



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ**  
**ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΑΣΠΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ**  
**ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΛΥΜΑΤΩΝ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ**  
**ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΩΣ ΔΙΟΓΚΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**

**ΤΟΥ**

**ΔΗΜΟΣΘΕΝΗ ΤΣΑΚΑΛΑΚΗ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ, 2011**

## Πίνακας περιεχομένων

|  |    |
|--|----|
| ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....  | 4  |
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....   | 5  |
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΥΜΑΤΟΛΑΣΠΗ.....   | 13 |
| <br>   |    |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....   | 17 |
| 2.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ .....  | 17 |
| 2.2. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ ΚΑΤΑ<br>ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....                | 19 |
| 2.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....                                      | 20 |
| 2.3.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΚΙΒΩΤΙΟΥ.....  | 20 |
| 2.3.2.ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΚΙΒΩΤΙΟΥ.....   | 21 |
| 2.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΘΕ ΓΥΡΙΣΜΑ.....  | 21 |
| 2.4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....   | 21 |
| 2.4.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΙΒΩΤΙΟΥ.....  | 22 |
| 2.4.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΩΡΟΥ.....  | 24 |
| 2.4.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΦΡΑΣ.....  | 24 |
| 2.4.5. ΑΝΑΛΥΣΗ pH ΚΑΙ E.C.....   | 27 |
| 2.5 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΚΑΤΑ<br>ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ .....   | 29 |
| <br>   |    |
| 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....   | 35 |
| 3.1 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ<br>ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ..... | 35 |
| 3.1.2 ΟΓΚΟΣ .....  | 35 |
| 3.1.3. Υγρασία.....  | 36 |
| 3.1.4 Μεταβολές pH και EC .....  | 38 |
| 3.1.5 Άνθρακας (C) και άζωτο (N).....  | 40 |
| 3.1.6 ΣΧΕΣΗ C/N .....  | 41 |

|  |  |
|--|--|
| 3.1.7 Οργανική Ουσία.....  | 42   |
| 3.1.8 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ .....  | 44   |
| 3.1.9 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO <sub>2</sub> ) .....             | 46   |
| <u>3.1.11</u> Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του τελικού<br>compost |  |
| 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....                                | 48   |
| 4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....                        | <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b> |

## **ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

Το composting είναι μια από τις πιο παλιές γεωργικές τεχνικές και η ιστορία του ανάγεται σε πολλούς αιώνες πριν.

Οι αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν οργανικά απορρίμματα αφού τα αφήναν να χωνέψουν. Στους πολιτισμούς τις νοτιάς Αμερικής, της Κίνας, της Ιαπωνίας και της Ινδίας ασκούσανε εντατική γεωργία και χρησιμοποιούσαν τα απορρίμματα των ζώων και των ανθρώπων ως λιπάσματα. Πολλά από αυτά τα οργανικά απορρίμματα σωριάζονταν και αφήνονταν να χωνέψουν για πολύ χρόνο παράγοντας compost.

Η μέθοδος κομποστοποίησης των απορριμμάτων εφαρμόστηκε πρώτη φορά από ιδιωτικές εταιρίες με κερδοσκοπικό χαρακτήρα. Το κόστος όμως των εξοπλισμών ήταν μεγάλο και η ποιότητα του κομπόστ χαμηλή με αποτέλεσμα το κλείσιμο των μονάδων αυτών και ταυτόχρονα την αναστολή της προσπάθειας αυτής.

Το 1972 το ενδιαφέρον για το compost δεν περιορίζεται μόνο στο γεωργικό τομέα αλλά σε πολλά μέρη του κόσμου το ενδιαφέρον στρέφεται προς το composting και σαν μέσο υγιεινής, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, για τον υγιεινότερο τρόπο χειρισμού των ανθρώπινων αποβλήτων και τον περιορισμό της μεταδόσεων ασθενειών. Σήμερα η αξιολόγηση του compost γίνεται με γενικότερα κριτήρια κοινής ωφέλειας που του εξασφαλίζουν μια σημαντική θέση μέσα στις λίγες προσπάθειες του ανθρώπου για την διατήρηση της ισορροπίας του περιβάλλοντος, την ανακύκλωση και τη διατήρηση της φυσικής κατάστασης και της γονιμότητας του εδάφους σαν πλουτοπαραγωγική πηγή με πεπερασμένες ικανότητες.

## ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το composting είναι η βιολογική αποσύνθεση οργανικών υλικών κάτω από ελεγχόμενες αερόβιες συνθήκες και την παραγωγή ενός οργανοχουμικού βελτιωτικού εδάφους. Η κομποστοποίηση είναι ένας πολύ άμεσος και σημαντικός τρόπος ανακύκλωσης.

Το κόμποστ είναι ένα από τα καλύτερα βελτιωτικά εδάφους. Μπορούμε επίσης να το χρησιμοποιήσουμε αντί για τα λιπάσματα του εμπορίου και, κυρίως, το κόμποστ είναι φτηνό. Η χρήση του βελτιώνει τη δομή και την υφή του εδάφους, αυξάνει τον αερισμό του εδάφους και την ικανότητά του να συγκρατεί νερό. Το κόμποστ κάνει πιο χαλαρά τα αργιλώδη εδάφη και βοηθάει τα αμμώδη να συγκροτούν περισσότερο νερό. Προσθετοντάς το αυξάνεται η γονιμότητα του εδάφους και ενισχύεται στα φυτά η ανάπτυξη υγιούς ριζικού συστήματος. Η οργανική ύλη που περιέχεται σ' αυτό τροφοδοτεί τους μικροοργανισμούς οι οποίοι κρατούν το έδαφος υγιές και ισορροπημένο. Το άζωτο, το κάλιο και ο φώσφορος θα ελευθερώνονται με φυσικό τρόπο από τους μικροοργανισμούς ώστε να μην χρειάζεται να τα προσθέτουμε εμείς. Το κόμποστ περιέχει με φυσικό τρόπο όλα τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζεται ένα φυτό και τα αποδίδει με αργό φυσιολογικό ρυθμό για μερικά χρόνια(γύρω στα 3) από τη μέρα που θα μπει στο έδαφος. Αν μάλιστα προέρχεται από μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών είναι ακόμα πιο ωφέλιμο. Προσθέτοντας κόμποστ στον κήπο κάνουμε την πιο καλή και μακροπρόθεσμη επένδυση, μια επένδυση στην ποιότητα του εδάφους που θα μας αποδίδει για χρόνια.



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 (εγκαταλειμμένα λατομεία., πρανή δρόμων κλπ). Με την κομποστοποίηση γίνεται σωστή διαχείριση των απορριμμάτων με στόχο την υγεία των πολιτών και την προστασία του περιβάλλοντος. Η κομποστοποίηση μιμείται και επιταχύνει τις διεργασίες αποδόμησης των οργανικών που συμβαίνουν φυσιολογικά στη φύση.

Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν φυσιολογικά στα οργανικά απόβλητα, χρησιμοποιούν τα οργανικά συστατικά των απόβλητων ως τροφή για την ανάπτυξή τους. Η διαδικασία αυτή είναι αερόβια (δηλ. χρειάζεται την παρουσία οξυγόνου) και εξώθερμη (δηλ. απελευθερώνει θερμότητα). Καθώς οι μικροοργανισμοί «τρώνε» τα απόβλητα, αναπτύσσονται και πολλαπλασιάζονται, το pH αλλάζει, η θερμοκρασία του σωρού των αποβλήτων αυξάνει, και τα απόβλητα μετασχηματίζονται σε πιο απλές και σταθερές οργανικές ενώσεις. Κατά την ενεργή φάση της κομποστοποίησης η θερμοκρασία, αν δεν ελεγχθεί, μπορεί να ξεπεράσει τους 70 °C, να αδρανοποιήσει ή και να σκοτώσει τους μικροοργανισμούς, και να γίνει απαγορευτική για την ομαλή και γρήγορη ολοκλήρωση της διεργασίας. Η βέλτιστη θερμοκρασία κομποστοποίησης είναι γύρω στους 55 - 65 °C.

## Τροφικές Παράμετροι

Στην κομποστοποίηση οι μικροοργανισμοί διασπούν τα οργανικά απόβλητα και έτσι πολλαπλασιάζονται και αναπτύσσονται και επιταχύνεται η διεργασία. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να υπάρχουν τα απαραίτητα για τους μικροοργανισμούς θρεπτικά συστατικά να βρίσκονται στα οργανικά απόβλητα στην κατάλληλη αναλογία.

## Άνθρακας

Η διάσπαση των ενώσεων του άνθρακα δίνει την απαραίτητη ενέργεια στους μικροοργανισμούς, μέσω της οξειδωσης του κατά το μεταβολισμό, και είναι το σημαντικότερο συστατικό στη σύνθεση των τοιχωμάτων του κυττάρου και των άλλων κυτταρικών δομών. Στην οξειδωση του άνθρακα σε CO<sub>2</sub> 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. Κάποια φυσικά υλικά είναι πιο ανθεκτικά στη μικροβιακή αποσύνθεση (πολύπλοκες μορφές κυτταρίνης, λιγνίνη) και χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να διασπαστούν σε σχέση με απλούστερες οργανικές ενώσεις (σάκχαρα, πρωτεΐνες, τα περισσότερα λίπη). Ο άνθρακας π.χ. στα ξυλώδη υλικά δεν αποδομείται εύκολα, σε αντίθεση με τις κοπριές.

Από πρακτική σκοπιά, η διαθεσιμότητα του άνθρακα καθορίζει (1) την καταλληλότητα των αποβλήτων ως πηγή άνθρακα για την

**κομποστοποίηση**, (2) το ρυθμό με τον οποίο μπορούν να διασπαστούν τα απόβλητα - και συνεπώς τον απαιτούμενο χρόνο παραμονής τους στο σύστημα, και (3) το ανώτατο όριο του λόγου του άνθρακα προς άζωτο (C/N) που δεν επιβραδύνει τη διεργασία.

## Άζωτο

Σημαντικότερος είναι και ο ρόλος του αζώτου για τους μικροοργανισμούς. Το άζωτο είναι βασικό συστατικό του πρωτοπλάσματος και χωρίς αυτό οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να πολλαπλασιαστούν. Ωστόσο, η μικροβιακή δραστηριότητα (π.χ. σύνθεση οργανικών οξέων) είναι εφικτή και απουσία αζώτου.

Το άζωτο βρίσκεται σε ικανοποιητικό ποσοστό και σε διαθέσιμες μορφές στα υπολείμματα φαγητού, στα απόβλητα κήπων και πάρκων (ιδίως όταν έχουν γρασίδι), στη λάσπη βιολογικών καθαρισμών και στις διάφορες κοπριές. Αντίθετα έλλειμμα παρουσιάζεται στα ξυλώδη απορρίμματα, το χαρτί και διάφορα βιομηχανικά οργανικά απόβλητα. Η ανάμιξη με απόβλητα πλούσια σε άζωτο είναι η ενδεικνυόμενη λύση για την κομποστοποίηση φτωχών σε άζωτο αποβλήτων. Εναλλακτικά, μπορεί να προστεθεί άζωτο σε ανόργανη μορφή, π.χ. ως αζωτούχο λίπασμα.

## Αναλογία Άνθρακα προς Άζωτο

Η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N) είναι μια από τις σημαντικότερες τροφικές 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. Μπορούν έτσι να προκληθούν δυσάρεστες οσμές, και να αυξηθεί το pH σε επίπεδα δυσμενή για την κομποστοποίηση.

### Περιβαλλοντικές Παράμετροι

Οι τρεις παράμετροι-κλειδιά για την κομποστοποίηση είναι ο αερισμός (για οξυγόνωση και απαγωγή θερμότητας), το ποσοστό υγρασίας και η θερμοκρασία. Η κατανόηση των μεταξύ τους σχέσεων και της επίδρασής τους στη διεργασία, και η κατάλληλη ρύθμισή τους είναι απαραίτητες για τη γρήγορη και σωστή κομποστοποίηση και την παραγωγή καλής ποιότητας κομπόστ. Οι τρεις αυτές παράμετροι συνδέονται άμεσα μεταξύ τους, και η μεταβολή οποιασδήποτε από τις τρεις μεταβάλλει αντίστοιχα και τις υπόλοιπες.

### 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, κομμένο γρασίδι ). Αν το ποσοστό υγρασίας είναι πολύ υψηλό, το νερό καταλαμβάνει τον κενό χώρο ανάμεσα στα σωματίδια του κομπόστ και ο αερισμός γίνεται δυσχερής. Τρεις είναι οι κύριοι μεθοδοι που εξασφαλίζουν οξυγόνο κατά την διάρκεια του composting:

- Με αναστροφή του σωρού
- Με ρεύμα αέρα υπό πίεση
- Με ρεύμα υπο αναρρόφηση

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. 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 οC. Σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες, οι μικροοργανισμοί πεθαίνουν ή αδρανοποιούνται και η διεργασία επιβραδύνεται ή και σταματά εντελώς. Δηλαδή, κατά την κομποστοποίηση οι μικροοργανισμοί έχουν την τάση να «αυτοκτονήσουν θερμικά» και είναι στόχος του αερισμού να εμποδίσει την «αυτοκτονία».

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.

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.

## Υγρασία

Όπως προαναφέρθηκε, η αλληλεξάρτηση ανάμεσα στην υγρασία και τον αερισμό προκύπτει από το γεγονός ότι ο αποτελεσματικός αερισμός της μάζας του κομποστ στο σωρό εξαρτάται από τα διάκενα (πόρους) ανάμεσα στα σωματίδια του κομποστ. 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. 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. Έτσι μπορεί να είναι υψηλότερη για υλικά με γερή φυσική δομή (π.χ. απόβλητα όπου άχυρο, πριονίδια, ξερά φύλλα ή τεμαχίδια ξύλου είναι τα κύρια συστατικά), ενώ υλικά όπως το χαρτί, υπολείμματα φαγητού,

και γρασίδι, τα οποία τείνουν να «πατικωθούν» πρέπει να έχουν χαμηλότερο ποσοστό νερού.

Ως γενικός κανόνας, η αρχική υγρασία πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο 60-70% 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. Έτσι μπορεί να διατεθεί ως έτοιμο κομπόστ στην αγορά. Όταν όμως ξαναβραχεί, στο χωράφι ή τον κήπο, η μικροβιακή δραστηριότητα επανακάμπτει και μπορεί να «κάψει» τα φυτά ή να απελευθερώσει δυσάρεστες οσμές.

#### 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, σε έναν αλληλο-ενισχυόμενο κύκλο. Όταν όμως η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 65 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 μικρο-οργανισμούς επίπεδα.

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 οC που θα διατηρηθεί για τουλάχιστον 3 ημέρες σε όλη τη μάζα του σωρού θεωρείται αρκετή για την καταστροφή των παθογόνων (USEPA, 1993[1]).

## **ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΥΜΑΤΟΛΑΣΠΗ**

Λυματολάσπη ή Ιλύς βιολογικών καθαρισμών είναι τα ιζήματα από τα αστικά λύματα τα οποία προκύπτουν στη φάση της κατεργασίας τους σε ειδικές προς τούτο εγκαταστάσεις. Τα ιζήματα αυτά αποτελούνται περίπου από 70% από νερό, το υπόλοιπο είναι οργανικά και ανόργανα στερεά. Επειδή είναι πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία αλλά και σε οργανική ουσία αξιοποιούνται ήδη από πολλά χρόνια στις γεωργικές εκτάσεις . Όμως η λυματολάσπη πρέπει να υποστεί πρώτα μια επεξεργασία διαφορετικά είναι τοξική και αυτό γιατί ορισμένα βαρέα μέταλλα είναι τοξικά για τα φυτά και για τον άνθρωπο λόγω της παρουσίας τους στη συγκομιδή.

Η λυματολάσπη διακρίνεται σε:

- Επεξεργασμένη ιλύς, είναι αυτή που έχει υποστεί βιολογική, χημική ή θερμική επεξεργασία ή μακροχρόνια αποθήκευση ώστε να έχει μειωθεί σημαντικά η ικανότητα της προς ζύμωση και ο κίνδυνος για την υγεία που προκαλεί η χρησιμοποίησή της.
- Μη επεξεργασμένη ιλύς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αυτή σε μικρή ποσότητα με τον όρο ότι θα παραχώνεται στο έδαφος

Στο μέλλον θα γίνεται φυτοκάλυψη αλλά και θα αξιοποιούνται ερημονησίδες κατά τρόπο οικολογικά αποδεκτό δίνοντας λύση στο πρόβλημα της λυματολάσσης των παραλιακών, αστικών και τουριστικών κέντρων της χώρας που δεν ξέρουν πώς να απαλλαγούν από τη λυματολάσση τοπικών εγκαταστάσεων.

Η ιλύς, όπως εξ' άλλου και τα διάφορα αστικά ,γεωργικά και αγροβιομηχανικά απόβλητα, μπορεί να καταταχθεί στους **ανανεώσιμους φυσικούς πόρους**, η ορθολογική αξιοποίηση των οποίων αποτελεί μια από τις βασικότερες αρχές της σύγχρονης οικονομίας. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να δημιουργηθούν συνθήκες εμπλουτισμού των ελληνικών εδαφών με οργανική ουσία και σημαντικής εξοικονόμησης χημικών λιπασμάτων, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να δοθούν λύσεις στο πιεστικό πρόβλημα της ορθολογικής διάθεσης του υλικού αυτού.

Σε διεθνή κλίμακα, η γεωργική διαχείριση της ιλύος των αστικών λυμάτων συνιστά την ευχερέστερη, οικονομικότερη και περισσότερο ευνόητη μορφή περιβαλλοντικής διαχείρισης αυτής, στο πλαίσιο της αειφόρου διαχείρισης του περιβάλλοντος.

Εκτός από τους ωφέλιμους χαρακτήρες της ιλύος, απαντώνται σε αυτήν και διάφοροι επιβλαβείς παράγοντες, δηλαδή κυρίως τοξικές ουσίες [ανόργανοι και οργανικοί ρύποι] και παθογόνα. Προοδευτικώς, οι συγκεντρώσεις όλων αυτών των επιβλαβών παραγόντων με την πάροδο του χρόνου αυξάνονται, ιδιαίτερα όταν δεν διενεργείται αποτελεσματικός έλεγχος του ρυπαντικού και μολυσματικού φορτίου που καταλήγει στο αποχετευτικό δίκτυο.

Σε αυτό το πλαίσιο πρέπει να τονιστεί, ότι σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να επιτραπεί το ενδεχόμενο, η αξιοποίηση της ιλύος στην γεωργία να οδηγήσει σε αυξημένη συγκέντρωση οποιωνδήποτε τοξικών

ανόργανων και οργανικών επιβλαβών ενώσεων, καθώς επίσης και παθογόνων μικροοργανισμών στο έδαφος.

Οι ελληνικές ιλύες έχουν κ.μ.ο. ξηρά ύλη [ΞΥ] 25-30% περίπου και αξιοσημείωτη περιεκτικότητα σε μακροστοιχεία [κυρίως φώσφορο (0,75-4,0 %) και άζωτο (1.5-3.5%) ή και περισσότερο, επίσης ασβέστιο (Ca) και σίδηρο (Fe)] και μικροστοιχεία [Mn, Zn, B, Cu, Mo, V, CO, Se], τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για τις ανάγκες των καλλιεργούμενων φυτών, ελαττώνοντας έτσι τις ανάγκες σε λιπάσματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος σε λιπάσματα έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό κόστος παραγωγής των ελληνικών αγροτικών προϊόντων. Εκτός τούτου, η γεωργική χρησιμοποίηση της ιλύος βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό και τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

#### ΣΚΟΠΟΣ ΑΥΤΗΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΗΤΑΝ

- Να διαπιστωθεί η δυνατότητα αντικατάστασης των διογκωτικών υλικών (φυτικών υπολειμμάτων) με ανόργανα υλικά όπως είναι τα τεμάχια πλαστικών πολυαιθυλενίου και η αντιμετώπιση του προβλήματος της λιματολόασης του βιολογικού καθαρισμού με τη συνκομποστοποίηση της. Τα διογκωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα δεν διαχωρίζονται από το τελικό προϊόν με αποτέλεσμα να απαιτούνται κάθε φορά νέες ποσότητες. Η αντικατάστασή τους με ένα υλικό που μένει αναλλοίωτο και που θα μπορούσε να διαχωριστεί από το τελικό προϊόν και να επαναχρησιμοποιηθεί περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την απαίτηση σε διογκωτικά υλικά.

- Για το εργαστήριο μας, Διαχείριση και αξιοποίηση υγρών και στερεών αποβλήτων που είχε την ευθύνη του πειράματος, η εκπαίδευση των φοιτητών πάνω στο αντικείμενο της κομποστοποίησης και ακόμη η παραπέρα μελέτη της `ολης διαδικασίας και η κατά το δυνατόν βελτίωση της σε επίπεδο εφαρμογής.
- Η όλη διαδικασία του πειράματος βασίστηκε στη διαδικασία της κομποστοποίησης, δηλαδή στην βιολογική αποδόμηση των οργανικών υλικών κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **2.1 Προετοιμασία υλικού κομποστοποίησης**

Στις 4 Νοεμβρίου 2008 ξεκίνησε στο Εργαστήριο Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων του ΤΕΙ Κρήτης, στο χώρο του αγροκτήματος, πείραμα παρασκευής κόμποστ, από λυματολάσπη του βιολογικού καθορισμού του Δήμου Ηρακλείου. Ως διογκωτικό υλικό χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί σωλήνες άρδευσης πολυαιθυλενίου . Η διάρκεια του πειράματος ήταν περίπου δυο μήνες και συγκεκριμένα από 4/11/08 έως 20/1/09.

Για τις ανάγκες του πειράματος παρασκευάστηκε μείγμα λυματολάσπης και τεμαχίων πλαστικών σωλήνων τα οποία τοποθετήθηκαν σε μεταλλικό τεπόζιτο νερού ενός κυβικού μέτρου από το οποίο είχε αφαιρεθεί ο πάτος. Τα κιβώτια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 3 μεταλλικά ντεπόζιτα κατασκευασμένα από ψευδάργυρο (Zn) διαστάσεων 1x1x1m. Σε αυτά τα δοχεία κόψαμε τους πάτους (με ειδικό σβουράκι) για τις αναγκές του αναποδογυρίσματος όπως επίσης τοποθετήσαμε (βιδώνοντας) στα πλαίνα στρατζαριστώ σίδερο 1m.

- Δοχείο 1.- Μίγμα λάσπης/πλαστικών 1/1 κατ'όγκο  
Τσακαλάκης Δημοσθένης
- Δοχείο 2.- Μίγμα λάσπης/πλαστικών 2/1 κατ'όγκο  
Κουρκουνάκης κώστας
- Δοχείο 3.- Μίγμα λάσπης/πλαστικών/κλαδοκάθαρων 1/1/1/  
κατ'όγκο Σουλάνδρωσ άγγελος

Επίσης είχαν δημιουργηθεί τρύπες περιμετρικά ώστε να διευκολύνεται ο αερισμός του μείγματος. Η δεξαμενή μαζί με το μείγμα τοποθετήθηκε

πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένη πίστα από μπετόν σε χώρο του αγροκτήματος του ΤΕΙ Κρήτης. Η αναλογία λυματολάσπης και πολυαιθυλενίου ήταν 1:1 κατ' όγκον.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στις μετρήσεις καθημερινής προόδου κομποστοποίησης και στις αναλύσεις δειγμάτων από τα γυρίσματα. Οι μετρήσεις της πρώτης κατηγορίας αφορούν στις μετρήσεις θερμοκρασίας και αερίων που γίνονται σε ημερήσια βάση. Οι αντίστοιχες της δεύτερης αφορούν στις μετρήσεις των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του υλικού σε δείγματα που παίρνονται κατά τα γυρίσματα.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κομποστοποίηση προετοιμάστηκε ως ακολούθως : κοπή Φ16 (πολυαιθυλένιο) σε κομμάτια των 3 – 6 cm μήκος και ποσότητα 1,5 m<sup>3</sup>. Στην συνέχεια ήρθαν γύρο στα 4 m<sup>3</sup> ιλύος από το βιολογικό καθαρισμό αλλά και μια ποσότητα ροκανίδι – κλαδοκάθαρα. Στην συνέχεια για το δοχείο μου ακλούθησε ανάμιξη των υλικών με σκαφτικό μηχάνημα για ομογενοποίησι και ομοιομορφία, ενώ αμέσως μετά τα υλικά μας μπήκαν στο δοχείο σε αναλογία Φ16 και λυματολάσπης 1/1.

## 2.2. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.

**Πίνακας 2.1:** Βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της λυματολάσσης.

| Στάδιο κομποστοποίησης | Στοιχεία Δειγμάτων |     |              |             |            |           |                    |
|------------------------|--------------------|-----|--------------|-------------|------------|-----------|--------------------|
|                        | Υγρασία (%)        | pH  | E.C. (mS/cm) | Ολικός C(%) | Ολικό N(%) | Σχέση C/N | Οργανική ουσία (%) |
| Λυματολάσση            | 72.1               | 8.7 | 1.51         | 29.3        | 2.49       | 12        | 53                 |

Η αυξημένη υγρασία της λυματολάσσης δίδει την δυνατότητα για την παρασκευή μειγμάτων που η υγρασία τους μπορεί να κυμαίνεται στα επιθυμητά επίπεδα για την κομποστοποίηση, που είναι γύρω στο 60% σε υγρή βάση, χωρίς την προσθήκη νερού. Αυτό όμως θα πρέπει να ελέγχεται σε κάθε διαφοροποίηση της αναλογίας της λυματολάσσης προς τα διογκωτικά υλικά και βάση αυτού να αποφασίζεται η προσθήκη ή όχι νερού κατά την εγκατάσταση του σειραδίου.

- Το pH της πρώτης ύλης κυμαίνεται σε ικανοποιητικό επίπεδο και ως ετούτου δεν απαιτείται καμία διορθωτική παρέμβαση.
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) της πρώτης ύλης, κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και ως εκ τούτου στο τελικό κόμποστ του μείγματος τους, η EC δεν μπορεί να διαμορφωθεί σε πολύ υψηλά επίπεδα.

- Η περιεκτικότητα της πρώτης υλης σε στερεά πτητικά (οργανική ουσία) κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα και προεικάζει την παρασκευή κόμποστ με καλά αγρονομικά χαρακτηριστικά.

## **2.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.**

### **2.3.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΚΙΒΩΤΙΟΥ.**

Η πιο βασική μέτρηση που γίνεται στο μείγμα, είναι αυτή της θερμοκρασίας κομποστοποίησης. Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται στο κέντρο του μείγματος και επαναλαμβάνεται κάθε εικοσιτέσσερις ώρες. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό θερμόμετρο: DTM Ni-Cr ( -100 - 1370 -ο ). Το θερμόμετρο αυτό αποτελείται από δύο μέρη, τον μεταλλικό άξονα με χειρολαβή μήκους 1,2m ο οποίος φέρει στην άκρη διμεταλλική ακίδα Νικελίου-Χρωμίου, και από το ψηφιακό όργανο το οποίο αναγράφει τις ενδείξεις σε οθόνη LCD. Η μέτρηση πραγματοποιείται, βυθίζοντας το μεταλλικό σώμα του θερμομέτρου στην επάνω πλευρά του σωρού, με κάθετη φορά και σε βάθος 35cm το οποίο θεωρείται κέντρο για τον συγκεκριμένο τεπόζιτο. Κατόπιν περιμένουμε έως ότου σταθεροποιηθεί η ένδειξη στην οθόνη και καταγράφουμε τη θερμοκρασία. Κατά τον ίδιο τρόπο πραγματοποιείται και μέτρηση σε βάθος 70cm. Επειδή όμως η εσωτερική θερμοκρασία του μείγματος επηρεάζεται από την περιβαλλοντική, πραγματοποιείται και μια μέτρηση της εξωτερικής θερμοκρασίας προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητοι συσχετισμοί. Η μέτρηση αυτή γίνεται κρατώντας το μεταλλικό σώμα του θερμομέτρου στον αέρα και υπό σκιά μέχρις ότου σταθεροποιηθεί η ένδειξη. Συνήθως

η εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται πριν αυτής του σωρού για πιο ακριβείς ενδείξεις, καθώς οι θερμοκρασίες του σωρού είναι πάντα υψηλότερες, και για λόγους πρακτικότητας.

### **2.3.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΚΙΒΩΤΙΟΥ**

Η μέτρηση των αερίων πραγματοποιείται και αυτή σε εικοσιτετράωρη βάση και συνήθως την ίδια ώρα με τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Σκοπός αυτής της μέτρησης είναι να προσδιορισθούν οι συγκεντρώσεις των: μεθανίου CH<sub>4</sub> %, διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> %, οξυγόνου O<sub>2</sub> %, και μονοξειδίου του άνθρακα CO ppm, που παράγονται εσωτερικά του σωρού.

Οι μετρήσεις των παραπάνω αερίων πραγματοποιήθηκαν με την εξής μέθοδο. Τοποθετήθηκαν πλαστικοί σωλήνες διαμέτρου περίπου τριάντα cm οι οποίοι κλείνανε αεροστεγώς στη πάνω επιφάνεια. Με τη βοήθεια μιας βαλβίδας στην οποία ενσωματώνονταν οι σύριγγες παίρναμε τις μετρήσεις των αερίων. Όλες οι ενώσεις των σωληνώσεων είναι σχολαστικά προσαρμοσμένες για αποφυγή διαρροών. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των μετρήσεων προήλθαν από το ειδικό μηχάνημα ανάλυσης αερίων του Τ.Ε.Ι Κρήτης.

## **2.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΘΕ ΓΥΡΙΣΜΑ.**

### **2.4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.**

Κατά τη διάρκεια αυτού του πειράματος εφαρμόστηκε η τακτική των γυρισμάτων αναμοχλεύσεων του μείγματος. Συγκεκριμένα

πραγματοποιήθηκαν τέσσερα γυρίσματα και ισάριθμες δειγματοληψίες. Στο σύνολό του όμως αναλύθηκαν έξι δείγματα διότι πραγματοποιήθηκαν άλλες δυο δειγματοληψίες, μια κατά την εγκατάσταση και μια του τελικού ώριμου κομπόστ.

Η δειγματοληψία πραγματοποιείται λαμβάνοντας υλικό ποσότητας ίσης περίπου με 1kg από διάφορα μέρη του υλικού, μετά το γύρισμα. Αμέσως μετά ο σωρός τοποθετούνται ξανά στη δεξαμενή.

Αμέσως μετά τη δειγματοληψία γίνονται οι μετρήσεις για pH, EC, και Υγρασία (οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω), στις οποίες το δείγμα απαιτείται να είναι νωπό, και κατόπιν το δείγμα προετοιμάζεται για να πάρει τη μορφή που πρέπει να έχει για να γίνουν οι αναλύσεις: Οργανικής Ουσίας-C- Τέφρα, και N.

Για να διεξαχθούν οι παραπάνω αναλύσεις το δείγμα πρέπει να ξηραθεί και να πάρει μορφή πολύ λεπτόκοκκης σκόνης. Για αυτό το λόγο το δείγμα τοποθετείται σε δίσκο ξηραίνεται σε φούρνο στους 75 C για 48 ώρες. Κατόπιν το δείγμα αλέθεται αρχικά σε μύλο με οπές 4mm και σε δεύτερη φάση αλέθεται σε εργαστηριακό μύλο οποίος κονιορτοποιεί το υλικό. Ο μύλος που χρησιμοποιήθηκε ήταν: FRITSCH pulmerisette. Type 14.702. Στη μορφή αυτή το υλικό είναι κατάλληλο για να πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχες μετρήσεις με ακρίβεια.

#### **2.4.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΙΒΩΤΪΟΥ.**

\_\_\_Ο προσδιορισμός της υγρασίας\_σε υλικά προς κομποστοποίηση ή δείγματα κομπόστ αποσκοπεί στο να εκτιμηθεί κατά πόσο η έλλειψη ή περίσσεια νερού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη διαδικασία. Όπως έχει επισημανθεί υγρασία κάτω από το 45 % δημιουργεί πρόβλημα στους

μικροοργανισμούς που αποδομούν την οργανική ουσία, ενώ υγρασία πάνω από το 70 % δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες.

Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για μέτρηση της υγρασίας είναι:

1. Φούρνος Ξήρανσης ρυθμισμένος στους 105 CO : MEMMERT.
2. Πυρίμαχες κάψες
3. Ζυγαριά ακριβείας: Sartonous handy

#### ***Διαδικασία:***

1. Τεμαχίζουμε το υλικό μας σε όσο το δυνατόν μικρότερα τεμάχια με προσοχή να μην αλλοιώσουμε τα χαρακτηριστικά του.
2. Ζυγίζουμε τις κάψες άδειες, στεγνές και καθαρές (τιμή Α).
3. Τοποθετούμε μικρή ποσότητα δείγματος ( περίπου 10 gr) στην κάθε κάψα στην οποία και σημειώνουμε με κάποιο κωδικό το υλικό που μετράμε.
4. Επαναζυγίζουμε τις κάψες (τιμή Β).
5. Τοποθετούμε την κάψα στο φούρνο στους 105 CO για 24 ώρες.
6. Βγάζουμε τις κάψες από το φούρνο και τις αφήνουμε σε ειδικά δοχεία για όση ώρα χρειαστεί ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.
7. Ζυγίζουμε τις κάψες (τιμή Γ).

#### ***Υπολογισμοί:***

Η υγρασία υπολογίζεται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$Y(\%) = (Γ - Α / Β - Α) \times 100. .$$

Σημείωση: Η παραπάνω διαδικασία για τον υπολογισμό της υγρασίας πραγματοποιείται με δύο επαναλήψεις πριν και μετά το γύρισμα του σωρού.

### **2.4.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΩΡΟΥ.**

Ο όγκος του υλικού εντός του κιβωτίου μετρήθηκε κατά την εγκατάσταση και το τέλος του πειράματος λαμβάνοντας υπόψη μας τον όγκο της δεξαμενής.

### **2.4.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΦΡΑΣ.**

Η μέθοδος που αναλύεται παρακάτω είναι η μέθοδος της ξηρής καύσης. Αυτό που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι ο προσδιορισμός του C , διότι είναι απαραίτητος για να προσδιοριστεί ο λόγος C/N.

Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Εστία πέψης mikrokjeldahl- electrothermal με φιάλες πέψης των 30ωI
2. Αποστακτική συσκευή ατμού.
3. Δίλαιοι φιάλες των 250 ml
4. Μικρομπουρέτα.

#### ***Διαδικασία Πέψης:***

1. Μελετούμε τρία δείγματα, τα δύο εκ των οποίων θα περιέχουν το λεπτό αλεσμένο υλικό και το τρίτο θα είναι κενό χωρίς υλικό(τυφλό). Ζυγίζουμε περίπου 0,10 gr λεπτό-αλεσμένο υλικό στη ζυγαριά ακριβείας και το μεταφέρουμε στις δύο φιάλες πέψης με προσοχή έτσι ώστε να μην επικαθίσει το υλικό στα τοιχώματα της φιάλης .Στην τρίτη φιάλη δεν τοποθετούμε τίποτα.



2. Παίρνουμε ξεχωριστό δείγμα από το αλεσμένο υλικό για να προσδιορίσουμε την υγρασία του. Αυτό γίνεται με τη γνωστή μέθοδο προσδιορισμού υγρασίας στους 105°C.
3. Προσθέτουμε μια μεζούρα πέψης στη φιάλη πέψης με τη βοήθεια ειδικής μικρομεζούρας.
4. Προσθέτουμε 1,5ml πυκνό  $H_2SO_4$  σε όλες τις φιάλες πέψης και θερμαίνουμε σταδιακά, επί 4 περίπου ώρες. Ρυθμίζουμε κατά τέτοιο τρόπο τη θέρμανση ώστε οι ατμοί του  $H_2SO_4$  να συμπυκνώνονται στο πρώτο τρίτο του μήκους λαιμού της φιάλης πέψης. Θεωρείται ότι η πέψη ολοκληρώθηκε όταν το περιεχόμενο της φιάλης πέψης πάρει το χρώμα του πράσινου μήλου.

### **Διαδικασία Απόσταξης:**

Αφού κρυώσει η φιάλη πέψης, μεταφέρουμε το περιεχόμενο της στη φιάλη απόσταξης, ξεπλένοντας την 2 - 3 φορές με μικροποσότητες απιονισμένου νερού και μεταγγίζοντας τα ξεπλύματα στη φιάλη απόσταξης.

1. Προσαρμόζουμε τη φιάλη απόσταξης στην αποστακτική συσκευή.
2. Σε κωνική φιάλη των 50ml μεταφέρουμε 20ml από το διάλυμα του  $H_3BO_3$  με λίγες σταγόνες δείκτη και την τοποθετούμε κάτω από τον συμπυκνωτή με το ράμφος του συμπυκνωτή μέσα στο διάλυμα του βορικού οξέος.
3. Συνδέουμε τη συσκευή απόσταξης με τη φιάλη παραγωγής ατμού.
4. Προσθέτουμε στο χωνί συσκευής 10ml διαλύματος  $NaOH$  40 %.
5. Αφήνουμε σταδιακά να περάσει το  $NaOH$  στη φιάλη απόσταξης. Στο τέλος ξεπλύνουμε το χωνί με λίγο νερό που και αυτό το

αφήνουμε να περάσει στη φιάλη απόσταξης. Συνεχίζουμε την απόσταξη μέχρι που το απόσταγμα στην κωνική φιάλη να φτάσει περίπου στα 50ml.

6. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία αφαιρούμε τη φιάλη απόσταξης και τη ξεπλένουμε με απιονισμένο νερό. Έπειτα αφαιρούμε και την κωνική φιάλη από τη συσκευή και προσθέτουμε μέσα έξι σταγόνες δείκτη N indicator και ανακατεύουμε.
7. Γεμίζουμε την προχώδα με 0,01 N διάλυμα  $H_2SO_4$  μέχρι να φτάσει στην ένδειξη μηδέν.
8. Έπειτα αναταράσσοντας ταυτόχρονα την κωνική φιάλη προσθέτουμε αργά-αργά μέσα σε αυτήν το 0,01 N διάλυμα  $H_2SO_4$ , μέχρι το χρώμα του να γίνει ροζέ.
9. Ογκομετρούμε το απόσταγμα με το 0,01 N διάλυμα  $H_2SO_4$  .

Σημείωση: Η παραπάνω διαδικασία γίνεται για δύο δείγματα και για το τυφλό .Η μέτρηση του τυφλού διαλύματος γίνεται πριν από τα υπόλοιπα, και το αποτέλεσμα του, για να είναι σωστό πρέπει να είναι μικρότερο από τα υπόλοιπα.

#### **Υπολογισμοί:**

Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας του δείγματος σε ολικό N μπορεί να γίνει % της ξηρής του ουσίας είτε σε μέρη στο εκατομμύριο (**PPM** ). Η περιεκτικότητα σε ολικό N % της ξηρής ουσίας γίνεται ως ακολούθως :

Αν το οξύ  $H_2SO_4$  είναι 0,01N και κατά την τιτλοδότηση του δείγματος καταναλώθηκαν A ml και κατά την τιτλοδότηση του τυφλού B ml τότε το ολικό N του δείγματος είναι ( A-B)  $\times$  0,01 χιλιοστοισοδύναμα

αζώτου. Το γραμμοισοδύναμο όμως του N είναι 14gr και επομένως το χιλιοστοισοδύναμο του  $14/1000 = 0,014$  ή 14mg N.

Επομένως ο τύπος που τελικά μας δίνει την % περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό N είναι ο ακόλουθος:

$$\mathbf{N\% = (A-B)\chi 14 / \Xi\eta\rho\acute{o} \beta\acute{\alpha}\rho\omicron\varsigma \text{ (mg)}}$$

#### **2.4.5. ΑΝΑΛΥΣΗ pH ΚΑΙ E.C.**

Είναι γνωστό ότι με το pH εκφράζουμε τη συγκέντρωση ιόντων H<sup>+</sup> και OH<sup>-</sup>. Το pH επηρεάζει έμμεσα την αποδόμηση του υλικού δεδομένου ότι ασκεί καθοριστικό ρόλο στο φάσμα των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών. Ως άριστο pH για την κομποστοποίηση 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, πριν από την έναρξη εφαρμογής της κομποστοποίησης, δεδομένου ότι με την έναρξη της χώνευσης το pH ανεβαίνει στην ελαφρώς αλκαλική περιοχή εξαιτίας κυρίως της ελευθέρωσης αμμωνίας.

Με την E.C εκφράζουμε τη συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο οργανικό υλικό μας ή στο υπόστρωμα μας. Η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν αποτελεί μειονέκτημα για την διαδικασία της κομποστοποίησης αλλά απαιτεί, ιδιαίτερη προσοχή ως προς την ποσότητα που θα εφαρμοστεί κατά στρέμμα ή ως προς την αναλογία συμμετοχής του στην παρασκευή υποστρωμάτων.

Για τη μέτρηση των pH και EC χρησιμοποιούμε τη μέθοδο pf 1,5 με αναλογία νερού 1/1,5 (v/v).

Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Κύλινδρος εσωτερικής διαμέτρου 42mm και ύψους 58mm, με χωρητικότητα 80cm<sup>3</sup>
2. Βαρίδιο για την συμπίεση των δειγμάτων μέσα στον κύλινδρο βάρους 1385 (0,1 Kg/cm<sup>2</sup>).
3. Ογκομετρικό κύλινδρο 100ml.
4. Πλαστική λεκάνη, 2 πλαστικά ποτήρια, ψεκαστήρι με απιονισμένο νερό.
5. Μαχαίρι, γυάλινη ράβδος.
6. Χωνί Μπουχνέρ (πορσελάνης), διηθητικό χαρτί.
7. pH-μετρο: Crison PH-meter GLP 2I.
8. Αγωγιμόμετρο: Crison conductimeter 525.

#### **Διαδικασία:**

1. Βάζουμε στην πλαστική λεκάνη 200gr περίπου κομπόστ και το διαβρέχουμε σταδιακά ανακατεύοντας.
2. Όταν το υλικό αποκτήσει υαλώδη μορφή και σε κάθετη τομή συγκεντρώνεται νερό που διαφεύγει, τότε το υλικό έχει φτάσει στην υγρασιακή κατάσταση rf 1,5. 3. Τοποθετούμε το υλικό στους πλαστικούς δακτύλιους και τοποθετούμε σιγά-σιγά το βαρίδι από επάνω.
3. Μετά την πάροδο 60 sec. Αφαιρούμε το βαρίδι και κόβουμε με το μαχαίρι ανάμεσα στους δακτύλιους.
4. Την ποσότητα του κάτω δακτύλιου 80 cm<sup>3</sup> την αδειάζουμε στο ποτήρι όπου και συμπληρώνουμε 120ml απιονισμένου νερού, και ανακατεύουμε με τη γυάλινη ράβδο. 6. Μετά από δυο ώρες αδειάζουμε το υλικό με το νερό στο χωνί Μπουχνέρ με το διηθητικό χαρτί, και το αφήνουμε 24 ώρες να στραγγίσει στο δεύτερο ποτήρι.

### **Μετρήσεις:**

1.Την επόμενη ημέρα γίνονται οι μετρήσεις με το pH-μέτρο και το αγωγιμόμετρο

2.Κάθε δείγμα πραγματοποιείται παράλληλα σε διπλή επανάληψη.**2.5**

### **ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ**

Οι συσκευές που παρουσιάζονται παρακάτω και που χρησιμοποιήθηκαν για τις παραπάνω μετρήσεις ήταν ιδιοκτησίας του Εργαστηρίου Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων.

**Μηχανισμός** για την εφαρμογή της μεθόδου προσδιορισμού pH & EC με τη μέθοδο 1:1,5(V/V).

**Πυριαντήριο:** Συσκευή όπου τοποθετούνται δείγματα στους 105 βαθμούς Κελσίου για κάποιο χρονικό διάστημα 24 ή 48 ωρών έτσι ώστε να φύγει όλη η υγρασία τους.



**pH-μετρο:** Συσκευή μέτρησης pH διαλύματος.

### *ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ*

Ανοίγουμε την συσκευή και με το βελάκι πηγαίνουμε στην ένδειξη measure pH. Τοποθετούμε το ηλεκτρόδιο με το θερμομέτρο στο αναδευμένο (όσο το δυνατόν πιο ομογενοποιημένο) διάλυμα που θέλουμε να κάνουμε την μέτρηση. Περιμένουμε λίγο μέχρι να ακούσουμε τον χαρακτηριστικό ήχο και να πάρουμε την ένδειξη από την ψηφιακή οθόνη του μηχανήματος.

**Σημείωση:** Σε περίπτωση που το pH-μέτρο μας δείξει την ένδειξη Auto CAD σημαίνει ότι η συσκευή χρειάζεται ρύθμιση με τα διαλύματα pH 4, 4 και pH 7, 0.



**Ηλεκτρικό αγωγιμόμετρο:** Συσκευή μέτρησης EC του ίδιου διαλύματος που μετρήθηκε το pH

. Πριν ξεκινήσει η όλη διαδικασία πρέπει να γίνει καλιμπράρισμα της συσκευής. Κατόπιν χρειάζεται να περιμένουμε λίγο χρονικό διάστημα για να ζεσταθεί το ηλεκτρόδιο της. Στη συνέχεια τοποθετούμε το ηλεκτρόδιο στο διάλυμα, μαζί με το θερμομόμετρο της συσκευής και αφού αναδεύσουμε ελαφρά το διάλυμα, περιμένουμε την ένδειξη της συσκευής να σταθεροποιηθεί σε κάποιον αριθμό-ένδειξη. Κατόπιν η ένδειξη της EC διορθώνεται με βάση την θερμοκρασία του διαλύματος που μας δίνει η συσκευή και με πίνακα που υπάρχει ήδη για την διόρθωση αυτή.



**Φούρνος αποτέφρωσης:** Μπαίνουν δείγματα προς ανάλυση και θερμαίνονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες της τάξεως των 600 ° C για την μέτρηση του C (άνθρακα) και της οργανικής ουσίας.



**Αναλυτικός ζυγός** υψηλής ακριβείας (0,000gr) και απόζυγός ακριβείας (0,0gr) για τον προσδιορισμό του βάρους των δειγμάτων προς ανάλυση.





**Μύλος:** Για το άλεσμα των δειγμάτων μας και την μετατροπή τους σε σκόνη.



*Τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικασία της κομποστοποίησης και την παραγωγή του κομπόστ ήταν:*

**Γεωργικοί Ελκυστήρες (τρακτέρ), ιδιοκτησίας ΤΕΙ.**

- Αναστροφέας, ιδιοκτησίας ΔΕΥ ΑΗ.
- Το δίκτυο ύδρευσης του αγροκτήματος.
- Φορτηγά αυτοκίνητα.
- . Τσαπάκι και τρακτέρ με Φαγάνα μπροστά.



## 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 3.1 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.

#### 3.1.2 ΟΓΚΟΣ

Ο όγκος του υλικού όπως είναι φυσικό δεν παραμένει σταθερός αλλά μειώνεται όσο προχωρά η αποδόμηση του υλικού.

**Πίνακας 3.2:** Μεταβολή του όγκου του σωρού κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

| Ημερομηνία δειγματοληψίας | Στάδιο κομποστοποίησης | Όγκος (m <sub>3</sub> ) |
|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| 4-11-08                   | Εγκατάσταση            | 0,81                    |
| 20-1-09                   | τελικό                 | 0,36                    |

Από τον **Πίνακα 2.3** παρατηρείται ότι ο όγκος του σωρού κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ελαττώνεται συνεχώς για να φτάσει περίπου στο 50% του αρχικού όγκου του .Η απώλεια αυτή είναι φυσιολογική ως αποτέλεσμα της βιοαποδόμησης του μείγματος του σωρού.



**Διάγραμμα 3.2.** Μεταβολή του όγκου του μείγματος από το στάδιο εγκατάστασης έως το τελικό στάδιο.

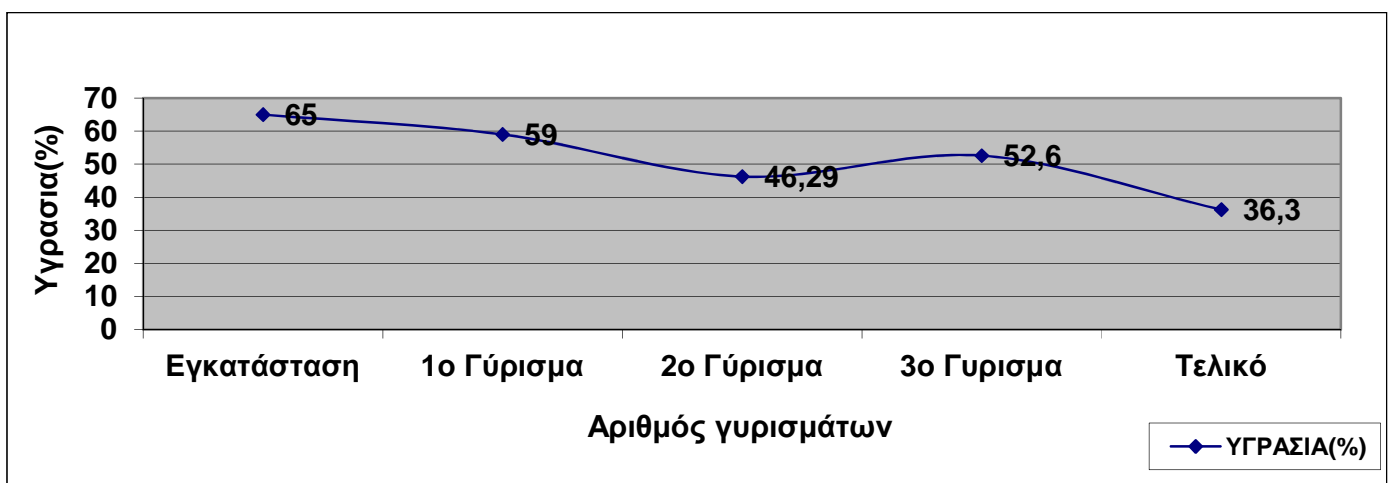
### **3.1.3. Υγρασία**

Η υγρασία του υλικού είναι καθοριστική τόσο για τη δράση των μικροοργανισμών, όσο και για την τελική υγρασιακή κατάσταση του κόμποστ. Τα επιθυμητά επίπεδα κυμαίνονται από 45% έως 65% υγρασία, μιας και κάτω από 40% αναστέλλεται η δράση των μικροοργανισμών και πάνω από 70% δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες που είναι ανεπιθύμητες.

**Πίνακας 3.3:** Μεταβολή της υγρασίας του σωρού κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

| Ημερομηνία<br>Δειγματοληψίας | Στάδιο<br>κομποστοποίησης | Υγρασία (%) |
|------------------------------|---------------------------|-------------|
| 4-11-08                      | Εγκατάσταση               | 65          |
| 19-11-08                     | 1ο γύρισμα                | 59          |
| 3-12-08                      | 2ο γύρισμα                | 46          |
| 18-12-08                     | 3ο γύρισμα                | 52          |
| 20-1-09                      | Τελικό                    | 36          |

Από τον **Πίνακα 3.3** παρατηρείται ότι γενικά η υγρασία κυμάνθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα, με εξαίρεση την εγκατάσταση του μείγματος που ξεπέρασε το 60%.



Διάγραμμα 3.3 Μεταβολή της υγρασίας του μείγματος σε συνάρτηση με τον αριθμο γυρισμάτων.

Από το διάγραμμα 3.3 παρατηρούμε σταδιακή μείωση της υγρασίας εξαιτίας της αναστροφής του μείγματος και της μικροβιακής δραστηριότητας μέσα σε αυτόν.

### **3.1.4 Μεταβολές pH και EC**

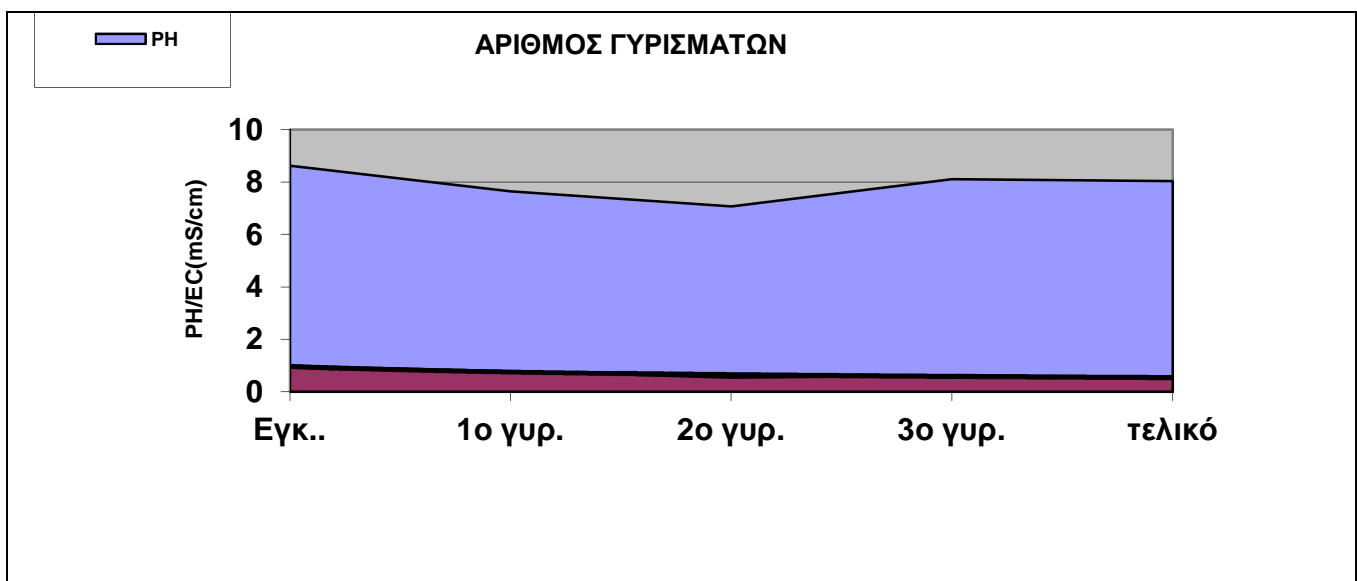
Το pH είναι άλλη μια παράμετρος της κομποστοποίησης, το οποίο επηρεάζει τη βιολογική αποδόμηση των οργανικών υλικών, αλλά ταυτόχρονα επηρεάζεται από τα προϊόντα της αποδόμησης. Έτσι είναι δυνατό από τις μεταβολές του στη διάρκεια της κομποστοποίησης να εκτιμηθεί σε γενικές γραμμές η πορεία της βιολογικής αποδόμησης του οργανικού υλικού που μελετάται. Με την έναρξη της κομποστοποίησης και την πρώτη άνοδο της θερμοκρασία; **το pH εμφανίζει μια συνεχή άνοδο προς το τελικό στάδιο η οποία αποδίδεται στη μικροβιακή αποδόμηση που οδηγεί στην απελευθέρωση αμμωνίας.**

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Οι μεταβολές της E.C. καθώς και η τελική τιμή της, ποικίλουν από υλικό σε υλικό. Μεγάλη σημασία έχει η τελική τιμή της E.C. στο ώριμο κόμποστ καθώς δεν πρέπει να ξεπερνά τα 4 mS /cm διότι περιορίζεται η γεωργική του εφαρμογή.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.4 που παραθέτεται παρακάτω ,οι τιμές της EC παρουσιάζουν μια συμπεριφορά ανάλογη με το χρόνο .Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί σαν άμεσο αποτέλεσμα της προσθήκης νερού κατά τη διάρκεια των τεσσάρων γυρισμάτων ,καθώς και των υγρασία που επικρατούσε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα παραπάνω είχαν σαν αποτέλεσμα το συνεχές ξέπλυμα των υλικών και την εμφάνιση εκχυλίσματος, σκούρου καφέ χρώματος, που απόρρεε από το τεπόζιτο.

**Πίνακας 3.4:** Μεταβολή του pH και της EC κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.

| Ημερομηνία<br>Δειγματοληψίας | Στάδιο<br>κομποστοποίησης | pH   | E.C.<br>(Ms/cm) |
|------------------------------|---------------------------|------|-----------------|
| 4-11-08                      | Εγκατάσταση               | 8,62 | 0,99            |
| 19-11-08                     | 1ο γύρισμα                | 7,64 | 1,32            |
| 3-12-08                      | 2ο γύρισμα                | 7,07 | 1,48            |
| 18-12-08                     | 3ο γύρισμα                | 8,10 | 2,06            |
| 20-1-09                      | Τελικό                    | 8,03 | 2,57            |



**Διάγραμ3.4.Μεταβολή του pH και της E.C σε συνάρτησή με το χρόνο.**

Βλέπουμε ότι τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του μείγματος PH, E.C (του διαγράματος 3.4) ακολουθούν την αναμενόμενη πορεία που επιβεβαιώνει την ομαλή εξέλιξη της διαδικασίας της κομποστοποίησης.

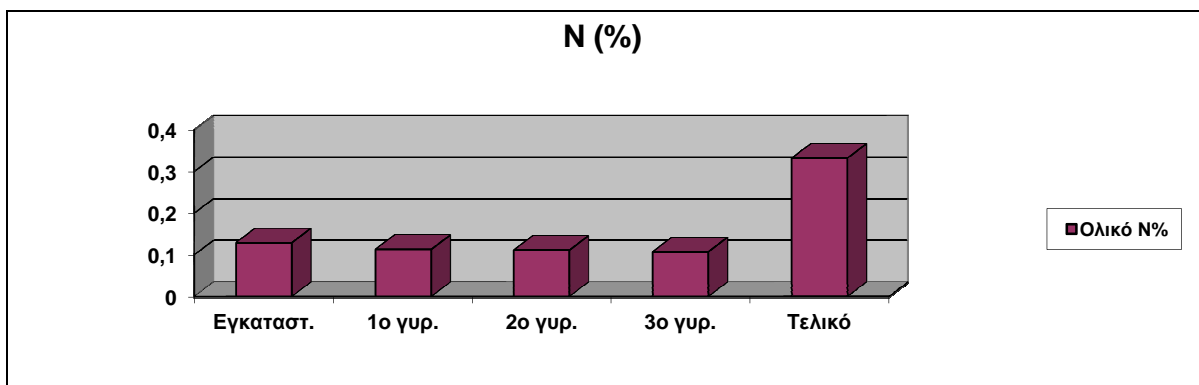
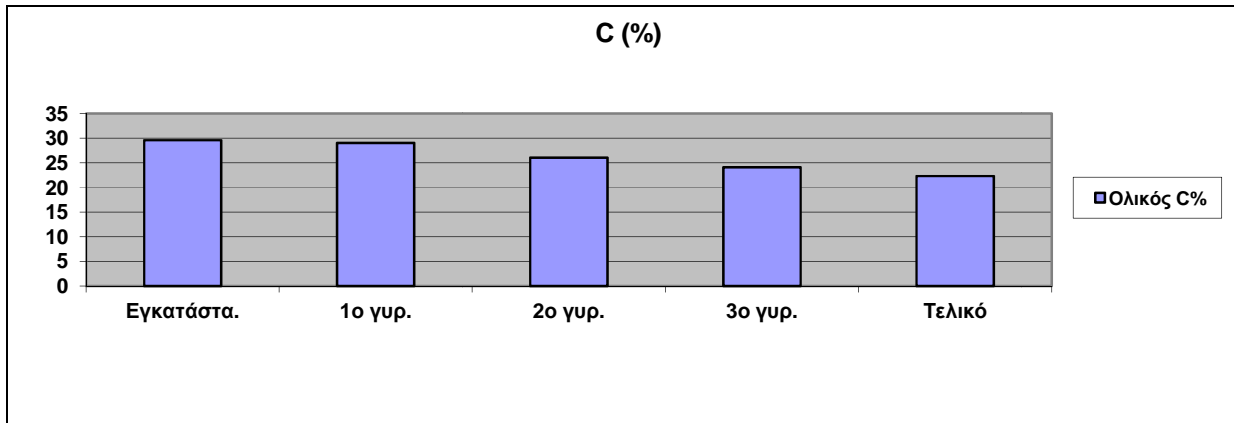
### 3.1.5 Άνθρακας (C) και άζωτο (N)

**Πίνακας 3.5:** Μεταβολή του C και το N κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

| Ημερομηνία<br>Δειγματοληψίας | Στάδιο<br>κομποστοποίησης | Ολικό C | Ολικό N |
|------------------------------|---------------------------|---------|---------|
| 4-11-08                      | Εγκατάσταση               | 29,6    | 1,29    |
| 19-11-08                     | 1ο γύρισμα                | 29      | 1,13    |
| 3-12-08                      | 2ο γύρισμα                | 26      | 1,10    |
| 18-12-08                     | 3ο γύρισμα                | 24,1    | 1,07    |
| 20-1-09                      | Τελικό                    | 22,3    | 1,32    |

Από τον πίνακα 3.5 παρατηρείται ότι το ποσοστό του άνθρακα στο μείγμα μειώνεται σταδιακά. Το N% γενικά αυξάνεται όσο προχωρά η κομποστοποίηση λόγω της μείωσης της ξηρής ουσίας





**Διαγράμματα 3.5** Μεταβολή του C και του N κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι το ολικό άζωτο (N%) παρουσιάζει ανοδική τάση καθώς γίνεται αποσυνθεση των υλικών και ο άνθρακας μετασχηματίζεται σε CO<sub>2</sub> και επομένως σημειώνεται μείωση της ξηρής ουσίας.

### 3.1.6 ΣΧΕΣΗ C/N

Ο λόγος C/N είναι καθοριστικός τόσο για την έναρξη και την ομαλή πορεία της κομποστοποίησης, όσο και για την αξιολόγηση του τελικού κόμποστ ως προς την ωριμότητά του.

**Πίνακας 3.6:** Μεταβολή της σχέσης C/N κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

| Ημερομηνία<br>Δειγματοληψίας | Στάδιο<br>κομποστοποίησης | Σχέση<br>C/N |
|------------------------------|---------------------------|--------------|
| 4-11-08                      | Εγκατάσταση               | 22,94        |
| 19-11-08                     | 1ο γύρισμα                | 25,66        |
| 3-12-08                      | 2ο γύρισμα                | 23,63        |
| 18-12-08                     | 3ο γύρισμα                | 22,52        |
| 20-1-09                      | Τελικό                    | 16,75        |

Όπως παρατηρείται από τον **Πίνακα 3.6** ο λόγος C/N κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ελαττώνεται γιατί ο άνθρακας μειώνεται και αυξάνεται το άζωτο. Η αύξηση της περιεκτικότητας του κόμποστ σε N οφείλεται στη μείωση της ξηρής ουσίας των κομποστοποιούμενων υλικών και στη μη απώλεια N.

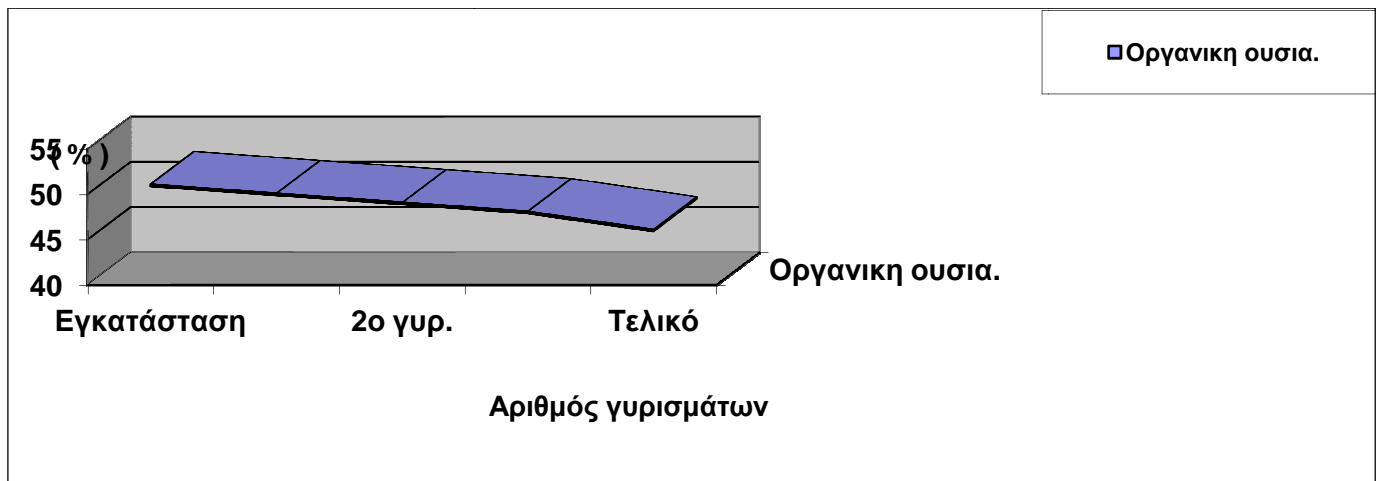
### 3.1.7 Οργανική Ουσία

Η οργανική ουσία μειώνεται κατά την πορεία της κομποστοποίησης λόγω της διάσπασης των οργανικών στοιχείων από τους μικροοργανισμούς και την αποβολή C με τη μορφή CO<sub>2</sub>

**Πίνακας 3.7:** Μεταβολή της οργανικής ουσίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

| Ημερομηνία<br>Δειγματοληψίας | Στάδιο<br>κομποστοποίησης | Οργανική<br>Ουσία % |
|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| 4-11-08                      | Εγκατάσταση               | 51.160              |
| 19-11-08                     | 1ο γύρισμα                | 50.040              |
| 3-12-08                      | 2ο γύρισμα                | 49.142              |
| 18-12-08                     | 3ο γύρισμα                | 48.022              |
| 20-1-09                      | Τελικό                    | 46.435              |

Από τον **πίνακα 3.7** παρατηρείται ότι η οργανική ουσία μειώνεται σταδιακά στην πορεία της κομποστοποίησης. Συνολικά αποδομείται το 9% της οργανικής ουσίας.

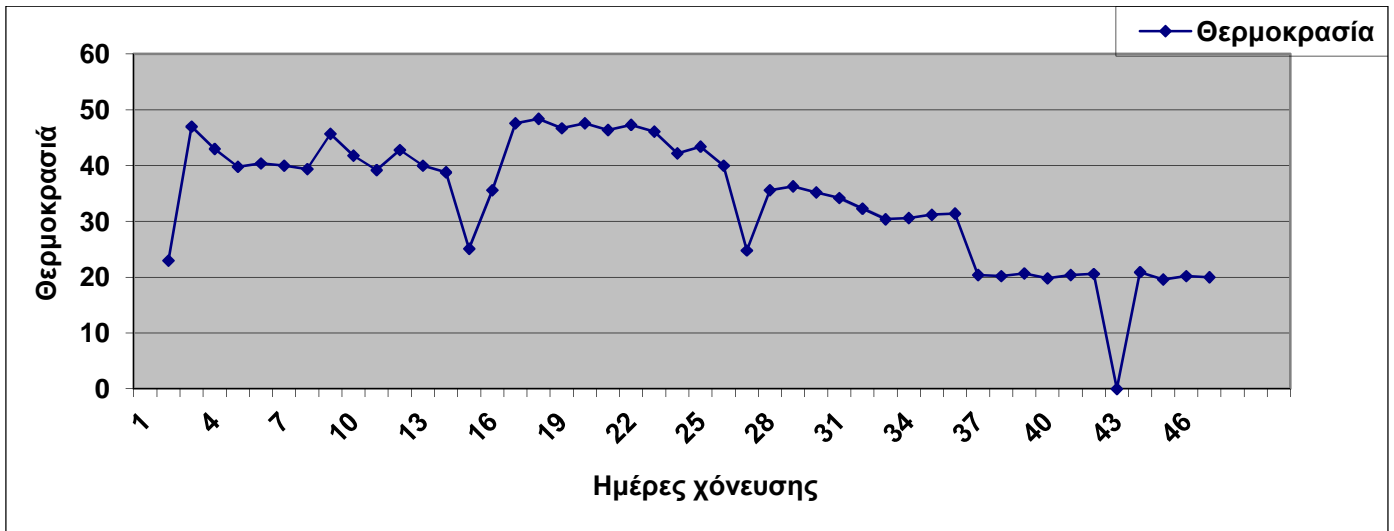


**Διάγραμμα 3.7** Μεταβολή της συγκέντρωσης της οργανικής ουσίας σε συνάρτηση με τον αριθμό γυρισμάτων.

Όπως έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 2 τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του μείγματος pH, E.C και οργανικής ουσίας (που παρουσιάζονται στα διαγράμματα 3.4 και 3.7) ακολουθούν την αναμενόμενη πορεία ώστε να έχουμε την όμαλη εξέλιξη της διαδικασίας της κομποστοποίησης.

### 3.1.8 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

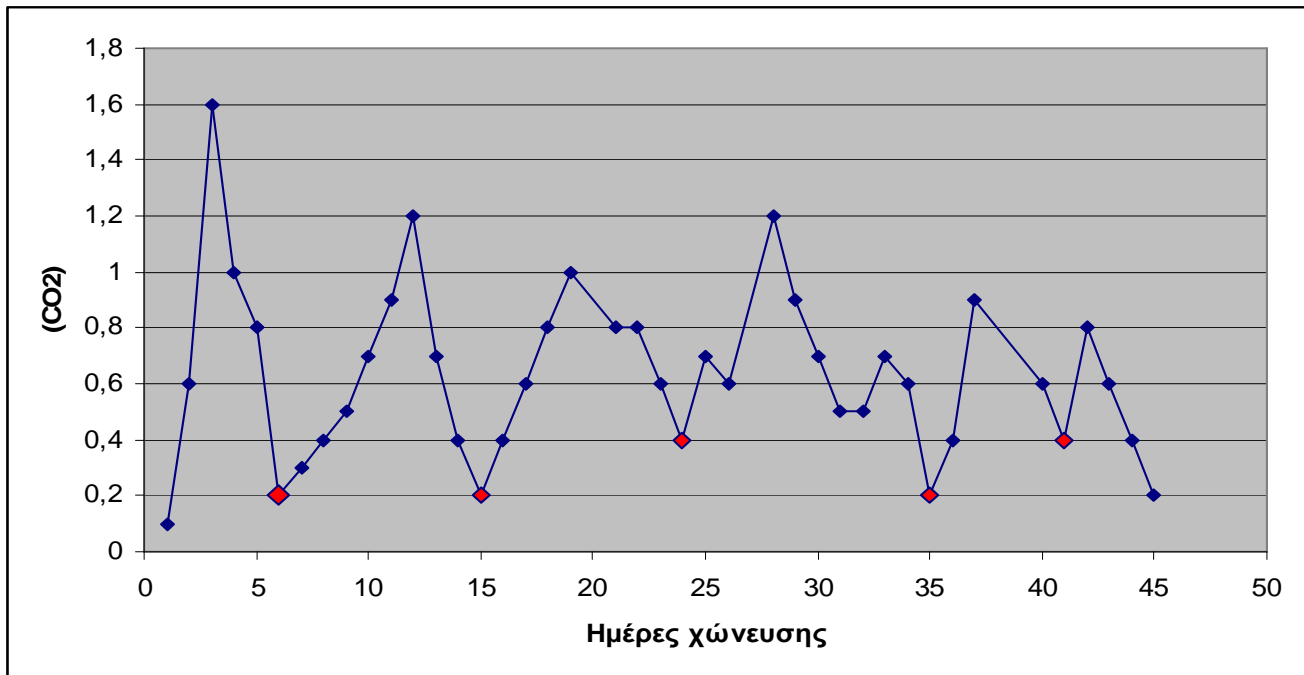
Η θερμοκρασία του διαγράμματος αναφέρεται στη μέγιστη θερμοκρασία δηλαδή τη μεγαλύτερη από τις θερμοκρασίες που λαμβάναμε καθημερινά σε βάθος 35 και 70 cm. Σε κάθε γύρισμα παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του σωρού μειώνεται σημαντικά. Στη συνέχεια επειδή οι μικροοργανισμοί αποδομούν τα οργανικά συστατικά παράγεται θερμότητα η οποία εγκλωβίζεται στη μάζα με αποτέλεσμα τη απότομη άνοδο της θερμοκρασίας. Σε αυτό βοηθά και η παρουσία των πολυαιθυλενικών σωλήνων, που συμβάλει στην εξασφάλιση των αερόβιων συνθηκών. Η παράμετρος που εμποδίζει την αύξηση της θερμοκρασίας σε υψηλότερα επίπεδα είναι ο σχετικά μικρός όγκος του υλικού που δε ξεπερνά το 1m<sup>3</sup>.



**Διάγραμμα 3.8** Μεταβολή θερμοκρασίας του μείγματος σε συνάρτηση με το χρόνο.

Στο διάγραμμα 3.8 που παρουσιάζεται η καμπύλη μεταβολής θερμοκρασίας στο κιβώτιο με αναλογία 1:1 κατ' όγκον από λυμματολάσπη σε ανάμειξη με σωλήνες πολυαιθυλενίου. Κατά την διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 4 γυρίσματα. Μετά το τελευταίο γύρισμα (9-1-2008) παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία παρουσιάζει μια σταθερή μείωση που οφείλεται στην έλλειψη των θρεπτικών συστατικών του μείγματος καθώς και η διαδικασία της κομποστοποίησης πλησιάζει στο τέλος της. Αυτό φαίνεται και από την μείωση του όγκου στο κιβώτιο.

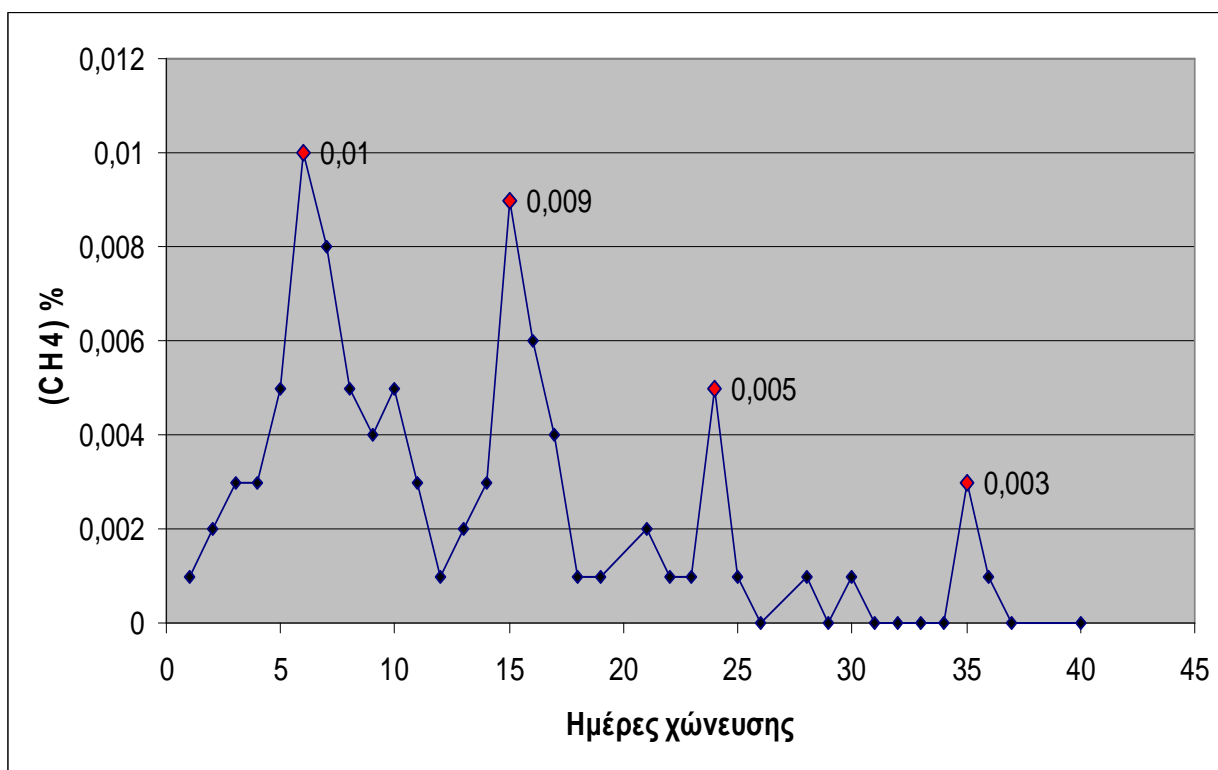
### 3.1.9 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO<sub>2</sub>)



- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.9 Μεταβολή της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στα παραγόμενα αέρια κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.
- Κόκκινα σημεία: Αναστροφή υλικών

Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα 3.9 η παραγωγή και η συγκέντρωση του (CO<sub>2</sub>) στα εξερχόμενα αέρια μας επιβεβαιώνει την αερόβια δράση των μικροοργανισμών καθώς επίσης και την διακύμανση της έντασης της αερόβιας ζύμωσης . Η γενική εικόνα του διαγράμματος μας δείχνει ότι όσο προχωρά η κομποστοποίηση ο μέσος όρος της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> % μειώνεται που σημαίνει ότι η αποδόμηση του υλικού μειώνεται. Είναι επίσης εμφανές ότι πριν από κάθε γύρισμα ανανεώνεται ο αέρας στο εσωτερικό του σωρού με αποτέλεσμα η βιολογική δράση των μικροοργανισμών να αυξάνει και επομένως να αυξάνεται και η παραγωγή του CO<sub>2</sub> %, ενώ πριν από κάθε γύρισμα έχει μειωθεί η % συγκέντρωση του.

### 3.1.10 ΜΕΘΑΝΙΟ (CH<sub>4</sub>)



Διάγραμμα 3.10 Μεταβολή της παραγωγής μεθανίου (CH<sub>4</sub>) κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.

Κόκκινα σημεία: Αναστροφή υλικών

Το CH<sub>4</sub> είναι παραπροϊόν της αναερόβιας ζύμωσης και η παρουσία του στο σωρό μας δείχνει ότι τις πρώτες εβδομάδες η συγκέντρωση του CH<sub>4</sub> είναι μηδενική ενώ προς το τέλος της ζύμωσης και αφού ο σωρός έχει μεταφερθεί σε υπόστεγο παρουσιάζεται κάποια σταθερή αύξηση του ποσοστού του CH<sub>4</sub>. Αναλυτικότερα το CH<sub>4</sub> % μετά από κάθε γύρισμα μηδενίζεται και αρχίζει να αυξάνει σταδιακά. Η αύξηση αυτή είναι φυσιολογική αφού και το O<sub>2</sub> % μεταξύ των γυρισμάτων μειώνεται με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι αναερόβιες δραστηριότητες. Η μείωση του λίγο μετά από κάθε γύρισμα οφείλεται στην αύξηση του O<sub>2</sub> % που παρουσιάζεται την ίδια περίοδο.

### 3.1.11

**Πίνακας 3.10. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του τελικού compost**

| Στοιχεία Δειγμάτων | Οργανική ουσία (%) | Υγρασία (%) | pH   | E.C. (mS/cm) | Ολικός C(%) | Ολικό N(%) | Σχέση C/N |
|--------------------|--------------------|-------------|------|--------------|-------------|------------|-----------|
| Τελικό στάδιο      | 46,435             | 36,3        | 8,03 | 2,57         | 22,3        | 1,32       | 16,89     |

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 3.10 μπορούν να σημειωθούν τα ακόλουθα

**α.** Με την εξέλιξη της ωριμότητας του κομποστ το pH διαμορφώνεται στην αλκαλική περιοχή του 8 (χαμηλή συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου). Ο βαθμός οξύτητας είναι σημαντικός γιατί καθορίζει το πόσο εύκολα ή όχι μπορούν τα φυτά να προσλάβουν θρεπτικά συστατικά. Ξέρουμε ότι τα περισσότερα φυτά αναπτύσσονται καλά σε μια κλίμακα 6,5 με 7,2 ουδέτερο pH, έτσι η τιμή που έχουμε δεν αποτελεί πρόβλημα.

**β.** Η E.C. διαμορφώνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα και δεν αποτελεί πρόβλημα για την συμμετοχή του στην παρασκευή υποστρωμάτων μέχρι και σε ποσοστό 40% v/v.

**γ.** Η οργανική ουσία του διαμορφώνεται σε χαμηλά σχετικά επίπεδα κάτω του ορίου 50% λόγω πρόσμιξης ξένων υλών (λυματολάσσης, χώμα, πλαστικών.)

**δ.** ο λόγος άνθρακα προς άζωτο είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα γιατί βρίσκετε κάτω από το επιτρεπόμενο όριο 20/1.



## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η διάθεση της ιλύος των βιολογικών λυμάτων συνιστά ένα από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της εποχής μας. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος υιοθετούνται πολλές φορές πρακτικές που δεν εξυπηρετούν τις αρχές της προστασίας του περιβάλλοντος. Ο πλέον συνήθης τρόπος διάθεσης αυτών των υλικών παλαιότερα σε ολόκληρο τον κόσμο, αλλά και σήμερα σε μεγάλο αριθμό χωρών, ήταν και είναι η ταφή τους μαζί με τα απορρίματα.

Όπως είναι φυσικό τα οργανικά αυτά υλικά, κάτω από αυτές τις συνθήκες διάθεσης τους με τα προϊόντα της αποσυνθέσεώς τους αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Σήμερα υπάρχουν σημαντικά βελτιωμένες μέθοδοι διάθεσης τους με τις οποίες ελαχιστοποιούνται ή ακόμα μηδενίζονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Μια από αυτές, από λειτουργική και ορθολογική άποψη, είναι η κομποστοποίηση. Το composting εντάσσεται στις διαδικασίες ανακύκλωσης που προωθεί και η Ε.Ε δεδομένου ότι μετατρέπει τα οργανικά υπολείμματα σε ένα οργανοχουμικό βελτιωτικό εδάφους το compost, το οποίο επανερχόμενο στο έδαφος συμβάλει στην αποκατάσταση της φυσικής διεργασίας, της ανακύκλωσης της οργανικής ύλης μέσα από τη συνεχή δόμηση και αποδόμηση της, διατηρώντας ταυτόχρονα την γονιμότητα του εδάφους σε υψηλά επίπεδα και γενικότερα έχει ιδιαίτερα ευνοϊκές επιπτώσεις στην βελτίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους.

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος μπορούν να αξιοποιηθούν από διάφορες εταιρίες παραγωγής λιπασμάτων ως ακολούθως

- Με την εγκατάσταση μονάδας κομποστοποίησης της ιλύος σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους προκειμένου να παραχθεί compost για δίφορες γεωργικές και μη χρήσης
- Η τεχνική που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία και η τεχνογνωσία που προέκυψε από αυτή συνοψίζεται στα ακόλουθα :

- Απαιτείται αυξημένη συμμετοχή διογκωτικών υλικών και συγκεκριμένα μεγαλύτερη του 40% του όγκου του όγκου του μείγματος.
- Εφαρμογή αναστροφών με βάση κυρίως τη θερμοκρασία κομποστοποίησης και συγκεκριμένα όταν αυτή πέφτει κάτω των 50°C.
- Προσθήκη νερού κατά τις αναστροφές ή και ενδιάμεσα για τη διατήρηση της υγρασίας στο 60%.
- Η διαδικασία που εφαρμόστηκε για την κομποστοποίηση των βιολογικών λυμάτων με την πρόσμειξη διογκωτικού υλικού απέδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα , τόσο ως προς αυτή κάθε αυτή τη διαδικασία όσο και ως την ποιότητα του τελικού compost που είναι καλής ποιότητας γεγονός που αποδεικνύεται από τα τελικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της.
- Η πρόσμειξη των οργανικών υπολειμμάτων με διάφορα διογκωτικά υλικά τα οποία όπως έχει αναφερθεί ενισχύουν τη δομή ζυμωμένης ιλύος και βελτιώνουν τις συνθήκες αερισμού , με αποτέλεσμα να εξασφαλίζονται ευκολότερα και σε μεγαλύτερη χρονική περίοδο οι αερόβιες συνθήκες μέσα στη μάζα του compost . Αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία γιατί η εξασφάλιση των αερόβιων συνθηκών έχει ως αποτέλεσμα σε σημαντικό βαθμό τη μείωση της έκκλησης ανεπιθύμητων δυσάρεστων οσμών, την επιτάχυνση της ολοκλήρωσης της κομποστοποίησης με την ικανοποιητική άνοδο της θερμοκρασίας σε ύψος και σε διάρκεια, τον περιορισμό του αριθμού του αναγκαίου αναστροφών του μείγματος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας καταστρέφονται οι παθογόνοι οργανισμοί, που είναι επικίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου..

Εν κατακλείδι, η παρούσα κομποστοποίηση ιλύος δίνει απαντήσεις σε δύο βασικά ζητήματα. Πρώτον παραθέτει χρήσιμες πληροφορίες για την διαδικασία της κομποστοποίησης τις ιλύος και δεύτερον για την ποιότητα του τελικού κόμποστ. Σε γενικές γραμμές το πείραμα έδωσε ικανοποιητικά

αποτελέσματα. Το παραγόμενο κόμποστ είναι καλής ποιότητας με καλά φυσικοχημικά που επιτρέπουν την άμεση χρησιμοποίηση του στη γεωργία, ως εδαφοβελτιωτικό υλικό που μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους. Η περιεκτικότητα του σε οργανική ουσία είναι 46.435%. Ενώ η περιεκτικότητα των ελληνικών εδαφών δεν ξεπερνά το 2% και επομένως η χρήση αυτού του compost μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την περιεκτικότητα των ελλειμματικών εδαφών σε οργανική ουσία. Όσο αφορά το pH , αυτό κυμαίνεται γύρω στο 8,3 τιμή που δεν είναι απαγορευτική για πολλά είδη καλλιεργειών.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:**

Μανιός Βασήλις Ι. 2002. Σημειώσεις θεωρίας χουμποποίησης Οργανικών υπολειμμάτων, Σχολή Γεωπονίας. Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Μανουσάκης Μιχάλης 2004. Πτυχιακή εργασία 'Παρασκευή και αξιολόγηση compost από κοπριά χοίρων της creta farm'. Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Δρακάκη Ρ.Σηφάκη Α. 2006. Πτυχιακή Εργασία 'Κομποστοποίηση διαχωριζόμενων υλικών, αστικών απορριμμάτων και αξιολόγηση παραγόμενου compost' Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Μανιός Βασίλης Ι.2002. Σημειώσεις εργαστηρίου Χουμποποίησης Οργανικών Υπολειμμάτων, Σχολή Γεωπονίας. Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Μανιός Θρασύβουλος Β. 2007. Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας. Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Μανιός Θρασύβουλος Β 2009. Σημειώσεις Εργαστηρίου Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και υγρών Αποβλήτων, Σχολή Γεωπονίας. Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Ευχαριστίες: θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μανιό Βασίλειο για τις πολύτιμες συμβουλές του και την καθοδήγηση του στη μελέτη αυτή.