει μια επιπλέον εναλλακτική χρήση της ιλύος ως καύσιμο σε τσιμεντοβιομηχανία ή σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας (Chabier, 2000).

Οι κυριότερες μέθοδοι διάθεσης της ιλύος στις χώρες της Ε.Ε. φαίνονται στον πίνακα 4.2 και η μεταβολή τους στα ποσοστά τελικής διάθεσης το 1984 και το 1992 (EC, 2000). Παρατηρούμε ότι ένα μεγάλο ποσοστό (37%) διατίθεται στην γεωργία, αλλά το μεγαλύτερο μέρος (44%) καταλήγει σε ΧΥΤΑ.

Αναλογικά με την παραγωγή ιλύος σε κάθε χώρα, η Γαλλία είναι αυτή που εφαρμόζει περισσότερο εντατικά την ιλύ στη γεωργία (58%), ακολουθεί η Δανία σε ποσοστό 54% και τρίτη είναι η Ισπανία με 50%. Η Ελλάδα είναι τελευταία αφού χρησιμοποιεί μόνο το 10% σύμφωνα με τη συγκεκριμένη πηγή, αν και πολλοί είναι αυτοί που υποστηρίζουν ότι το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο, αφού μόνο σε δοκιμαστική και πειραματική βάση χρησιμοποιούμε την ιλύ (Κουλουμπής, 2001). Η μέθοδος της απόρριψης σε ΧΥΤΑ συνηθίζεται περισσότερο στη χώρα μας (90%), ενώ το μικρότερο ποσοστό έχει η Μεγάλη Βρετανία (8%). Υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό ιλύος (10,2) που επεξεργάζεται με καύση και εφαρμόζεται περισσότερο στη Δανία (24%), ακολουθούν το Βέλγιο και η Γαλλία με ποσοστό 15% και η Γερμανία με 14%.

Πίνακας 4.2. Κυριότερες μέθοδοι τελικής διάθεσης ιλύς σε ορισμένες χώρες της Ε.Ε. (E.C., 2000).

Χώρα	Γεωργική διάθεση %		Υγειονομική ταφή %		Καύση %		Θαλάσσια διάθεση %	
	1984	1992	1984	1992	1984	1992	1984	1992
Αγγλία	53	44	16	8	7	7	24	30
Βέλγιο	28	29	51	55	21	15	0	0
Γερμανία	32	27	59	54	9	14	0	0
Δανία	44	54	30	20	26	24	0	0
Γαλλία	28	58	52	27	20	15	0	0
Ελλάδα	0	10	100	90	0	0	0	0
Ιταλία	34	33	55	55	11	2	0	0
Ιρλανδία	30	12	17	45	0	10	52	35
Ισπανία	62	50	10	35	28	5	0	10
Σουηδία	60	40	40	60	0	0	0	0
Ολλανδία	64	26	28	51	3	3	5	0
Μ.Ο.	37	36,4	44	41,4	9	10,2	7	5,7

4.3. Αξιοποίηση της ιλύος στη γεωργία.

Όπως φάνηκε και από τα προηγούμενα η γεωργική χρησιμοποίηση της ιλύος είναι ο σημαντικότερος τρόπος αξιοποίησής της. Τα πλεονεκτήματα που προκύπτον από αυτόν τον τρόπο αξιοποίησης είναι τα εξής (Κουλουμπής, 2001):

- ✓ Δημιουργείται σημαντική εξοικονόμηση χώρου και επιβράδυνση πλήρωσης των ΧΥΤΑ, εφόσον θα ελαττώσουμε τις ποσότητες της ιλύος που θα κατέληγαν εκεί.
- ✓ Η εκμετάλλευση του οργανικού φορτίου και των θρεπτικών συστατικών της ιλύος δημιουργεί προϋποθέσεις μείωσης των εφαρμοζομένων χημικών λιπασμάτων στα καλλιέργειες, ελάττωση των εισαγωγών και μείωσης του κόστους των προϊόντων, όπου αυτή εφαρμόζεται. Επίσης επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λιπασμάτων.
- ✓ Η εφαρμογή της ιλύος στο έδαφος βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Ειδικότερα, με αυτόν τον τρόπο βελτιώνονται οι συνθήκες εδαφογένεσης, η δομή του εδάφους, το

πορώδες και η κατανομή των πόρων, η διηθητικότητα και η βιολογική ενεργητικότητα του εδάφους, οι συνθήκες διαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών κ.α., ενώ επηρεάζει αρνητικά την πορεία της νιτροποίησης (Ε.C., 2003). Σε αυτό το πλαίσιο η εφαρμογή της ιλύος στο έδαφος μπορεί να προφυλάσσει τα εδάφη από τη διάβρωση και την ερημοποίηση, σημαντικότατα προβλήματα για την ελληνική γεωργία.

- ✓ Πολύ σημαντική εξοικονόμηση δαπανών, δεδομένου ότι η πρακτική αυτή συνιστά την οικονομικότερη μέθοδο διαχείρισης της ιλύος.

Η χρήσιμη εφαρμογή της ιλύος στο έδαφος έχει ιστορία πολλών δεκαετιών. Εκατοντάδες δήμοι στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α. έχουν αναπτύξει προγράμματα αγροτικής διάθεσης της ιλύος. Η αγροτική της χρήση έχει σημαντικό όφελος για τους δήμους καθώς προσφέρεται μια οικονομική λύση στο πρόβλημα διάθεσης της ιλύος, αλλά και για τους γεωργούς που προμηθεύονται ένα υλικό με υψηλή περιεκτικότητα στα περισσότερα θρεπτικά που απαιτούνται για την ανάπτυξη των καλλιεργειών σε τιμή σημαντικά κατώτερη από των χημικών λιπασμάτων. Έτσι μαζί με την προϋπόθεση μιας εξασφαλισμένης αγοράς, η χρήση της στο έδαφος εμφανίζεται μια πολύ ελκυστική λύση διάθεσης της ιλύος (Marmo, 2000).

Από την άλλη πλευρά η ιλύς είναι ένα βεβαρημένο από άποψης ρύπων υλικό. Η ανεπεξέργαστη ιλύς περιέχει το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού φορτίου των λυμάτων και φορτίου βαρέων μετάλλων, τοξικών ουσιών και δυνητικά μεγάλες συγκεντρώσεις παθογόνων μικροοργανισμών. Θα πρέπει, λοιπόν η εφαρμογή της στο έδαφος να γίνεται μετά την απαιτούμενη επεξεργασία και προσοχή (Ανδρεαδάκης, 2001).

Η αφυδατωμένη ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τους συμβατικούς κοπροδιασπορείς, ενώ σε υγρή κατάσταση (σπανίως) χρησιμοποιούνται μεγάλα βυτία. Επειδή όμως η ιλύς χαρακτηρίζεται συνήθως από ανεπιθύμητες οσμές, παθογόνους μικροοργανισμούς, σπόρια και ιούς μπορεί να προχωρήσει η επεξεργασία με CaO σε αναλογία περίπου 10- 20 kg/m^3, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας (52oC), εξ' αιτίας της πραγματοποιούμενης εξώθερμης αντίδρασης και την αύξηση του pH (11,5-12) (Κουλουμπής, 2001).

Ένας άλλος τρόπος αξιοποίησης της ιλύς για γεωργικούς σκοπούς είναι η κομποστοποίηση. Για την ομαλή πορεία της κομποστοποίησης στην ιλύ θα πρέπει να προστεθούν άλλα οργανικά υλικά σε δεδομένη αναλογία που να συντελούν στην εξασφάλιση ικανοποιητικών συνθηκών αερισμού και του λόγου C/N.

Πέρα από τη γεωργία η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλους αποδέκτες. Η εφαρμογή της ιλύος σε δασικές εκτάσεις δεν αποτελεί ακόμη συνηθισμένη πρακτική, αλλά είναι όχι μόνο εφικτή επιλογή αλλά και ιδιαίτερα ελκυστική καθώς προσφέρει μια διέξοδο απόθεσης διαφορετική από την απόθεση σε καλλιέργειες τροφίμων και ζωοτροφών, που σημαίνει ότι τα προβλήματα υγιεινής και οσμών δεν είναι τόσο περιοριστικά. Οι φάσεις χρησιμοποίησης της ιλύος σε δασικές εκτάσεις καθορίζονται από ένα συνδυασμό παραγόντων που έχουν σχέση με το αν η εφαρμογή της ιλύος θα αποδειχθεί θετική για την ανάπτυξη των δένδρων και αν είναι εύκολη η πρόσβαση στην έκταση αυτή (Ανδρεαδάκης 2001).

Η ιλύς μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς και στην αναμόρφωση εκτάσεων, αφού τα περισσότερα προβλήματα των διαταραγμένων περιοχών σχετίζονται με την καταστροφή της δομής του εδάφους, που έχει προκαλέσει η απογύμνωση, η αποθήκευση και η αντικατάσταση του χώματος με αποτέλεσμα συμπαγή, αφυδατωμένα και φτωχά σε θρεπτικά συστατικά εδάφη (Andreadakis, 2000, Angelidaki and Ahring, 2000).

Μια άλλη εφαρμογή της ιλύος είναι σε αστικό περιβάλλον για τη διαμόρφωση πάρκων, δημόσιων κήπων κ.α. Σε αυτή την περίπτωση όμως θα πρέπει να είναι ασφαλή όσον αφορά τα υγειονομικά κριτήρια και να μην δημιουργεί προβλήματα οσμών.

Όταν οι τιμές των βαρέων μετάλλων και άλλων παραμέτρων υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια, τότε η ιλύς δεν μπορεί να αξιοποιηθεί γεωργικά, όμως υπάρχουν και οι παρακάτω δυνατότητες. Μετά από αφυδάτωση, ξήρανση και θερμική επεξεργασία μπορεί η ιλύς να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την παραγωγή ασφάλτου, τσιμέντου και κεραμικών ειδών, με πλεονεκτήματα μεταξύ των άλλων την αποτελεσματικότητα και τη σημαντική μείωση του όγκου του υλικού, αλλά με κυριότερα μειονεκτήματα το υψηλό κόστος και το μεγάλο απαιτούμενο χρονικό διάστημα. Επίσης η ιλύς μπορεί εναλλακτικά μαζί με ανάμειξη άλλων

υλικών, λόγω της χαμηλής ενεργειακής τιμής της ιλύος, να χρησιμοποιηθεί σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις καύσης, χωρίς μεγάλη λειτουργική ενόχληση ή δημιουργία αξιόλογης αέριας ρύπανσης (Κουλουμπής, 2001).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Υλικά- προμήθεια

5.1.1 Προμήθεια υλικών

Η έρευνά μας διεξήχθη με σκοπό να διερευνήσει τις δυνατότητες κομποστοποίησης της ιλύος, ώστε να επιτύχουμε το βέλτιστο του ελέγχου της διαδικασίας και να προτείνουμε ορθολογικούς τρόπους αξιοποίησης του συγκεκριμένου υλικού. Γι' αυτό και το διογκωτικό μέσο που αναμείξαμε ήταν από τον ίδιο δήμο με την ιλύ, για να αξιοποιηθούν όλα τα τοπικά μέσα.

Η ιλύς προήλθε από το βιολογικό καθαρισμό της Κω, όπου με τη συνεργασία του δήμου της περιοχής συλλέχθηκαν και συσκευάστηκαν σε πλαστικό βαρέλι περίπου 40 λίτρα στις 10 Ιουλίου 2003. Η ημερομηνία αυτή είναι στα μέσα περίπου της θερινής τουριστικής περιόδου. Αυτό σήμαινε πρακτικά ότι ο βιολογικός καθαρισμός εξυπηρετούσε πολύ μεγάλο αριθμό πληθυσμού (κατοίκων και επισκεπτών), με αποτέλεσμα να μην προλαβαίνει να γίνεται η αφυδάτωση της ιλύος και το δείγμα μας είχε υδαρή όψη και πολύ έντονη οσμή. Σε 24 ώρες περίπου μετά την συσκευασία, έφτανε το βαρέλι στο Πειραιά με πλοίο και από εκεί μεταφέρθηκε με επιβατικό αυτοκίνητο στην Κηφισιά στο Κέντρο Γαία του Μουσείου Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας, εκεί δηλαδή που υπήρχαν οι βιοαντιδραστήρες που χρησιμοποιήσαμε για τη διαδικασία. Μαζί με τη λάσπη στάλθηκαν από το δήμο της Κω και δύο σακιά με τεμαχισμένα κλαδιά και φύλλα από κλαδέματα του ίδιου δήμου, για να χρησιμοποιηθούν ως διογκωτικά μέσα.

5.1.2 Προετοιμασία

Στο εργαστήριο μπορούσαμε να θέσουμε σε λειτουργία δύο αντιδραστήρες, οπότε έπρεπε να φτιάξουμε δύο μίγματα με διαφορετικές αναλογίες. Στον κύλινδρο 1 του βιοαντιδραστήρα είχαμε αναλογία ιλύος-

κλαδιά 1:1 κατ' όγκο, ενώ στον κύλινδρο 2 η αναλογία ήταν 1:2 αντίστοιχα. Με ειδικό κουβά, ο οποίος ανέγραφε επάνω την ποσότητα που θα χρησιμοποιούσαμε σε λίτρα και ζυγίζοντάς τον κάθε φορά που τον χρησιμοποιούσαμε, πήραμε τις επιθυμητές ποσότητες και ανακατέψαμε με οικοδομική παλάμη την ιλύ και τα τεμαχισμένα κλαδιά στις αντίστοιχες αναλογίες. Ο όγκος του μίγματος σε κάθε κύλινδρο ήταν σχεδόν 43lt (42,95lt) και το βάρος του στον κύλινδρο 1 ήταν 6,39 kg ενώ στον κύλινδρο 2 ήταν 5,54 kg.

5.2 Μέθοδος κομποστοποίησης- Παρακολούθηση διαδικασίας

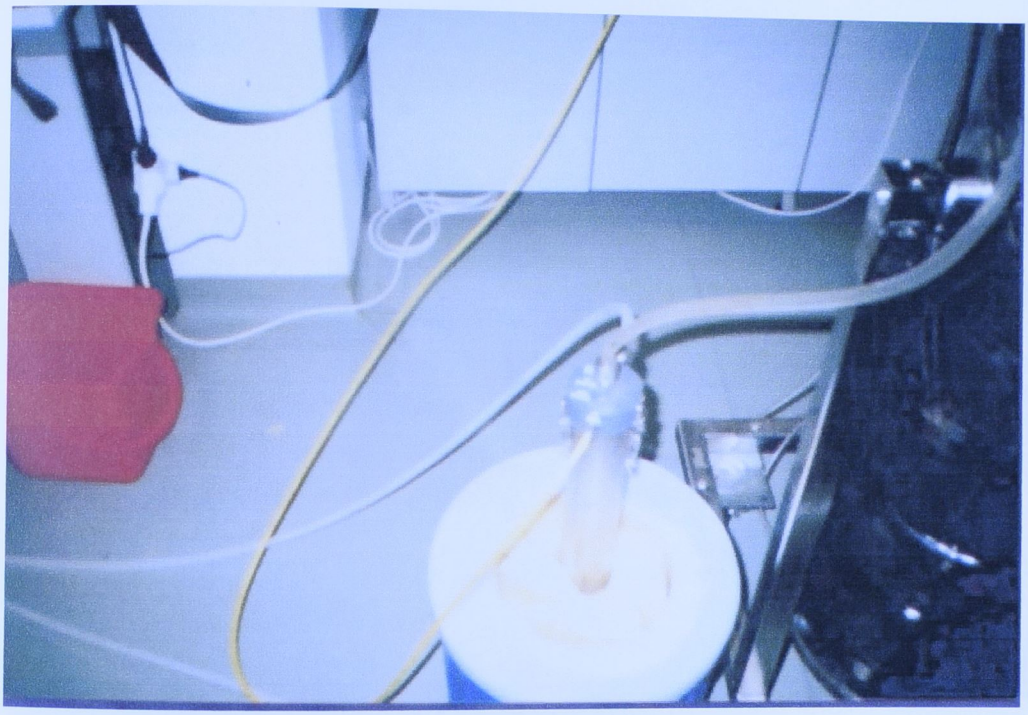
5.2.1. Περιγραφή συστήματος

Τα μίγματα από την ιλύ και τα τεμαχισμένα κλαδιά του δήμου της Κω κομποστοποιήθηκαν στο εργαστήριο Οικολογίας του Εδάφους και Βιοτεχνολογίας (Κέντρο Γαία) σε κλειστούς αντιδραστήρες της εταιρείας Columbus Instruments' Oxymax-C System με συνεχή και αυτόματη καταγραφή σε συνδεδεμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή της θερμοκρασίας, της ροής του αέρα, της κατανάλωση οξυγόνου και της κατανάλωσης του διοξειδίου του άνθρακα. Παρά τις συνεχείς δοκιμές και την παρουσία στο εργαστήριο ειδικού τεχνικού, δεν καταφέραμε να πάρουμε σωστές τιμές για την κατανάλωση του οξυγόνου.

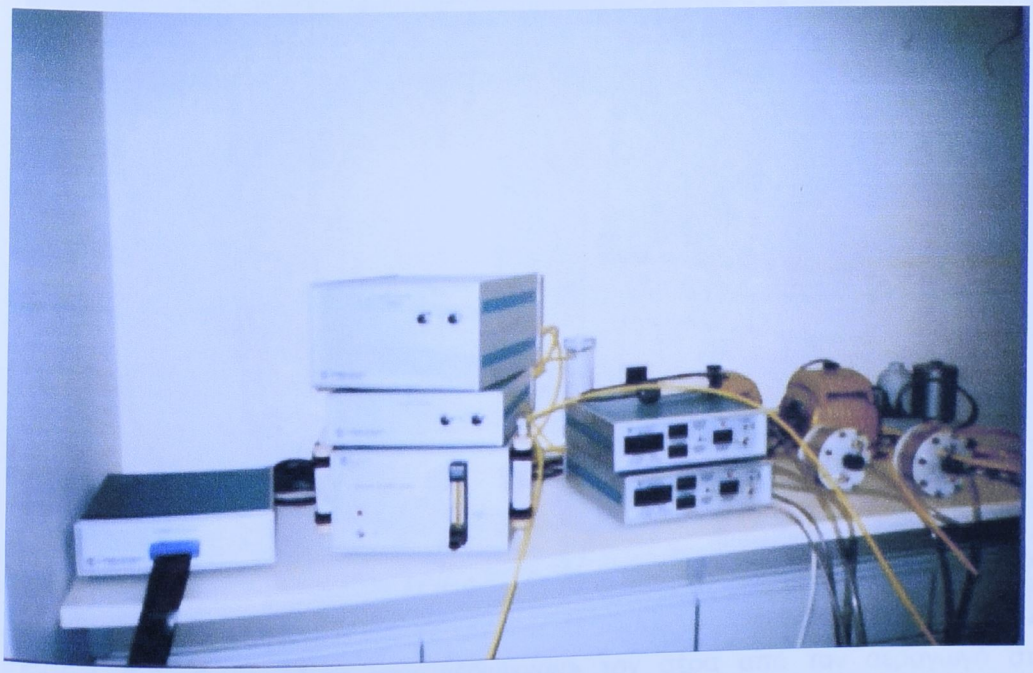
Ο αέρας έμπαινε σε κάθε κύλινδρο από το κάτω μέρος με τη βοήθεια μικρής αντλίας. Προεπιλέχθηκε η μέγιστη ροή του σε 3,0 lt/min, η ελάχιστη σε 0,5 lt/min και κατά τη δειγματοληψία του συστήματος για μέτρηση O_2 και CO_2 η ροή θα ήταν 0,2 lt/min. Για το σύστημα του αέρα έπρεπε να τοποθετήσουμε πάγο (που έπρεπε να αντικαθιστούμε κάθε δύο ημέρες) στο σωλήνα εξόδου του αέρα από κάθε κύλινδρο, ώστε να είναι σε ασφαλή για τους αισθητήρες των οργάνων θερμοκρασία. Στη συνέχεια με τη χρήση ανυδρίτη γινόταν ξήρανση του δειγματοληπτικού αέρα και αυτό για την ασφάλεια των αισθητήρων. Επίσης στον Η/Υ επιλέξαμε μάζα κάθε κυλίνδρου για να χρησιμοποιεί στους υπολογισμούς του τα 10.000 gr, που διορθώθηκε

αργότερα στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων στο EXCEL. Σε κάθε κύλινδρο υπήρχε θερμόμετρο, το οποίο ήταν τοποθετημένο σε βάθος περίπου 40 cm από την επιφάνεια του μείγματος και οι τιμές του καταγράφονταν στον ίδιο Η/Υ.

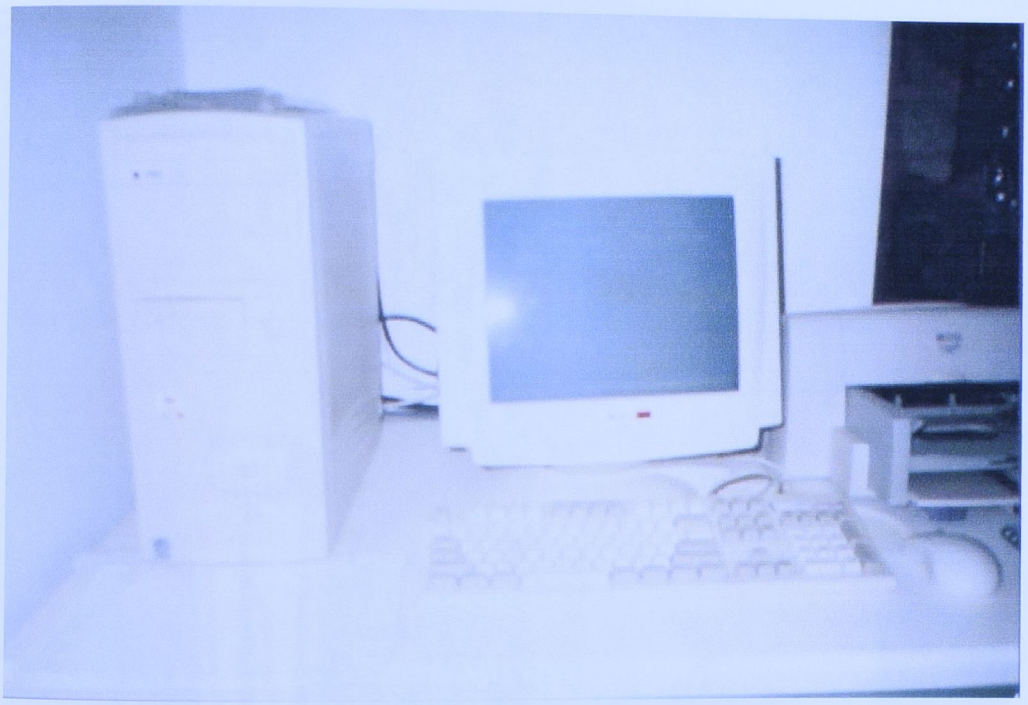
Εικόνα 5.1. Το σύστημα των κλειστών αντιδραστήρων που χρησιμοποιήσαμε.



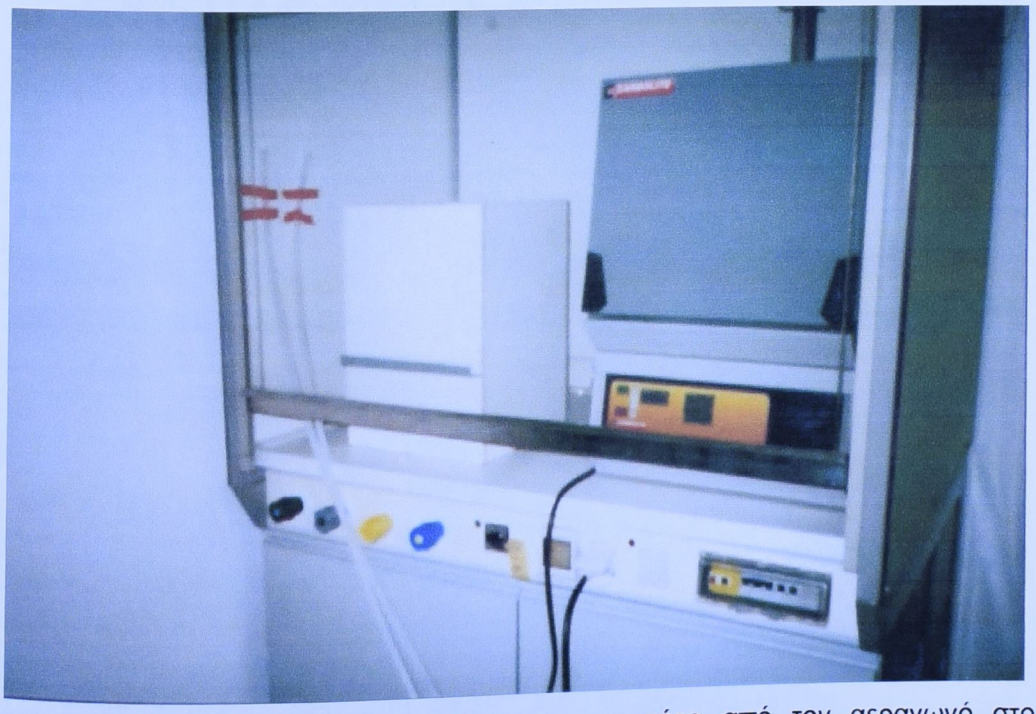
Εικόνα 5.2. Το δοχείο του πάγου, που κρύωνε τον αέρα για να περάσει με ασφάλεια από τους αισθητήρες των οργάνων.



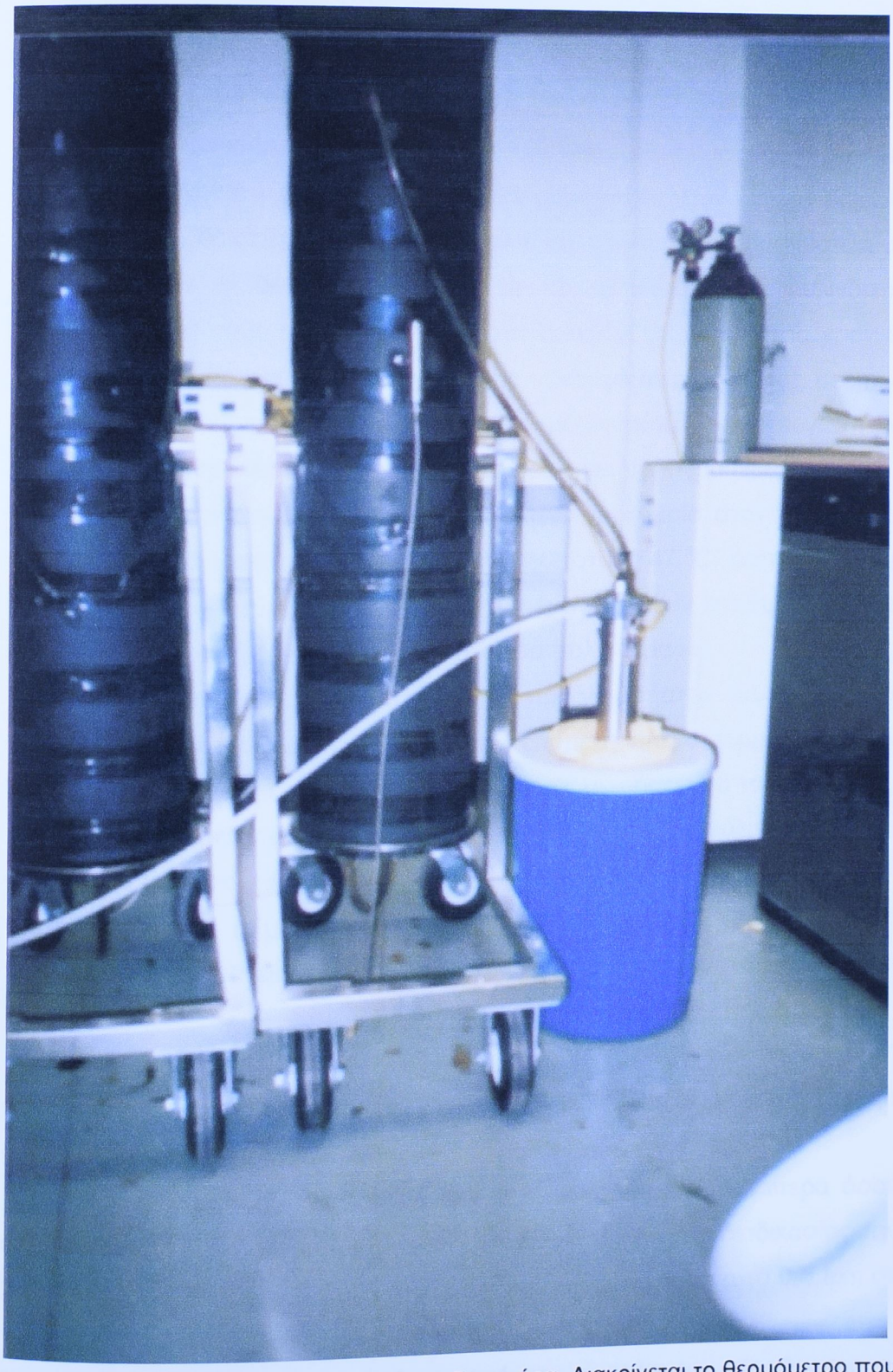
Εικόνα 5.3. Τα όργανα μέτρησης δεδομένων.



Εικόνα 5.4. Ο Η/Υ που γινόταν η καταγραφή δεδομένων.



Εικόνα 5.5. Οι σωλήνες που «έδιωχναν» τον αέρα από τον αεραγωγό στο περιβάλλον.



Εικόνα 5.6. Το σύστημα του κλειστού αντιδραστήρα. Διακρίνεται το θερμόμετρο που βρίσκεται στα 2/3 του ύψους του κυλίνδρου για την συνεχή καταγραφή των θερμοκρασιών.

5.2.2. Ημερολόγιο

Οι αντιδραστήρες ξεκίνησαν να λειτουργούν στις 11 Ιουλίου, όπου και πήραμε για ανάλυση φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών και για δοκιμές αναπνευστικής δραστηριότητας, δείγμα από την ιλύ και από τα μείγματα των δύο κυλίνδρων. Η δειγματοληψία μαζί με την αναστροφή των κυλίνδρων γίνονταν αρχικά κάθε πέντε ημέρες και στη συνέχεια σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Το δείγμα από κάθε κύλινδρο προερχόταν από βάθος περίπου 10-15 cm από την κορυφή τους και μεταφερόταν στο εργαστήριο Μικροβιολογίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου για την περαιτέρω ανάλυση.

Την πέμπτη ημέρα του πειράματος η θερμοκρασία στον κύλινδρο 1 ήταν 37°C αλλά μετά την αναστροφή ανέβηκε στους 47 °C, όση ήταν και η θερμοκρασία του δεύτερου κυλίνδρου, που έμεινε σχεδόν σταθερή πριν και μετά την αναστροφή. Ο κύλινδρος 1 είχε πάρα πολύ υγρασία.

Την όγδοη ημέρα παρουσιάστηκε πρόβλημα στον αισθητήρα του οργάνου που μετρούσε το CO_2, και την επόμενη ημέρα τερματίσαμε τον υπολογιστή. Η επανεκκίνηση έγινε αλλά χωρίς τις μετρήσεις για το CO_2.

Στη δειγματοληψία την ενδέκατη ημέρα στον πρώτο κύλινδρο υπήρχε ξανά πολύ υγρασία και μείωση του όγκου σχεδόν στά του αρχικού. Στον δεύτερο κύλινδρο η μείωση είναι πολύ μικρή και έχουν εμφανιστεί λευκά τμήματα στην επιφάνειά του. Οι θερμοκρασίες ήταν αντίστοιχα 45 °C και 43,5 °C.

Την 17η ημέρα, στην επόμενη δειγματοληψία στον κύλινδρο 1 υπάρχουν λευκά μέρη (συσσωματώματα). Στον κύλινδρο 2 έχουμε μύκητες σε αρκετά μεγάλο ποσοστό.

Η κατάσταση την 24η ημέρα δεν έχει διαφοροποιηθεί ιδιαίτερα όσον αφορά την όψη των μιγμάτων. Για την επιτάχυνση λίγο της διαδικασίας την 26η ημέρα αλλάξαμε την ένδειξη της ελάχιστης ροής του αέρα από 0,5 lpm σε 1,0 lpm.

Στο τελικό δείγμα 45 ημέρες μετά την έναρξη του πειράματος οι θερμοκρασίες ήταν στον 1 κύλινδρο 34 °C και στον 2 κύλινδρο 39 °C (θερμοκρασία περιβάλλοντος 30 °C). Στον πρώτο το μίγμα μύριζε αρκετά και είχε αρκετή υγρασία σε αντίθεση με τον δεύτερο κύλινδρο, όπου δεν υπήρχαν

σχεδόν καθόλου οσμές και όχι εμφανή σημάδια υγρασίας. Η μείωση του όγκου στο πρώτο μίγμα ήταν της τάξης του 13% ενώ στο δεύτερο είχαμε μεγαλύτερη μείωση 26,5%.

5.3 Μέθοδοι Αναλύσεων

5.3.1. Φυσικές και Χημικές Αναλύσεις

5.3.1.1. Υγρασία

Η υγρασία προσδιορίστηκε από την απώλεια βάρους δειγμάτων 10γρ. μετά από θέρμανση στους 105°C για 24 ώρες (FCQAO, 1994). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων εκφράζονται με βάση το ξηρό βάρος της ουσίας. Η ίδια μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και για τον προσδιορισμό των ολικών στερεών των δειγμάτων.

5.3.1.2. Πτητικά στερεά

Ο προσδιορισμός των πτητικών στερεών έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο ανάλυσης νερών και λυμάτων των Η.Π.Α. (APHA, 1992). Τα πτητικά στερεά προσδιορίζονται με καύση του ολικού στερεού υπολείμματος σε αποτεφρωτικό κλίβανο στους 550 °C για 4 ώρες και υπολογίζονται από την απώλεια βάρους μετά την πύρωση.

5.3.1.3. pH

Το pH των δειγμάτων προσδιορίστηκε σε υδατικά αιωρήματα με αναλογία 1:10 (10 γρ. δείγματος σε 100 ml απεσταγμένου νερού), τα οποία μετά από ισχυρή ανάδευση για 2 ώρες σε ανακινούμενο επωαστικό θάλαμο, διηθούνται και λαμβάνονται οι μετρήσεις από ηλεκτρονικό pH-μετρο (APHA, 1992; FCQAO, 1994).

5.3.1.4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Προσδιορίζεται από τα ίδια υδατικά αιωρήματα που χρησιμοποιήθηκαν και για τη μέτρηση του pH (APHA, 1992; FCQAO, 1994) και οι μετρήσεις

γίνονται με ηλεκτρονικό αγωγιμόμετρο με αυτόματη διόρθωση της θερμοκρασίας.

5.3.1.5. Βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα προσδιορίστηκαν από το Εργαστήριο της Οικολογίας του Εδάφους και Βιοτεχνολογίας στο Κέντρο Γαία του Μουσείου Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας με τη μέθοδο ICP. Πιο συγκεκριμένα έγιναν μετρήσεις για το κάδμιο, το χρώμιο, το χαλκό, το κάλιο, το μαγνήσιο, το νικέλιο, το φώσφορο, το μόλυβδο και το ψευδάργυρο και οι συγκεντρώσεις τους υπολογίστηκαν σε g μετάλλου ανά kg ξηρής ουσίας (g/kg dw), εκτός από το χρώμιο που μετρήθηκε σε ppm.

5.3.1.6. Άνθρακας και άζωτο

Ο άνθρακας και το άζωτο υπολογίστηκαν και αυτά από το Εργαστήριο της Οικολογίας του Εδάφους και Βιοτεχνολογίας στο Κέντρο Γαία του Μουσείου Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας με τη μέθοδο IRMS. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε % περιεκτικότητα του κάθε στοιχείου σε ξηρή μάζα του δείγματος.

5.3.2. Δοκιμές αναπνευστικής δραστηριότητας

5.3.2.1. SOUR (Specific Oxygen Uptake Rate)

Βασίζεται στις αλλαγές της συγκέντρωσης του οξυγόνου σε υδατικά διαλύματα 1:100 (5 γρ. δείγματος σε 500 ml απιονισμένου νερού), τα οποία αναδεύονται σε μηχανικό αναδευτήρα για 2 λεπτά και προστίθενται 15ml ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικών με pH 7,2 και 5ml από κάθε ένα από τα διαλύματα $CaCl_2$, $FeCl_3$ και $MgSO_4$. Στην κωνική φιάλη με το υδατικό διάλυμα βυθίζουμε το οξυγονόμετρο, που έχει κατάλληλο ηλεκτρόδιο συνδεμένο με εξωτερική πηγή τάσης και την τοποθετούμε σε μαγνητικό αναδευτήρα ενώ περιοδικά παρέχουμε αέρα χρησιμοποιώντας μικρή αντλία αέρα, για να αναπληρώσει την κατανάλωση οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς. Το

οξυγονόμετρο και η αντλία αέρα είναι συνδεμένα με Η/Υ όπου καταγράφονται οι μετρήσεις και ρυθμίζεται να παρέχεται ρυθμισμένος συνεχής αερισμός κάθε 20 λεπτά, ο χρόνος καταγραφής να γίνεται κάθε 15 λεπτά και χρόνος δειγματοληψίας να γίνεται για 1 λεπτό. Το πείραμα λαμβάνει χώρα για περίπου 20 ώρες. Η τιμή SOUR παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή κατανάλωσης οξυγόνου (Lasaridi and Stentiford, 1998). Τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (Δ.Ο.) εκφράζονται κατά την καταγραφή σε mg/l και αναλύθηκαν με EXCEL, όπου δεν λάβαμε υπόψη τις τρεις πρώτες και τις τρεις τελευταίες μετρήσεις. Η κλίση (slope) από τη γραμμική συσχέτιση του Δ.Ο. με τον χρόνο δίνει το ρυθμό κατανάλωσης του οξυγόνου με τον χρόνο. Το SOUR (mg O_2/g VS/h) παρουσιάζει το μέγιστο ρυθμό της κατανάλωσης του οξυγόνου και υπολογίζεται ως εξής:

$$SOUR=60*|SI_{max}|\ V/\ m*DS*VS,$$

Όπου 60 = για την αλλαγή από λεπτά σε ώρες, SI_{max}= απόλυτη μέγιστη κλίση ($mgO_2l^{-1}min^{-1}$), V= όγκος του διαλύματος (l), m= μάζα του δείγματος του κομπόστ(g), DS=% στερεό υπόλειμμα , VS=% πτητικά στερεά.

5.3.2.2. Solvita®

Είναι ένα εμπορικό τεστ ωρίμανσης του compost, που προσδιορίζει το CO_2 και την NH_3. Παρέχονται πλαστικά δοχεία τα οποία γεμίζουμε με δείγμα και τοποθετούμε μέσα δύο paddles, όπου αυτό για το CO_2 είναι μοβ αρχικά και αυτό για την NH_3 είναι κίτρινο. Αφού κλείσουμε τα δοχεία τα αφήνουμε σε θερμοκρασία δωματίου και μακριά από την ηλιακή ακτινοβολία για 4 ώρες. Στη συνέχεια βλέπουμε τι χρώμα έχουν τα paddles και τα συγκρίνουμε με τον οδηγό που παρέχεται από την εταιρεία (Woods End® Quality Seal Program).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως προαναφέρθηκε δύο μείγματα ιλύος από το βιολογικό καθαρισμό της Κω αναμειγμένα με τεμαχισμένα φύλλα και κλαδιά ως διογκωτικά υλικά σε αναλογία 1:1 κ.ο. για τον κύλινδρο 1, και 1:2 κ.ο. για τον κύλινδρος 2 κομποστοποιήθηκαν σε βιοαντιδραστήρες Oxymax-C (Columbus Instruments) χωρητικότητας 40l ο καθένας για 45 ημέρες. Στο πρώτο μείγμα η επεξεργασία συνεχίστηκε για δύο ακόμη μήνες με γαιοσκώλικες.

6.1. Θερμοκρασία:

Η εξυγίανση και η σταθεροποίηση μπορεί να επιτευχθεί αν η θερμοκρασία ξεπεράσει αρκετά τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά προσέγγιση αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία στο δείγμα κατά 10°C διπλασιάζουμε σχεδόν το ρυθμό των αντιδράσεων. Παρόλο που υπάρχουν αρκετές απόψεις για τη βέλτιστη θερμοκρασία κατά την κομποστοποίηση στον πίνακα φαίνεται τι ισχύει γενικά (Stentiford, 2001):

Πίνακας 6.1: θερμοκρασίες κατά την κομποστοποίηση

Θερμοκρασία	Αποτέλεσμα
<45 °C	Μέγιστη βιοδιασπαστική ικανότητα
45 έως 65 °C	Μέγιστος ρυθμός σταθεροποίησης
65 °C	Μέγιστος ρυθμός εξυγίανσης

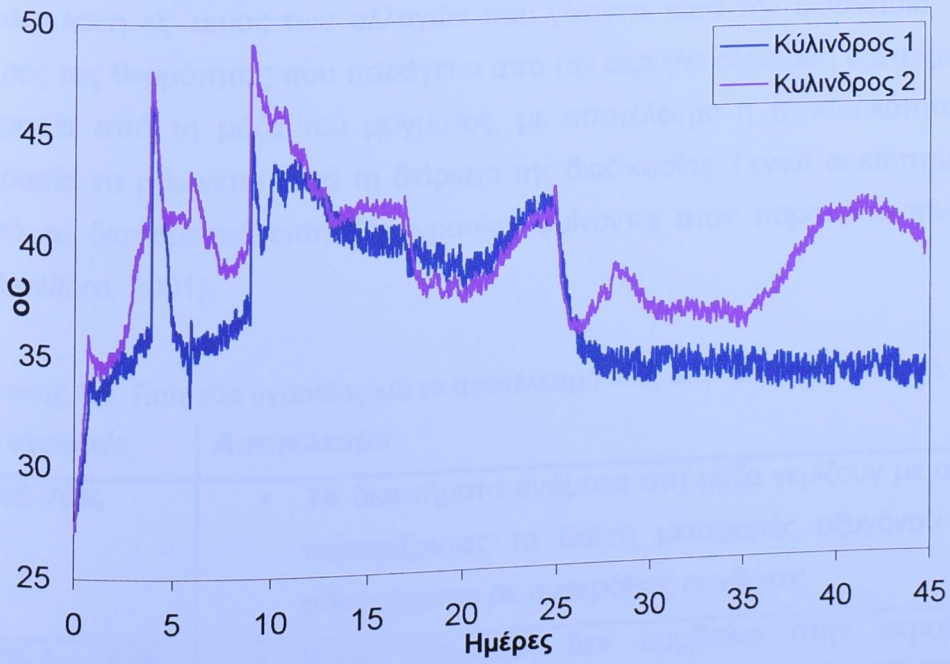
Σύμφωνα με την USEPA (1993) γενικά κατά την κομποστοποίηση ιλύος θα πρέπει αυτή να εκτεθεί σε θερμοκρασία πάνω από 55°C για τρεις ημέρες τουλάχιστον, ώστε να εξασφαλιστεί η ελαχιστοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Σε συστήματα σειραδείων (windrow) η επίτευξη τέτοιας θερμοκρασίας είναι σχετικά εύκολη. Έτσι μετά από 3-5 ημέρες από την αρχή της διαδικασίας αυξάνεται απότομα η θερμοκρασία φτάνοντας τους 55°C και μπορεί να διατηρηθεί σε αυτά τα επίπεδα για δύο περίπου εβδομάδες. Στη συνέχεια

μειώνεται και κυμαίνεται από 40-50 °C για άλλες δύο εβδομάδες περίπου και τέλος μειώνεται κι άλλο για να φτάσει μετά από 7-10 εβδομάδες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (Lasaridi *et.al.*, 2000). Παρόλα αυτά τα εξωτερικά μέρη των σωρών είναι πάντα ψυχρότερα και κατά τις αναδεύσεις υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να μην φτάσουν ποτέ κάποια από αυτά στο εσωτερικό του σωρού, ώστε να γίνει η θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Τέτοια πιθανότητα όμως δεν θεωρείται ότι επηρεάζει την ασφάλεια του προϊόντος, αφού και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν την καταστροφή των παθογόνων κατά την κομποστοποίηση (Meekings and Stentiford, 1999).

Σε ένα κλειστό σύστημα κομποστοποίησης οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται δεν είναι τόσο υψηλές και διατηρούνται για μικρότερο χρονικό διάστημα. Οι Lasaridi and Stamatiadis (2003) χρησιμοποιώντας κλειστό σύστημα κομποστοποίησης πέτυχαν μέγιστη θερμοκρασία σχεδόν 45 °C και μόνο για την μικρή περίοδο των 1-3 ημερών.

Στην περίπτωσή μας σε κλειστό σύστημα η μέγιστη θερμοκρασία για τον κυλινδρο1 έφτασε τους 47,5°C και για τον κυλινδρο2 μόλις που ξεπέρασε τους 49oC. Σχετικά μεγάλες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία των κυλίνδρων λάμβαναν χώρα κατά τις αναστροφές των κυλίνδρων. Μετά από κάθε αναστροφή η θερμοκρασία έπεφτε σχεδόν 5°C.



Διάγραμμα 6.1. Διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στους δύο κυλίνδρους κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης.

6.2. Υγρασία:

Η παρακολούθηση των διακυμάνσεων της υγρασίας είναι πολύ σημαντική για την σωστή εξέλιξη της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Η διαχείριση της υγρασίας απαιτεί ισορροπία ανάμεσα σε δύο λειτουργίες: την ενθάρρυνση της μικροβιακής δραστηριότητας και την επιτρεπόμενη προσφορά αρκετού οξυγόνου. Το νερό είναι βασικός παράγοντας στην αποικοδομητική διαδικασία και η έλλειψή του είναι ο πιο κοινός περιορισμός για τη μικροβιακή δραστηριότητα στα στερεά υποστρώματα. Συνθήκες χαμηλής υγρασίας περιορίζουν την κινητικότητα των βακτηρίων, ενώ η υπερβολική υγρασία γεμίζει τα μικρότερα διαστήματα μεταξύ των σωματιδίων, περιορίζοντας την μεταφορά του οξυγόνου (Richard *et.al.*, 2002). Η περιεκτικότητα σε υγρασία μοιάζει να είναι ο πιο εύκολος παράγοντας που μπορεί να λειτουργήσει σωστά, αλλά τα λανθασμένα επίπεδα υγρασίας αποτελούν την κυριότερη αιτία προβλημάτων που αναφέρονται για τη δημιουργία κομπόστ. Ο καθορισμός των επιπέδων υγρασίας είναι λίγο πολύπλοκη εξ' αιτίας των αλλαγών που γίνονται κατά την διαδικασία. Ένα μέρος της θερμότητας που παράγεται από την αερόβια οξείδωση εξατμίζει την υγρασία από τη μάζα του μείγματος, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα σε υγρασία να μειώνεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Γενικά οι επιπτώσεις από τα διαφορετικά επίπεδα υγρασίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. (Stentiford, 2001).

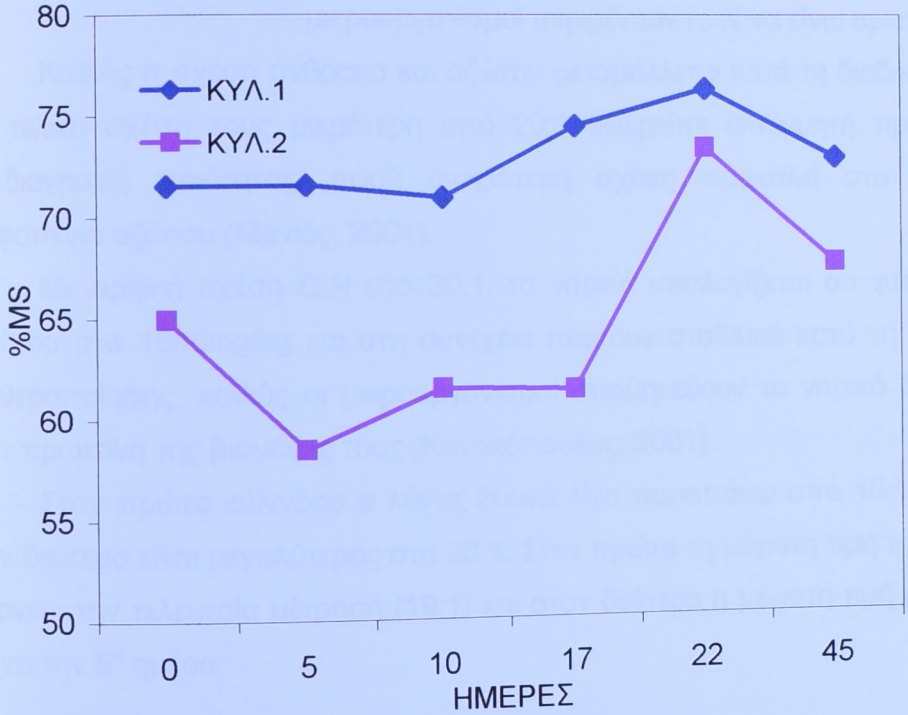
Πίνακας 6.2. Επίπεδα υγρασίας και το αποτέλεσμά τους στην κομποστοποίηση.

% υγρασία	***Αποτέλεσμα***
> 65-70%	▪ Τα διαστήματα ανάμεσα στη μάζα γεμίζουν με αέρα περιορίζοντας το δείκτη μεταφοράς οξυγόνου και οδηγούμαστε σε αναερόβιες συνθήκες.
40% έως 65%	▪ Καμία αναστολή δεν συμβαίνει στην αεροβική

	δραστηριότητα και η διαδικασία πραγματοποιείται στο βέλτιστο βαθμό για τη θερμοκρασία.
<35-40%	▪ Το επίπεδο είναι πολύ χαμηλό και η περισσότερη από τη μικροβιακή διαδικασία δεν πραγματοποιείται.

Η ιλύς είναι ένα υλικό με αρκετή υγρασία, συνήθως από 80- 85%, γι' αυτό θα πρέπει να προσθέσουμε άλλο υλικό με ελάχιστη υγρασία, όπως είναι τα φύλλα και τα κλαδιά. Θα πρέπει, λοιπόν να φτάσουμε σε επίπεδο υγρασίας κάτω από 65%. Ανάλογα με την αρχική υγρασία του μίγματος πραγματοποιείται ή παρακωλύεται η διαδικασία με ιδανική υγρασία το 55%. Επίσης ο ρόλος της υγρασίας εξαρτάται και από τη θερμοκρασία, όπου σε υψηλότερες θερμοκρασίες πετυχαίνεται καλύτερη σταθεροποίηση με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία (Baker *et.al.*, 1999, Richard *et.al.*, 2002).

Στον πρώτο κύλινδρο η υγρασία δεν έπεσε κάτω από το 70% καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, γεγονός που δεν ευνοεί ιδιαίτερα την εξέλιξη της κομποστοποίησης. Την περίσσεια της υγρασίας δεν την διαπιστώναμε μόνο μετά από τις εργαστηριακές αναλύσεις αλλά και κάθε φορά που ανοίγαμε τον κύλινδρο για τη συλλογή δείγματος. Στον κύλινδρο 2 μόνο προς το τέλος του πειράματος ξεπέρασε η υγρασία το 70%, ενώ σε όλη τη διάρκεια κυμαινόταν στα ιδανικά πλαίσια.



Διάγραμμα 6.2. Διακυμάνσεις του ποσοστού της υγρασίας κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης.

6.3. Λόγος C/N:

Η σχέση μεταξύ του άνθρακα και του αζώτου πρέπει στην αρχή της διαδικασίας να είναι περίπου 30 προς 1 για το γρήγορο ξεκίνημα της διαδικασίας. Η σχέση αυτή όμως κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ανατρέπεται ποικιλοτρόπως. Μέρος του άνθρακα οξειδώνεται σε CO_2, προσφέροντας ενέργεια στη διαδικασία και το υπόλοιπο του χρησιμοποιείται μαζί με το άζωτο για τη δημιουργία καινούριου υλικού (Stentiford, 2001). Αυτό που ισχύει γενικά είναι:

Χαμηλός λόγος C/N

- Το N τείνει να χάνεται ως αμμωνία, δημιουργώντας προβλήματα οσμών και μείωση του επιπέδου των θρεπτικών

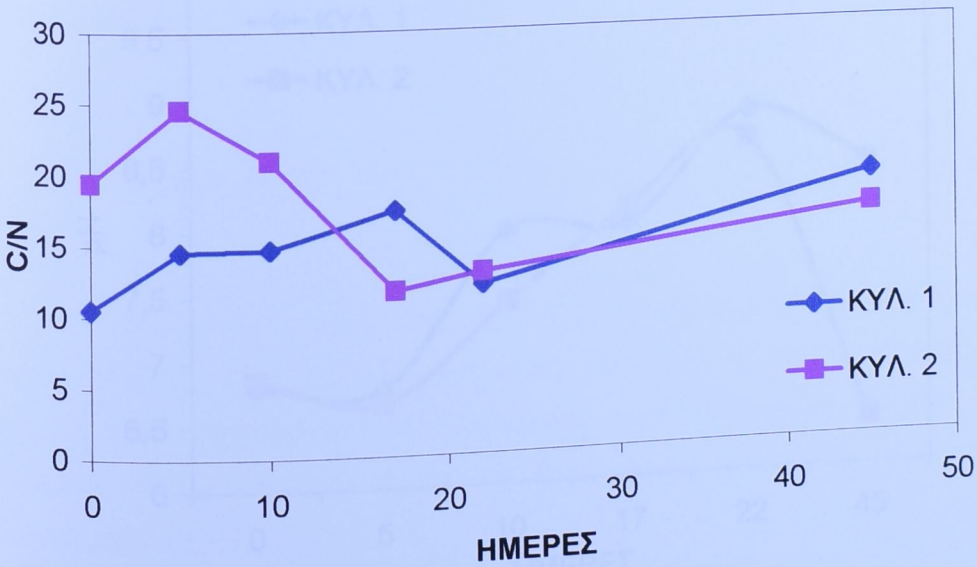
Υψηλός λόγος C/N

- Η διαδικασία επιβραδύνεται καθώς οι μικροοργανισμοί περιμένουν το N να είναι αρκετό.

Καθώς η σχέση άνθρακα και αζώτου μεταβάλλεται κατά τη διαδικασία, μια τελική σχέση τους μικρότερη από 20:1 θεωρείται επιθυμητή τιμή για προδιαγραφή ποιότητας, αφού υψηλότερη σχέση προκαλεί στα φυτά τροφοπενία αζώτου (Μανιός, 2001).

Με αρχική σχέση C:N στο 30:1, τα νιτρικά υπολογίζεται ότι φτάνουν περίπου στα 1000mg/kg και στη συνέχεια πέφτουν σταδιακά κατά τη φάση σταθεροποίησης, καθώς οι μικροοργανισμοί αποθηκεύουν το νιτρικό άζωτο στην πρωτεΐνη της βιομάζας τους (Κανακόπουλος, 2001).

Στον πρώτο κύλινδρο ο λόγος ξεκινά λίγο παραπάνω από 10:1, ενώ στον δεύτερο είναι μεγαλύτερος στα 20:1. Στον πρώτο τη μέγιστη τιμή του την παίρνει στην τελευταία μέτρηση (19:1) και στον δεύτερο η μέγιστη τιμή (25:1) φτάνει την 5η ημέρα.



Διάγραμμα 6.3. Διακυμάνσεις του λόγου C/N κατά την κομποστοποίηση.

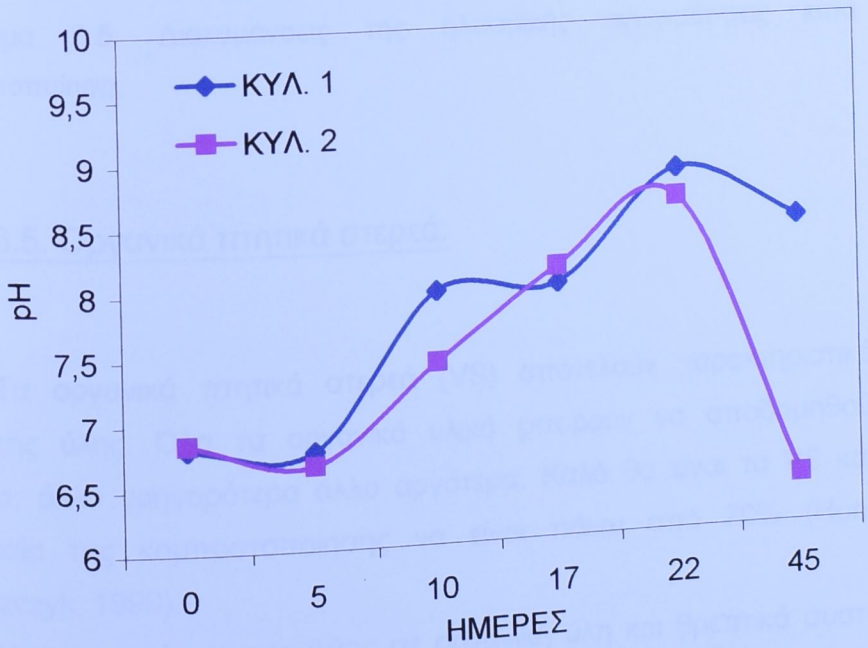
6.4. pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα:

Πολύ σπάνια το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα στη διαδικασία της κομποστοποίησης. Οι τιμές του

pH πρέπει να είναι ανάμεσα στο 6 και το 9 και η ηλεκτρική αγωγιμότητα κάτω από 2mS/cm. Στην πλειοψηφία τους τα οργανικά υπολείμματα παρουσιάζουν τιμές εντός αυτών των ορίων, επομένως το pH και η E.C. δεν αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες. Αν τύχει και έχουμε τιμές εκτός αυτών των ορίων, τότε πιθανόν να δημιουργηθεί πρόβλημα στο ξεκίνημα τουλάχιστον της διαδικασίας (Μανιός, 2001).

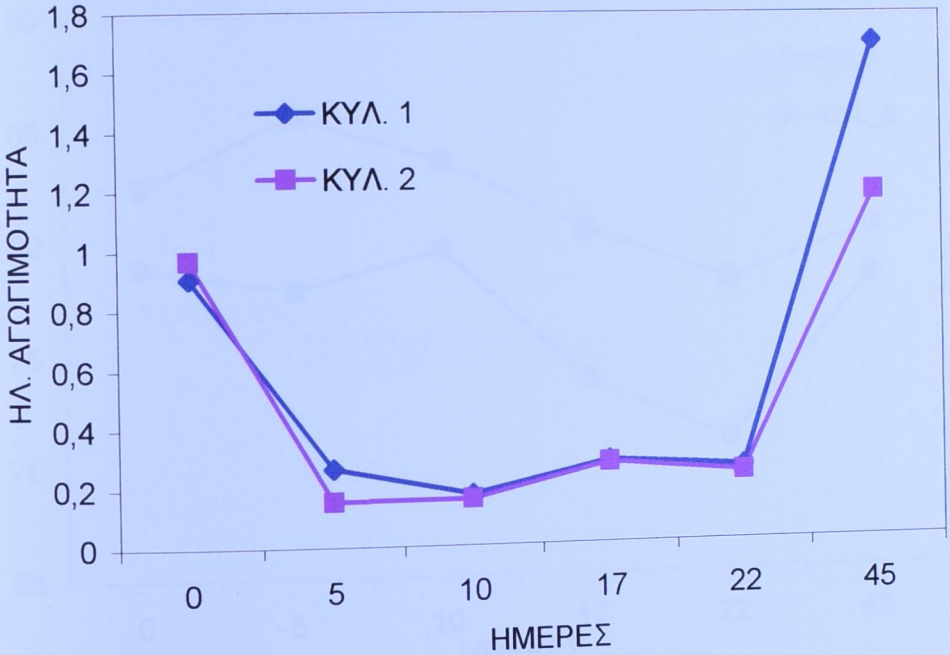
Οι επιθυμητές τιμές για το τελικό προϊόν είναι το pH κοντά στην ουδέτερη περιοχή και η ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από 4 mS/cm (Μανιός, 1998).

Στην περίπτωσή μας τόσο το pH όσο και η E.C. βρίσκονται μέσα στα προαναφερθέντα όρια, όπως παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα. Παρατηρούμε ότι το pH στο τελικό προϊόν του πρώτου κυλίνδρου είναι υψηλότερο από την ουδέτερη



ζώνη.

Διάγραμμα 6.4. Διακυμάνσεις του pH κατά την κομποστοποίηση.



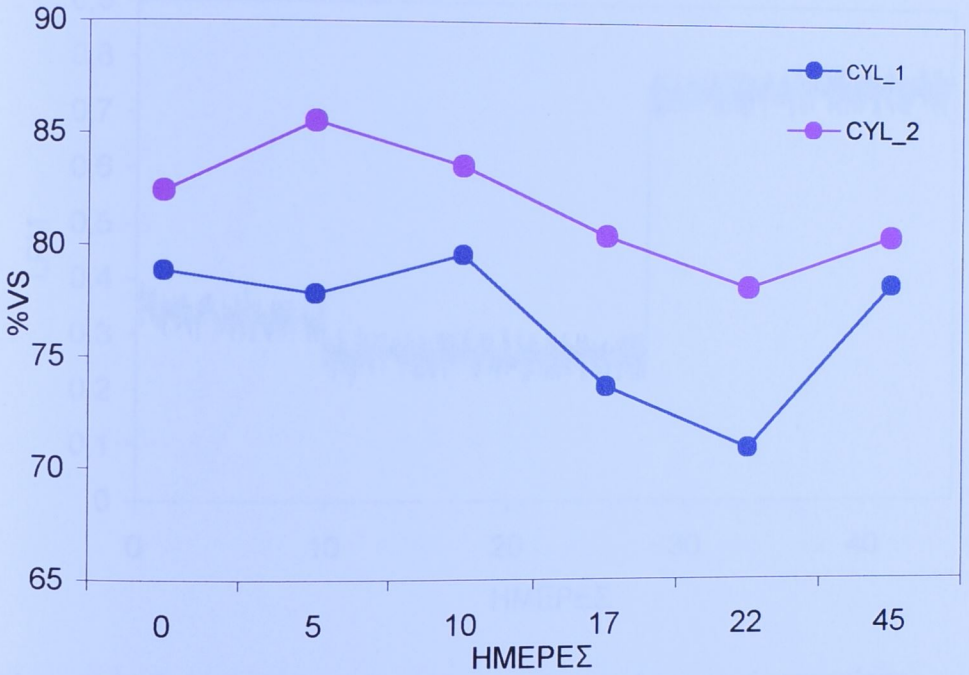
Διάγραμμα 6.5. Διακυμάνσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την κομποστοποίηση.

6.5. Οργανικά πτητικά στερεά:

Τα οργανικά πτητικά στερεά (VS) αποτελούν χαρακτηριστικό της οργανικής ύλης. Όλα τα οργανικά υλικά μπορούν να αποδομηθούν με επιτυχία, άλλο γρηγορότερα άλλο αργότερα. Καλό θα είναι τα VS κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης να είναι πάνω από 70% (Hue and Sobieszczyk, 1999).

Η περιεκτικότητα της ιλύος σε οργανική ύλη και θρεπτικά συστατικά, την καθιστά ως μια οικονομική λύση στο πρόβλημα διάθεσής της και για τους γεωργούς που προμηθεύονται ένα υλικό με υψηλή περιεκτικότητα συστατικών, που είναι χρήσιμα για τα φυτά (Ανδρεαδάκης, 2001)

Στην περίπτωσή μας όλες οι μετρήσεις των πτητικών στερεών ήταν πάνω από 70% και μάλιστα στον κύλινδρο 2 ήταν και πάνω από 80%. Αυτά τα επίπεδα είναι στη φυσιολογική διακύμανση που έχουμε σε παρόμοια δείγματα από άλλες μελέτες (Erhart and Burian, 1997).

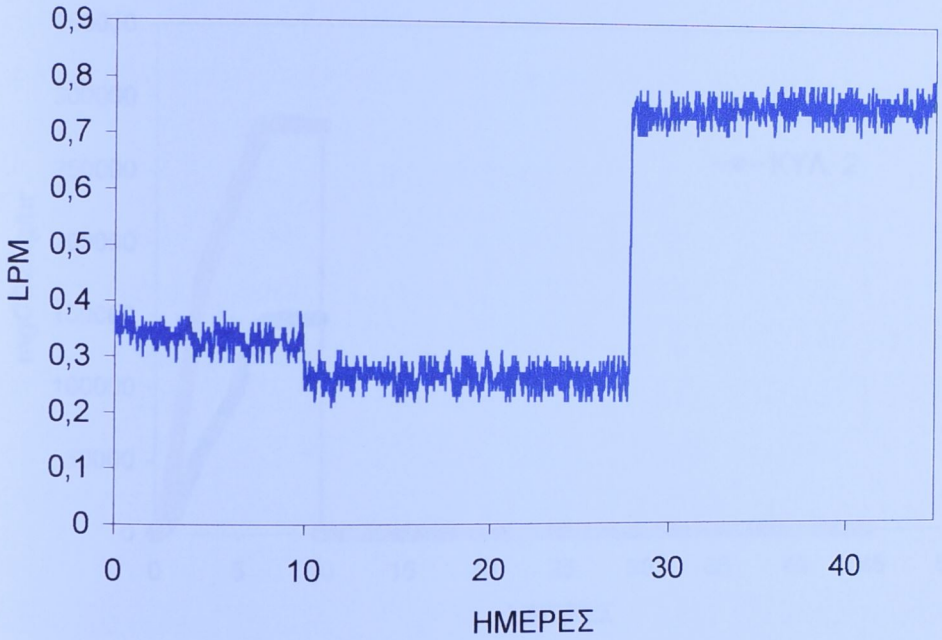


Διάγραμμα 6.6. Διακυμάνσεις πτητικών στερεών κατά την κομποστοποίηση.

6.6. Ροή του αέρα:

Η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία καθαρά αερόβια και ως τέτοια η παρουσία του αέρα τόσο στη έναρξη, όσο και στη διάρκεια αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Η έλλειψη του αέρα οδηγεί στη μείωση του ρυθμού αποδόμησης. Μαζί με την υγρασία αποτελούν τους πλέον σημαντικούς παράγοντες της κομποστοποίησης (Lasaridi and Stamatiadis, 2003).

Στο πείραμά μας η ροή το αέρα ήταν ελεγχόμενη και ίδια για τους δύο κυλίνδρους. Αρχικά ήταν περίπου 0,3 lpm, ενώ την 28 ημέρα την αυξήσαμε περίπου στο 0,75 lpm για επιτάχυνση της διαδικασίας.

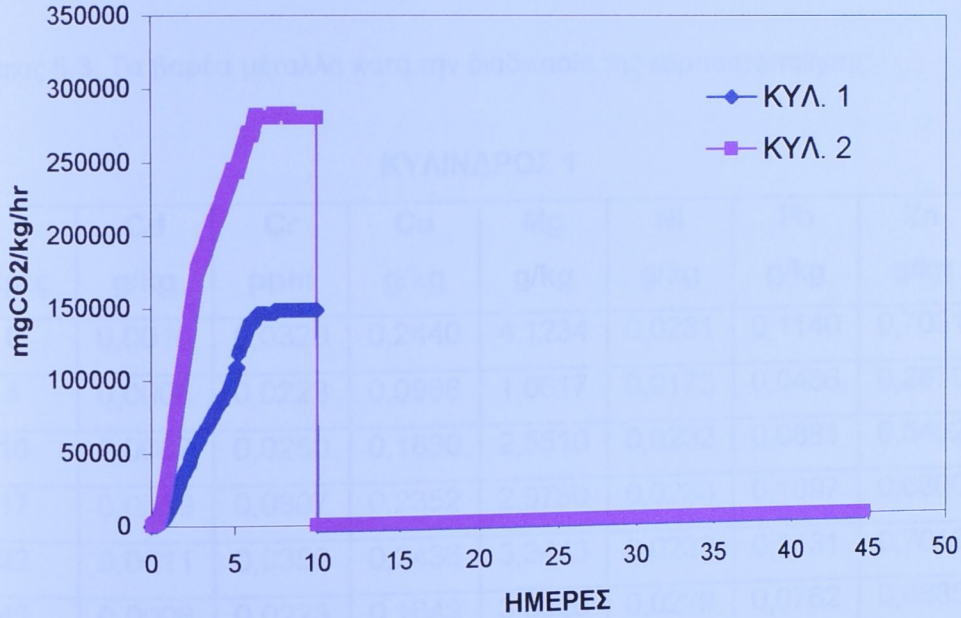


Διάγραμμα 6.7. Διακυμάνσεις της ροής του αέρα κατά την κομποστοποίηση.

6.7. CO_2:

Το CO_2 είναι το προϊόν της αερόβιας ζύμωσης των υλικών κατά την κομποστοποίηση και έτσι αποτελεί ένα δείκτη, που πρέπει να μετράται καθημερινά. Περίσσεια του CO_2 καταστρέφει τους μικροοργανισμούς γι' αυτό δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20%. Υψηλές τιμές καταγράφονται κατά τη διάρκεια της φάσης αποδόμησης, ενώ κατά τη φάση της σταθεροποίησης έχουμε σταδιακή μείωση της συγκέντρωσής του. Σε πείραμά τους οι Levanon και Pluda (2002) είχαν πτώση του CO_2 κατά 60% από τη φάση αποδόμησης στη φάση της σταθεροποίησης.

Στην περίπτωσή μας, ενώ αρχικά δεν αντιμετωπίζαμε πρόβλημα στη μέτρηση του CO_2, από την δέκατη ημέρα και μετά αναγκαστήκαμε να σταματήσουμε τη συγκεκριμένη μέτρηση. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι αυξάνονται οι μετρήσεις κατά τη φάση αποδόμησης.



Διάγραμμα 6.8. Αθροιστικό CO_2 κατά την κομποστοποίηση.

6.8. Βαρέα Μέταλλα:

Η ιλύς μπορεί να περιέχει σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων, όπως κάδμιο, χρώμιο, χαλκό, νικέλιο, μόλυβδο και ψευδάργυρο που αποτελούν δυνητικά τοξικές ουσίες για τα φυτά και τους ζωντανούς οργανισμούς (Μανιός, 1996). Τα ανώτερα επιτρεπτά όρια στο κομπόστ είναι δύσκολο να καθοριστούν με αποτέλεσμα να γίνονται σχετικά αυθαίρετα και να ποικίλουν από χώρα σε χώρα (Ε.C., 2001).

Στη περίπτωσή μας τα βαρέα μέταλλα τόσο στα αρχικά μείγματα όσο και στο τελικό προϊόν ήταν εντός των ορίων που προβλέπει η ελληνική νομοθεσία (ΚΥΑ114218/17-11-97) και ακόμη εντός των αυστηρότερων ορίων άλλων ευρωπαϊκών χωρών.

Πίνακας 6.3. Τα βαρέα μέταλλα κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης.

ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 1

Ημέρες	Cd g/kg	Cr ppm	Cu g/kg	Mg g/kg	Ni g/kg	Pb g/kg	Zn g/kg
0	0,0010	0,0329	0,2440	4,1234	0,0231	0,1140	0,7031
5	0,0006	0,0223	0,0988	1,0617	0,0173	0,0486	0,2879
10	0,0007	0,0250	0,1830	2,5510	0,0232	0,0881	0,5402
17	0,0009	0,0307	0,2352	2,9750	0,0283	0,1097	0,6880
22	0,0011	0,0350	0,2436	3,3446	0,0239	0,1131	0,7018
45	0,0008	0,0223	0,1649	3,3320	0,0229	0,0762	0,4885
ΟΡΙΑ Ε.Ε.	0,02-0,04	-	1- 1,75	-	0,3-0,4	0,75-1,2	2,5-4

ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 2

Ημέρες	Cd g/kg	Cr ppm	Cu g/kg	Mg g/kg	Ni g/kg	Pb g/kg	Zn g/kg
0	0,0080	0,0134	0,1805	2,3536	0,0175	0,0853	0,5187
5	0,0007	0,0121	0,0937	2,5154	0,0143	0,0414	0,2631
10	0,0002	0,0083	0,0678	2,8148	0,0059	0,0317	0,1867
17	0,0006	0,0176	0,1321	3,7316	0,0168	0,0603	0,3835
22	0,0007	0,0308	0,2014	4,3517	0,0184	0,0948	0,5839
45	0,0008	0,0218	0,1470	5,0099	0,0194	0,0664	0,4259
ΟΡΙΑ Ε.Ε.	0,02-0,04	-	1- 1,75	-	0,3-0,4	0,75-1,2	2,5-4

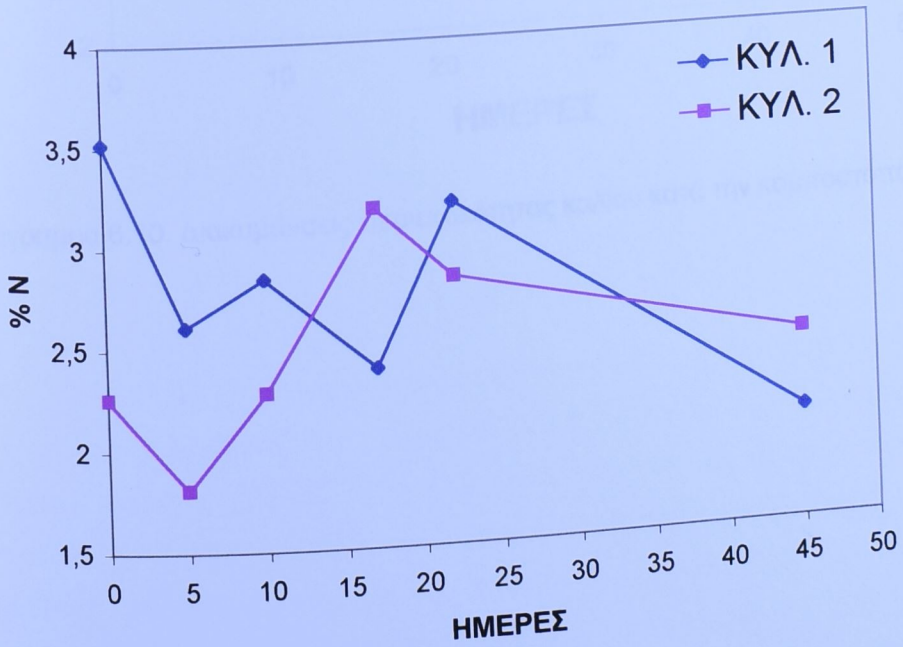
6.9. Θρεπτικά συστατικά:

Λόγω της περιεκτικότητας της ιλύος σε οργανική ύλη και θρεπτικά συστατικά η αγρονομική αξία της είναι σημαντική για πολλές καλλιέργειες, αρκεί βέβαια να τηρούνται τα όρια και των υπόλοιπων παραμέτρων (βαρέα μέταλλα, παθογόνοι μικροοργανισμοί κ.α.).

Η περιεκτικότητα σε άζωτο αυξάνει κατά την θερμόφιλη περίοδο, για να ακολουθήσει σταθεροποίηση των τιμών του κατά την φάση της ωρίμανσης (Levanon and Pluda, 2002).

Οι Lasaridi και Stamatiadis (2003) υποστηρίζουν ότι οι συγκεντρώσεις του αζώτου κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης διαφέρουν ανάλογα με την αρχική περιεκτικότητα του μείγματος. Έτσι όσο μικρότερη είναι η αρχική περιεκτικότητα **N** τόσο μικρότερες είναι και οι αλλαγές που παρατηρούνται στη συνέχεια.

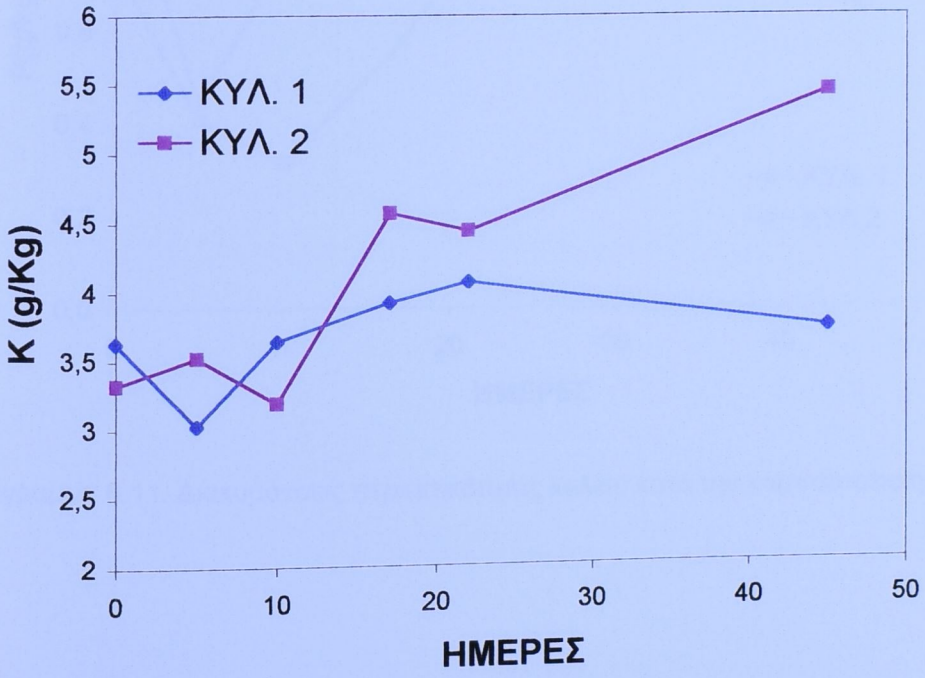
Ο κύλινδρος 1 είχε περισσότερο άζωτο από τον δεύτερο αρχικά αν και στο τέλος τα δεδομένα ήταν αντίστροφα. Παρόλα αυτά δεν παρατήσαμε μεγάλες διακυμάνσεις.



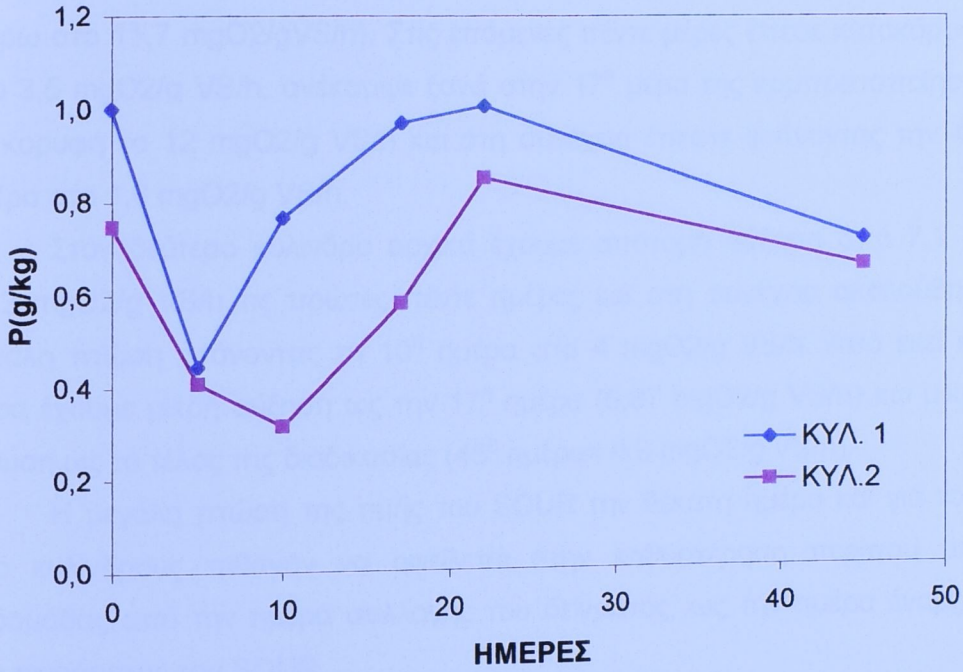
Διάγραμμα 6.9. Διακυμάνσεις της περιεκτικότητας του αζώτου κατά την κομποστοποίηση.

Ο φώσφορος και το κάλιο είναι από τα θρεπτικά συστατικά, τα οποία ενδιαφέρουν τους καλλιεργητές που θα θελήσουν να χρησιμοποιήσουν το

τελικό προϊόν. Γενικά δεν παρατηρούμε σημαντικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, όπως υποστηρίζουν και οι Hue και Sobieszczyk (1999).



Διάγραμμα 6.10. Διακυμάνσεις περιεκτικότητας καλίου κατά την κομποστοποίηση.



Διάγραμμα 6.11. Διακυμάνσεις περιεκτικότητας καλίου κατά την κομποστοποίηση

6.10. Δείκτες ωριμότητας:

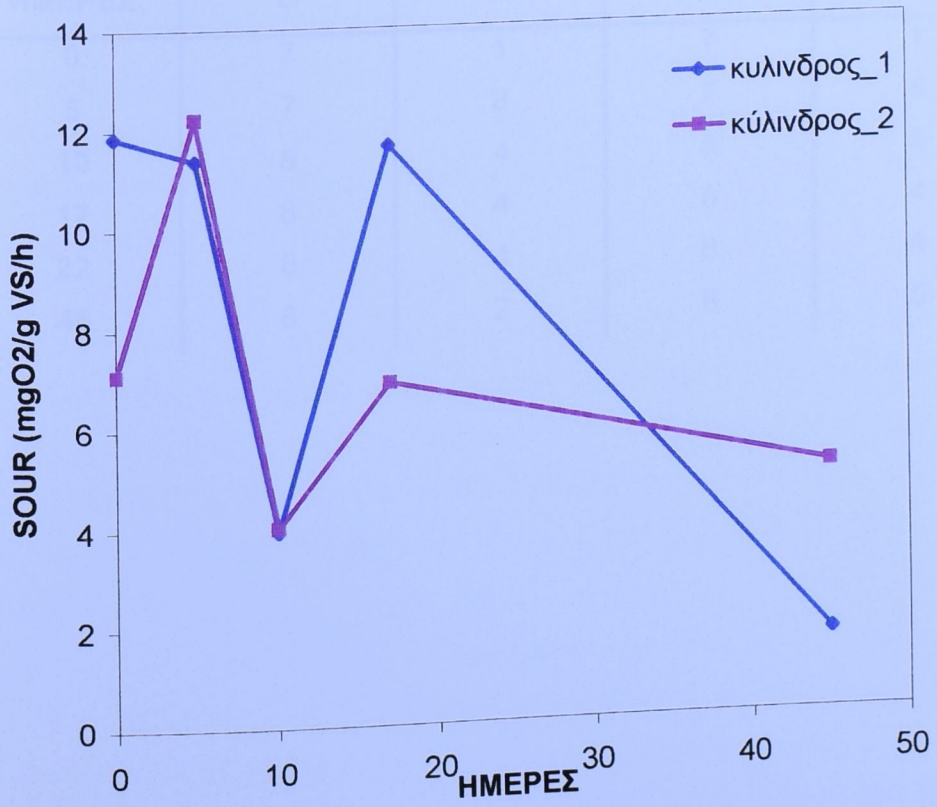
α) SOUR

Το SOUR είναι μια απλή τεχνική για την εκτίμηση της ωριμότητας του κομπόστ, καταγράφοντας τις αλλαγές στην συγκέντρωση του οξυγόνου σε ένα υδατικό διάλυμα με συνθήκες βέλτιστης μικροβιακής δραστηριότητας και μέγιστων ρυθμών αντιδράσεων. Το πρωτόκολλο για το SOUR σκοπεύει στην αποφυγή περιορισμών λόγω περιοριστικού pH, θρεπτική ανισορροπία ή ανεπαρκή υδατικό περιεχόμενο. Αυτή η δοκιμή μετρά το μέγιστο ρυθμό αναπνευστικής δραστηριότητας που το δείγμα θα μπορούσε να υποστηρίξει. Τα αποτελέσματα του SOUR δείχνουν σημαντική μείωση κατά τη διάρκεια που το κομπόστ είναι ακόμα ενεργό, και μικρή μείωση κατά την ωρίμανση (Lasaridi *et.al.*, 2000).

Στον πρώτο κύλινδρο τις πρώτες πέντε ημέρες ήταν σχεδόν σταθερό (γύρω στο 11,7 mgO2/gVS/h). Στις επόμενες πέντε μέρες έπεσε κατακόρυφα στο 3,5 mgO2/g VS/h, ανέκαμψε ξανά στην 17η μέρα της κομποστοποίησης με κορυφή το 12 mgO2/g VS/h και στη συνέχεια έπεφτε φτάνοντας την 45η ημέρα στο 1,6 mgO2/g VS/h.

Στον δεύτερο κύλινδρο αρχικά έχουμε απότομη αύξηση από 7,1 σε 12,2 mgO2/g VS/h τις πρώτες πέντε ημέρες και στη συνέχεια ακολούθησε μεγάλη πτώση φτάνοντας τη 10η ημέρα στο 4 mgO2/g VS/h. Από εκεί και πέρα έχουμε μικρή αύξηση ως την 17η ημέρα (6,87 mgO2/g VS/h) και μικρή μείωση ως το τέλος της διαδικασίας (45η ημέρα= 4,9 mgO2/g VS/h).

Η μεγάλη πτώση της τιμής του SOUR την δέκατη ημέρα και για τους δύο κυλίνδρους πιθανόν να οφείλεται στην καθυστέρηση περίπου μιας εβδομάδας από την ημέρα συλλογής του δείγματος, ως την ημέρα έναρξης του πειράματος του SOUR.



Διάγραμμα 6.12. Διακυμάνσεις του SOUR κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης.

β) Solvita®

Το Solvita® είναι ένα εμπορικό τεστ ωρίμανσης των κομπόστ, που μετράει ταυτόχρονα το διοξείδιο του άνθρακα και την αμμωνία. Ωριμότητα σημαίνει αντίσταση σε περαιτέρω αποικοδόμηση και ελαχιστοποίηση συστατικών όπως αμμωνία και οργανικά οξέα, που μπορεί να είναι τοξικά για την ανάπτυξη των φυτών.

Στον πρώτο κύλινδρο οι αρχικές ενδείξεις παρουσίαζαν πολύ χαμηλή αναλογία C/N και συνεχίζουν ως το τέλος, δείχνοντας σταδιακές μειώσεις της αμμωνίας. Στον δεύτερο κύλινδρο τα αρχικά αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι εν ενεργεία η διαδικασία της κομποστοποίησης και τα τελικά δείχνουν ένα ανενεργό ώριμο προϊόν.

Πίνακας 6.4. Καταγραφή δεικτών για CO_2 και NH_4 της δοκιμής Solvita®

	ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 1		ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 2	
ΗΜΕΡΕΣ	**C**	**N**	**C**	**N**
0	7	1	7	1
5	7	3	7	4
10	8	4	8	5
17	8	4	8	4
22	8	4	8	4
45	8	2	8	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέχρι σήμερα η μόνη μέθοδος διαχείρισης της ιλύος από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων που ακολουθείται στην Ελλάδα είναι η απόρριψή της σε ΧΥΤΑ. Η μέθοδος αυτή έχει ως αναμενόμενα αποτελέσματα, εκτός από τη δημιουργία φαινομένων ρύπανσης και μόλυνσης των υπόγειων υδροφορέων, την γρήγορη πλήρωση των ΧΥΤΑ και τη μεγάλη οικονομική επιβάρυνση των διαχειριστών των εγκαταστάσεων των βιολογικών καθαρισμών, εξ' αιτίας των πολύ υψηλών μεταφορικών εξόδων και των τελών των ΧΥΤΑ.

Σύμφωνα πάντα με την πολιτική διαχείρισης αποβλήτων της Ε.Ε. βασική προτεραιότητα τίθεται η επαναχρησιμοποίησή τους. Η καλύτερη μέθοδος επαναχρησιμοποίησης της ιλύος από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού είναι η επεξεργασία της για γεωργική χρήση ως εδαφικό βελτιωτικό ή λίπασμα. Πέρα από την περιβαλλοντική άποψη και την επαναφορά υλικών στον οικολογικό κύκλο, προστίθεται άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα ότι είναι ίσως η οικονομικότερη λύση διάθεσης για την τοπική κοινωνία. Θα πρέπει όμως να γίνεται μια σωστή επεξεργασία της ιλύος, ώστε να προκύπτει ένα τελικό προϊόν ασφαλή τόσο για τις καλλιέργειες όσο και για τη δημόσια υγεία.

Υποθέτοντας ότι όλα τα κράτη- μέλη θα είναι σε θέση να ολοκληρώσουν την εφαρμογή της Οδηγίας 91/271, μέχρι το 2005 όπως προβλέπεται, παραγωγή ιλύος αναμένεται να αυξηθεί σε ποσοστό 34%. Ταυτόχρονα σύμφωνα με την Οδηγία 99/31, η διάθεση οργανικής ύλης σε ΧΥΤΑ θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Η πρόκληση, λοιπόν είναι να βρεθούν οικονομικές εναλλακτικές διέξοδοι, αφού έτσι και αλλιώς η ιλύς αποτελεί πολύτιμο υλικό.

Η βιολογική ιλύς της Κω προσφέρεται για παραγωγή αξιοποιήσιμου κομπόστ καθώς δεν είναι βεβαρημένη με βαρέα μέταλλα. Για να πετύχουμε το σωστό λόγο C/N και το κατάλληλο πορώδες, εξασφαλίζοντας έτσι επαρκή αερισμό, προσθέτουμε πράσινα απορρίμματα. Ο κάθε δήμος έχει πράσινα απορρίμματα, τα οποία απορρίπτει σε ΧΥΤΑ. Χρησιμοποιώντας τα ως

διογκωτικό μέσο στην αξιοποίηση της ιλύος επιτυγχάνεται διπλό αποτέλεσμα προς όφελος του χώρου του ΧΥΤΑ και μια οικονομικότερη λύση για το δήμο.

Στον πρώτο κύλινδρο που η αναλογία ήταν 1:1 κ.ο. άργησε λίγο η διαδικασία γιατί ο λόγος C/N ήταν πολύ χαμηλός. Έτσι στις 45 ημέρες που σταματήσαμε το πείραμα χρειάζονταν και περαιτέρω επεξεργασία, ώστε να αποκτήσει καλύτερη αγρονομική αξία.

Ο δεύτερος κύλινδρος (1:2 κ.ο.) έδωσε ένα καλύτερο τελικό προϊόν, παρόλο που η δοκιμή της αναπνευστικής δραστηριότητας SOUR ήταν σχετικά αυξημένη.

Και τα δύο προϊόντα είχαν χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για τα περισσότερα φυτά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Adani F., Genevini P.L., Gasperi F., Tampone F., (1999). Composting and humification. Compost Science & Utilization, v. 7, no 1, p.p. 24-33

2. Andreadakis A.D., (2000), Treatment and disinfection of sludge using quicklime. In: Langenkamp H., Marmo L. (eds). *Workshop on problems around sewage sludge,* 18-19 November 1999 (NO) Italy Proceeding- European Commission Joint Research Center, EUR 19657 EN, 242, p.p. 17-24

3. Angelidaki I., Ahring B.K., (2000), Anaerobic digestion of sludge: focusing on degradation of the contained organic contaminants. In: Langenkamp H., Marmo L. (eds). *Workshop on problems around sewage sludge,* 18-19 November 1999 (NO) Italy Proceeding- European Commission Joint Research Center, EUR 19657 EN, 242,p.p. 17-24

4. APHA, (1992). Standard methods for examination of water and wastewater. 18th ed. APHA, AWWA, WPCF, Washington, DC

5. Ανδρεαδάκης Α., (2001). Δυνατότητες γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος της εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών λυμάτων της Ψυττάλειας. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 25-30 Μαΐου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

6. Baker C.S., VanderGheynst J.S., Walker L.P.,(1999). Equilibrium isotherms for synthetic food waste and biosolids composts. *Compost Science & Utilization*, v.7 ,no.1, 6-12

7. Brinton W.B. (2000). *Compost quality standards & guidelines.* New York State Associate of recyclers.

8. Βουδριάς Ε.Α., (2001). Βιολογική επεξεργασία οργανικών στερεών αποβλήτων: διεργασίες, τεχνολογία και χρησιμότητα. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 25-30 Μαΐου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

9. Chambier J.P., (2000), Thermal drying- microbiological quality of dried sludge. In: Langenkamp H., Marmo L. (eds). *Workshop on problems around sewage sludge,* 18-19 November 1999 (NO) Italy Proceeding- European Commission Joint Research Center, EUR 19657 EN, 242,p.p. 17-24

10. Γιαννακοπούλου Τ., (2001). Η μικροβιολογία και η οικολογία του κομπόστ. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 25-30 Μαΐου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

11. Deportes I., Benoit-Guyod J.L., Zmirou D., (1995). Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. The Science of the Total Environment, 172, p.p.172-222

12. E.C., (2000). Biological treatment of biodegradable waste, Working Document 1st draft, Brussels, ENV.E.3./LM

13. E.C., (2000). Working Document on Sludge 3rd draft, Brussels, ENV.E.3./LM

14. E.C., (2001). Biological treatment of biowaste, Working Document 2nd draft, Brussels, ENV.A.2./LM

15. E.C., (2001). Organic contaminants in sewage sludge for agriculture use.

16. E.C., (2003). Layman's guide to use of sludge in agriculture.

17. E.U. (1999). Council Directive on he Landfill of Waste (99/31/EC). Official Journal of the European Communities, L182/1. 16/7/1999

18. E.E., (1986). Οδηγία 86/278 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία. Επίσημη Εφημερίδα L.181, 4/7/1986, σ. 0006-0012

19. E.E., (2000). Success stories on composting and separate collection.

20. FCQAO (Federal Compost Quality Assurance Organization), (1994). Methods book for the analysis of compost, In addition with the results of the parallel interlaboratory test 1993. Kompost-Indormation

Ne.230. Budesgutegemeinschaft Kompost e.V. English translation by W. Bidlingmaier. University of Essen. Germany.

21. Eggen T., Vethe O., (2001). Stability indices for different composts. Compost Science & Utilization, v. 9, no 1, p.p. 19-26

22. Erhart E., Burian K., (1997). Evaluating quality and suppressiveness of Austrian biowaste composts. *Compost Science & Utilization*, v.5 ,no.3, 15-24

23. Zubillaga M.S., Lavado R.S., Heavy metal content in lettuce plants grown in biosolids compost. *Compost Science & Utilization*, v.10 ,no.4, 363-367

24. Hassen A., Belguith K., Jedidi N., Cherif A., Cherif M., Boudabous A., (2001). Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, v. 80, p.p.217-225

25. He Z.L., Calvert D.V., Alva A.K., Li Y.C., Stoffella P.J., Banks D.J., (2003). Nitrogen transformation and ammonia volatilization from biosolids and compost applied to calcareous soil. *Compost Science & Utilization*, v.11 ,no.1, 81-88

26. Hue N.V., Sobieszczyk B.A., (1999). Nutritional values of some biowastes as soil amendments. *Compost Science & Utilization*, v.7 ,no.1, 34-41

27. Κανακόπουλος Δ., (2001). Ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις κομποστοποίησης- εξοπλισμός. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 22-23 Ιουνίου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, σελ. 131-148

28. Κουλουμπής Π., (2001). Δυνατότητες γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των αστικών λυμάτων. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 25-30 Μαΐου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

29. Κουλουμπής Π., (2001). Δυνατότητες γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των αστικών λυμάτων. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Ολοκληρωμένη διαχείριση*

οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων, 22-23 Ιουνίου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, σελ. 179-189

30. Lasaridi K., Stentiford E., (1999). Compost stability: a comparative evaluating of respirometric techniques. In: W. Bidlingmaier (ed). *Proc. of the ORBIT '99 Conference*, Waimar, Germany. p.p. 539-546

31. Lasaridi K., Sentiford E., Evans T., (2000). Windrow composting of wastewater biosolids: process performance and product stability assessment. *Water Science and Technology*, v.42, no 9, 217-226

32. Lasaridi K., Stamatiadis St., (2003). Composting a local organic by-products for use as a soil amendment in quarry reclamation in Greece. In: Pullammanappallil P., McComb A., Diaz L.F., Bidlingmaier W. (eds). Proc. Of the 4th International Conference of ORBIT assoc. on Biological Processing of Organics: Advances for a sustainable society, 30 April-2 May, Perth, Australia, p.p. 471-480

33. Lasaridi K., Stentiford E., (1996). Respirometric techniques in the context of compost stability assessment: Principles and practice. In: Bertoldi M., Sequi P., Lemmes B., Papi T. (eds). *International Symposium The Science of Composting*, UK, p.p. 274- 285

34. Levanon D., Pluda D., (2002). Chemical, physical and biological criteria for maturity in composts for organic farming. *Compost Science & Utilization*, v.10 ,no.4, 339-346

35. Λαζαρίδη Κ., (2001). Θεσμικό πλαίσιο- εθνική και ευρωπαϊκή πολιτική για τη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων. Ποιότητα και πιστοποίηση του κομπόστ. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 25-30 Μαΐου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

36. Manios T., Stentiford E., Manios V., (1999). Developing appropriate treatment methodology for sewage sludge composting in Crete. *A British Council Joint Research and Technology Program*

37. Marmo L., (2000), Sewage sludge and the Community waste strategy. In: Langenkamp H., Marmo L. (eds). *Workshop on problems around sewage sludge*, 18-19 November 1999 (NO) Italy Proceeding-

European Commission Joint Research Center, EUR 19657 EN, 242,p.p. 17-24

38. Μανιός Β.Ι., Μανιαδάκης Κ.Μ., (2001). Προδιαγραφές ποιότητας κομπόστ. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 22-23 Ιουνίου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, σελ. 119-122

39. Μανιός Θρ., (2001). Βασικές αρχές κομποστοποίησης, θεμελιώδεις παράμετροι και διεργασίες. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 25-30 Μαΐου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

40. Richard T.L., Hamelers H.V.M., Veeken A., Silva T., (2002). Moisture relationships in composting processes. *Compost Science & Utilization*, v.10 ,no 4, 286-302

41. Soler Rovira P.A., Brunetti G., Polo A., Senesi N., Effects of amendment with composted sludge on soil humic acid prorerties. *Compost Science & Utilization*, v.10 ,no.1, 176- 184

42. Stentiford E., Lasaridi K., Hobbis P., (2001). Stability and biodegradability measurement in composting. In: *International Symposium on Organics Recycling*, 28-29 November, Chiba city, Japan

43. Stentiford E.I., (2001). Composting- optimizing the process and keeping the neighbours happy. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 22-23 Ιουνίου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, σελ. 41-48

44. Σκορδίλης Α., (2001). Ελληνική πολιτική και νομοθεσία για την διαχείριση οργανικών αποβλήτων. In: Λαζαρίδη Κ., Παυλόπουλος Κ. (επιμέλεια). *Ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων*, 22-23 Ιουνίου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, σελ. 49-58

45. Στάμος Α.Ι., (1995). Εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού. In: Μποναζούντας Μ., Κατσαΐτη Α. (επιμέλεια). *Επιλεγμένα θέματα διαχείρισης περιβάλλοντος*, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας, Αθήνα