

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ποιοτική και Ποσοτική Εκτίμηση
των Παραγόμενων Αερίων
θερμοκηπίου
κατά την Κομποστοποίηση Ιλύος
Βιολογικών Καθαρισμών**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΤΣΑΜΟΥΚΑΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΜΑΝΙΟΣ ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
--------------------------	---

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
-----------------------	---

Κεφάλαιο 1. θεωρητικό υπόβαθρο

1.1. Βιολογικός καθαρισμός – επεξεργασία λυμάτων – παραγωγή λάσπης	8
1.1.1 Υγρά αστικά λύματα.....	8
1.1.2 Βιολογικός καθαρισμός.....	8
1.1.2.1. Στάδια επεξεργασίας λυμάτων.....	11
1.1.2.2. Αρχικό στάδιο καθαρισμού.....	12
1.1.2.3. Δεύτερο στάδιο.....	12
1.1.2.4. Τριτοβάθμια (χημική) επεξεργασία λυμάτων.....	13
1.1.2.5. Μη συμβατικοί μέθοδοι επεξεργασίας.....	13
1.1.3. Παραγωγή ιλύος από βιολογικό καθαρισμό.....	13
1.1.4. Αερόβια χώνευση.....	14
1.1.5. Αναερόβια χώνευση.....	15
1.2. Διαχείριση λάσπης βιολογικού καθαρισμού (ΛΒΚ)	15
1.2.1. Τεχνικές διαχείρισης λάσπης.....	15
1.2.2. Νομικό πλαίσιο.....	16
1.3. Κομποστοποίηση	17
1.3.1. Η αποδόμηση της οργανικής ουσίας και η επέμβαση του ανθρώπου.....	17
1.3.2. Ορισμός της κομποστοποίησης.....	18
1.3.3. Τεχνικοί και βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση.....	19
1.3.3.1. Υγρασία.....	20
1.3.3.2. Θερμοκρασία.....	20
1.3.3.3. Το pH.....	21
1.3.3.4. Σχέση C/N.....	21
1.3.3.5. Μέγεθος τεμαχιδίων.....	21

1.3.3.6. Μικρογλωρίδα.....	22
1.3.4. Μικροβιολογία της κομποστοποίησης.....	22
1.3.5. Θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών.....	23
1.4. Παραγωγή αερίων θερμοκηπίου.....	23
1.4.1. Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	23
1.4.2. Αλληλεπίδραση της "Τρύπας του Όζοντος" με το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.....	24
1.4.3. Ποιοι παράγοντες προκαλούν επιδείνωση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου;.....	25
1.4.4. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	26
1.4.5. Το μεθάνιο (CH ₄).....	27
1.4.6. Ποια είναι τα "προγνωστικά" για το μέλλον;	27
1.5. Στόχος μελέτης.....	28

Κεφάλαιο 2. Υλικά και μέθοδοι

2.1. Πηγή προέλευσης αρχικών υλικών.....	30
2.2 Βιολογικός καθαρισμός Ηρακλείου.....	30
2.3. Διαδικασία κομποστοποίησης.....	30
2.3.1. Εγκατάσταση – προετοιμασία σειραδίων.....	31
2.3.2. Περιγραφή αναστροφέα.....	32
2.3.3. Φυσικοχημικές αναλύσεις – μέτρηση θερμοκρασίας.....	33
2.3.4. Μεθοδολογία φυσικοχημικών αναλύσεων.....	34
2.4. Συλλογή αερίων με τη χρήση ανεστραμμένων χωνιών.....	34
2.5. Συλλογή αερίων με τη χρήση στατικών θυλακίων.....	35
2.5.1. Περιγραφή στατικών θυλακίων.....	36
2.6. Ανάλυση αερίων.....	37
2.7. Υπολογισμοί αέριων ροών.....	38

Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα

3.1. Μεταβολές βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια των κομποστοποιήσεων.....	40
3.2. Παραγωγές αερίων θερμοκηπίου κατά τη κομποστοποίηση.....	46
3.3. Συγκεντρώσεις αέριων ροών κατά την κομποστοποίηση.....	49

4. Συμπεράσματα – Επίλογος.....	54
--	-----------

Παράρτημα.....	56
-----------------------	-----------

Βιβλιογραφία.....	80
--------------------------	-----------

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η κομποστοποίηση της ιλύος των βιολογικών καθαρισμών (IBK) με την τεχνική των αναστρεφόμενων σειραδίων (windrows), δεδομένου και του χαμηλού κόστους της, είναι προτιμητέα στη διαχείριση της και μπορεί να βελτιστοποιηθεί με την κατάλληλη αναλογία διογκωτικού υλικού. Πιθανό μειονέκτημα της μπορεί να αποτελέσουν, οι εκπομπές μεθανίου κατά την κομποστοποίηση, λόγω της ισχυρής συμβολής του αερίου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στόχος της μελέτης αυτής ήταν να αξιολογηθεί η επίδραση του διογκωτικού υλικού στην κομποστοποίηση της IBK ως προς την παραγωγή και συγκέντρωση των αερίων CH₄ και CO₂ στο εσωτερικό δυο σειραδίων.

Για τις πειραματικές ανάγκες διαμορφώθηκαν δυο σειράδια με τις αναλογίες ιλύος προς ροκανίδια 1/1 και 1/2 κατά όγκο αντίστοιχα. Καθημερινά καταγράφονταν η θερμοκρασία στον πυρήνα των σειραδίων με τη χρήση ηλεκτρονικού, ψηφιακού θερμομέτρου. Η αναστροφή των σειραδίων γινόταν με τη βοήθεια ρυμουλκούμενου αναδευτήρα σε συχνότητα μιας με δυο εβδομάδων. Τρία γυάλινα χωνιά τοποθετήθηκαν ανεστραμμένα σε κάθε σειράδιο (πυρήνα, κορυφή και πλευρικά). Πριν από κάθε γύρισμα, αντιπροσωπευτικά δείγματα συλλέγονταν από τον πυρήνα του κάθε σωρού και αναλύονταν για υγρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, πτητικά στερεά και ολικό άνθρακα. Κάθε δυο με τρεις ημέρες συλλέγονταν αέρια δείγματα με τη βοήθεια ειδικά προσαρμοσμένων πλαστικών συριγγών, αεροστεγώς κλεισμένων και αναλύονταν με τη χρήση αερίου χρωματογράφου εξοπλισμένο με TCD ανιχνευτή συνδεδεμένο σε σειρά με FID για τον καθορισμό της συγκέντρωσης του CO₂ και CH₄. Μέσες τιμές αερίων υπολογίστηκαν για το διάστημα μεταξύ των αναστροφών για όλες τις θέσεις και για τους δυο σωρούς. Παρόλο που οι μέσες τιμές για το μεθάνιο στο σειράδιο αναλογίας 1/1 ήταν υψηλότερες σε όλα τα σημεία του σειραδίου συγκρινόμενες με το σειράδιο αναλογίας 1/2 οι διαφοροποιήσεις δεν ήταν στατικά σημαντικές. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα για το CO₂ με κάποια διαφοροποίηση να εμφανίζετε μεταξύ του πυρήνα και της επιφάνειας των σωρών σε σχέση με αυτές πλευρικά και των δυο σειραδίων. Μείωση του ρυθμού διάσπασης μακριά από τον πυρήνα και ροή των αερίων από τον πυρήνα κάθετα προς την επιφάνεια, εξηγούν την ομοιότητα μεταξύ των διαφορετικών θέσεων. Τέλος η ποιότητα του τελικού κόμποστ των δυο διαφορετικών σειραδίων, όπως καθορίστηκε από τα φυσικοχημικά δεν βρέθηκε να διαφέρει σημαντικά.

Η εργασία που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε στο Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ στο εργαστήριο Επεξεργασίας και Αξιοποίησης Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος. Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος στο εργαστήριο είχα την ευκαιρία να έρθω σε επαφή με την τεχνική της κομποστοποίησης και τη μελέτη των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου αποκτώντας επιπλέον γνώση για το θέμα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ Θρασύβουλο Μανιό, γεωπόνο, χημικό περιβάλλοντος, καθηγητή και υπεύθυνο του εργαστηρίου καθώς και την Δρ Ειρήνη Γεωργάκη, χημικό, τον κύριο Κωνσταντίνο Μανιαδάκη, γεωπόνο Τ.Ε. και όλους του συναδέλφους μου που με βοήθησαν για τη διεξαγωγή του πειράματος, για την πολύτιμη βοήθειά τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1. Βιολογικός καθαρισμός – επεξεργασία λυμάτων – παραγωγή λάσπης.

1.1.1. Υγρά αστικά λύματα

Ο όρος **λύματα** αναφέρεται στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (*οικιακά λύματα*) και τα υγρά απόβλητα από τις συνήθεις δραστηριότητες μιας πόλης (*αστικά λύματα*). Όταν τα υγρά απόβλητα μιας πόλης περιέχουν και σημαντικές ποσότητες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων τότε ονομάζονται **υγρά αστικά απόβλητα**. Τα οικιακά λύματα παράγονται από τις ανάγκες των ανθρώπων όπως η αφόδευση, η χρήση του μπάνιου, η προετοιμασία του φαγητού κ.α. Κατά μέσο όρο παράγονται 180-300 λίτρα κατά άτομο κάθε μέρα. Τα αστικά λύματα παράγονται από τα δημόσια κτήρια, τα νοσοκομεία κ.λ.π. Η ποιότητα και η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων μεταβάλλεται συνεχώς και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, αφού πολλές βιομηχανίες ρίχνουν -παρανόμως- ανεπεξέργαστα τα απόβλητά τους στο αποχετευτικό δίκτυο της πόλης. Η σύνθεση των λυμάτων μπορεί να προσδιορισθεί χρησιμοποιώντας φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες. Το μη επεξεργασμένο νερό περιέχει ρύπους οι οποίοι δίνουν στο νερό χρώμα γεύση και οσμή. Αυτοί οι ρύποι περιλαμβάνουν ιούς, βακτήρια, οργανικά υλικά και διαλυμένες ανόργανες ενώσεις. Μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες όπως γαστρεντερίτιδα, ηπατίτιδα, τυφοειδή πυρετό και δηλητηρίαση. Υπάρχουν τρία είδη ιών στο νερό: Ανθρώπινης Προέλευσης, από αγροτικές φάρμες και από τα φυτά τα δάση και γενικότερα την φύση. (Manios *et al.*, 2003).

1.1.2. Βιολογικός καθαρισμός

Είναι το στάδιο της διαδικασίας καθαρισμού λυμάτων (αστικών και βιομηχανικών) κατά το οποίο οι εύκολα αποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις που περιέχονται στα λύματα, διασπώνται και αδρανοποιούνται μέσω μικροοργανισμών που τρέφονται από αυτές. Αποτελεί τη δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων, καθώς έπεται συνήθως της πρωτοβάθμιας μηχανικής επεξεργασίας και ακολουθείται, όταν αυτό είναι απαραίτητο, από τριτοβάθμια φυσικοχημική επεξεργασία. Η βιολογική διεργασία πραγματοποιείται μέσα σε μία δεξαμενή, το βιοαντιδραστήρα, όπου

διοχετεύονται τα απόβλητα, αφού σε προηγούμενη βαθμίδα έχει γίνει κατακράτηση των στερεών υλών που περιέχονται σε αυτά. Μέσα στο βιοαντιδραστήρα υπάρχει μεγάλος αριθμός ετεροτροφικών μικροοργανισμών, που αποτελούν τη βιολογική ιλύ (λάσπη), ενώ παράλληλα, μέσω ενός συστήματος αερισμού, διοχετεύεται στη μάζα των αποβλήτων αέρας, που είναι απαραίτητος για τη διεργασία, και γίνεται συνεχής ανάδευση του νερού και της βιολογικής μάζας. Συχνά, αντί για αέρας διοχετεύεται στα απόβλητα καθαρό οξυγόνο, που αυξάνει την απόδοση του βιοαντιδραστήρα, δηλαδή την ικανότητα επεξεργασίας αποβλήτων ανά μονάδα όγκου του.

Οι μικροοργανισμοί διασπών τους οργανικούς ρύπους και τρέφονται από αυτούς, ενώ ταυτόχρονα πολλαπλασιάζονται. Όταν πλέον οι μικροοργανισμοί καταναλώσουν όλη την ποσότητα των οργανικών ουσιών που έχουν την ικανότητα να διασπάσουν και ολοκληρωθεί η βιολογική διεργασία, αρχίζουν να καταναλώνουν το δικό τους οργανικό υλικό, οπότε μειώνεται η συνολική τους μάζα. Τότε τα απόβλητα διοχετεύονται σε μία δεξαμενή καθίζησης, όπου οι εναπομείναντες ζώντες μικροοργανισμοί διαχωρίζονται και επαναδιοχετεύονται στο βιοαντιδραστήρα, ενώ το καθαρισμένο νερό μπορεί να μεταβιβαστεί σε υδάτινους αποδέκτες στο περιβάλλον ή να περάσει από τρίτη βαθμίδα επεξεργασίας. Μετά το διαχωρισμό των μικροοργανισμών, στη δεξαμενή καθίζησης παραμένει ένα υπόλειμμα (ιλύς) από στερεά υλικά, οργανικές ουσίες που δεν αποικοδομήθηκαν, νεκρούς μικροοργανισμούς κ.λπ. Η ιλύς αυτή πρέπει να αδρανοποιηθεί πριν απορριφθεί στο περιβάλλον, πρέπει επομένως να υποστεί επεξεργασία-συμπύκνωση (πάχυνση), αερόβια ή αναερόβια ζύμωση για τη διάσπαση των μακρομοριακών οργανικών ενώσεων, αφυδάτωση και τελικά απόθεση στο περιβάλλον ή καύση.

Πρόσφατα, άρχισαν να εφαρμόζονται δύο μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας της ιλύος, η θέρμανση υπό πίεση και η υγρή οξείδωση. Η ανάγκη επεξεργασίας της ιλύος εισάγει γενικά ένα επιπλέον κόστος στη διαδικασία του βιολογικού καθαρισμού. Σύμφωνα με τους κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, όλες οι πόλεις με πληθυσμό πάνω από 15.000 κατοίκους υποχρεούνται μέχρι το 2000 να εγκαταστήσουν μονάδες βιολογικού καθαρισμού για την επεξεργασία των λυμάτων τους, ενώ από το 2005 την ίδια υποχρέωση θα έχουν δήμοι και κοινότητες με πληθυσμό από 2.000 έως 15.000 κατοίκους.

Μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων με βιολογικό ή δευτεροβάθμιο καθαρισμό επιτυγχάνει λοιπόν όχι μόνο πρωτοβάθμιο αλλά και δευτεροβάθμιο καθαρισμό, δηλαδή πλήρη σχεδόν απομάκρυνση - σε ποσοστό πάνω από 95% - των οργανικών συστατικών. Ο βιολογικός καθαρισμός στηρίζεται στην πραγματοποίηση των βιοχημικών διεργασιών που γίνονται ανεξέλεγκτα στη φύση (π.χ. κατά τη διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο αποδέκτη), με ελεγχόμενο τρόπο σε ειδικές για το σκοπό αυτό δεξαμενές. Στις δεξαμενές αυτές παρέχονται οι κατάλληλες συνθήκες στους μικροοργανισμούς, που είναι η τροφή (οργανικά συστατικά των αποβλήτων) και το οξυγόνο, για να αναπτυχθούν και να πολλαπλασιαστούν. Έτσι, τη θέση των βλαβερών οργανικών συστατικών παίρνουν οι μικροοργανισμοί αυτοί (κυρίως βακτηρίδια), που όχι μόνο δεν είναι βλαβεροί, όπως οι παθογόνοι, αλλά αποτελούν και το «εργαλείο» καθαρισμού σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Το οξυγόνο παρέχεται στους μικροοργανισμούς τεχνητά, με διατάξεις που καλούνται αεριστήρες, οπότε και οι δεξαμενές καλούνται δεξαμενές αερισμού. Το μίγμα των μικροοργανισμών και της τροφής αποτελούν την καλούμενη «ενεργό ιλύ», οπότε και η μέθοδος αυτή του βιολογικού καθαρισμού καλείται μέθοδος ενεργού ιλύος. Η ιλύς απομακρύνεται από τη μάζα των αποβλήτων, με το να αφεθούν τα απόβλητα να περάσουν σε δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης (όμοιες με τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης), όπου η ιλύς καθιζάνει και συλλέγεται στον πυθμένα των δεξαμενών αυτών, αποτελώντας τη λεγόμενη δευτεροβάθμια λάσπη, ενώ τα καθαρισμένα πλέον απόβλητα υπερχειλίζουν από την περιφέρεια των δεξαμενών.

Μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία, τα καθαρισμένα απόβλητα μπορούν να διατεθούν ακίνδυνα στον υδάτινο αποδέκτη, εφόσον ο αποδέκτης αυτός δεν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος, ώστε να απαιτείται τριτοβάθμια επεξεργασία. Τα καθαρισμένα πλέον απόβλητα υφίστανται μόνο τη διεργασία της απολύμανσης, συνήθως με χλωρίωση, για την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε επιμήκεις δεξαμενές και διοχετεύονται στον αποδέκτη.

1.1.2.1. Στάδια επεξεργασίας λυμάτων

Υπάρχουν συνήθως τρία βασικά στάδια επεξεργασίας λυμάτων:

- **Η Πρωτοβάθμια επεξεργασία:** Στοχεύει κυρίως στην αφαίρεση του αιωρούμενου υλικού (οργανικού και ανόργανου). Αποτελείται συνήθως από την *Προεπεξεργασία* και την *Πρωτοβάθμια Καθίζηση*. Η *Προεπεξεργασία* περιλαμβάνει την Εσχάρωση, τους Πολτοποιητές και τα Τριβεία, την Εξάμμωση, καθώς και την μέτρηση ή την εξισορρόπηση της παροχής. Στόχος της είναι η απομάκρυνση σωμάτων που επιπλέουν ή βρίσκονται σε αιώρηση στα λύματα και εγκυμονούν κινδύνους έμφραξης των αγωγών, καταστροφής του μηχανολογικού εξοπλισμού (π.χ αντλίες) και τελικώς δυσλειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας που ακολουθούν. Η Πρωτοβάθμια Καθίζηση περιλαμβάνει δεξαμενές καθίζησης (συνήθως κυκλικής διατομής) που συχνά αναφέρονται εν συντομία ΔΠΚ (Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας Καθίζησης) και έχει ως σκοπό να απομακρύνει τα αιωρούμενα οργανικά και ανόργανα στερεά (10^{-1} έως 10^{-2} mm), ώστε να μειωθεί το ρυπαντικό φορτίο που προορίζεται για τα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Η πρωτοβάθμια καθίζηση αφαιρεί τα καθιζάνοντα στερεά υπό μορφή *Πρωτοβάθμιας Ιλύος (Λάσπης)* και το υπερκείμενο υγρό αποτελεί την πρωτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή, που είναι διαθέσιμη προς περαιτέρω επεξεργασία.
- **Η Δευτεροβάθμια Επεξεργασία:** Στην οποία αφαιρούνται οι οργανικές ουσίες με την βοήθεια αερισμού (οξυγόνωσης)
- **Η Τριτοβάθμια Επεξεργασία:** Σκοπός είναι η αφαίρεση βαρέων μετάλλων και τοξικών ή άλλων συστατικών. Το στάδιο αυτό είναι επιθυμητό όταν η παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων στα λύματα είναι σημαντική και ο στόχος είναι η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (π.χ στην βιομηχανία, για άρδευση ή για χώρους αναψυχής). Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται επεξεργασίες όπως η Κροκίδωση-Ιζηματοποίηση, η Διύλιση, η Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα και διεργασίες με Μembrάνες.

Τελικό στάδιο Επεξεργασίας – Απολύμανση: Ο σκοπός της απολύμανσης είναι η μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό το οποίο επιστρέφει στο περιβάλλον. Η απολύμανση μπορεί να γίνει κυρίως με δύο τρόπους: με χλωρίωση και υπεριώδη ακτινοβολία. Η χλωρίωση εφαρμόζεται συχνά εξαιτίας του χαμηλού

κόστους. Το μειονέκτημα είναι ότι μπορεί να παραχθούν καρκινογόνες ενώσεις. Επίσης μπορεί να είναι τοξική προς τους υδρόβιους οργανισμούς (μόνο αν η ποσότητα που χρησιμοποιείται είναι σε λάθος αναλογία). Από την άλλη, η υπερϊώδης ακτινοβολία προκαλεί ζημιά στην γενετική δομή των παθογόνων μικροοργανισμών, των βακτηρίων και των ιών, εμποδίζοντας τους να αναπαραχθούν. Τα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος συντήρησης της λάμπας και ο σωστός καθαρισμός των λυμάτων καθώς τα στερεά απόβλητα μπορούν να λειτουργήσουν ως ασπίδα και να προστατέψουν τους μικροοργανισμούς από την υπερϊώδη ακτινοβολία. (Manios *et al.*, 2003).

1.1.2.2. Αρχικό στάδιο καθαρισμού

Στο αρχικό στάδιο καθαρισμού απομακρύνονται υλικά όπως τα λίπη και τα έλαια, άμμος. Εδώ εφαρμόζεται ο μηχανικός τρόπος. Ύστερα αφαιρούνται τα μεγάλα αντικείμενα όπως τα ξύλα, τα σίδερα, κουτιά κ.α. Αυτό γίνεται γιατί υπάρχει περίπτωση να καταστραφούν οι εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού αν αυτά τα υλικά περάσουν μέσα. Εδώ χρησιμοποιούνται σχάρες, για την κατακράτηση των στερεών υλικών. Ύστερα γίνεται η ιζηματογένεση. Σε όλες σχεδόν τις εγκαταστάσεις υπάρχει αυτό το στάδιο. Εκεί τα βαριά λύματα ανεβαίνουν στην επιφάνεια (κόπρανα, λάσπη), ώστε να αφαιρεθούν. (Manios *et al.*, 2003).

1.1.2.3 Δεύτερο στάδιο

Στο δεύτερο στάδιο καθαρισμού αφαιρούνται βιολογικά απόβλητα όπως το ανθρώπινα απόβλητα και τα σαπούνια. Η πλειονότητα των βιολογικών εγκαταστάσεων χρησιμοποιεί αερόβια αποικοδόμηση. Για να είναι αποτελεσματικό ο οργανισμός απαιτεί οξυγόνο και ένα υπόστρωμα για να ζήσει. Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει αυτό. Σε όλες τις μεθόδους τα βακτήρια και τα πρωτόζωα (αποικοδομητές γενικότερα) καταναλώνουν υλικά όπως ζάχαρη. (Manios *et al.*, 2003).

1.1.2.4 Τριτοβάθμια (χημική) επεξεργασία λυμάτων.

Η τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων αφαιρεί σχεδόν όλο το ποσοστό των παθογόνων ουσιών κυρίως με χημικές διαδικασίες. Δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα εργοστάσια επεξεργασίας λυμάτων εξαιτίας του υψηλού κόστους του εξοπλισμού. Κύριος σκοπός είναι η αφαίρεση του φωσφόρου και του αζώτου. Το άζωτο μπορεί να βρίσκεται στο νερό με την μορφή αμμωνίας η οποία είναι τοξική για τα ψάρια. Οι ενώσεις του φωσφόρου(άλας) μπορούν να προκαλέσουν ανάπτυξη αλόης η οποία μπορεί να προκαλέσει ευτροφισμό στις λίμνες. (Manios *et al.*, 2003).

1.1.2.5 Μη συμβατικοί μέθοδοι επεξεργασίας.

Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα: Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η μετάδοση της ενέργειας στο χώρο με τη χρήση ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να προσδιοριστεί με βάση τη συχνότητα, το κενό το μήκος κύματος, η την ενέργεια των φωτονίων. Για τον καθαρισμό του νερού τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην χαμηλότερη θέση της υπεριώδους δεσμίδας θα έχουν ως αποτέλεσμα την θέρμανση του νερού. (Manios *et al.*, 2003)

1.1.3 Παραγωγή ιλύος από βιολογικό καθαρισμό.

Κατά την επεξεργασία των λυμάτων, στα διάφορα στάδια καθαρισμού, παράγεται λάσπη στις δεξαμενές καθίζησης, η λεγόμενη ιλύς. Η λάσπη αυτή που διαχωρίζεται από τα λύματα πρέπει να διαχειριστεί και να υποστεί επεξεργασία με αποτελεσματικό και ασφαλή τρόπο. Ο σκοπός της χώνεψης της λάσπης είναι η μείωση του τελικού όγκου της, καθώς και η μείωση της οργανικής ύλης και των παθογόνων μικροοργανισμών. Έτσι, η πρωτοβάθμια και η δευτεροβάθμια λάσπη από τις δεξαμενές καθίζησης υφίσταται (α) συμπύκνωση (αύξηση του ποσοστού των στερεών που περιέχει), (β) σταθεροποίηση (μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών και της δυνατότητας της λάσπης να γίνει ασηπτική) και τέλος (γ) αφυδάτωση-ξήρανση.

Οι κύριες διεργασίες για την παραγωγή της λάσπης είναι **(α) η πάχυνση της λάσπης** όπου ο όγκος της λάσπης πριν οδηγηθεί στους χωνευτές, περνά από κυκλικές δεξαμενές στις οποίες συμπυκνώνεται. **(β) Η χώνευση της λάσπης** όπου η συμπυκνωμένη λάσπη διασπάται σε κλειστές δεξαμενές στις οποίες παράγεται βιοαέριο (CH₄) και χωνεμένη λάσπη. **(γ) Η αφυδάτωση της λάσπης** όπου η χωνεμένη λάσπη, αντλούμενη από τον πυθμένα των χωνευτών, αφυδατώνεται (στερεοποιείται) σε ειδικά μηχανήματα. Η αφυδάτωση της λάσπης αποσκοπεί στην απομάκρυνση μεγάλου μέρους του νερού που περιέχει και γίνεται με μηχανήματα, τις ταινιοφιλτρόπρες ή με εξάτμιση απλώνοντας της λάσπης σε ειδικές κλίνες, τις κλίνες ξήρανσης. Μετά την αφυδάτωση – ξήρανση της λάσπης, που δεν είναι πάντα απαραίτητη, η λάσπη διατίθεται σε χωματερή ή για λίπασμα. **(δ) Το αεριοφυλάκιο του βιοαερίου** όπου το βιοαέριο που παράγεται φυλάσσεται σε αεροστεγή δεξαμενή για τις ενεργειακές ανάγκες των εγκαταστάσεων. Σε μεγάλες μονάδες επεξεργασίας λυμάτων μπορεί να παραχθεί περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζεται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας. (Manios *et al.*, 2003).

1.1.4. Αερόβια χώνευση.

Η αεροβική χώνευση είναι μια βακτηριακή διαδικασία η οποία συμβαίνει παρουσία οξυγόνου. Κάτω από αερόβιες συνθήκες τα βακτήρια καταναλώνουν με γρήγορο ρυθμό την οργανική ύλη μετατρέποντας την σε διοξείδιο του άνθρακα. Αφού η οργανική ύλη καταναλωθεί τα βακτήρια πεθαίνουν και καταναλώνονται από άλλα βακτήρια. Τα πλεονεκτήματα της αεροβικής διαδικασίας είναι ότι (α) πραγματοποιείται πολύ γρηγορότερα έχοντας έτσι μικρότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες, δηλαδή αποδίδει περισσότερο και (β) η παραγωγή του μεθανίου. Τα μειονεκτήματα είναι η (α) μεγάλη χρονική περίοδος που χρειάζεται και (β) τα λειτουργικά κόστη που όμως είναι πολύ μεγαλύτερα εξαιτίας των ενεργειακών κοστών για τον αερισμό που χρειάζεται για την προσθήκη οξυγόνου στην διαδικασία.

1.1.5. Αναερόβια χώνευση.

Η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία η οποία πραγματοποιείται με την απουσία οξυγόνου, Η διαδικασία μπορεί να είναι είτε θερμοφιλή χώνευση στην οποία η λάσπη βρίσκεται υπό ζύμωση μέσα σε δεξαμενές σε θερμοκρασία 55 βαθμών κελσίου. Ονομάζεται θερμοφιλή εξαιτίας των μικροοργανισμών που παίρνουν μέρος στην διαδικασία οι οποίοι περιέχουν ένζυμα τα οποία λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά τα ένζυμα έχουν μεγάλη σημασία σε πολλές εφαρμογές της βιοτεχνολογίας. Επίσης η διαδικασία μπορεί να είναι είτε μεσόφιλη δηλαδή σε θερμοκρασία 36 βαθμών κελσίου. Κατά την αναερόβια χώνευση παράγεται βιοαέριο με υψηλή περιεκτικότητα σε μεθάνιο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση των δεξαμενών καθώς και για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των εγκαταστάσεων. Σε μεγάλες μονάδες επεξεργασίας λυμάτων μπορεί να παραχθεί περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζεται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας.

1.2. Διαχείριση λάσπης βιολογικού καθαρισμού (ΛΒΚ).

1.2.1. Τεχνικές διαχείρισης λάσπης.

Υπάρχουν διαδικασίες για τη διαχείριση της ΛΒΚ που όμως δεν προτείνονται όπως η καύση της λάσπης και η εναπόθεση της στις χωματερές. Η αερόβια βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης (κομποστοποίηση) είναι η διαδικασία που προτιμάται για τη διαχείριση της ΛΒΚ πριν τη τελική της διάθεση στο έδαφος. η τεχνική αναστροφόμενων σειραδίων είναι αυτή που κυρίως συναντάτε λόγω της ευκολίας εφαρμογής της, των περιορισμένων οχλήσεων και του χαμηλού κόστους. Για την καλύτερη λειτουργία της βιοδιάσπασης και τη σμίκρυνση του χρόνου ολοκλήρωσης της είναι απαραίτητη η συνεχής παροχή οξυγόνου στα σειράδια. Αυτό επιτυγχάνετε σε ικανοποιητικό βαθμό με τις αναστροφές των σειραδίων σε τακτά χρονικά διαστήματα και με την προϋπόθεση της ύπαρξης μιας καλής αναλογίας ΛΒΚ και κατάλληλου διογκωτικού υλικού, για τη δημιουργία του βέλτιστου υποστρώματος για βιοδιάσπασης. Μελέτες έδειξαν πως τα διαστήματα εφαρμογής των αναστροφών θα πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ μιας με δύο εβδομάδων. Για τον καθορισμό της φύσης

και της αναλογίας του διογκωτικού υλικού στην αύξηση του ρυθμού διάσπασης του οργανικού υποστρώματος μελετούνται παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία κομποστοποίησης, η μείωση των στερεών πτητικών και του οργανικού άνθρακα, η διακύμανση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, η παρουσία και ο αριθμός παθογόνων του υποστρώματος και η παραγωγή CO₂. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται σήμερα στις εκπομπές αερίων και ιδιαίτερα αυτής του μεθανίου, ως δραστικού αερίου του φαινομένου του θερμοκηπίου, από τις διάφορες δραστηριότητες, βιομηχανίες κ.τ.λ και ακόμα των χώρων κομποστοποίησης. Το δεδομένο αυτό έχει δώσει μια άλλη προσέγγιση στην τεχνολογία της κομποστοποίησης αφού παρόλο που βασίζετε σε αερόβιες λειτουργίες η δημιουργία αναερόβιων θέσεων στα κατώτερα στρώματα των σειραδίων, η παραγωγή και συγκέντρωση μεθανίου είναι αναπόφευκτη. (Manios *et al.*, 2003).

1.2.2. Νομικό πλαίσιο.

Η ιλύς που προέρχεται από την επεξεργασία αστικών λυμάτων, θεωρείται μη επικίνδυνο Στερεό Απόβλητο σύμφωνα με την κείμενη Νομοθεσία και επομένως εμπίπτει σε όλες, τις σχετικές με τη διαχείριση στερεών αποβλήτων, διατάξεις. Το τελικό προϊόν, μετά από την σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό σταθεροποίηση της, δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, καθόσον το περιεχόμενο της σταθεροποιημένης λάσπης σε φώσφορο και άζωτο, δεν είναι ικανοποιητικό για να χαρακτηριστεί σαν λίπασμα. Για το λόγο αυτό, η γεωργική χρήση της περιορίζεται κυρίως σαν πληρωτικό υλικό (filler) και σαν εδαφο-βελτιωτικό (soil conditioner), μετά από την εφαρμογή της μεθόδου της λιπασματοποίησης (composting), συνήθως σε συνδυασμό με τα αστικά απορρίμματα. Η καύση είναι επίσης μία από τις αρκετά συνηθισμένες μεθόδους (τελικής) διάθεσης της λάσπης, που παράγει όμως σαν «παρα-προϊόν» τέφρα, η οποία ενδεχομένως να είναι τοξική, επομένως θα πρέπει να διατεθεί σε κατάλληλη ειδική χωματερή και να μην απορριφθεί ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον. Όσον αφορά την κομποστοποίηση ή συν-κομποστοποίηση της ιλύος αναφέρονται κάποιες γενικές προδιαγραφές καθώς και κάποιες αναλυτικές περιγραφές σχετικά με την κατασκευή και λειτουργία εγκαταστάσεων Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης

1.3. Κομποστοποίηση.

1.3.1. Η αποδόμηση της οργανικής ουσίας και η επέμβαση του ανθρώπου.

Η βιολογική αποδόμηση της πολύπλοκης οργανικής ύλης σε απλούστερες μορφές και τελικά στα ανόργανα συστατικά της, ουσιαστικά συμβαίνει στη φύση, από την εδραίωση της ζωής στον πλανήτη μας. Ο συνεχής και αένας κύκλος της δόμησης και αποδόμησης της οργανικής ύλης αποτελεί χαρακτηριστικό προνόμιο της ζωής και κύριο παράγοντα στην αδιάκοπη ανανέωση της. Στο κέντρο αυτού του κύκλου βρίσκονται οι μικροοργανισμοί, κύριοι υπαίτιοι της αποδόμησης κάθε οργανικής ουσίας ή οργανισμού συμπεριλαμβανομένου και του ίδιου του ανθρώπου. Όποτε λοιπόν αναφέρετε ο όρος αποδόμηση θα συνεπάγεται μια βιολογική διαδικασία με όλα τα χαρακτηριστικά και τους περιορισμούς της. Για εκατομμύρια χρόνια ο κύκλος αυτός έμεινε σταθερός και ανεπηρέαστος από οποιαδήποτε φαινόμενα. Η παρουσία όμως του ανθρώπου πάνω στον πλανήτη και η ανάπτυξη πολιτισμού, όπως εμείς τον εννοούμε, απείλησε να διαταράξει την ισορροπία κυρίως μέσα από τη συσσώρευση πληθυσμών σε μικρές γεωγραφικές εκτάσεις (πόλεις) και τη μεταφορά τροφής (οργανικής ύλης) από το χώρο παραγωγής στο χώρο κατανάλωσης. Αυτό προκάλεσε τη δημιουργία ενός ελλείμματος κυρίως σε γεωργικές περιοχές μια και θρεπτικά στοιχεία απομακρύνονταν από το έδαφος από τα φυτά χωρίς να αναπληρώνονται όπως γινόταν πάντα μέσα από το θάνατο και την αναδόμηση τους στον ίδιο χώρο. Από την άλλη η συσσώρευση οργανικών υπολειμμάτων στη μικρή γεωγραφική περιοχή της πόλης δημιούργησε μια άλλη μορφή ανατροπής. Τώρα υπήρχε πολύ οργανική ουσία σε μικρό χώρο και η αποδόμηση της από τους μικροοργανισμούς δημιούργησε μια σειρά από τοξικά φαινόμενα. Η συνεργική δράση του ανθρώπου προς τη φύση είναι η υποβοήθηση της στη γρήγορη βιολογική αποδομηση των οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων, σε απλούστερες μορφές και η επαναφορά τους στους φυσικούς αποδέκτες τους και κυρίως στο χώμα. Η διαδικασία αυτή της βιολογικής αποδόμησης των οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων, με την παρέμβαση του ανθρώπου και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες αποδίδετε με το διεθνή όρο *composting*. Το υλικό στο ποιο μετατρέπονται τα οργανικά υπολείμματα με αυτή τη διαδικασία ονομάζετε διεθνώς *compost* και αντιπροσωπεύει ένα οργανικό βελτιωτικό εδάφους. Ένα σημαντικό ζήτημα παραμένει η αποτελεσματική και

περιβαλλοντικά φιλική διαχείριση της ιλύος που παράγεται από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας μιας ΕΕΛ. Η κομποστοποίηση είναι μία από τις υπάρχουσες μεθόδους διαχείρισης της ιλύος που ικανοποιητικά αντιμετωπίζει και το πρόβλημα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος από τα στερεά υπολείμματα, αλλά και υλοποιεί την ανακύκλωση. Έτσι, εκτός από την ανακύκλωση των μετάλλων, του χαρτιού, των γυαλιών και των ελαστικών, που σε κάποιο ικανοποιητικό βαθμό μπορούμε να επιτύχουμε, με τη σύνθετη διαδικασία της ανακύκλωσης και λιπασματοποίησης, ανακυκλώνουμε ουσιαστικά και το οργανικό κλάσμα, επαναφέροντάς το σωστά στο φυσικό αποδέκτη του το χώμα για να μπορέσει το τελευταίο διατηρώντας την κανονική δομή και γονιμότητά του να συνεχίσει να παράγει.

1.3.2. Ορισμός της κομποστοποίησης.

Ως κομποστοποίηση (composting) των οργανικών υπολειμμάτων ορίζετε ως η βιολογική διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης των υλικών αυτών.

Τι εννοούμε με τον όρο σταθεροποίηση:

1. Να αποκτήσει μια μορφή που να είναι βιολογικά σχετικά αδρανή, απουσία έντονων μικροβιακών δραστηριοτήτων και διάσπαση των πολύπλοκων οργανικών μεγάλωμορίων σε πιο σταθερά οργανικά και ανόργανα συστατικά.
2. Να μειωθεί ή και να καταστραφεί η δυσάρεστη οσμή που μερικά οργανικά υλικά αναδύουν.
3. Να μειωθεί ή και να καταστραφεί πλήρως το παθογόνο για τον άνθρωπο μικροβιακό φορτίο, καθώς και παθογόνοι μικροοργανισμοί φυτών και ζώων.
4. Να μειωθεί ο όγκος των υλικών αυτών καθώς και η υγρασία τους έτσι ώστε να είναι ευκολότερη και πλέον οικονομική η μεταφορά τους από το σημείο συσσώρευσης-παραγωγής στο σημείο εφαρμογής.
5. Να μειωθεί η φυτοτοξική δράση του οργανικού φορτίου μέσα από διαδικασίες ωρίμανσης του υλικού.
6. Να παραχθεί τελικά ένα οργανικό υλικό που θα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε διάφορες καλλιεργητικές καλύπτοντας έτσι ανάγκες σε οργανικό λίπασμα αλλά και

με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία που απαιτεί την ανάκτηση κέρδους από τα απορρίμματα (ενεργά ή υλικά)

Η κομποστοποίηση είναι μια φυσική βιολογική διαδικασία αποδόμησης, που η επέμβαση του ανθρώπου απλώς έχει εντατικοποίηση και μεγιστοποίηση την απόδοσή της. Η διαδικασία είναι μικροβιακή, αερόβια και θερμοφιλή. **Είναι μικροβιακή** γιατί ένας μεγάλος ποικιλόμορφος και πολυπληθέστερος συνδυασμός διαφορετικών μικροοργανισμών (μύκητες, βακτήρια, ζύμες, ακτινομύκητες κ.α.) καθώς και οργανισμών (γαιοσκώληκες κ.α.) είναι υπεύθυνοι για τη διαδικασία αυτή. **Είναι αερόβια** γιατί η παρουσία επαρκούς ποσότητας οξυγόνου είναι αναγκαία για τη γρήγορη, αποτελεσματική και χωρίς προβλήματα αποδόμηση της οργανικής ουσίας μέσω των αερόβιων κυρίως προαναφερθέντων μικροοργανισμών. **Είναι θερμοφιλή** γιατί ως αποτέλεσμα της μικροβιακής αποδόμησης παράγεται ενέργεια που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών που αποδομούνται. Ουσιαστικά κατά την κομποστοποίηση πολύπλοκα οργανικά μόρια διασπώνται κάτω από τη δράση μικροοργανισμών σε απλούστερες οργανικές ενώσεις ή και ανόργανα στοιχεία με την ταυτόχρονη απελευθέρωση κυρίως CO₂, υδρατμών και ενέργειας. (Manios *et al.*, 2003).

1.3.3. Τεχνικοί και βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση.

Στην πράξη η αερόβια αποδόμηση των οργανικών υλικών με τη διαδικασία της κομποστοποίησης πραγματοποιείται κατά κανόνα σε σωρούς. Πριν από τη διαμόρφωση των σωρών, το προς αποδόμηση υλικό, προετοιμάζεται με το τεμαχισμό του, αν είναι χονδροειδές υλικό και με την προσθήκη νερού και αζώτου αν είναι απαραίτητα. Στόχος αυτής της προετοιμασίας είναι η εξασφάλιση των άριστων κατά το δυνατόν συνθηκών υγρασίας, θερμοκρασίας και οξυγόνου, μαζί με την επαρκή παρουσία αζώτου, για την ανάπτυξη της μικροχλωρίδας που θα προκαλέσει την αποδόμηση του υλικού. (Manios *et al.*, 2003).

1.3.3.1. Υγρασία.

Το άριστο επίπεδο υγρασίας είναι η διαφορά για κάθε κατηγορία υλικού και συνδέεται άμεσα με τις υδατικές ιδιότητες του. Αν λάβουμε υπόψη μας ότι το 30% των πόρων μεταξύ των τεμαχιδίων πρέπει να καταλαμβάνεται από αέρα, για τη διατήρηση των αερόβιων συνθηκών, γίνεται αντιληπτό ότι η περιεκτικότητα του υλικού στο νερό δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 70% του νερού που απαιτείται για τον κορεσμό του. Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία, για τα περισσότερα οργανικά υλικά η άριστη υγρασία κυμαίνεται από 45% μέχρι και 60% σε υγρή βάση. (Manios *et al.*, 2003).

1.3.3.2. Θερμοκρασία.

Αμέσως μετά τη διαμόρφωση του σωρού με το προετοιμασμένο υλικό, αρχίζει η μικροβιακή δράση που έχει σαν αποτέλεσμα, με την ελευθέρωση ενέργειας, την άνοδο της θερμοκρασίας του σωρού και αφού τα εξωτερικά στρώματα του, επενεργούν θερμομονωτικά στα εσωτερικά. Έτσι στις πρώτες δυο ή τρεις ημέρες η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει ή ακόμα και να υπερβεί τους 70 °C και να διατηρηθεί σε αυτό το επίπεδο για αρκετές ημέρες. Συνήθως όμως μετά την πάροδο 10 περίπου ημερών η θερμοκρασία αρχίζει να πέφτει εξαιτίας της εξάντλησης του διαθέσιμου οξυγόνου ή τη μείωση της υγρασίας. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητη η επέμβαση οξυγόνωσης του υλικού που μπορεί να γίνει είτε με το γύρισμα του σωρού, είτε με την παροχή αέρα υπό πίεση στη βάση του σωρού, είτε ακόμα με αναρρόφηση των εγκλωβισμένων αερίων στη μάζα του υλικού και την αντικατάστασή τους με ατμοσφαιρικό αέρα. Ως άριστη θερμοκρασία για την μικροβιακή δραστηριότητα στους σωρούς του composting θεωρείται εκείνη μεταξύ των 50 και 65 °C. (Manios *et al.*, 2003).

1.3.3.3. Το pH.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει άμεσα την αποδόμηση του υλικού είναι το pH του, δεδομένου ότι ασκεί καθοριστικό ρόλο στο φάσμα των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών. Ως άριστο pH για το composting θεωρείται εκείνο της ελαφρώς αλκαλικής περιοχής δεδομένου ότι ευνοεί τη δραστηριότητα των βακτηρίων χωρίς να περιορίζει σημαντικά εκείνη των μυκήτων. Δεν είναι όμως απαραίτητη η διόρθωση του pH του υλικού δεδομένου ότι με την έναρξη της χώνευσης το pH ανεβαίνει στην ελαφρώς αλκαλική περιοχή εξαιτίας κυρίως της ελευθέρωσης αμμωνίας και κατά συνέπεια καλύπτεται αυτή η ανάγκη από την ίδια τη διάσπαση. (Manios *et al.*, 2003).

1.3.3.4. Σχέση C/N.

Τα διάφορα οργανικά υπολείμματα έχουν συνήθως μια υψηλή αναλογία C/N. Οι μικροοργανισμοί κατά την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων αφομοιώνουν το 1/3 περίπου του μεταβολιζόμενου C και τον υπόλοιπο τον ελευθερώνουν ως CO₂. Η περιεκτικότητα κατά μέσο όρο του μικροβιακού κυττάρου σε C και N είναι 50% και 5% αντίστοιχα, που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο η σχέση C/N στο μικροβιακό κύτταρο είναι 10/1. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι η άριστη τιμή της σχέσης C/N στο προς χώνευση υλικό είναι εκείνη του 30/1. Συμπερασματικά επομένως προκύπτει ότι στην περίπτωση κατά την οποία η αρχική σχέση C/N στο υλικό είναι πάνω από το 30/1 είναι αναγκαία η προσθήκη ανόργανου αζώτου και σε τέτοια ποσότητα που να διορθώνει την ανωτέρω σχέση 30/1. (Manios *et al.*, 2003).

1.3.3.5. Μέγεθος τεμαχιδίων.

Το μέγεθος των τεμαχιδίων του υλικού επηρεάζει σημαντικά τη μικροβιακή δραστηριότητα αφού ο πολυτεμαχισμός τους σε μικρά τεμάχια αυξάνει την επιφάνεια, τη δυνάμενη να προσβληθεί από τα εξωτερικά ένζυμα των μικροοργανισμών, αλλά και ταυτόχρονα μειώνει τα κενά του αέρα με αποτέλεσμα τη γρήγορη επικράτηση αναερόβιων συνθηκών. Ταυτόχρονα, το αρχικό μέγεθος των τεμαχιδίων του υλικού επηρεάζει αναλογικά και την κοκκομετρική σύνθεση του τελικού compost και είναι γνωστό πως αυτό δεν είναι επιθυμητό να είναι σε

κατάσταση σκόνης. Από πειράματα που έχουν γίνει, φαίνεται ότι το άριστο μέγεθος των τεμαχιδίων είναι μεταξύ του 1,5 και 7,5 cm περίπου. (Manios *et al.*, 2003).

1.3.3.6. Μικροχλωρίδα.

Η μικροχλωρίδα που πραγματοποιεί την αερόβια βιολογική αποδόμηση των οργανικών υπολειμμάτων υπάρχει φυσιολογικά σε αυτά, προερχόμενη από το έδαφος, τον αέρα και το νερό και δεν είναι απαραίτητη η επιπλέον προσθήκη μικροβιακού μολύσματος. (Manios *et al.*, 2003).

1.3.4. Μικροβιολογία της κομποστοποίησης.

Έχει ήδη αναφερθεί ότι η κομποστοποίηση είναι μια καθαρά μικροβιακή διαδικασία στην οποία πλήθος μικροοργανισμών παίρνουν μέρος. Οι μικροοργανισμοί αυτοί αποδομούν τις μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις σε απλούστερες μέσο κυρίως των διαδικασιών μεταβολισμού τους. Στη **πρώτη φάση** γίνεται διάσπαση των πλέων απλών μορίων όπως σάκχαρα κυρίως από βακτηρία που αποτελούν και το κυρίαρχο είδος μικροοργανισμών καθόλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Η βέλτιστη θερμοκρασία για τους μικροοργανισμούς αυτούς είναι 15-35 °C και γι'αυτο το λόγο χαρακτηρίζονται και ως ψυχρόφιλοι μικροοργανισμοί. Στη **δεύτερη φάση** γίνεται διάσπαση των πλέων απλών μορίων συνεχίζετε αυτή τη φορά σχεδόν αποκλειστικά από βακτήρια. Οι θερμοκρασίες έχουν αυξηθεί και κυμαίνονται μεταξύ 35-55 °C. Οι μικροοργανισμοί αυτοί που κυριαρχούν σε αυτή τη φάση λέγονται μεσόφιλη. Στη **τρίτη φάση** οι θερμοκρασίες έχουν φτάσει πάνω από 55 °C και μπορούν να φτάσουν μέχρι και τους 80 °C. Τα είδη αυτά των βακτηρίων που λειτουργούν κάτω από αυτές τις συνθήκες χαρακτηρίζονται ως θερμόφιλοι. Σε αυτές τις θερμοκρασίες δεν υπάρχουν μύκητες αλλά υπάρχουν ελάχιστοι ακτινομύκητες. Αν αφήσουμε να συμβεί αυτό η πλειονότητα των μικροοργανισμών ακόμα και των θερμόφιλων βακτηρίων θα νεκρωθεί. Όταν συμβαίνει αυτό έχουμε πτώση της θερμοκρασίας. Η πτώση της θερμοκρασίας όμως μπορεί να οφείλετε και σε άλλα φαινόμενα όπως η έλλειψη υγρασίας ή οξυγόνου. Γι'αυτο όταν η θερμοκρασία πέφτει ανακατεύουμε το υλικό. Με αυτό τον τρόπο προσθέτουμε οξυγόνο και χαμηλώνουμε τη θερμοκρασία ενώ

ταυτόχρονα φέρνουμε στο κέντρο του σωρού νέα υλικά. Η **τέταρτη φάση** είναι μια φάση μεσόφιλη που διαρκεί λίγες μέρες ή εβδομάδες και που αυτή τη φορά έχουμε εμφάνιση μυκήτων και ακτινομυκήτων. Οι μικροοργανισμοί αυτοί προσβάλλουν τα πλέων δύσκολα αποδομούμενα οργανικά μόρια όπως αυτά της κυτταρίνης και της λιγνίνης. Η **πέμπτη φάση** είναι η φάση ωρίμανσης και που διαρκεί από 8 μέχρι 12 εβδομάδες. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται είναι μικροβιακής φύσεως αλλά αρκετά πιο αργές και χωρίς εμφανή φυσικά αποτελέσματα όπως ήταν η αύξηση της θερμοκρασίας. (Manios *et al.*, 2003).

1.3.5. Θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Ως κύρια παράμετρος θανάτωσης των παθογόνων μικροοργανισμών μέσω της διαδικασίας της κομποστοποίησης θεωρείτε πάντα η αύξηση της θερμοκρασίας. Μελέτες όμως απέδειξαν ότι η θανάτωση των μικροοργανισμών δεν οφείλετε μόνο στη δράση της θερμοκρασίας αλλά και σε άλλα φαινόμενα και κυρίως στην ανταγωνιστική δράση των μικροοργανισμών. Όπως είναι γνωστό πολλοί μικροοργανισμοί παράγουν αντιβιοτικά ως μέσω της προσπάθειάς τους να κυριαρχήσουν έναντι ανταγωνιστικών μικροοργανισμών. (Manios *et al.*, 2003).

1.4. Παραγωγή αερίων θερμοκηπίου.

1.4.1. Φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η ατμόσφαιρα της γης αποτελείται από ένα σύνολο αερίων που εκτείνεται σε ύψος 800 χιλιομέτρων και είναι διαπερατή μόνο από ορισμένα μήκη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Από το σύνολο των ακτινοβολιών που δέχεται μόνο το ορατό φως και τα ραδιοκύματα φτάνουν στη γη ουσιαστικά αναλλοίωτα. Όλα τα άλλα μήκη κύματος απορροφούνται σε κάποιο βαθμό από τα αέρια της ατμόσφαιρας. Η υπεριώδης ακτινοβολία, η βασική ακτινοβολία του ήλιου απορροφάται μερικώς από ένα στρώμα όζοντος, που βρίσκεται στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας, στη στρατοσφαιρική ζώνη. Η υπόλοιπη ακτινοβολία καθώς αντανάκλαται στην επιφάνεια της γης μετατρέπεται σε υπέρυθρη, ενώ παράλληλα προκαλείται αύξηση

της θερμοκρασίας. Σε απόσταση 25 km από το έδαφος υπάρχει ένα λεπτό στρώμα από αέρια σε σταθερή αναλογία, το οποίο δρα όπως το γυαλί ενός γεωργικού θερμοκηπίου, δηλαδή, ενώ επιτρέπει την είσοδο της θερμότητας που μεταφέρει η υπεριώδης ακτίνα του ήλιου, εμποδίζει τη διαφυγή της προς το διάστημα. Κατά αυτό τον τρόπο παγιδεύεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους ένα ποσοστό θερμότητας, με αποτέλεσμα να διατηρείται σταθερή μια μέση θερμοκρασία στους 15 βαθμούς Κέλσιου, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για την ύπαρξη ζωής στη γη. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν δεν υπήρχε αυτό το στρώμα αερίων αυτή η μέση θερμοκρασία θα ήταν χαμηλότερη κατά 30 βαθμούς Κέλσιου. Αυτή η φυσική διαδικασία είναι ευρέως γνωστή ως το "Φαινόμενο του Θερμοκηπίου" και τα αέρια που συμμετέχουν ονομάζονται "θερμοκηπικά". (Wikipedia.com)



1.4.2. Αλληλεπίδραση της "Τρύπας του Όζοντος" με το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.

Στα μέσα της δεκαετίας του '70 και στην περιοχή γύρω από τον Νότιο Πόλο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το φαινόμενο της καταστροφής του όζοντος της στρατόσφαιρας, από τους φθοροχλωράνθρακες. Ήταν η πρώτη φορά που οι

επιστήμονες μίλησαν για τη γνωστή "τρύπα", που επέτρεπε σε μεγαλύτερο ποσοστό υπεριώδους ακτινοβολίας να φτάνει στην επιφάνεια της γης. Ποτέ πια δεν θα βλέπαμε τον ήλιο με τα ίδια μάτια, καθώς "η πηγή ζωής" που μας δίδασκαν στο σχολείο, μετατράπηκε σε δυνητικό εχθρό.

Το πρόβλημα δεν σταματά εκεί. Η καταστροφή του όζοντος αλληλεπιδρά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας κοντά στο έδαφος οδηγεί στην αύξηση του ποσού θερμότητας που παρακρατείται από τα θερμοκηπικά αέρια. Λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου η θερμότητα εγκλωβίζεται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα η στιβάδα του στρατοσφαιρικού όζοντος να ψύχεται και να υπόκειται σε περαιτέρω καταστροφή.

1.4.3. Ποιοι παράγοντες προκαλούν επιδείνωση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου;

Σημείο-κλειδί στη διαδικασία είναι η αναλογία των θερμοκηπικών αερίων. Η συσσώρευση αερίων που προκλήθηκε από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τις επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον προκάλεσε διαταραχή του υφιστάμενου ενεργειακού ισοζυγίου στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να έχουμε παρακράτηση μεγαλύτερου ποσού θερμότητας κοντά στην επιφάνεια της γης και υπερθέρμανση του πλανήτη. Ας εστιάσουμε όμως στην πηγή του προβλήματος, στην προέλευση των αερίων του θερμοκηπίου. Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και οι χλωροφθοράνθρακες. Εκλύονται σε μεγάλες ποσότητες -ιδίως το διοξείδιο του άνθρακα- μέσα από δραστηριότητες όπως η εξόρυξη και η χρήση καυσίμων (πετρέλαιο, βενζίνη, φυσικό αέριο, λιγνίτη και κάρβουνο), όταν κόβονται και καίγονται τα δάση, από την αποσύνθεση ή την καύση απορριμμάτων, γεωργικών και κτηνοτροφικών αποβλήτων, από τη χρήση συνθετικών λιπασμάτων, από την καύση οργανικής ύλης και φυσικά από τις μεταφορές. Ειδικά οι χλωροφθοράνθρακες προέρχονται από κλιματιστικά συστήματα και ψυγεία, από τα προωθητικά αέρια και από τη βιομηχανική χρήση τους ως διαλύτες ή καθαριστικά. Η εκτεταμένη χρήση, στην περίπτωση τους, περιορίστηκε σημαντικά έπειτα από σειρά μέτρων που

εφαρμόστηκαν σε παγκόσμια κλίμακα με στόχο την περιστολή της καταστροφής του όζοντος στη στρατόσφαιρα. (Πίνακας 1)

Πίνακας 1. Συγκεντρώσεις αερίων που συμμετέχουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και η προέλευση τους.

Αέρια Θερμοκηπίου	Συγκέντρωση τό 1750	Συγκέντρωση σήμερα	Ποσοστό μεταβολής	Προέλευση
Διοξείδιο του άνθρακα	280 ppm	360 ppm	29 %	Οργανική αποσύνθεση, Πυρκαγιές δασών, Ηφαίστεια, Καύσιμα Αποδασώσεις, κ.λ.π.
Μεθάνιο	0.70 ppm	1.70 ppm	143 %	Υγρότοποι, Οργανική αποσύνθεση, Τερμίτες, Φυσικό αέριο – πετρελαιοπηγές, Καύση βιομάζας, Ρυζοκαλλιέργειες, Κτήνη, Σκουπιδότοποι
Οξείδια αζώτου	280 ppb	310 ppb	11 %	Δάση, Λιβάδια, Ωκεανοί, Απορρίμματα, Καλλιέργειες, Λιπάσματα; Καύση Βιομάζας, Καύσιμα
Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)	0	900 ppt	-	Ψυγεία, Ψεκασμοί, Αεριοθούμενα, Απορρυπαντικά

1.4.4. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Έπειτα από ένα μέσο χρόνο παραμονής 4 ετών στην ατμόσφαιρα απορροφάται από τα φυτά για να εξυπηρετήσει τις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης ή αντιδρά με την αλκαλικότητα της θάλασσας παρέχοντας όξινα ανθρακικά, που καταλήγουν σε αναδιάλυση των ιζημάτων ανθρακικού ασβεστίου. Η συνολική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εισήλθε κατά το 1998 στην ατμόσφαιρα ανερχόταν σε 24 δισεκατομμύρια τόνους περίπου, από τα οποία τα 3 δισεκατομμύρια κατακρατήθηκαν τελικώς από τους ωκεανούς, άλλα 18 δισεκατομμύρια απορροφήθηκαν από επίγειες

βιολογικές διεργασίες (κυρίως φωτοσύνθεση), ενώ τα υπόλοιπα 3 δισεκατομμύρια συσσωρεύτηκαν στην ατμόσφαιρα. (Wikipedia. com)

1.4.5. Το μεθάνιο (CH₄).

Προέρχεται κυρίως από βιολογικές διεργασίες αποδόμησης οργανικών ουσιών καθώς και διαρροές φυσικού αερίου, κατευθύνεται προς την στρατόσφαιρα, όπου συνεισφέρει στο «στρατοσφαιρικό φαινόμενο του θερμοκηπίου». Το μεθάνιο αποτελεί «τελικό προϊόν» βιολογικών διεργασιών και κατά συνέπεια δεν μπορεί να καταναλωθεί από καμία βιολογική διεργασία, όπως συμβαίνει με το διοξείδιο του άνθρακα. Ο μέσος χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα ανέρχεται σε 11 χρόνια, οι δε 3,5 δισεκατομμύρια τόνοι που είναι συσσωρευμένοι στην ατμόσφαιρα υφίστανται κάθε χρόνο μια προσθήκη 300 εκατομμυρίων τόνων, από την οποία το μεγαλύτερο μέρος (90% περίπου) καταστρέφεται, επιτρέποντας μια συσσώρευση στην ατμόσφαιρα ίσης με 30-40 εκατομμύρια τόνους ή 1% περίπου ετησίως. (Wikipedia. com).

1.4.6. Ποια είναι τα "προγνωστικά" για το μέλλον;

Η μεθοδική μελέτη της εξέλιξης και των επιπτώσεων του Φαινομένου του Θερμοκηπίου άρχισε το 1988 υπό την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών και αποτέλεσε ένα από τα κύρια θέματα στη Διάσκεψη του Ρίο, το 1992. Για την αξιολόγηση των επιστημονικών στοιχείων σχετικών με τις κλιματικές μεταβολές έχει συσταθεί από τον ΟΗΕ η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), η οποία αποτελείται από κορυφαίους επιστήμονες. Σύμφωνα με την τρίτη έκθεση εκτιμήσεων, η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη προβλέπεται ότι θα αυξηθεί κατά 1,4 έως 5,8 βαθμούς Κελσίου μεταξύ των ετών 1990 και 2100, εφόσον δεν μεταβληθούν τα σημερινά δεδομένα, ενώ η στάθμη της θάλασσας αναμένεται να ανέλθει κατά 9 έως 88 εκατοστά. Οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αναμένονται για να αυξηθούν κατά 1.8 % ετησίως μεταξύ 2004 και 2030. Ένα μεγάλο μέρος της αύξησης σε αυτές τις εκπομπές αναμένεται για να πραγματοποιηθεί

στον αναπτυσσόμενο κόσμο όπου οι αναπτυσσόμενες οικονομίες, όπως η Κίνα και η Ινδία, τροφοδοτούν την οικονομική ανάπτυξη με την απολιθωμένη ενέργεια. Οι εκπομπές από τις χώρες έξω από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) αναμένονται για αυξηθούν επάνω από τον παγκόσμιο μέσο όρο σε 2.6 % ετησίως μεταξύ 2004 και 2030.

1.5. Στόχος μελέτης.

Με βάση τα παραπάνω στόχος της μελέτης αυτής ήταν να αξιολογηθεί η επίδραση του διογκωτικού υλικού στην κομποστοποίηση υλούς βιολογικών καθαρισμών ως προς την παραγωγή και τη συγκέντρωση CH₄ και CO₂ στο εσωτερικό δυο διαφορετικών αναστρεφόμενων σειραδίων και ειδικότερα λεπτομερέστερα: Να καταγραφεί κατά την κομποστοποίηση η παραγωγή και η συγκέντρωση των αερίων του CH₄ και CO₂ σε διαφορετικές θέσεις (πυρήνα, πλευρικά ,και επιφανειακά) και εντός δυο σειραδίων με διαφορετική αναλογία (1:1 και 1:2 v/v) ΛBK και διογκωτικού υλικού. Η εκτίμηση τόσο της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης διαδικασίας στη μείωση των εκπομπών μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα σε πραγματικές συνθήκες όσο και του κόστους εφαρμογής και των τεχνικών δυσκολιών καθώς και η βελτίωση της αποτέλεσαν βασικά θέματα προς συζήτηση. Έτσι εντοπίζετε ως ο βασικός στόχος της μελέτης αυτής η εκτίμηση των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου κατά την κομποστοποίηση λάσπης βιολογικών καθαρισμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πηγή προέλευσης αρχικών υλικών.

Η διαδικασία κομποστοποίησης στο συγκεκριμένο έργο πραγματοποιήθηκε (α) με λάσπη από το βιολογικό καθαρισμό Ηρακλείου (ΛΒΚ). Η λάσπη αυτή ήταν ενεργός και είχε υποστεί αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου. Δεν είχε καμία άλλη επέμβαση πριν την χώνευση της και (β) ροκανίδια λευκής ξυλείας. Τα ροκανίδια που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από εργοστάσια ξυλείας του Ηρακλείου και δεν είχε γίνει σε αυτά καμία πρόσθετη επέμβαση. Τα ροκανίδια χρησιμοποιήθηκαν ως διογκωτικό υλικό για να πραγματοποιηθεί αερόβιος αποδόμιση της οργανικής ουσίας (ΛΒΚ).

2.2. Βιολογικός καθαρισμός Ηρακλείου.

Ο Βιολογικός Καθαρισμός Ηρακλείου είναι μια από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων στην Ελλάδα. Εντάσσεται στο σχέδιο ολοκληρωμένης διαχείρισης λυμάτων της ευρύτερης περιοχής Ηρακλείου. Οι αναλογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την κομποστοποίηση ήταν, 1:1 (λάσπη – ροκανίδι) και 1:2 (λάσπη- ροκανίδι). Στην αρχή, κατά την διάρκεια και στο τέλος της διαδικασίας κομποστοποίησης εξετάζονταν η ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του καθώς και την ύπαρξη παθογόνου φορτίου.

2.3. Διαδικασία κομποστοποίησης.

Η κομποστοποίηση όπως προαναφέρθηκε είναι η αποδόμιση της οργανικής ύλης σε απλούστερα υλικά. Είναι αερόβια διαδικασία στην οποία λαμβάνουν μέρος διάφοροι παράγοντες. Η διαδικασία της κομποστοποίησης εφαρμόζεται σε ειδικούς χώρους από εξειδικευμένο προσωπικό που γνωρίζει και ελέγχει το σωστό τρόπο της εφαρμογής της διαδικασίας.

2.3.1. Εγκατάσταση – προετοιμασία σειραδίων.

Η εγκατάσταση των σειραδίων έγινε πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένη πίστα από μπετόν. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν λάσπη από το βιολογικό καθαρισμό και ροκανίδι όπως έχει ήδη προαναφερθεί και μεταφέρθηκαν στο χώρο της κομποστοποίησης με φορτηγά. Αρχικά στρώθηκε στην πιστά ροκανίδι το οποίο είχε μήκος 18 m. Στη συνέχεια πάνω στο ροκανίδι στρώθηκε η λάσπη από το βιολογικό καθαρισμό η οποία πάρθηκε από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία και είχε υποστεί αναερόβια ζύμωση. Πάνω στη λάσπη τοποθετήθηκε πάλι στρώση από ροκανίδι. (Εικ.2.1) Στο μισό σωρό, δηλαδή σε μήκος 9 m του σωρού τοποθετήθηκε διπλάσια ποσότητα από ροκανίδι για να πάρουμε τελική αναλογία λάσπης – ροκανίδι 1/2 και αναλογία λάσπης – ροκανίδι 1/1 στον άλλο σωρό. Στη συνέχεια με τη βοήθεια αναστροφέα έγινε ανάδευση του σωρού ώστε τα υλικά να αναμιχτούν για να ξεκινήσει η διαδικασία της κομποστοποίησης. (Εικ. 2.2).



Εικόνα 2.1. Τοποθέτηση ροκανιδιού πάνω στη λυμματολάσπη.



Εικόνα 2.2. Ανάδευση σωρού με τον αναστροφέα.

2.3.2. Περιγραφή αναστροφέα.

Για να πραγματοποιηθούν τα γυρίσματα κάναμε χρήση αναστροφέα. Ο αναστροφέας είναι ένα εξάρτημα που προσαρμόζετε και το οποίο έλκει το τρακτέρ. Παίρνει κίνηση από το δυναμοδοτικό άξονα του τρακτέρ ο οποίος γυρίζει το άξονα του αναστροφέα που φέρει φτερωτές. Ο άξονας με τις φτερωτές εισάγετε μέσα στο σωρό και λόγω της κατασκευής των φτερωτών ανακατεύει το υλικό με τέτοιο τρόπο ώστε τα εξωτερικά στρώματα του σωρού να πάνε στο κέντρο του και τα εσωτερικά να βγουν έξω πετυχαίνοντας έτσι την σωστή κομποστοποίηση όλου του υλικού. (Εικ. 2.3)



Εικόνα 2.3. Μηχανικός αναδευτήρας για την αναστροφή των σειραδίων.

2.3.3. Φυσικοχημικές αναλύσεις – μέτρηση θερμοκρασίας.

Για να πραγματοποιήσουμε την κομποστοποίηση έπρεπε πρώτα να μετρήσουμε τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των αρχικών υλικών (λάσπης - ροκανίδι). Μετρήσαμε το pH, την E.C., την υγρασία, την οργανική ουσία, των ολικό άνθρακα (C%) και το ολικό άζωτο (N%). Όταν ετοιμάστηκαν οι σωροί κάναμε δειγματοληψία απο το προς κομποστοποίηση υλικό. Κάθε εβδομάδα γινόταν γύρισμα του σωρού για οξυγόνωση και για να εισέρχεται στα εσωτερικά στρώματα του σωρού υλικό που υπήρχε στα εξωτερικά στρώματα. Οι δειγματοληψίες συνεχίστηκαν έως το πέρας της κομποστοποίησης, γινόταν πριν και μετά το γύρισμα του σωρού και τα δείγματα παίρνονταν από το κέντρο του σωρού. Στις αναλύσεις του υλικού γινόταν οι φυσικοχημικές αναλύσεις που προαναφέρθηκαν καθώς και οι συλλογή και μέτρηση των αερίων που εκπέμπονταν κατά την κομποστοποίηση.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των σωρών γινόταν σε καθημερινό επίπεδο τις πρωινές ώρες. Όταν η θερμοκρασία ανέβαινε σε υψηλά επίπεδα 60 – 70 °C πραγματοποιούσαμε γύρισμα των σωρών. (Εικ.2.4) Η κομποστοποίηση σταμάτησε όταν το υλικό είχε θερμοκρασία ίση περίπου με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος την οποία μετρούσαμε καθημερινά.



Εικόνα 2.4. Μέγιστη θερμοκρασία σωρού.

2.3.4. Μεθοδολογία φυσικοχημικών αναλύσεων.

- Υγρασίας: σε υγρή βάση στους 105⁰C
- pH: σε υδατικό εκχύλισμα με τη μέθοδο 1:1,5 κατ'όγκο
- Οργανικό άνθρακα (C%): σε ξηρή βάση με τη μέθοδο της καύσης στους 600⁰c για 16 ώρες
- Ολικό άζωτο (N%): με τη συσκευή kjeldahl.

2.4. Συλλογή αερίων με τη χρήση ανεστραμμένων χωνιών.

Όταν ήταν έτοιμα τα σειράδια τοποθετήθηκαν μέσα σε αυτά ειδικά γυάλινα πυρίμαχα χωνιά ανεστραμμένα σε διαφορετικά σημεία των σωρών. Ένα χωνί τοποθετήθηκε στη μέση του σωρού (center), ένα στην κορυφή (top) και ένα στο πλάι (side). Τα χωνιά είχαν μέσα υδρόφοβο βαμβάκι και ήταν συνδεδεμένα στο κάτω μέρος με σωληνάκια τα οποία ήταν έξω από το σωρό. Ο λόγος που τοποθετήθηκαν τα χωνιά ήταν για να μπορούν να μετρηθούν τα αέρια που εκπέμπονταν μέσα από το σωρό. Η

μέτρηση των αερίων γινόταν με την ειδική συσκευή Gas Analyser (GA) όπου γινόταν καθημερινή δειγματοληψία. Δειγματοληψία αερίων γινόταν και με τη χρήση σύριγγας των 60 ml κάθε 3 ημέρες. Τα αέρια που συλλέγονταν με τη σύριγγα αναλύονταν με τη χρήση της αέριας χρωματογραφίας. (Εικ. 2.5)



Εικόνα 2.5. Καθημερινή μέτρηση αερίων με τον αναλυτή αερίων Gas Analyser (A) και σύριγγες των 60ml, για προσδιορισμό της συγκέντρωσής των αερίων με την μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας (GC) (B).

2.5. Συλλογή αερίων με τη χρήση στατικών θυλακίων.

Ταυτόχρονα τοποθετήθηκαν πάνω στο σωρό στατικά θυλάκια για τη μέτρηση των ροών των αερίων. Τα στατικά θυλάκια είχαν τοποθετηθεί στο πάνω μέρος του σωρού καθώς και στο πλάι του σωρού. Με τη μέθοδο αυτή μπορούσαν να μετρηθούν οι ροές των αερίων. Οι μετρήσεις γινόταν κάθε 3 – 4 ημέρες και τα δείγματα παίρνονταν με σύριγγες των 60 ml σε χρόνους 0,5,10,20,30,60 min. Το δείγμα στο χρόνο 0 min το παίρναμε μόλις κλείναμε το καπάκι. Η ανάλυση γινόταν με τη χρήση της αέριας χρωματογραφίας.(Εικ. 2.6)



Εικόνα 2.6. Εγκατάσταση χονιών και θυλακίων για την καταγραφή των παραγόμενων αερίων.

2.5.1. Περιγραφή στατικών θυλακίων.

Τα στατικά θυλάκια είναι ειδικά διαμορφωμένα δοχεία χωρίς πάτο, για να συλλέγουν τα αέρια που εκπέμπονται, και με διπλά τοιχώματα όπου τοποθετείται νερό. Όταν τοποθετηθεί το καπάκι το νερό στεγανοποιεί για να μην υπάρχουν απώλειες αερίων. Το καπάκι φέρει μια ειδική λαστιχένια φλάντζα, σε αυτή τοποθετήθηκε μια βελόνα στην οποία προσαρμόστηκε μια βαλβίδα. Πάνω στη βαλβίδα προσαρμοζόταν η σύριγγα με την οποία αντλούσαμε τα αέρια. (Εικ.2.7)



Εικόνα 2.7. Μέτρηση ροών με τη μέθοδο ‘static accumulation chamber’ με την εγκατάσταση των θυλακίων ‘chambers’ στην κορυφή και σε μια πλευρά του κάθε σωρού (συλλογή αέριων με σύριγγες των 60 ml).

2.6. Ανάλυση αερίων.

Όλα τα δείγματα στις σύριγγες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και αναλύθηκαν μέσα σε 8 ώρες συλλογής για μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα με τη χρήση αέριου χρωματογράφου (Agilent 6890N) στο εργαστήριο Γεωπονίας ΤΕΙ. Η ανάλυση των αερίων ήταν ταυτόχρονη, καθώς το όργανο ήταν εξοπλισμένο με ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας για ανάλυση διοξειδίου του άνθρακα, συνδεδεμένο σε σειρά με ανιχνευτή φλόγας ιονισμού για ανάλυση μεθανίου. Αέρια δείγματα 1ml και πρότυπα διαλύματα εμβολιάστηκαν στη θύρα εμβολιασμού του οργάνου. Κατά τη διάρκεια μέτρησης κάθε ομάδας δειγμάτων, 3 δείγματα από πρότυπο αέριο αναλύθηκαν για λόγους ποιοτικού ελέγχου.

2.7. Υπολογισμοί αέριων ροών.

Με την τεχνική των στατικών θυλακίων πάρθηκαν μετρήσεις αέριων εκπομπών από το κάθε σημείο δειγματοληψίας. Ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης των αερίων υπολογίστηκε μέσω της γραμμικής συνάρτησης της συγκέντρωσης με το χρόνο λήψης. Τέλος, η ροή των αερίων (Flux) υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 1, τυπικά μετρούμενη σε μονάδες μέτρησης $\text{g m}^{-2} \text{min}^{-1}$,

$$F=V/A (\rho \text{ dC/dt}) \quad (1),$$

Όπου V: ο όγκος του εγκλειώμενου χώρου εσωτερικά του θυλακίου,

A: η εγκλειώμενη επιφάνεια

ρ : η ειδική πυκνότητα του αερίου στην θερμοκρασία εγκλεισμού

Και dC/dt: η ροή μεταβολής της συγκέντρωσης με το χρόνο εγκλεισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Μεταβολές βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια των κομποστοποιήσεων.

Στο πείραμα αυτό όπως προαναφέρθηκε μελετήθηκαν οι μεταβολές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, καθώς και τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των αρχικών υλικών. Στους πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών του compost (λάσπης και διογκωτικού υλικού) και οι μεταβολές του μείγματος του σειραδίου κατά τη διάρκεια της χώνευσης, αντίστοιχα.

Πίνακας 3.1. Βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ιλύος και διογκωτικού υλικού

Πρώτες ύλες	Υγρασία	PH	E.C mS/cm	Ολικός C %
Ιλύς βιολογικού	74.42	8.06	2.39	32.65
Ροκανίδια	7.15	5.97	0.1387	52.29

*Τελικοί μέσοι όροι των μετρήσεων

Πίνακας 3.2. Βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά σειραδίου αναλογίας 1/1 v/v κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

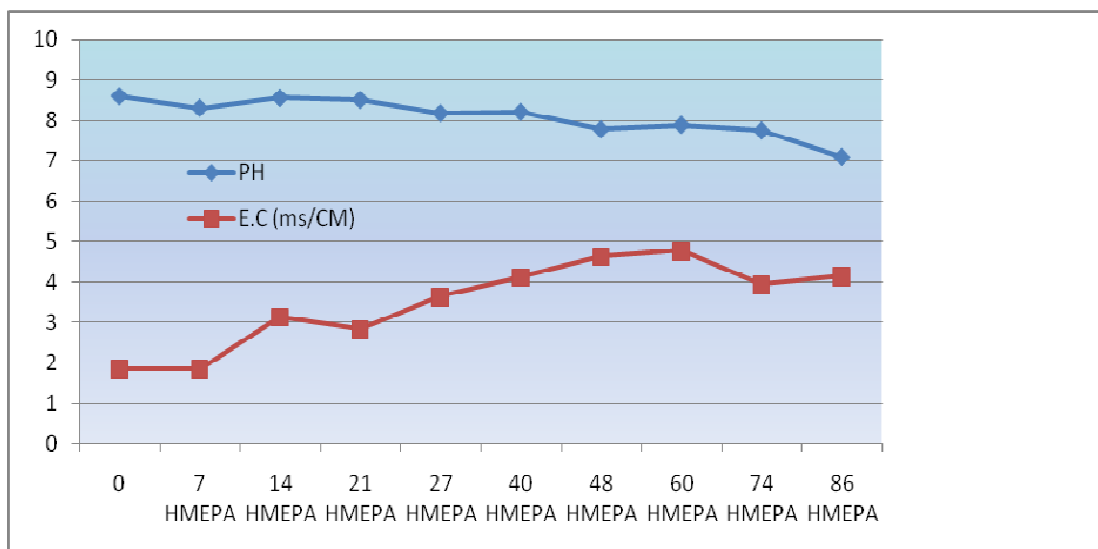
	ΑΝΑΛΟΓΙΑ 1:1			
ΓΥΡΙΣΜΑΤΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	PH	E.C (mS/cm)	ΟΛΙΚΟΣ C (%)
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	72,96	8,6	1,85	36,39
1 ΓΥΡΙΣΜΑ	67,98	8,31	1,86	34,45
2 ΓΥΡΙΣΜΑ	66,82	8,56	3,13	33,02
3 ΓΥΡΙΣΜΑ	66,69	8,51	2,84	32,93
4 ΓΥΡΙΣΜΑ	56,32	8,18	3,63	33,15
5 ΓΥΡΙΣΜΑ	52,3	8,21	4,12	32,2
6 ΓΥΡΙΣΜΑ	50	7,78	4,64	32,93
7 ΓΥΡΙΣΜΑ	44,28	7,89	4,78	33,03
8 ΓΥΡΙΣΜΑ	62,73	7,75	3,93	31,89
9 ΓΥΡΙΣΜΑ	67,19	7,1	4,14	33,26

Πίνακας 3.3. Βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά σειραδίου αναλογίας 1/2 v/v κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

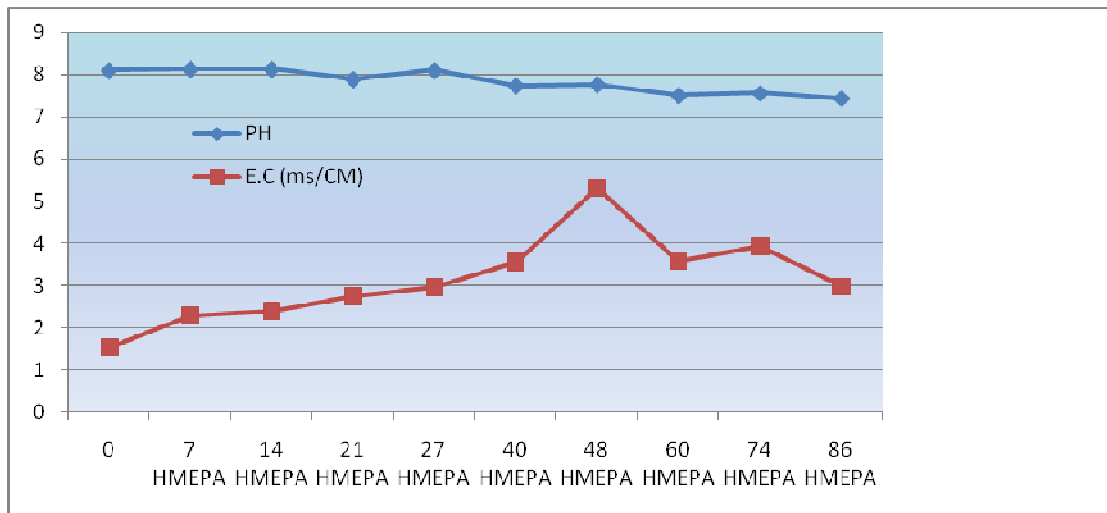
	ΑΝΑΛΟΓΙΑ 1:2			
ΓΥΡΙΣΜΑΤΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	PH	E.C (mS/cm)	ΟΛΙΚΟΣ C (%)
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	70,66	8,1	1,53	39,55
1 ΓΥΡΙΣΜΑ	56,52	8,13	2,29	38,56
2 ΓΥΡΙΣΜΑ	55,8	8,13	2,39	37,72
3 ΓΥΡΙΣΜΑ	53,29	7,89	2,75	36,32
4 ΓΥΡΙΣΜΑ	52,96	8,1	2,96	34,77
5 ΓΥΡΙΣΜΑ	42,16	7,74	3,56	35,35
6 ΓΥΡΙΣΜΑ	41,4	7,77	5,31	34,56
7 ΓΥΡΙΣΜΑ	42,68	7,51	3,58	35,16
8 ΓΥΡΙΣΜΑ	40,87	7,56	3,93	34,72
9 ΓΥΡΙΣΜΑ	48,23	7,44	2,98	39,14

Η υγρασία των σειραδίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης έπεσε σε χαμηλά επίπεδα μετά το 7^ο γύρισμα (44%) για το σειράδιο αναλογίας 1/1v/v και μετά το 5^ο γύρισμα (42%) για το σειραδιο αναλογίας 1/2v/v, γεγονός που επέβαλε την παρακολούθησή της δεδομένου ότι η χαμηλή υγρασία περιορίζει τη δράση των ωφέλιμων αποδομητικών μικροοργανισμών. Η διόρθωσή της με το σύστημα προσθήκης νερού (με διαβροχή του σωρού) που εφαρμόστηκε κρίνεται ως ικανοποιητική.

Το pH είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την κομποστοποίηση. Επηρεάζει άμεσα την αποδόμηση του υλικού γιατί ασκεί καθοριστικό ρόλο στο φάσμα των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών. Ως άριστο pH στην κομποστοποίηση θεωρείται εκείνο της ελαφρώς αλκαλικής περιοχής. Στα διαγράμματα 3.1 και 3.2 που ακολουθούν απεικονίζονται οι μεταβολές pH και αγωγιμότητας κατά τη διάρκεια των ημερών χώνευσης,



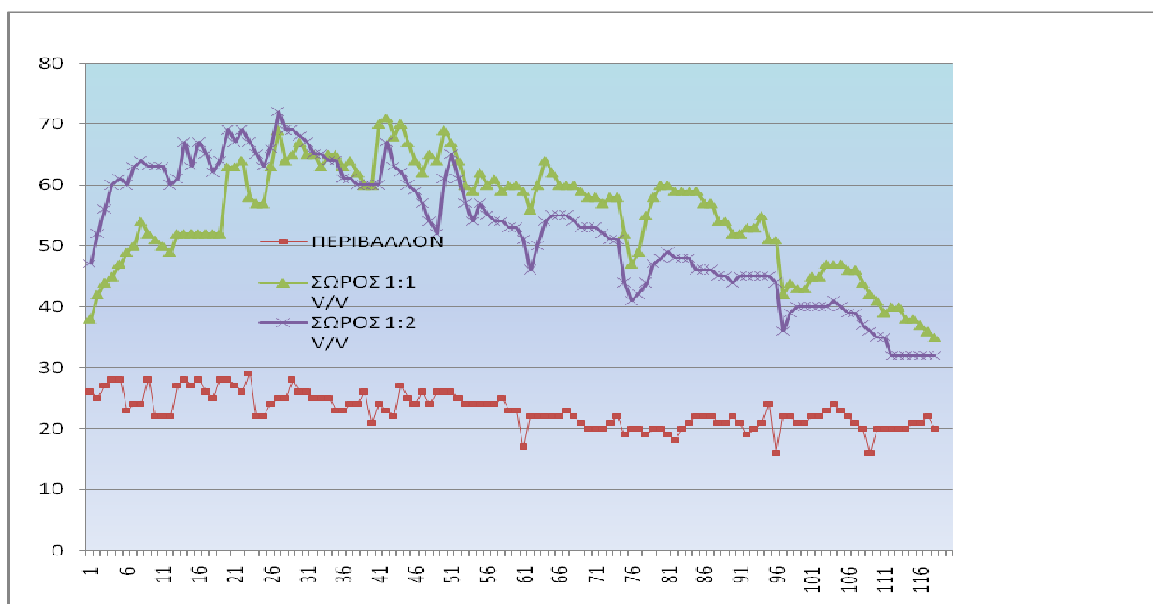
Διάγραμμα 3.1. Καμπύλες μεταβολής pH και αγωγιμότητας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης σε σειράδιο αναλογίας 1/1 v/v.



Διάγραμμα 3.2. Καμπύλες μεταβολής pH και αγωγιμότητας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης σε σειράδιο αναλογίας 1/2 v/v.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το pH ακολούθησε την καθιερωμένη πορεία της ανόδου και πτώσης γεγονός που επιβεβαιώνει την ομαλή πορεία της κομποστοποίησης, και η E.C. ακολούθησε τη γνωστή πορεία της συνεχούς ανόδου αλλά τελικά περιορίστηκε σε μικρότερα επίπεδα.

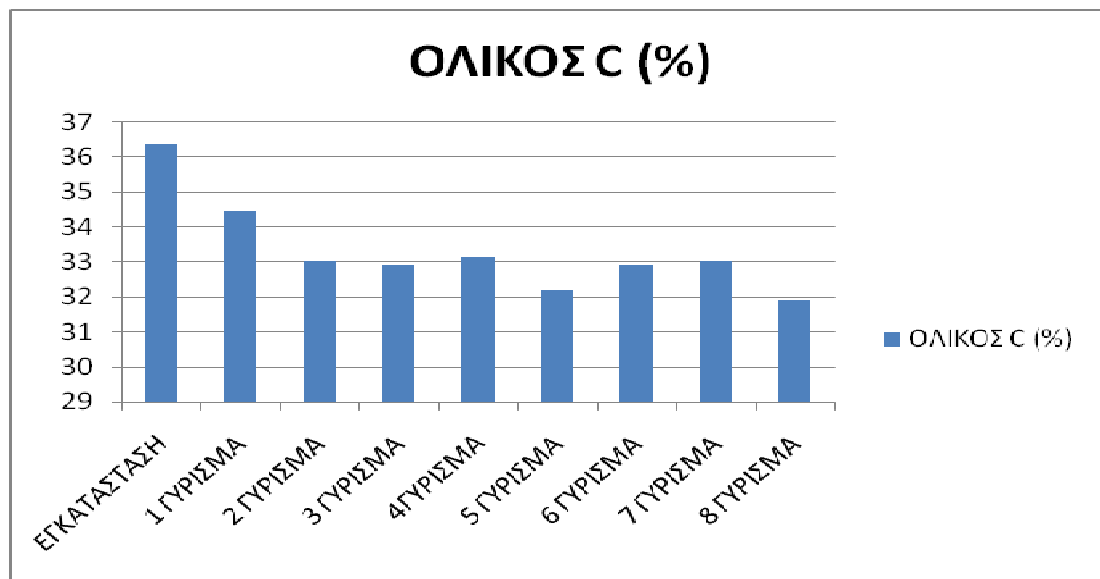
Μόλις ετοιμαστεί το υλικό ξεκινάει η μικροβιακή δράση που έχει ως αποτέλεσμα την ελευθέρωση ενέργειας άρα την ταυτόχρονη άνοδο της θερμοκρασίας. Το διάγραμμα 3.3 απεικονίζει τις μεταβολές θερμοκρασίας από την εγκατάσταση έως την ολοκλήρωση της φάσης της κομποστοποίησης.



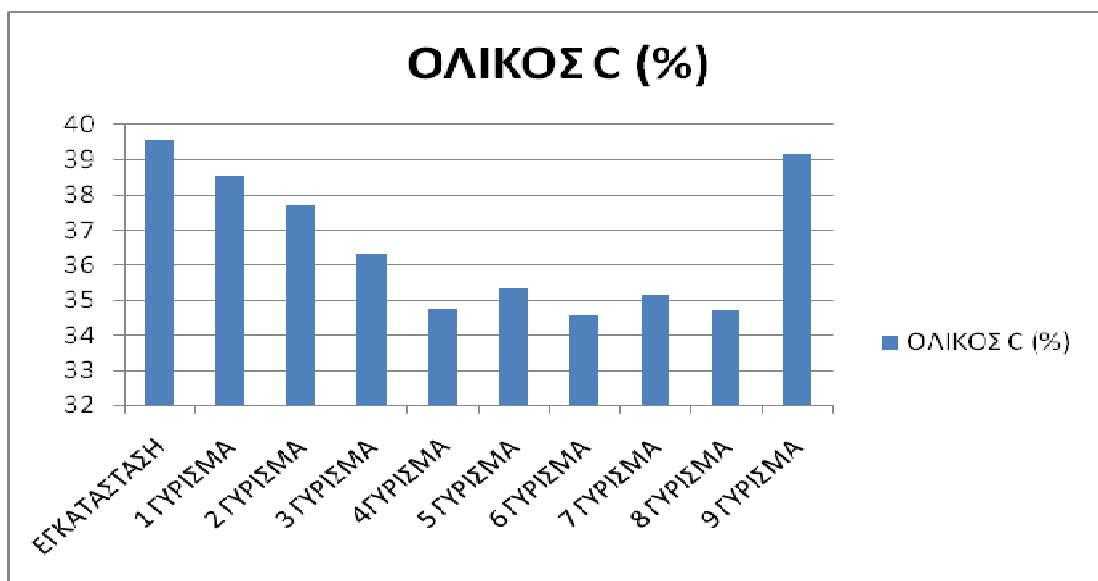
Διάγραμμα 3.3. Καμπύλη μεταβολής θερμοκρασίας χώνευσης στα σειράδια.

Η μέγιστη θερμοκρασία που συναντήθηκε κατά την διάρκεια της χώνευσης ήταν 72°C ενώ στο τέλος της κομποστοποίησης ήταν 32 °C. Συνολικά σε όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης, της αερόβιας δηλαδή βιοδιάσπασης της οργανικής ύλης, έγιναν συνολικά οκτώ αναστροφές (γυρίσματα). Συνήθως μετά την πάροδο μιας εβδομάδας η θερμοκρασία άρχισε να πέφτει λόγω εξάντλησης του διαθέσιμου οξυγόνου ή της μείωσης της υγρασίας. Σε αυτό το σημείο έγινε επέμβαση οξυγόνωσης του σωρού και προσθήκη υγρασίας αν χρειαζόταν. Αυτό επιτεύχθηκε με αναστροφή του σωρού. Μετά από κάθε γύρισμα σημειώθηκε σημαντική άνοδος της θερμοκρασίας λόγω αυξημένης μικροβιακής δραστηριότητας στο σωρό,

Οι μικροοργανισμοί κατά την αποδόμιση των οργανικών ενώσεων αφομοιώνουν το 1/3 περίπου του μεταβολιζόμενου άνθρακα και το υπόλοιπο το ελευθερώνουν ως CO₂. στα παρακάτω διαγράμματα 3.4 και 3.5 απεικονίζετε η απώλεια του οργανικού άνθρακα κατά τη διάρκεια της χώνευσης στα δυο σειράδια.



Διάγραμμα 3.4. Απώλεια οργανικού άνθρακα κατά τη διάρκεια της χώνευσης σε σειράδιο αναλογίας 1/1 v/v.

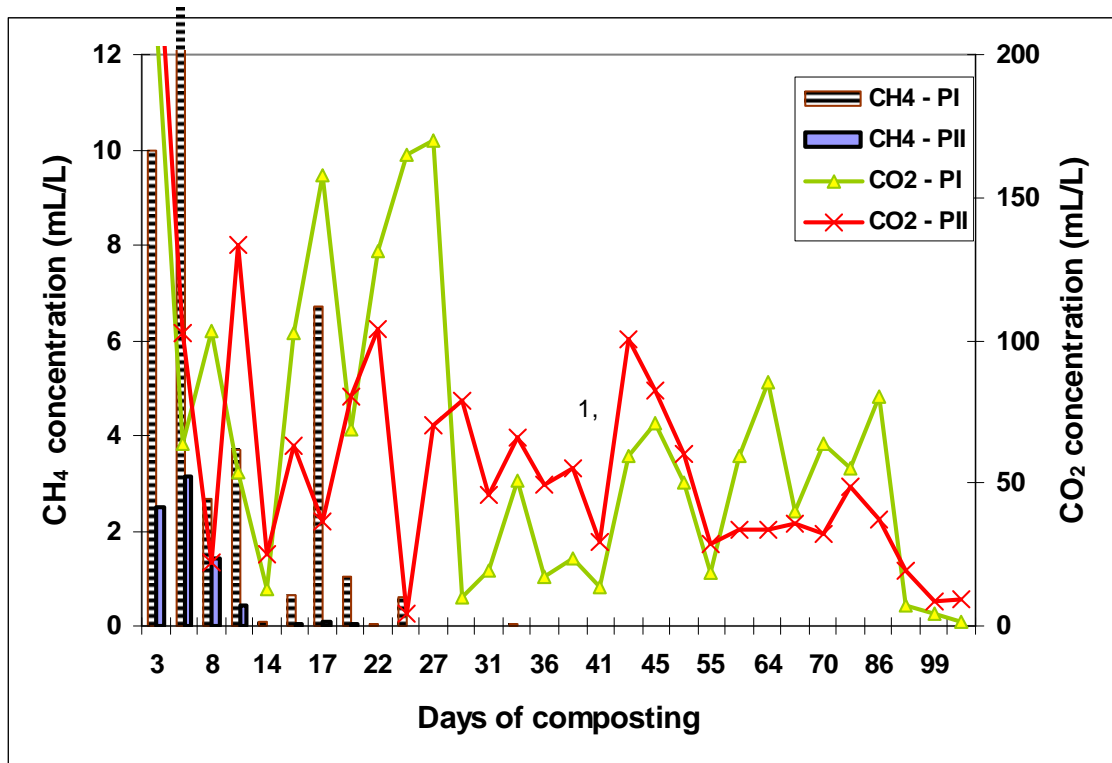


Διάγραμμα 3.5. Απώλεια οργανικού άνθρακα κατά τη διάρκεια της χώνευσης σε σειράδιο αναλογίας 1/2 v/v.

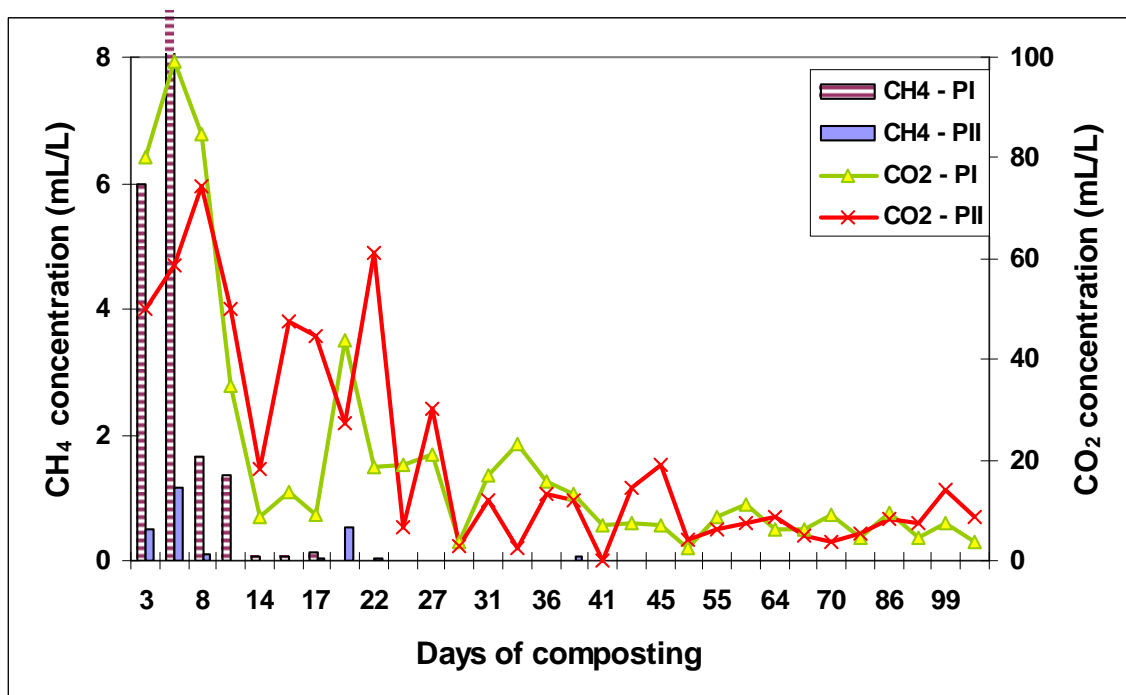
Η περιεκτικότητα σε οργανικό C σημείωσε φυσιολογική πτώση και οι απώλειές του έφτασαν στο 12 % περίπου. Η κατανάλωση οργανικής ουσίας συνοδεύτηκε με την παραγωγή των αερίων υπό εξέταση, όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

3.2. Παραγωγές αερίων θερμοκηπίου κατά τη κομποστοποίηση.

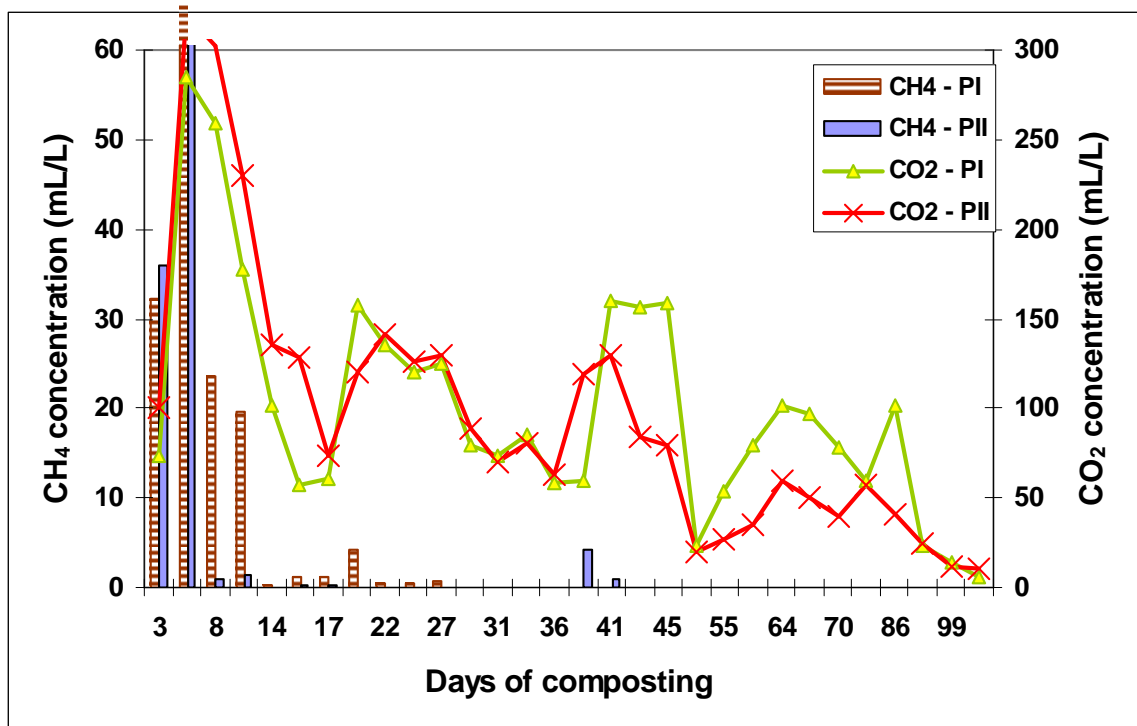
Ιδιαίτερη σημασία δίνετε σήμερα στις εκπομπές αερίων και ιδιαίτερα αυτής του μεθανίου, ως δραστικού αερίου του φαινομένου του θερμοκηπίου, από τις διάφορες δραστηριότητες, βιομηχανίες κ.λ.π. και ακόμα των χωρών κομποστοποίησης. Το δεδομένο αυτό έχει δώσει μια άλλη προσέγγιση στην τεχνολογία της κομποστοποίησης, αφού παρόλο που βασίζετε σε αερόβιες λειτουργίες, η δημιουργία αναερόβιων θέσεων στα κατώτερα στρώματα των σειραδίων, η παραγωγή και η συγκέντρωση μεθανίου είναι αναπόφευκτη. Στα παρακάτω διαγράμματα 3.6, 3.7 και 3.8 παρουσιάζονται τα παραγόμενα αέρια κατά τη διαδικασία χώνευσης του σειραδίου.



Διάγραμμα 3.6. Μεταβολές συγκεντρώσεων CO₂ και CH₄ κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης στα δείγματα κορυφής των σειραδίων.



Διάγραμμα 3.7. Μεταβολές συγκεντρώσεων CO₂ και CH₄ κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης στα δείγματα των πλευρικών θέσεων των σειραδίων.



Διάγραμμα 3.8. Μεταβολές συγκεντρώσεων CO₂ και CH₄ κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης στα δείγματα στον πυρήνα των σειραδίων.

Τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων των παραγόμενων αερίων στους δυο σωρούς έδειξαν ότι παρόλο που οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων για το μεθάνιο στο ΣΙ, όπου η ΛΒΚ με το ροκανίδι αναμειχθηκαν σε αναλογία 1:1, ήταν υψηλότερες σε όλα τα σημεία του σειραδίου συγκρινόμενες με το ΣΙΙ, οι διαφοροποιήσεις δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Αποτέλεσμα ήταν να μην υπάρξουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων αυτών τιμών, τόσο ανάμεσα στις διαφορετικές θέσεις στον ίδιο σωρό όσο και ανάμεσα στις ίδιες θέσεις στους διαφορετικούς σωρούς. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στα συχνά γυρίσματα (10 γυρίσματα σε περίοδο 100 ημερών) και το σχετικά μικρό μέγεθος των σειραδίων που εμπόδιζαν την ανάπτυξη περισσότερων αναερόβιων θυλάκων στο ΣΙ σε σχέση με το ΣΙΙ. Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα και για το CO₂, με κάποια διαφοροποίηση να εμφανίζεται μεταξύ του πυρήνα και της επιφάνειας των σωρών σε σχέση με αυτές πλευρικά και των δυο σειραδίων.

Πίνακας 1. Μέσες τιμές συγκέντρωσης αερίων και αποτελέσματα από Two Way ANOVA και Post Hoc Tukey στατιστική ανάλυση των συγκεντρώσεων αυτών.

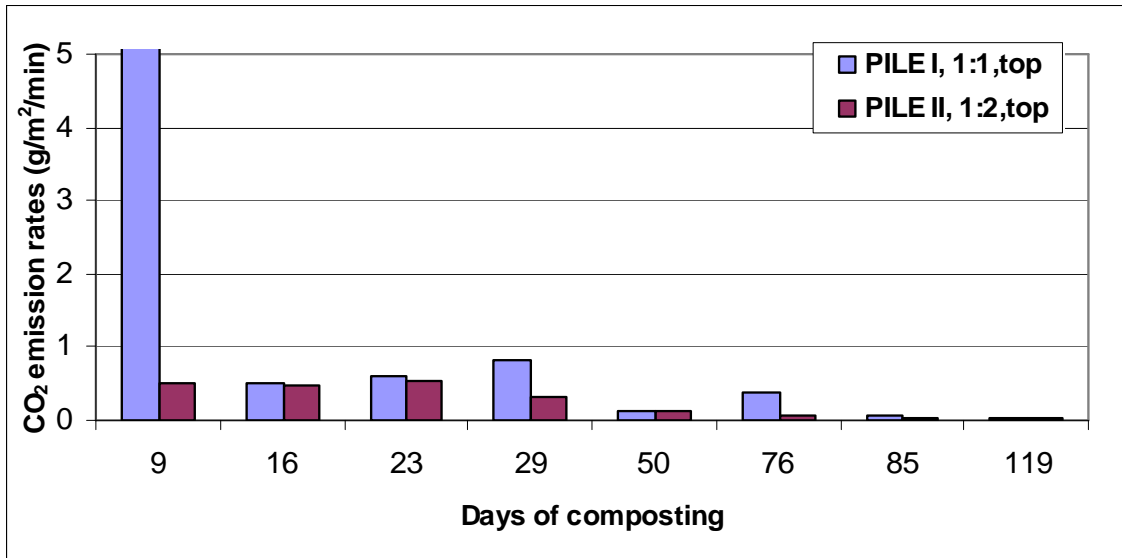
Σειράδια	Πυρήνας	Κορυφή	πλευρικά	Μέση τιμή
CH₄				
I	9.18 *	1.90 *	0.90 *	3.99
II	6.43 *	0.38 *	0.11 *	2.31
CO₂				
I	102.80 a	65.51 a	23.60 b	63.97
II	102.44 a	59.24 a	24.32 b	62.00

Μέσες τιμές ακολουθούμενες από διαφορετικό σύμβολο είναι σημαντικά διαφορετικές ($p < 0.05$).

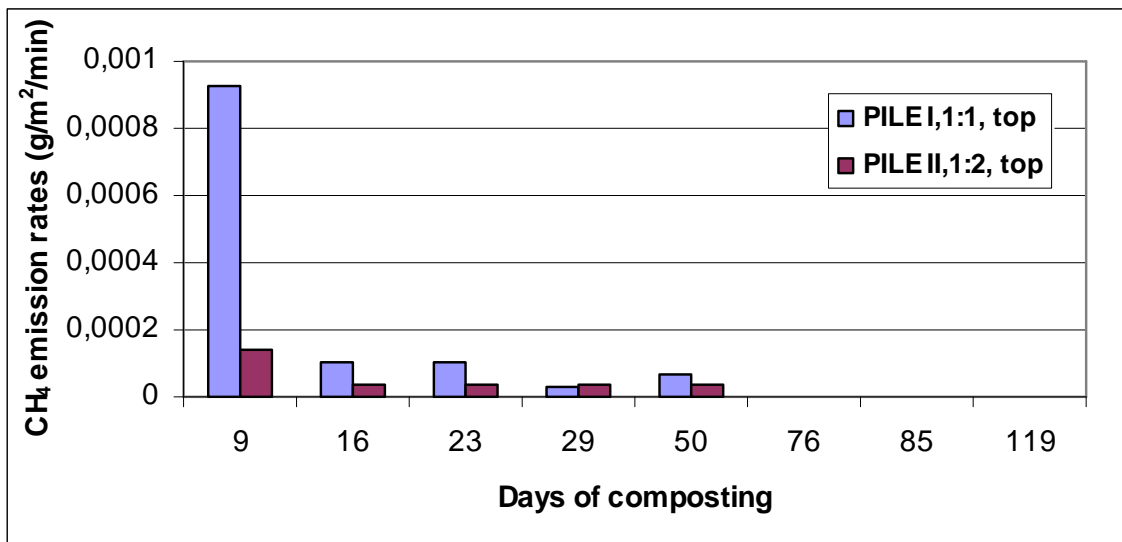
Στη διάρκεια της θερμοφίλης περιόδου, η μέση συγκέντρωση CO₂ στον πυρήνα του ΣΙ (ΣΙC) βρέθηκε 102,80 ml/L, στην επιφάνεια (ΣΙT) 65,51 ml/L και πλευρικά (ΣΙS) 23,60 ml/L, ενώ για τα ίδια σημεία στο ΣII οι τιμές κυμάνθηκαν στα 102,44 ml/L (ΣII C), 59,24 ml/L (ΣII T) και 24,32 ml/L (ΣII S), αντίστοιχα. Ομοίως, η μέση συγκέντρωση CH₄ στο ΣΙ ήταν 9,18 ml/L, 1,90 ml/L και 0,90 ml/L σε κεντρικά, επιφανειακά και πλευρικά δείγματα, ενώ για το ΣII η συγκέντρωση CH₄ πήρε τιμές 6,43 ml/L, 0,38 ml/L και 0,11 ml/L αντίστοιχα.

3.3. Συγκεντρώσεις αέριων ροών κατά την κομποστοποίηση.

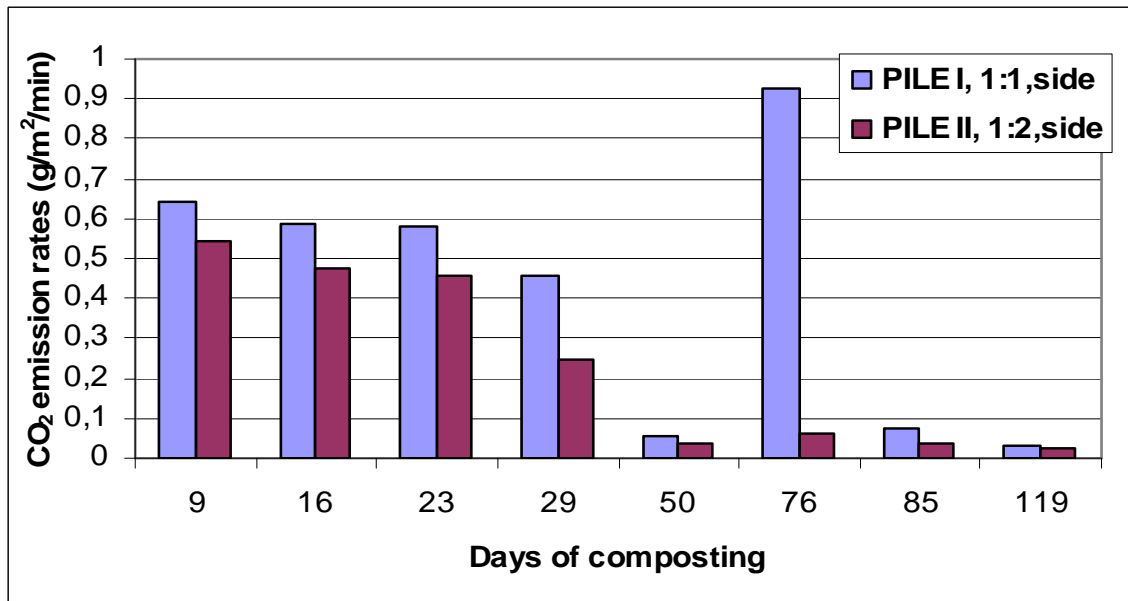
Η ομοιότητα μεταξύ των δύο σειραδίων στην παρούσα μελέτη μπορεί να εξηγηθεί από τις ευκολοδιασπώμενες οργανικές ουσίες της ΛBK, οι οποίες ήταν σε παρόμοιες συγκεντρώσεις και στα δύο σειράδια, και υποδεικνύει ότι η επίδραση της αναλογίας διογκωτικού υλικού στη συγκέντρωση αερίων κατά την κομποστοποίηση της ΛBK, στη μελέτη αυτή ήταν ελάχιστη. (Διάγραμμα 3.9, 3.10, 3.11, 3.12).



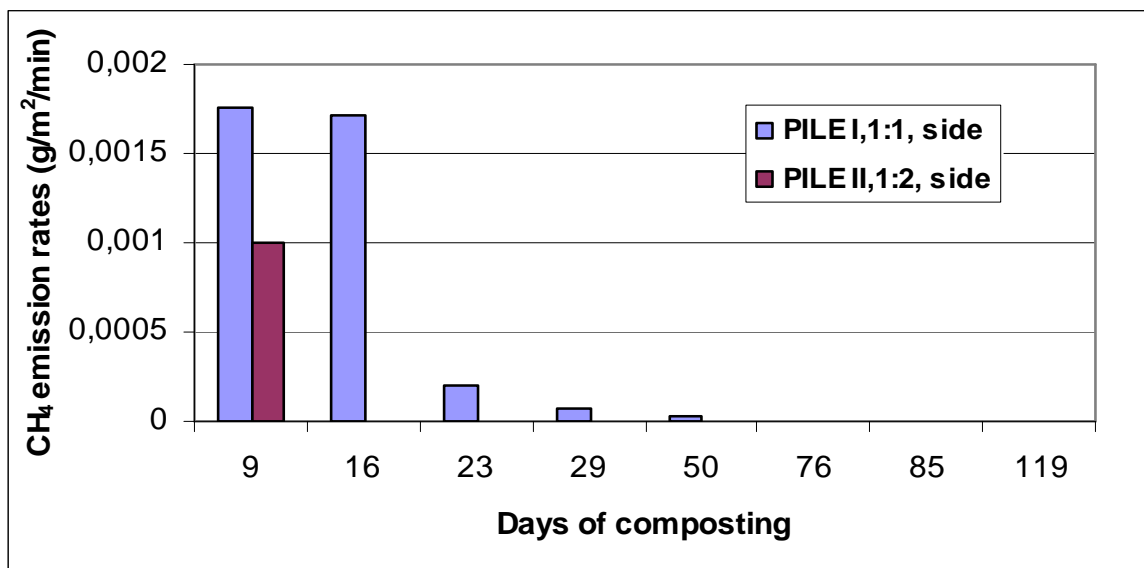
Διάγραμμα 3.9. Ροές CO₂ στην επιφάνεια, στο κέντρο του κάθε σωρού.



Διάγραμμα 3.10. Ροές CH₄ στην επιφάνεια, στο κέντρο του κάθε σωρού.



Διάγραμμα 3.11. Ροές CO₂ στην επιφάνεια, σε πλευρική θέση του κάθε σωρού.



Διάγραμμα 3.12. Ροές CH₄ στην επιφάνεια, σε πλευρική θέση του κάθε σωρού.

Μείωση του ρυθμού διάσπασης μακριά από τον πυρήνα και ροή των αερίων από τον πυρήνα κάθετα προς την επιφάνεια (κορυφή), εξηγούν την ομοιότητα μεταξύ των διαφορετικών θέσεων. Το ίδιο προκύπτει και από τον υπολογισμό των επιφανειακών ροών από την κορυφή, συγκρινόμενες με πλευρικές επιφανειακές ροές, όπου το CO₂ που εκπέμπεται από την κορυφή βρέθηκε σημαντικά αυξημένο, κάτι που θα πρέπει να οφείλεται στις αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα αλλά και μεθανίου

που παράγεται στον πυρήνα, καθώς αυτό οξειδώνεται με την επαφή του με τα πιο οξυγονωμένα στρώματα του σωρού κατά την ροή του προς την επιφάνεια. Οι τιμές για το σειράδιο με την πιο πυκνή συγκέντρωση ιλύος, ΣΙ, έδωσε και τις πιο υψηλές τιμές CO₂, λόγω των περισσότερο αναερόβιων συνθηκών που αναπτύχθηκαν στο σειράδιο αυτό, και που οδήγησαν στην παραγωγή μεγαλύτερης συγκέντρωσης CH₄, όπου με την οξείδωσή του οδήγησε σε μεγαλύτερες εκπομπές CO₂ στην κορυφή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

4. Συμπεράσματα – Επίλογος

Η πιλοτική εφαρμογή συστημάτων κομποστοποίησης, με σχηματισμό σειραδίων όγκου μεγαλύτερου από 15 m³ και χρήση μηχανικού αναστροφέα, παρείχε μια σειρά από ρεαλιστικά αποτελέσματα όσον αφορά την παραγωγή των αερίων μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα σε διάφορες θέσεις στα σειράδια, και έδειξε πως αυτές οι συγκεντρώσεις επηρεάζονται από το διογκωτικό υλικό. Συνολικά σε όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης, της αερόβιας δηλαδή βιοδιάσπασης της οργανικής ύλης, έγιναν συνολικά οκτώ αναστροφές (γυρίσματα). Μετά από κάθε γύρισμα σημειώνεται σημαντική άνοδος της θερμοκρασίας λόγω αυξημένης μικροβιακής δραστηριότητας στο σωρό, ένδειξη κατανάλωσης οξυγόνου, γεγονός που επισημαίνει την αναγκαιότητα των γυρισμάτων για την εισαγωγή εκ νέου, οξυγόνου στους πόρους του σειραδίου. Η περιεκτικότητα οξυγόνου κατά τη χώνευση του υλικού μειώθηκε αισθητά στις πρώτες 10 μέρες και η μικρότερη τιμή συγκέντρωσης βρέθηκε σε δείγμα από το κέντρο του σωρού, βάθους 65-70 cm, ένδειξη ανάπτυξης αναερόβιων συνθηκών. Η συγκέντρωση αυξανόταν κάθε φορά μετά την αναστροφή του σειραδίου, αλλά η αύξηση αυτή συνοδευόταν από γρήγορη μείωση μετά το γύρισμα.. Ομοίως, υψηλότερες τιμές CO₂ εντοπίστηκαν και πάλι στο κέντρο του σωρού, για το λόγο που προαναφέρθηκε, ανάπτυξης αναερόβιων συνθηκών με το βάθος. Η υψηλότερη τιμή CO₂ σημειώθηκε εκεί όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου έδωσε τη μικρότερη τιμή. η περιεκτικότητα σε CH₄, ήταν χαμηλή κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, ενώ οι υψηλότερες τιμές εντοπίστηκαν σε δείγματα από το κέντρο του σειραδίου. Η μεγαλύτερη τιμή για το μεθάνιο καταγράφηκε αμέσως πριν από το πρώτο γύρισμα, στις πρώτες 9 μέρες χώνευσης, η οποία έπεσε όμως σε χαμηλά και πάλι επίπεδα αμέσως μετά το γύρισμα, και διατηρήθηκε σε χαμηλές γενικά τιμές.

Σε υδαρή δείγματα όπως δείγματα IBK, η χρήση επαρκούς διογκωτικού υλικού χαρακτηρίζετε σημαντική για τη δημιουργία κατάλληλου υποστρώματος για καλύτερο αερισμό. Η παρουσία μεθανίου παρόλα αυτά και στις δυο αναλογίες σειραδίων υποδηλώνει ότι η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία παρόλο τον καλό αερισμό, η δημιουργία αναερόβιων συνθηκών στο εσωτερικό είναι αναπόφευκτη

Η ομοιότητα μεταξύ των δυο σειραδίων μπορεί να εξηγηθεί από τις ευκολοδιασπώμενες οργανικές ουσίες της IBK, οι οποίες ήταν παρόμοιες και στις δυο συγκεντρώσεις και στα δυο σειράδια, και υποδεικνύει ότι η επίδραση της αναλογίας διογκοτικού υλικού στη συγκέντρωση αερίων κατά την κομποστοποίηση της IBK, στη μελέτη αυτή ήταν ελάχιστη. Έτσι, η παρούσα μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι σε σειράδια που αναδεύονται σε τακτά χρονικά διαστήματα για καλή παροχή οξυγόνου, και είναι μετρίου μεγέθους, αναμεμιγμένα με διογκοτικό υλικό μη ευκολοδιασπώμενης σύστασης, όπως το ροκανίδι, δεν πρέπει να αναμένονται σημαντικές διαφορές παραγωγής αερίων τόσο μεθανίου όσο και διοξειδίου του άνθρακα στη μάζα τους. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιείται η αναλογία 1/1 v/v μειώνοντας έτσι και το όλο κόστος της επεξεργασίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1. Μεταβολές θερμοκρασιών στους σωρούς σε συσχέτιση με το περιβάλλον.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΣΩΡΟΣ 1:1 V/V	ΣΩΡΟΣ 1:2 V/V
13/7/2005	28	32	37
14/7/2005	28	35	44
15/7/2005	26	38	47
16/7/2005	25	42	52
17/7/2005	27	44	56
18/7/2005	28	45	60
19/7/2005	28	47	61
20/7/2005	23	49	60
21/7/2005	24	50	63
22/7/2005	24	54	64
23/7/2005	28	52	63
24/7/2005	22	51	63
25/7/2005	22	50	63
26/7/2005	22	49	60
27/7/2005	27	52	61
28/7/2005	28	52	67
29/7/2005	27	52	63
30/7/2005	28	52	67
31/7/2005	26	52	65
1/8/2005	25	52	62
2/8/2005	28	52	64
3/8/2005	28	63	69
4/8/2005	27	63	67
5/8/2005	26	64	69

6/8/2005	29	58	67
7/8/2005	22	57	65
8/8/2005	22	57	63
9/8/2005	24	63	66
10/8/2005	25	69	72
11/8/2005	25	64	69
12/8/2005	28	65	69
13/8/2005	26	67	68
14/8/2005	26	65	67
15/8/2005	25	65	65
16/8/2005	25	63	65
17/8/2005	25	65	64
18/8/2005	23	65	64
19/8/2005	23	63	61
20/8/2005	24	64	61
21/8/2005	24	62	60
22/8/2005	26	60	60
23/8/2005	21	60	60
24/8/2005	24	70	60
25/8/2005	23	71	67
26/8/2005	22	68	63
27/8/2005	27	70	62
28/8/2005	25	67	60
29/8/2005	24	64	59
30/8/2005	26	62	57
31/8/2005	24	65	54
1/9/2005	26	64	52
2/9/2005	26	69	61

3/9/2005	26	67	65
4/9/2005	25	64	61
5/9/2005	24	60	57
6/9/2005	24	59	54
7/9/2005	24	62	57
8/9/2005	24	60	55
9/9/2005	24	61	54
10/9/2005	25	59	54
11/9/2005	23	60	53
12/9/2005	23	60	53
13/9/2005	17	59	51
14/9/2005	22	56	46
15/9/2005	22	60	50
16/9/2005	22	64	54
17/9/2005	22	62	55
18/9/2005	22	60	55
19/9/2005	23	60	55
20/9/2005	22	60	54
21/9/2005	21	59	53
22/9/2005	20	58	53
23/9/2005	20	58	53
24/9/2005	20	57	52
25/9/2005	21	58	51
26/9/2005	22	58	51
27/9/2005	19	52	44
28/9/2005	20	47	41
29/9/2005	20	49	42
30/9/2005	19	55	44

1/10/2005	20	58	47
2/10/2005	20	60	48
3/10/2005	19	60	49
4/10/2005	18	59	48
5/10/2005	20	59	48
6/10/2005	21	59	48
7/10/2005	22	59	46
8/10/2005	22	57	46
9/10/2005	22	57	46
10/10/2005	21	54	45
11/10/2005	21	54	45
12/10/2005	22	52	44
13/10/2005	21	52	45
14/10/2005	19	53	45
15/10/2005	20	53	45
16/10/2005	21	55	45
17/10/2005	24	51	45
18/10/2005	16	51	44
19/10/2005	22	42	36
20/10/2005	22	44	39
21/10/2005	21	43	40
22/10/2005	21	43	40
23/10/2005	22	45	40
24/10/2005	22	45	40
25/10/2005	23	47	40
26/10/2005	24	47	41
27/10/2005	23	47	40
28/10/2005	22	46	39
29/10/2005	21	46	39

30/10/2005	20	44	37
31/10/2005	16	42	36
1/11/2005	20	41	35
2/11/2005	20	39	35
3/11/2005	20	40	32
4/11/2005	20	40	32
5/11/2005	20	38	32
6/11/2005	21	38	32
7/11/2005	21	37	32
8/11/2005	22	36	32
9/11/2005	20	35	32
21/11/2005	12	32	31

Πίνακας 2. Εκπομπές αερίων CO₂ σε διαφορετικές θέσεις στα σειράδια με χρήση GA.

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ		ΣΕΙΡΑΔΙΟ 1:1			ΣΕΙΡΑΔΙΟ 1:2		
			top	centre	side	top	centre	side
1	ΤΡΙΤΗ	12/7/2005	1,3	1,4	1,6	0,1	3,3	0,1
2	ΤΕΤΑΡΤΗ	13/7/2005	3	8	5,6	2,8	6,4	4
3	ΠΕΜΠΤΗ	14/7/2005	3	8,3	6,2	4	6,6	4,6
4	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	15/7/2005	2,8	8	2,1	4,2	6,2	3,4
5	ΣΑΒΒΑΤΟ	16/7/2005	1,9	7,1	3,2	3,3	3,3	2,6
6	ΚΥΡΙΑΚΗ	17/7/2005						
7	ΔΕΥΤΕΡΑ	18/7/2005	2.6	7.2	1.9	2.8	5.4	1.4
8	ΤΡΙΤΗ	19/7/2005	3	6,3	2,7	2,8	5,3	2,2
			0,1	1,4	1	1,6	1,4	
9	ΤΕΤΑΡΤΗ	20/7/2005	2,4	0,6	1,3	5,7	4,8	1,9
10	ΠΕΜΠΤΗ	21/7/2005	3,6	6,7	2	5,2	6,4	1,4
11	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	22/7/2005	2,8	6	1,2	6	4,6	1,1
12	ΣΑΒΒΑΤΟ	23/7/2005	2,6	6,2	1,9	4,1	5,4	1,3
13	ΚΥΡΙΑΚΗ	24/7/2005						
14	ΔΕΥΤΕΡΑ	25/7/2005	1,3	5	0,5	3,4	4,9	1,2
15	ΤΡΙΤΗ	26/7/2005	1,2	4,6	0,7	3,9	5,4	1,6
			0,9	2,6	0,4	0,8	0,8	0,7
16	ΤΕΤΑΡΤΗ	27/7/2005	2,1	6	0,7	3,2	2,5	1,6
17	ΠΕΜΠΤΗ	28/7/2005	1,9	6	1,2	2,8	3,6	1,4
18	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	29/7/2005	1,6	4,1	0,9	2	3	1,4

19	ΣΑΒΒΑΤΟ	30/7/2005	1,1	2,1	1,3	2	3,2	1,5
20	ΚΥΡΙΑΚΗ	31/7/2005						
21	ΔΕΥΤΕΡΑ	1/8/2005	1,9	0,7	1,1	3,4	3	1,3
22	ΤΡΙΤΗ	2/8/2005	1,1	3	1,4	3,3	3	1,3
			1,3	3,5	0,7	2,1	3,3	1,2
23	ΤΕΤΑΡΤΗ	3/8/2005	3,9	3,1	1,5	3,3	4	0,4
24	ΠΕΜΠΤΗ	4/8/2005	5	3,5	1	3,5	5	1,1
25	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	5/8/2005	3,7	2,5	1	3,2	4,4	1,2
26	ΣΑΒΒΑΤΟ	6/8/2005	0,3	0,9	0,1	2	2,4	0,8
27	ΚΥΡΙΑΚΗ	7/8/2005						
28	ΔΕΥΤΕΡΑ	8/8/2005	1,4	1,3	0,6	2,7	2,8	0,8
			0,9	0,8	0,4	1	0,8	0,5
29	ΤΡΙΤΗ	9/8/2005	1,9	4,7	0,8	4,1	4,9	0,8
30	ΤΕΤΑΡΤΗ	10/8/2005	1,2	3,6	0,5	3,3	4,5	0,4
31	ΠΕΜΠΤΗ	11/8/2005	0,4	2,4	0,4	2,5	2,7	0,4
32	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	12/8/2005	0,2	1,8	0,3	1,9	1,1	0,1
33	ΣΑΒΒΑΤΟ	13/8/2005	1,7	2,5	0,7	0,1	3	0,3
34	ΚΥΡΙΑΚΗ	14/8/2005						
35	ΔΕΥΤΕΡΑ	15/8/2005						
36	ΤΡΙΤΗ	16/8/2005	0,8	1,8	0,4	1,8	2,3	0,4
37	ΤΕΤΑΡΤΗ	17/8/2005	0,5	1,5	0,3	1,7	2,3	0,3
38	ΠΕΜΠΤΗ	18/8/2005	0,3	1,4	0,3	1,6	2,2	0,3
39	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	19/8/2005	0,4	1,4	0,4	1,7	2,2	0,4
40	ΣΑΒΒΑΤΟ	20/8/2005	0,9	1,9	0,4	1,6	2,1	0,3
41	ΚΥΡΙΑΚΗ	21/8/2005						
42	ΔΕΥΤΕΡΑ	22/8/2005	0,7	1,3	0,3	1,3	2,1	0,2
43	ΤΡΙΤΗ	23/8/2005	0,9	1	0,2	1,4	1,8	0,3
			1,7	1,3	0,4	0,7	0,6	0,2
44	ΤΕΤΑΡΤΗ	24/8/2005	1,3	3	0,2	2,8	2,5	0,4

45	ΠΕΜΠΤΗ	25/8/2005	1,6	3,9	0,2	2,1	2	0,3
46	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	26/8/2005	1,1	3,3	0,2	1,9	1,9	0,4
47	ΣΑΒΒΑΤΟ	27/8/2005	1,9	2,9	0,1	1,7	1,2	0,1
48	ΚΥΡΙΑΚΗ	28/8/2005						
49	ΔΕΥΤΕΡΑ	29/8/2005	2,4	3,6	0,3	1,5	1,5	0,2
50	ΤΡΙΤΗ	30/8/2005	1,7	2,4	0,2	1,3	1,2	0,1
51	ΤΕΤΑΡΤΗ	31/8/2005	2,4	3,7	0,2	1,4	1,2	0,2
			1	0,7	0,3	0,4	0,4	0,2
52	ΠΕΜΠΤΗ	1/9/2005	4,3	5	0,4	2,1	2,6	0,5
53	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	2/9/2005	3,1	3,3	0,1	1,5	0,8	0,1
54	ΣΑΒΒΑΤΟ	3/9/2005	0,6	0,3	0,1	0,4	0,1	0,1
55	ΚΥΡΙΑΚΗ	4/9/2005						
56	ΔΕΥΤΕΡΑ	5/9/2005	0,5	0,9	0,1	0,7	0,8	0,1
57	ΤΡΙΤΗ	6/9/2005	1,2	1,1	0,1	0,8	0,8	0,1
58	ΤΕΤΑΡΤΗ	7/9/2005	1,6	2,3	0,2	0,8	0,9	0,1
59	ΠΕΜΠΤΗ	8/9/2005	1	1,8	0,1	0,7	0,8	0,2
60	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	9/9/2005	0,4	0,7	0,1	0,4	0,4	0,1
61	ΣΑΒΒΑΤΟ	10/9/2005	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
62	ΚΥΡΙΑΚΗ	11/9/2005						
63	ΔΕΥΤΕΡΑ	12/9/2005	0,6	0,6	0,1	0,3	0,4	0,1
64	ΤΡΙΤΗ	13/9/2005	0,8	0,8	0,1	0,4	0,6	0,1
			0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1
65	ΤΕΤΑΡΤΗ	14/9/2005	1,7	2,7	0,2	1,1	1,7	0,3
66	ΠΕΜΠΤΗ	15/9/2005	3	3,1	0,2	1,2	1,5	0,2
67	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	16/9/2005	2,5	2,8	0,2	1,3	1,6	0,1
68	ΣΑΒΒΑΤΟ	17/9/2005						
69	ΚΥΡΙΑΚΗ	18/9/2005						
70	ΔΕΥΤΕΡΑ	19/9/2005	1,7	0,8	0,1	1,1	1,3	0,1
71	ΤΡΙΤΗ	20/9/2005	1,4	1,7	0,1	0,9	1,2	0,1

72	ΤΕΤΑΡΤΗ	21/9/2005						
73	ΠΕΜΠΤΗ	22/9/2005	0,2	0,1	0,1	0,7	1,1	0,1
74	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	23/9/2005						
75	ΣΑΒΒΑΤΟ	24/9/2005						
76	ΚΥΡΙΑΚΗ	25/9/2005						
77	ΔΕΥΤΕΡΑ	26/9/2005	1	1,5	0,1	0,7	1	0,1
78	ΤΡΙΤΗ	27/9/2005	0,5	0,5	0,1	0,8	1,1	0,1
			0,2	0,4	0,1	0,5	0,1	0,1
79	ΤΕΤΑΡΤΗ	28/9/2005	0,4	0,8	0,1	0,7	1	0,3
80	ΠΕΜΠΤΗ	29/9/2005	0,8	0,6	0,2	0,7	1	0,3
81	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	30/9/2005	1,2	1,2	0,1	0,3	0,4	0,1

Πίνακας 3. Εκπομπές αερίων CH₄ σε διαφορετικές θέσεις στα σειράδια με χρήση GA.

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ		ΣΕΙΡΑΔΙΟ 1:1			ΣΕΙΡΑΔΙΟ 1:2		
			top	centre	side	top	centre	side
1	ΤΡΙΤΗ	12/7/2005	0,1	0,2	0,1	0,3	0,8	0,3
2	ΤΕΤΑΡΤΗ	13/7/2005	0,8	3,4	1,5	0,3	1,3	0,5
3	ΠΕΜΠΤΗ	14/7/2005	1,4	4,3	1,9	0,3	1,4	0,4
4	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	15/7/2005	1,4	3,8	0,6	0,4	0,8	0,2
5	ΣΑΒΒΑΤΟ	16/7/2005	0,6	3,8	0,4	2	0,6	0,2
6	ΚΥΡΙΑΚΗ	17/7/2005						
7	ΔΕΥΤΕΡΑ	18/7/2005	0,7	3,9	0,4	0,2	0,4	0,1
8	ΤΡΙΤΗ	19/7/2005	0,7	2,9	0,3	0,2	0,4	0,1
			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
9	ΤΕΤΑΡΤΗ	20/7/2005	0,1	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1
10	ΠΕΜΠΤΗ	21/7/2005	0,1	0,8	0,1	0,1	0,2	0,1
11	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	22/7/2005	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0,1

12	ΣΑΒΒΑΤΟ	23/7/2005	0,2	1,1	0,1	0,1	0,2	0,1
13	ΚΥΡΙΑΚΗ	24/7/2005						
14	ΔΕΥΤΕΡΑ	25/7/2005	0,1	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1
15	ΤΡΙΤΗ	26/7/2005	0,1	0,8	0,1	0,1	0,1	0,1
			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
16	ΤΕΤΑΡΤΗ	27/7/2005	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
17	ΠΕΜΠΤΗ	28/7/2005	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
18	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	29/7/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
19	ΣΑΒΒΑΤΟ	30/7/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20	ΚΥΡΙΑΚΗ	31/7/2005						
21	ΔΕΥΤΕΡΑ	1/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
22	ΤΡΙΤΗ	2/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
23	ΤΕΤΑΡΤΗ	3/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
24	ΠΕΜΠΤΗ	4/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
25	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	5/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
26	ΣΑΒΒΑΤΟ	6/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
27	ΚΥΡΙΑΚΗ	7/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
28	ΔΕΥΤΕΡΑ	8/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
29	ΤΡΙΤΗ	9/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
30	ΤΕΤΑΡΤΗ	10/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
31	ΠΕΜΠΤΗ	11/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
32	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	12/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
33	ΣΑΒΒΑΤΟ	13/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
34	ΚΥΡΙΑΚΗ	14/8/2005						
35	ΔΕΥΤΕΡΑ	15/8/2005						
36	ΤΡΙΤΗ	16/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
37	ΤΕΤΑΡΤΗ	17/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
38	ΠΕΜΠΤΗ	18/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

39	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	19/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
40	ΣΑΒΒΑΤΟ	20/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
41	ΚΥΡΙΑΚΗ	21/8/2005						
42	ΔΕΥΤΕΡΑ	22/8/2005						
43	ΤΡΙΤΗ	23/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
44	ΤΕΤΑΡΤΗ	24/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
45	ΠΕΜΠΤΗ	25/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
46	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	26/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
47	ΣΑΒΒΑΤΟ	27/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
48	ΚΥΡΙΑΚΗ	28/8/2005						
49	ΔΕΥΤΕΡΑ	29/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
50	ΤΡΙΤΗ	30/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
51	ΤΕΤΑΡΤΗ	31/8/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
52	ΠΕΜΠΤΗ	1/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
53	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	2/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
54	ΣΑΒΒΑΤΟ	3/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
55	ΚΥΡΙΑΚΗ	4/9/2005						
56	ΔΕΥΤΕΡΑ	5/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
57	ΤΡΙΤΗ	6/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
58	ΤΕΤΑΡΤΗ	7/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
59	ΠΕΜΠΤΗ	8/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
60	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	9/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
61	ΣΑΒΒΑΤΟ	10/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
62	ΚΥΡΙΑΚΗ	11/9/2005						
63	ΔΕΥΤΕΡΑ	12/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
64	ΤΡΙΤΗ	13/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

65	ΤΕΤΑΡΤΗ	14/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
66	ΠΕΜΠΤΗ	15/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
67	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	16/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
68	ΣΑΒΒΑΤΟ	17/9/2005						
69	ΚΥΡΙΑΚΗ	18/9/2005						
70	ΔΕΥΤΕΡΑ	19/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
71	ΤΡΙΤΗ	20/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
72	ΤΕΤΑΡΤΗ	21/9/2005						
73	ΠΕΜΠΤΗ	22/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
74	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	23/9/2005						
75	ΣΑΒΒΑΤΟ	24/9/2005						
76	ΚΥΡΙΑΚΗ	25/9/2005						
77	ΔΕΥΤΕΡΑ	26/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
78	ΤΡΙΤΗ	27/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
79	ΤΕΤΑΡΤΗ	28/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
80	ΠΕΜΠΤΗ	29/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
81	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	30/9/2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Πίνακας 4. Εκπομπές αερίων CO₂ σε διαφορετικές θέσεις με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας

Ημέρα	TOP 1:1	SIDE 1:1	CENTRE 1:1
3η ΗΜΕΡΑ	213,168	0	73,713
6η ΗΜΕΡΑ	63,506	99,299	285,12
8η ΗΜΕΡΑ	103,218	84,771	258,935
13η ΗΜΕΡΑ	53,908	34,906	177,768
14η ΗΜΕΡΑ	13,024	8,832	23,481
15η ΗΜΕΡΑ	102,663	13,586	56,742
17η ΗΜΕΡΑ	157,38	9,004	60,86
21η ΗΜΕΡΑ	69,102	43,798	157,388
22η ΗΜΕΡΑ	131,516	18,641	135,215
24η ΗΜΕΡΑ	164,85	0	119,653
27η ΗΜΕΡΑ	0	20,985	0
29η ΗΜΕΡΑ	9,924	3,873	79,221
31η ΗΜΕΡΑ	19,414	16,812	73,713
35η ΗΜΕΡΑ	50,556	23,068	84,793
36η ΗΜΕΡΑ	17,356	15,522	58,541
38η ΗΜΕΡΑ	23,535	13,24	59,724
41η ΗΜΕΡΑ	13,69	7,172	0
43η ΗΜΕΡΑ	59,702	7,526	156,23
45η ΗΜΕΡΑ	70,726	7,221	158,185
49η ΗΜΕΡΑ	0	2,4	22,794
55η ΗΜΕΡΑ	18,988	8,703	53,733
57η ΗΜΕΡΑ	59,314	11,28	78,854
64η ΗΜΕΡΑ	85,082	6,007	101,594
67η ΗΜΕΡΑ	39,892	6,202	96,667
70η ΗΜΕΡΑ	63,531	8,972	77,659
77η ΗΜΕΡΑ	55,072	4,724	59,405
86η ΗΜΕΡΑ	80,338	9,693	101,15

Πίνακας 5. Εκπομπές αερίων CH₄ σε διαφορετικές θέσεις με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας

Ημέρα	TOP 1:1	SIDE 1:1	CENTRE 1:1
3η ΗΜΕΡΑ	0	0	32,318
6η ΗΜΕΡΑ	15,521	8,726	102,62
8η ΗΜΕΡΑ	2,687	1,667	23,543
13η ΗΜΕΡΑ	3,686	1,35	19,636
14η ΗΜΕΡΑ	0,069	0	0,26
15η ΗΜΕΡΑ	0,63	0,061	1,068
17η ΗΜΕΡΑ	6,72	0,12	1,23
21η ΗΜΕΡΑ	1,042	0,005	4,149
22η ΗΜΕΡΑ	0,063	0,003	0,499
24η ΗΜΕΡΑ	0,612	0	0,509
27η ΗΜΕΡΑ	0	0	0
29η ΗΜΕΡΑ	0,005	0	0,011
31η ΗΜΕΡΑ	0,007	0,009	0,019
35η ΗΜΕΡΑ	0,024	0,013	0,052
36η ΗΜΕΡΑ	0,005	0,007	0,014
38η ΗΜΕΡΑ	0,003	0,01	0,017
41η ΗΜΕΡΑ	0,005	0,005	0
43η ΗΜΕΡΑ	0,012	0,005	0,007
45η ΗΜΕΡΑ	0,014	0,002	0,025
49η ΗΜΕΡΑ	0	0,003	0,007
55η ΗΜΕΡΑ	0,004	0,006	0,006
57η ΗΜΕΡΑ	0,008	0,003	0,007
64η ΗΜΕΡΑ	0,01	0,003	0,007
67η ΗΜΕΡΑ	0,005	0,002	0,017
70η ΗΜΕΡΑ	0,012	0,004	0,016
77η ΗΜΕΡΑ	0,009	0,003	0,007

86η ΗΜΕΡΑ	0,011	0,003	0,009
98η ΗΜΕΡΑ	0,007	0,001	0,004
110η ΗΜΕΡΑ	0,005	0,004	0,004
118η ΗΜΕΡΑ	0,007	0,004	0,003

Πίνακας 6. Εκπομπές αερίων CO₂ σε διαφορετικές θέσεις με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας

Ημέρα	TOP 1:2	SIDE 1:2	CENTRE 1:2
3η ΗΜΕΡΑ	0	0	337,5858244
6η ΗΜΕΡΑ	102,4453	58,55249	0
8η ΗΜΕΡΑ	22,10726	74,57312	302,5677195
13η ΗΜΕΡΑ	133,0597	49,99401	230,2698172
14η ΗΜΕΡΑ	24,87918	17,99644	38,21690083
15η ΗΜΕΡΑ	62,85316	47,59715	128,1128903
17η ΗΜΕΡΑ	36,33583	44,73343	73,4692853
21η ΗΜΕΡΑ	80,21991	27,23146	120,2052346
22η ΗΜΕΡΑ	103,6067	61,35544	141,0148884
24η ΗΜΕΡΑ	4,262608	6,736735	125,6365254
27η ΗΜΕΡΑ	78,74263	2,804483	88,63130416
29η ΗΜΕΡΑ	46,13001	12,11302	70,43111303
31η ΗΜΕΡΑ	65,79122	2,606524	80,35149961
35η ΗΜΕΡΑ	49,13166	13,05848	62,88872052
36η ΗΜΕΡΑ	0	12,04087	119,3342132
38η ΗΜΕΡΑ	29,37581	0,035166	0
41η ΗΜΕΡΑ	100,0895	14,57193	84,55483888
43η ΗΜΕΡΑ	82,36682	19,18153	79,5464758
45η ΗΜΕΡΑ	0	4,289982	20,25285766
49η ΗΜΕΡΑ	28,68346	6,359506	27,40392035
55η ΗΜΕΡΑ	33,57911	7,409609	34,63588839

57η ΗΜΕΡΑ	33,46828	8,538442	59,43443667
64η ΗΜΕΡΑ	35,59397	5,074937	50,48676129
67η ΗΜΕΡΑ	32,40005	3,679131	40,09698317
70η ΗΜΕΡΑ	49,06011	5,537852	57,61130238
77η ΗΜΕΡΑ	37,53198	8,332832	40,88406685
86η ΗΜΕΡΑ	19,22187	7,454292	25,05213193
98η ΗΜΕΡΑ	8,269089	13,91341	11,1482118
110η ΗΜΕΡΑ	9,397379	8,528779	10,38160179

Πίνακας 7. Εκπομπές αερίων CH₄ σε διαφορετικές θέσεις με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας

Ημέρα	TOP 1:2	SIDE 1:2	CENTRE 1:2
3η ΗΜΕΡΑ	0	0	35,91185464
6η ΗΜΕΡΑ	3,133062	1,140652	0
8η ΗΜΕΡΑ	14,03076	0,103462	0,994215334
13η ΗΜΕΡΑ	0,439576	0,013537	1,363964089
14η ΗΜΕΡΑ	0,012204	0,005219	0,031414165
15η ΗΜΕΡΑ	0,038791	0,0072	0,12512737
17η ΗΜΕΡΑ	0,097669	0,021262	0,160458229
21η ΗΜΕΡΑ	0,034105	0,516403	0,075683804
22η ΗΜΕΡΑ	0,011817	0,017984	0,034799729
24η ΗΜΕΡΑ	0,001634	0,001341	0,010600455
27η ΗΜΕΡΑ	0,004761	0,003375	0,003957552
29η ΗΜΕΡΑ	0,004157	0,003802	0,003191653
31η ΗΜΕΡΑ	0,005361	0	0,003216429
35η ΗΜΕΡΑ	0	0,002582	0,002899661
36η ΗΜΕΡΑ	0,000762	0,069931	4,208191437
38η ΗΜΕΡΑ	0,003546	0,002	0

41η HMEPA	0,004181	0,00626	0,002652038
43η HMEPA	0	0	0,002418192
45η HMEPA	0	0,002936	0,002916398
49η HMEPA	0,002775	0,00374	0,003538981
55η HMEPA	0,002967	0,003322	0,004283595
57η HMEPA	0,002644	0,002339	0,002399815
64η HMEPA	0,003925	0,003274	0,005079669
67η HMEPA	0,004078	0,002818	0,004277476
70η HMEPA	0,004031	0,00266	0,002762349
77η HMEPA	0,006943	0,01222	0,003503699
86η HMEPA	0,003411	0,003995	0,002738146
98η HMEPA	0,003905	0,004309	0,003793005
110η HMEPA	0,003245	0,003959	0,005040443

Πίνακας 8. Εκπομπές αέριων ροών με τη χρήση στατικών θυλακίων με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας.

		TOP 1:1	TOP 1:2	SIDE 1:1	SIDE 1:2	CENTRE 1:1	CENTRE 1:2
15-Ιουλ	CH4	0	0	0	0	32,318	35,912
	CO2	213,168	0	0	0	73,713	337,586
	O2	107,617	0	0	0	239,539	35,454
	N2	951,461	0	0	0	1115,597	955,275
18-Ιουλ	CH4	15,521	3,133	8,726	1,141	102,62	0
	CO2	63,506	102,445	99,299	58,552	285,12	0
	O2	100,6	94,636	76,462	95,883	17,292	0
	N2	672,586	759,826	708,04	728,682	597,075	0
20-Ιουλ	CH4	2,687	14,031	1,667	0,103	23,543	0,994
	CO2	103,218	22,107	84,771	74,573	258,935	302,568
	O2	103,391	739,427	131,957	115,998	15,054	16,274
	N2	737,304	5,137	867,559	771,041	672,513	756,003
25-Ιουλ	CH4	3,686	0,44	1,35	0,014	19,636	1,364
	CO2	53,908	133,06	34,906	49,994	177,768	230,27
	O2	127,11	64,239	152,298	145,323	55,878	15,59
	N2	720,842	710,058	768,179	738,537	718,791	742,791
26-Ιουλ	CH4	0,069	0,012	0	0,005	0,26	0,031
	CO2	13,024	24,879	8,832	17,996	23,481	38,217
	O2	169,158	149,024	75,115	171,459	158,993	127,486
	N2	695,998	665,859	459,624	726,396	711,277	690,39
27-Ιουλ	CH4	0,63	0,039	0,061	0,007	1,068	0,125
	CO2	102,663	62,853	13,586	47,597	56,742	128,113
	O2	129,764	161,673	199,582	152,355	154,862	97,036
	N2	795,496	782,679	777,701	750,244	729,777	770,701
29-Ιουλ	CH4	6,72	0,098	0,12	0,021	1,23	0,16

	CO2	157,38	36,336	9,004	44,733	60,86	73,469
	O2	88,052	162,106	158,122	164,858	142,242	127,865
	N2	718,152	719,868	600,761	783,044	739,939	742,029
2-Avy	CH4	1,042	0,034	0,005	0,516	4,149	0,076
	CO2	69,102	80,22	43,798	27,231	157,388	120,205
	O2	164,707	151,076	181,98	179,815	76,732	111,98
	N2	847,369	797	812,931	794,167	782,597	808,872
3-Avy	CH4	0,063	0,012	0,003	0,018	0,499	0,035
	CO2	131,516	103,607	18,641	61,355	135,215	141,015
	O2	80,891	82,488	162,006	155,87	31,952	30,759
	N2	669,706	692,154	689,651	752,895	692,969	695,008
5-Avy	CH4	0,612	0,002	0	0,001	0,509	0,011
	CO2	164,85	4,263	0	6,737	119,653	125,637
	O2	32,197	4,205	0	31,991	57,961	74,14
	N2	738,847	34,418	0	150,584	802,748	710,195
8-Avy	CH4	0	0	0	0	0	0
	CO2	0	0	20,985	0	0	0
	O2	0	0	243,909	0	0	0
	N2	0	0	995,029	0	0	0
10-Avy	CH4	0,005	0,005	0	0,003	0,011	0,004
	CO2	9,924	78,743	3,873	2,804	79,221	88,631
	O2	189,079	127,319	191,908	189,209	129,407	97,604
	N2	1316,979	1291,986	1291,662	1280,034	1295,954	1364,107
12-Avy	CH4	0,007	0,004	0,009	0,004	0,019	0,003
	CO2	19,414	46,13	16,812	12,113	73,713	70,431
	O2	160,355	154,739	168,98	172,733	105,914	97
	N2	685,356	692,719	679,11	679,922	696,955	686,175
16-Avy	CH4	0,024	0,005	0,013	0	0,052	0,003
	CO2	50,556	65,791	23,068	2,607	84,793	80,351
	O2	147,64	128,907	175,922	30,806	106,263	103,025

	N2	773,572	702,205	726,033	126,196	757,431	686,244
17-Αυγ	CH4	0,005	0	0,007	0,003	0,014	0,003
	CO2	17,356	49,132	15,522	13,058	58,541	62,889
	O2	171,603	138,523	178,572	174,699	136,643	122,397
	N2	715,105	668,502	706,439	682,283	720,659	679,58
19-Αυγ	CH4	0,003	0,001	0,01	0,07	0,017	4,208
	CO2	23,535	0	13,24	12,041	59,724	119,334
	O2	144,947	0	178,748	183,287	132,685	759,832
	N2	638,808	0	697,763	693,735	754,091	0,054
22-Αυγ	CH4	0,005	0,004	0,005	0,002	0	0
	CO2	13,69	29,376	7,172	0,035	0	0
	O2	200,624	188,346	174,752	188,401	0	0
	N2	778,608	769,785	661,254	698,774	0	0
24-Αυγ	CH4	0,012	0,004	0,005	0,006	0,007	0,003
	CO2	59,702	100,09	7,526	14,572	156,23	84,555
	O2	145,358	136,256	203,815	202,077	45,507	125,572
	N2	835,847	858,332	803,149	814,737	807,171	778,048
26-Αυγ	CH4	0,014	0	0,002	0	0,025	0,002
	CO2	70,726	82,367	7,221	19,182	158,185	79,546
	O2	14,239	16,006	17,061	18,625	8,512	15,599
	N2	1173,481	1230,013	975,717	1112,997	1195,09	1185,186
30-Αυγ	CH4	0	0	0,003	0,003	0,007	0,003
	CO2	0	0	2,4	4,29	22,794	20,253
	O2	0	0	161,285	166,365	149,835	160,406
	N2	0	0	606,719	636,167	616,309	665,456
5-Σεπ	CH4	0,004	0,003	0,006	0,004	0,006	0,004
	CO2	18,988	28,683	8,703	6,36	53,733	27,404
	O2	155,238	160,122	171,569	192,598	136,903	167,697
	N2	657,411	699,25	674,931	740,64	727,782	727,308
7-Σεπ	CH4	0,008	0,003	0,003	0,003	0,007	0,004

	CO2	59,314	33,579	11,28	7,41	78,854	34,636
	O2	122,064	149,102	157,855	1672,873	91,946	157,39
	N2	714,023	731,283	692,098	718,082	700,657	773,013
14-Σεπ	CH4	0,01	0,003	0,003	0,002	0,007	0,002
	CO2	85,082	33,468	6,007	8,538	101,594	59,434
	O2	106,568	123,536	152,407	164,055	86,545	126,371
	N2	688,669	578,512	603,99	655,043	713,493	698,788
17-Σεπ	CH4	0,005	0,004	0,002	0,003	0,017	0,005
	CO2	39,892	35,594	6,202	5,075	96,667	50,487
	O2	155,826	151,214	107,079	188,383	89,553	137,832
	N2	733,566	709,721	450,168	761,134	714,555	726,522
20-Σεπ	CH4	0,012	0,004	0,004	0,003	0,016	0,004
	CO2	63,531	32,4	8,972	3,679	77,659	40,097
	O2	135,712	152,439	203,291	192,23	126,342	140,816
	N2	749,763	670,054	787,986	720,858	781,521	669,807
27-Σεπ	CH4	0,009	0,004	0,003	0,003	0,007	0,003
	CO2	55,072	49,06	4,724	5,538	59,405	57,611
	O2	18,343	20,33	20,857	21,912	18,262	18,78
	N2	1233,835	1283,778	1165,298	1225,204	1283,948	1244,817
6-Οκτ	CH4	0,011	0,007	0,003	0,012	0,009	0,004
	CO2	80,338	37,532	9,693	8,333	101,15	40,884
	O2	96,718	157,874	195,093	186,514	52,569	147,335
	N2	812,762	797,736	803,727	756,68	790,672	805,84
18-Οκτ	CH4	0,007	0,003	0,001	0,004	0,004	0,003
	CO2	6,921	19,222	4,545	7,454	23,637	25,052
	O2	168,223	158,233	178,908	161,459	151,294	154,913
	N2	693,356	700,665	747,057	691,083	713,041	714,564
	CH4	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	CO2	4,201	8,269	7,506	13,913	14,401	11,148
	O2	177,203	180,472	158,24	179,555	138,619	163,557

	N2	731,347	760,167	693,981	792,228	622,483	708,17
8-Noε	CH4	0,007	0,003	0,004	0,004	0,003	0,005
	CO2	1,33	9,397	3,598	8,529	5,858	10,382
	O2	206,452	182,955	218,203	172,88	187,782	188,423
	N2	792,788	733,947	855,3	702,557	747,462	769,212

Βιβλιογραφία

1. Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L. and Golueke, C.G 1993. Composting and Recycling of Municipal Solid Waste. Lewis Publisher
2. Hao, X. Chang, C., Larney, F.J., Travis, G.R 2001. Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. J. Environ.Qual. 30:376-386
- 3.. IPCC, 2001. Climate Change 2001—Synthesis Report. Available from <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/index.htm>.
4. Manios, T., Maniadakis, K., Boytzakis, P., Naziridis Y., Lasaridi, K., Markakis, G 2005. Greenhouse gases emission in a two-phase olive oil mill sludge windrow pile during composting. Waste Management.
5. Manios, T., Maniadakis, K., Frantzeskaki, N., Stentiford, E.I., Manios, V., Kritsotakis, I. and Dialynas, G 2003. Sewage Sludge Composting on the island of Crete. Biocycle International. 53-55
6. Μανιός Θρασύβουλος Β. 2002. Σημειώσεις θεωρίας Χουμοποίησης Οργανικών Υπολειμμάτων Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης
7. Γεωργάκη et all, 2008
8. Βαγιωνάκης, Κ 2002. Αξιολόγηση Compost Ιλύος Βιολογικού Καθαρισμού Ρεθύμνου. Πτυχιακή εργασία. ΤΕΙ Κρήτης.
9. Στάμου, Α.Ι 1995. Βιολογικός καθαρισμός αστικών απόβλητων : Με παρατεταμένο αερισμό και βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών. 8: 177-197.
10. <http://el.wikipedia.org/wiki/>