



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΊΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ
ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΛΑΔΟΚΑΘΑΡΩΝ ΔΗΜΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΣΤΟ ΤΕΙ
ΚΡΗΤΗΣ



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Θρασύβουλος Μανιός, Γεωπόνος, Χημικός
Μηχανικός, Επίκουρος Καθηγητής

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: Δημήτρης Καλαντζής

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2010

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**Σελίδες**

Αφιέρωση	4
1.Εισαγωγή	5
<i>1.1.Ορισμός της κομποστοποίησης</i>	5
<i>1.2.Ιστορική ανασκόπηση</i>	9
<i>1.3.Πρώτες ύλες κατάλληλες για κομποστοποίηση</i>	10
<i>1.4.Οι κυριότερες περιβαλλοντικές σχεδιαστικές και λειτουργικές παράμετροι της κομποστοποίησης</i>	12
<i>1.5.Οι διάφορες φάσεις της κομποστοποίησης</i>	14
<i>1.6. Τεχνικές κομποστοποίησης</i>	17
<i>1.7.Μορφές και τεχνικές κομποστοποίησης</i>	19
<i>1.8.Ορισμός, παραγωγή και σημασία (χρήση) του κόμποστ</i>	22
<i>1.9. Κόστος παραγωγής κόμποστ</i>	24
2. Υλικά και μέθοδοι	28
<i>2.1.Γενικά στοιχεία του πειράματος</i>	28
<i>2.2.Μέθοδοι μέτρησης παραμέτρων παραγόμενου κόμποστ</i>	30
<i>2.3.Μετρήσεις οικονομικού περιεχομένου</i>	50
3. Αποτελέσματα- Συζήτηση	51
<i>3.1.Μέτρηση της Θερμοκρασίας</i>	51

<i>3.2.Μέτρηση του Συνολικού όγκου σωρού</i>	52
<i>3.3.Μέτρηση της Σχετικής υγρασίας του σωρού</i>	54
<i>3.4.Μέτρηση του pH</i>	55
<i>3.5.Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας</i>	56
<i>3.6.Μέτρηση του ενεργού άνθρακα σε δείγμα compost</i>	57
<i>3.7.Μέτρηση του ολικού αζώτου σε δείγμα compost</i>	58
<i>3.8.Οικονομοτεχνικά στοιχεία πιλοτικής μονάδας κομποστοποίησης κλαδοκάθαρων</i>	58
<i>4.Συμπεράσματα</i>	60
<i>4.1. Τεχνικά στοιχεία</i>	60
<i>4.2. Οικονομοτεχνικά στοιχεία</i>	61
<i>4.3. Οικονομικά στοιχεία</i>	62
<i>Επιλεγμένη βιβλιογραφία</i>	64-65

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Τη Πτυχιακή Εργασία την αφιερώνω στην αγαπημένη μου οικογένεια, η οποία τόσα χρόνια με στήριξε ηθικά και οικονομικά για την υλοποίηση των σπουδών μου.

Την αφιερώνω στους αγαπημένους μου παππούδες, Νίκο και Χρυσάνθη οι οποίοι δεν βρίσκονται ανάμεσα μας.

Τέλος, την αφιερώνω στον Δρ. Θρασύβουλο Μανιό, Επίκουρο Καθηγητή Εργαστηρίου Διαχείρισης Στερεών και Υγρών Αποβλήτων Τ.Ε.Ι Κρήτης, και στον Δρ. Βασίλη Μανιό, Ομότιμο Καθηγητή Εργαστηρίου Διαχείρισης Στερεών και Υγρών Αποβλήτων Τ.Ε.Ι Κρήτης, οι οποίοι με βοήθησαν για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Δημήτρης Α. Καλαντζής
Ηράκλειο Κρήτης 2009-2010

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΑΧΕΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΛΑΔΟΚΑΘΑΡΩΝ ΔΗΜΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΣΤΟ Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ

Δημήτρης Α. Καλαντζής¹ και Δρ. Θρασύβουλος Β. Μανιός²

¹ Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ Κρήτης

² Επίκουρος Καθηγητής, Διευθυντής Εργαστηρίου Διαχείρισης Στερεών και Υγρών Αποβλήτων, Τμήμα ΒΙΟ.ΘΕ.ΚΑ, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ Κρήτης

1.Εισαγωγή

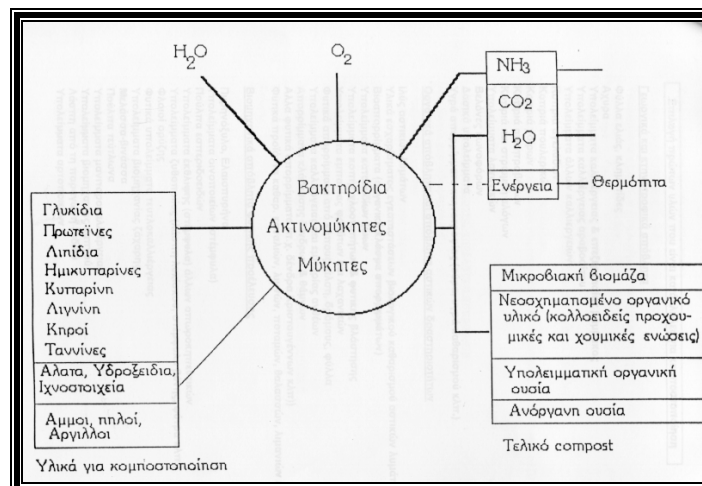
1.1.Ορισμός της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση (*Εικ.1*) είναι μια φυσική βιολογική, ελεγχόμενη, διαδικασία αποδόμησης των οργανικών αποβλήτων, που οδηγεί στην παραγωγή κόμποστ, δηλαδή ενός οργανικού εδαφοβελτιωτικού που προσομοιάζει στο χούμο του εδάφους και συμβάλλει στην ανάπτυξη των φυτών. 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, συχνά προστίθεται διογκωτικά υλικά (άχυρο, τεμάχια ξύλου κ.ά.), ιδίως όταν

τα απόβλητα δεν έχουν από μόνα τους μια δομή (π.χ. λάσπη βιολογικών καθαρισμών, κομμένο γρασίδι).

Τα βασικά πλεονεκτήματα του κόμποστ είναι τα εξής:

- ❖ Ενισχύει την ανθεκτικότητα και άμυνα των φυτών στα διάφορα παθογόνα
- ❖ Εμπλουτίζει το έδαφος με θρεπτικά συστατικά, φυσικές ορμόνες και φυσικά αντιβιοτικά
- ❖ Βοηθάει στη μείωση των φυτοπαθογόνων και των εχθρικών οργανισμών του εδάφους
- ❖ Βοηθάει στην αποφυγή έκπλυσης των θρεπτικών συστατικών στον υδροφόρο ορίζοντα
- ❖ Βελτιώνει τη σταθερότητα των εδαφών και μειώνει τους κινδύνους διάβρωσης
- ❖ Το έδαφος αερίζεται καλύτερα με αποτέλεσμα την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών
- ❖ Γίνεται αυξημένη συγκράτηση του νερού
- ❖ Ρυθμίζεται καλύτερα η θερμοκρασία του εδάφους (το καλοκαίρι είναι πιο δροσερά και το χειμώνα πιο θερμό)



Εικόνα 1. Παραστατική απεικόνιση της κομποστοποίησης

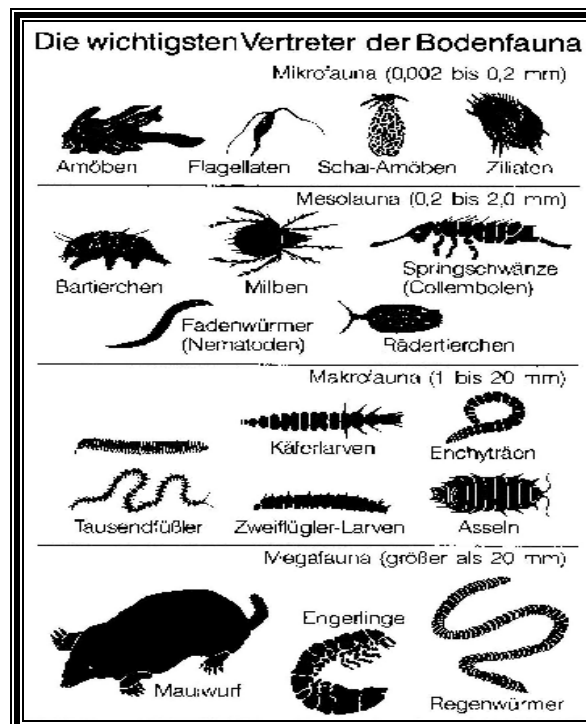
Με εκτεταμένα προγράμματα κομποστοποίησης στην Ελλάδα μπορεί να μειωθεί ο όγκος των απορριμμάτων που καταλήγει στους χώρους τελικής διάθεσης, αφού το 35-55% των Ελληνικών απορριμμάτων είναι οργανικά. Επίσης, η κομποστοποίηση όχι μόνο μπορεί να συνυπάρχει με προγράμματα ανακύκλωσης χαρτιού, γυαλιού, πλαστικών και μετάλλων, αλλά ευνοείται από αυτά. Η επιτυχία των προγραμμάτων ανακύκλωσης βελτιώνει κατά πολύ την ποιότητα των προς κομποστοποίηση απορριμμάτων και μειώνει το συνολικό κόστος της μηχανικής επεξεργασίας της κομποστοποίησης.

Η κομποστοποίηση είναι μια φαινομενικά απλή διεργασία, αν και η εντύπωση της απλότητας είναι μάλλον απατηλή, καθώς οδηγεί συχνά σε ακριβά λάθη αν αγνοηθούν οι βασικές αρχές και παράμετροι της διεργασίας. Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι η αποτυχία ακόμη και ακριβών συστημάτων κομποστοποίησης οφείλεται συνήθως στην παράβλεψη βασικών λειτουργικών, τροφικών, και περιβαλλοντικών παραγόντων.

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

Η παρέμβαση του ανθρώπου έχει απλώς συστηματοποιήσει και έχει αυξήσει την απόδοση της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Η διαδικασία είναι **μικροβιακή, αερόβια, και θερμόφιλη.**

Γιατί μικροβιακή: Ένας μεγάλος αριθμός μακροοργανισμών (γαιοσκωλήκων, ακάρεων, κ.ά.) καθώς και ένας ποικιλόμορφος και πολυπληθής συνδυασμός διαφορετικών μικροοργανισμών (**Εικ.2**) (βακτηρίων, μυκήτων, ακτινομυκήτων, ζυμών, κ.ά.) είναι υπεύθυνοι για τη διαδικασία αυτή.



Εικόνα 2. Οι απαντώμενοι μακροοργανισμοί και μικροοργανισμοί του εδάφους

Γιατί αερόβια: Η παρουσία επαρκούς οξυγόνου είναι αναγκαία για τη γρήγορη, αποτελεσματική και χωρίς προβλήματα αποδόμηση της οργανικής ουσίας μέσω των αερόβιων (κυρίως) προαναφερθέντων μικροοργανισμών. Ως αναερόβιες χαρακτηρίζονται οι συνθήκες εκείνες που η περιεκτικότητά τους σε οξυγόνο έχει πέσει σε επίπεδα χαμηλότερα του 5%. Οι μικροοργανισμοί που επικρατούν στις συγκεκριμένες αναερόβιες συνθήκες είναι κυρίως μεθανογενείς και το οξυγόνο αποτελεί τοξικό παράγοντα για αυτούς.

Γιατί θερμοφιλή. Το αποτέλεσμα της μικροβιακής αποδόμησης είναι η παραγωγή ενέργειας, η οποία οδηγεί στην 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 θερμικής ενέργειας, CO₂, υδρατμών και ενέργειας, όπως δείχνει η εξίσωση $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 7,3 \text{ Kcal}$.

1.2. Ιστορική ανασκόπηση

Η κομποστοποίηση είναι μια από τις πιο παλιές γεωργικές τεχνικές και η ιστορία της ξεκινά πολλούς αιώνες πριν, από τότε που ο άνθρωπος ασχολιόταν με το χώνεμα της κοπριάς. Η πρώτη ερευνητική προσέγγιση στη χώρα μας έγινε στην Ανώτατη Γεωπονική Σχολή Αθηνών, στα τέλη της 10ετίας του 1970, με την κομποστοποίηση της εκχυλισμένης ελαιοπυρήνας (Μανιός, 1986). Η πρώτη βελτίωση της παραδοσιακής διαδικασίας της κομποστοποίησης, εμφανίζεται στα μέσα της τρίτης δεκαετίας του αιώνα στην Ινδία, από το Sir Albert Howard και τους συνεργάτες του. Ουσιαστικά πρόκειται για μια απλή συστηματοποίηση της διαδικασίας στον ελεύθερο χώρο. Την ίδια περίοδο η κομποστοποίηση αρχίζει να αποκτά ενδιαφέρον και ως εργαλείο υγιεινής, ιδιαίτερα σε περιοχές με πολύ κόσμο, για τον πιο υγιεινό χειρισμό των αποβλήτων του ανθρώπινου οργανισμού και τον περιορισμό της μετάδοσης ασθενειών. Πρώτος ο Waksman και οι συνεργάτες του ασχολήθηκαν συστηματικά με την επιστημονική μελέτη της έννοιας της κομποστοποίησης και ιδιαίτερα με τη μικροβιολογία της βιολογικής αποδόμησης οργανικών υπολειμμάτων γενικά. Μετά τον Waksman, η μελέτη της κομποστοποίησης επεκτάθηκε σε όλο σχεδόν τον ανεπτυγμένο κόσμο και ουσιαστικά συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, με αποτέλεσμα τη συνεχή βελτίωση της όλης διαδικασίας.

Παράλληλα με τη μελέτη της κομποστοποίησης ως βιολογικού φαινομένου, αρχίζει και μια συστηματική προσπάθεια για την μηχανοποίηση της διαδικασίας εφαρμογής του. Πολύ μεγάλη ώθηση προς αυτή την κατεύθυνση έδωσε η σκέψη της εφαρμογής του στα δημοτικά απορρίμματα, που η παρουσία τους άρχισε να γίνεται απειλητική για το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Στην Ελλάδα η κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων, ήρθε αρκετά πρόσφατα, στο τέλος της δεκαετίας του 1990

και εκφράστηκε όπως και στην υπόλοιπη Ευρώπη, με τις μεγάλες μονάδες μηχανικού διαχωρισμού των απορριμμάτων. Πρώτη μονάδα, ήταν αυτή που δημιουργήθηκε στην περιοχή της Καλαμάτας, το 1998-1999, η οποία λειτούργησε για κάποιο χρονικό διάστημα, και στη συνέχεια σταμάτησε η λειτουργία της κυρίως λόγω κακής ποιότητας του παραγόμενου κόμποστ. Στη συνέχεια είχαμε την μεγάλη μονάδα που κατασκευάστηκε στα Άνω Λιόσια, μονάδα όμως που φτιάχτηκε περισσότερο για να διαχειριστεί το σύνολο των σκουπιδιών, και όχι για να κάνει κομποστοποίηση. Αντίστοιχη μονάδα έχουμε και στα Χανιά, η οποία παίρνει το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων και το κάνει κόμποστ. Μέχρι και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα αυτή η διαδικασία παρέμενε ουσιαστικά πρωτόγονη, χωρίς κανέναν έλεγχο η επηρεασμό της αποδόμησης των οργανικών υλικών.

1.3. Πρώτες ύλες κατάλληλες για κομποστοποίηση

Οι πρώτες ύλες (*Εικ.3*) για κομποστοποίηση θα μπορούσαν να θεωρηθούν τα παρακάτω υλικά:

- Γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα (υπολείμματα καλλιεργειών, στερεά και υγρά απόβλητα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων) κ.ά.
- Οργανικά απόβλητα και απόβλητα αστικών δραστηριοτήτων (ιλύς αστικών λυμάτων, οργανικό κλάσμα στερεών αστικών αποβλήτων, φυτικά απορρίμματα) κ.ά.
- Βιομηχανικά απόβλητα ζωικής προέλευσης (υπολείμματα σφαγείων, πτηνοτροφείων)
- Βιομηχανικά απόβλητα μεικτής προέλευσης (υπολείμματα κονσερβοποιείων, απορρίμματα ζωοτροφών).
- Άλλα διάφορα υπολείμματα, απορρίμματα, απόβλητα (απόβλητα χαρτοβιομηχανίας, άγλη-φύκια, πριονίδια, λάσπη καθαρισμού καναλιών).



Εικόνα 3. Πρώτες ύλες κατάλληλες για κομποστοποίηση

Εκτός από τα παραπάνω υλικά τα οποία είναι **κατάλληλα** για κομποστοποίηση υπάρχουν και υλικά τα οποία χαρακτηρίζονται **ακατάλληλα** για την κομποστοποίηση και αυτά μπορεί να είναι:

- ❖ Ανόργανα υλικά (πέτρες, μεταλλικά αντικείμενα, πλαστικά, γυαλί)
- ❖ Τυπωμένο χαρτί, υπολείμματα τροφών που περιέχουν υλικά καθαρισμού, απορρυπαντικά κλπ.
- ❖ Συνίσταται να αποφεύγεται η χρήση πευκοβελόνων και άλλων πευκωδών σε μεγάλες ποσότητες γιατί μειώνουν τη δυναμικότητα της συγκράτησης της υγρασίας στα προς κομποστοποίηση υλικά.

1.4.Οι κυριότερες Περιβαλλοντικές Σχεδιαστικές και Λειτουργικές Παράμετροι της Κομποστοποίησης

Οι κυριότερες περιβαλλοντικές, σχεδιαστικές και λειτουργικές παράμετροι της κομποστοποίησης-βιοσταθεροποίησης γενικά είναι:

Μικροχλωρίδα: Υπάρχει γενικά σε ικανοποιητικά επίπεδα στο προς κομποστοποίηση υλικό έτσι δεν κρίνεται απαραίτητη η επιπλέον προσθήκη μικροβιακού μολύσματος. Δεν απαιτείται εμβολιασμός του αρχικού υλικού ή μείγματος υλικών. Τα σημαντικότερα αθροίσματα μικροοργανισμών της κομποστοποίησης είναι τα βακτήρια, οι μύκητες και οι ακτινομύκητες.

Μέγεθος τεμαχιδίων αρχικού υλικού: Το μέγεθος των τεμαχιδίων του υλικού επηρεάζει σημαντικά τη μικροβιακή δραστηριότητα αφού ο πολυτεμαχισμός του σε μικρά τεμάχια αυξάνει την επιφάνεια τη δυνάμενη να προσβληθεί από τα εξωκυτταρικά ένζυμα των μικροοργανισμών, αλλά και μειώνει ταυτόχρονα 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 κυμαίνεται στο 1,5 και 7,5 κατά προσέγγιση.

Υγρασία: Το ιδανικό επίπεδο υγρασίας είναι διάφορο 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 την διατήρηση των αερόβιων συνθηκών, γίνεται αντιληπτό ότι η περιεκτικότητα του υλικού σε νερό δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 70% του νερού που απαιτείται για τον κορεσμό του. Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία, για τα πιο πολλά οργανικά υλικά η άριστη υγρασία κυμαίνεται από 45% (για τα λεπτόκκοκα υλικά) μέχρι και 60% (για τα χονδρόκκοκα υλικά) σε υγρή βάση.

Σχέση C/N: Η αναλογία άνθρακα προς άζωτο 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. Όσον αφορά τον άνθρακα μας ενδιαφέρει ο διαθέσιμος στους μικροοργανισμούς άνθρακας και όχι ο συνολικός. Ο άνθρακας αποδίδεται στην μικροβιακή κοινότητα από την αποσύνθεση φυτών και απορριμμάτων. 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 δηλαδή τα 2/3 τον απελευθερώνουν ως διοξείδιο του άνθρακα. 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, αφού από τα 30 μέρη κρατούν το 1/3 για δόμηση των δικών τους κυττάρων και αποβάλλουν τα 2/3 ως διοξείδιο του άνθρακα. Συμπερασματικά 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 διορθώσει την ανωτέρω σχέση στο 30/1.

Θερμοκρασία: Αμέσως μετά τη διαμόρφωση του σωρού με το προετοιμασμένο υλικό αρχίζει η μικροβιακή δράση που έχει ως αποτέλεσμα, την απελευθέρωση ενέργειας, την άνοδο της θερμοκρασίας του σωρού, καθώς τα εξωτερικά στρώματα του επενεργούν θερμομονωτικά στα εσωτερικά. Η άριστη θερμοκρασία για τη μικροβιακή δραστηριότητα θεωρείται εκείνη των 55-65 βαθμών κελσίου. Είναι βασική παράμετρος παρακολούθησης της διαδικασίας της κομποστοποίησης, αλλά και μέσο απαλλαγής του τελικού προϊόντος από παθογόνους μικροοργανισμούς για τον άνθρωπο και τα φυτά.

Οι θερμοκρασίες που απαιτούν οι διάφοροι τύποι μικροοργανισμών έχουν ως εξής:

- ❖ Ψυχρόφιλοι (-10-30 °C)
- ❖ Μεσόφιλοι (20-50 °C)
- ❖ Θερμόφιλοι (45-75°C)

Αερισμός: Γενικά κατά την αερόβια αποδόμηση επιδιώκεται η διατήρηση του επιπέδου του οξυγόνου στον αέρα που είναι μέσα στο σωρό πάνω από 5% για να εξασφαλιστούν οι αερόβιες συνθήκες χώνευσης. Η παρουσία του απαραίτητου οξυγόνου εξασφαλίζει άριστες συνθήκες για την αναπνοή των μικροοργανισμών που επιτελούν την κομποστοποίηση, αλλά και οξειδώνονται τα διάφορα οργανικά υλικά και τα προϊόντα τους. Σε εργαστηριακούς βίο-αντιδραστήρες και για φύλλα ελιάς το αποτελεσματικότερο επίπεδο αερισμού βρέθηκε να είναι τα 240 cm³αέρα /min/Kg ξ.ο.

Άλλες παράμετροι: Ανασχητικοί παράγοντες (βαρέα μέταλλα, αμμωνία, τοξικά), μέθοδοι ανάδευσης των σωρών, βαθμός αποικοδόμησης/σταθεροποίησης, έλεγχος οσμών/παθογόνων, απαιτούμενη έκταση/τύποι βίο-αντιδραστήρων.

1.5.Οι διάφορες φάσεις της κομποστοποίησης

Στην διαδικασία του composting οι μικροοργανισμοί αποδομούν τα οργανικά υλικά και παράγουν διοξείδιο του άνθρακα, νερό, θερμότητα και χούμο, το σχετικό σταθερό τελικό οργανικό προϊόν. Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες η κομποστοποίηση για να ολοκληρωθεί περνάει από πέντε (5) διαφορετικές φάσεις.

Φάση 1^η: Διάσπαση των πλέον απλών μορίων, όπως σάκχαρα, κυρίως από βακτήρια που αποτελούν και το κυρίαρχο είδος μικροοργανισμών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Η βέλτιστη θερμοκρασία για τους

μικροοργανισμούς αυτούς είναι 15-33⁰C (σε εξάρτηση φυσικά με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος) για αυτό το λόγο χαρακτηρίζονται και ψυχρόφιλοι μικροοργανισμοί. Σε αυτές τις θερμοκρασίες συναντάμε και κάποιους μύκητες. Όμως, καθώς οι διεργασίες αυτές είναι εξώθερμες, ελευθερώνουν δηλαδή θερμότητα, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, η φάση αυτή διαρκεί πολύ λίγο, ίσως και μια μόνο μέρα (εξαρτάται από το υλικό και τις συνθήκες).

Φάση 2^η: Η διάσπαση των πλέον απλών μορίων συνεχίζεται σε αυτή τη φάση σχεδόν αποκλειστικά από βακτήρια. Οι θερμοκρασίες έχουν αυξηθεί και κυμαίνονται μεταξύ 35 και 55⁰C. Οι μικροοργανισμοί αυτοί που κυριαρχούν στη φάση αυτή λέγονται μεσόφιλοι. Η διάρκεια της φάσης και πάλι ποικίλλει από μερικές ώρες μέχρι και μερικές μέρες αλλά είναι σε γενικά γραμμές μεγαλύτερης διάρκειας από την προηγούμενη.

Φάση 3^η: Οι θερμοκρασίες έχουν φτάσει πάνω από τους 55⁰C και μπορούν να φτάσουν μέχρι και τους 80⁰C. Τα είδη αυτά των βακτηρίων που λειτουργούν κάτω από αυτές τις συνθήκες χαρακτηρίζονται ως θερμόφιλοι. Σε αυτές τις θερμοκρασίες δεν υπάρχουν μύκητες και ελάχιστοι ακτινομύκητες. Αν αφήσουμε να συμβεί αυτό, η πλειονότητα των μικροοργανισμών ακόμα και των θερμόφιλων βακτηρίων θα νεκρωθεί. Όταν αυτό θα συμβεί έχουμε μια πτώση της θερμοκρασίας και μια καθυστέρηση του φαινομένου της κομποστοποίησης. Από την άλλη η πτώση της θερμοκρασίας όπως αυτή που παρατηρούμε στους σωρούς μπορεί να οφείλεται και σε άλλα φαινόμενα, όπως η έλλειψη υγρασίας ή αέρα (οξυγόνου). Για αυτούς τους λόγους, όταν η θερμοκρασία πέφτει, ανακατεύουμε το υλικό. Με αυτό τον τρόπο, προσθέτουμε οξυγόνο και χαμηλώνουμε τη θερμοκρασία ενώ φέρνουμε στο κέντρο του σωρού, όπου γίνεται η διαδικασία αποδόμησης, τα εξωτερικά υλικά. Αν και πάλι η θερμοκρασία δεν αυξηθεί τότε σημαίνει ότι η θερμόφιλη φάση της διαδικασίας έχει ολοκληρωθεί και περνάμε στην επόμενη φάση.

Φάση 4^η: Είναι μια φάση μεσόφιλη που διαρκεί μερικές ημέρες ή λίγες βδομάδες και που αυτή τη φορά έχουμε την εμφάνιση μυκήτων και ακτινομυκήτων. Οι μικροοργανισμοί αυτοί προσβάλουν τα πλέον δύσκολα αποδομούμενα οργανικά μόρια όπως αυτά της κυτταρίνης και της λιγνίνης.

Φάση 5^η: Είναι η φάση ωρίμανσης και που διαρκεί από 8 μέχρι και 12 εβδομάδες. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται είναι μικροβιακής φύσεως αλλά αρκετά πιο αργές και χωρίς εμφανή φυσικά αποτελέσματα, όπως είναι η αύξηση της θερμοκρασίας. Εδώ έχουμε την αποδόμηση των κυτοτοξικών ουσιών που παράχθηκαν κατά την κομποστοποίηση, την ολοκλήρωση της αποδόμησης των οργανικών μορίων και την παραγωγή ενός πλούσιου σε οργανική ουσία υλικού, αλλά χωρίς την τοξική δράση που η μεγαλύτερη συγκέντρωση οργανικής ουσίας παρουσιάζει.

Η βέλτιστη κομποστοποίηση παρατηρείται όταν το οργανικό μείγμα έχει τα παρακάτω φυσικοχημικά χαρακτηριστικά:

- Υγρασία 55-65%
- Σχέση άνθρακα προς άζωτο 30/1
- pH στο 7 και άνω
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα κάτω από 2 mS/cm
- Οργανικά πτητικά στερεά πάνω από 70%

1.6.Τεχνικές κομποστοποίησης

Οι πλέον συνηθισμένοι μέθοδοι κομποστοποίησης είναι οι παρακάτω:

α) Αναστρεφόμενων σειραδιών

Ουσιαστικά τα υπολείμματα τοποθετούνται σε μακρόστενους σωρούς (σειράδια). Η επίβλεψη της διαδικασίας βασίζεται στη θερμοκρασία που ελέγχεται αυτόματα (μόνιμο σύστημα καταγραφής και ελέγχου συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή) ή χειρονακτικά (ειδικά θερομόμετρα). Όταν η θερμοκρασία ανέβει πάνω από τους 65 με 70 βαθμούς κελσίου, τότε με τη βοήθεια ειδικών μηχανημάτων γίνεται ανάδευση του σωρού, για να αποφύγουμε τη θανάτωση των ωφέλιμων μικροοργανισμών από τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Ανάδευση των σειραδιών γίνεται όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω των 45 βαθμών κελσίου, προκειμένου να χορηγηθεί αέρας (οξυγόνο) για την επαναδραστηριοποίηση των μικροοργανισμών. Στην πράξη η ανάδευση των σωρών πραγματοποιείται με δυο τύπους αναστροφένων σειραδιών τους **ρυμολκούμενους**, και τους **αυτοκινούμενους**. Οι ρυμολκούμενοι αναστροφείς σωρών κομποστοποίησης πρέπει να φέρονται σε κατάλληλο εξοπλισμένο γεωργικό ελκυστήρα με έρπυσα ταχύτητα ιπποδύναμης τουλάχιστον 45 ίππων μέχρι και το πολύ 90 ίππων. Το μηχάνημα αυτό, μπορεί να πραγματοποιεί με λειτουργικό και ασφαλή τρόπο την αναστροφή των σειραδιών κομποστοποιούμενων φυτικών υπολειμμάτων και να εξασφαλίζει ιδανικές συνθήκες ανάμειξης και επανασχηματισμού των σειραδιών σε τριγωνική διατομή. Το πρόβλημα είναι ο χώρος που απαιτείται για την κίνηση του ελκυστήρα.

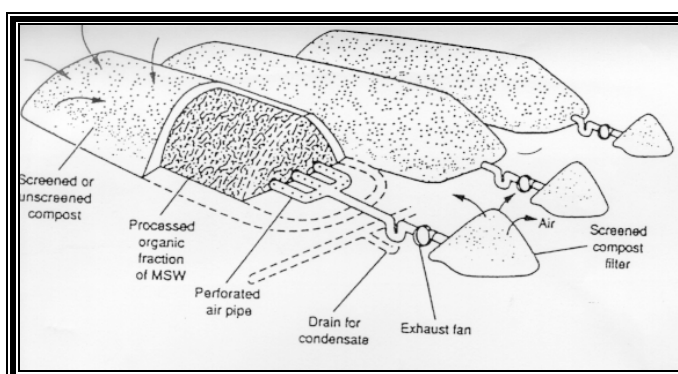
Πέρα φυσικά από τους αναστροφείς υπάρχουν και οι αυτοκινούμενοι αναστροφείς, (**Εικ.4**) οι οποίοι διαθέτουν δικό τους κινητήρα. Το κόστος αυτών των αναστροφένων μπορεί να είναι σχετικά αυξημένο αλλά το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι ότι απαιτούν μικρό κενό μεταξύ των σειραδιών για να κινούνται.



Εικόνα 4. Αυτοκινούμενος αναστροφέας κομποστοποίησης

β) Αεριζόμενων σωρών (Εικ.5)

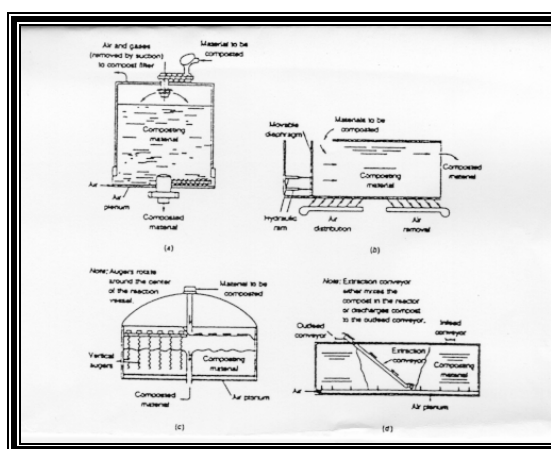
Η προσπάθεια μείωσης της ανάγκης γυρίσματος των σωρών με τη συνεχή και αυτόματη προώθηση αέρα στους σωρούς των υλικών οδήγησε σε αυτόν τον τύπο των αεριζόμενων σωρών. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ανεμιστήρων που είτε προωθούν αέρα στο σωρό είτε τον απομακρύνουν (αναρρόφηση) με αποτέλεσμα νέος αέρας να εισέρχεται στο σύστημα. Ο έλεγχος της ποσότητας αέρα που περνάει στο σωρό καθορίζεται από τη θερμοκρασία. Έχουν γίνει προσπάθειες προσθήκης υγρασίας μαζί με τον αέρα, χωρίς όμως μεγάλη επιτυχία. Τα πλέον κοινά συστήματα είναι αυτά που προωθούν μόνο αέρα στο σωρό.



Εικόνα 5. Σύστημα αεριζόμενων σωρών

γ) Σε δοχεία (Εικ.6)

Είναι η πλέον καινούργια μέθοδος κομποστοποίησης όπου ένα μέρος της διαδικασίας λαμβάνει χώρα σε κλειστά δοχεία ή κλειστούς χώρους, με πλήρη έλεγχο θερμοκρασίας, αερισμού και υγρασίας. Το σύστημα είναι αυτοματοποιημένο και το πλεονέκτημα του είναι ο πλήρης έλεγχος των παραγόμενων οσμών και μείωση της ενόχλησης των περίοικων. Η απόσμιση δύσοσμων αερίων γίνεται με το πέρασμα τους από βιοφίτρα με ώριμο κόμποστ.



Εικόνα 6. Κομποστοποίηση σε κλειστά δοχεία

1.7.Μορφές και τεχνικές κομποστοποίησης**α) Οικιακή κομποστοποίηση (Εικ.7)**

Πρόκειται για μια ερασιτεχνική κομποστοποίηση, με πρώτες ύλες τα τροφικά υπολείμματα της κουζίνας της οικογένειας. Ακόμη στην οικιακή κομποστοποίηση μπορούν να περιληφθούν και τα φυτικά υπολείμματα του οικογενειακού κήπου. Η κομποστοποίηση των υλικών αυτών πραγματοποιείται σε κάποια γωνιά του κήπου, είτε με το σχηματισμό ενός απλού σωρού είτε μέσα σε διάφορες ιδιοκατασκευές από τσιμεντόλιθους ή ξύλα ή μεταλλικό πλέγμα ή ακόμη σε ειδικούς κομποστοποιητές (**Εικ.8**) που διατίθενται στην αγορά. Σε κάθε περίπτωση εκείνο που θα πρέπει να προσεχθεί για τα σταδιακά συγκεντρωμένα υπολείμματα είναι να έχουν αυτά

την απαιτούμενη υγρασία ή να προστίθεται περιοδικά σε αυτά νερό, κυρίως στη διάρκεια του καλοκαιριού. Σε περίπτωση αξιόλογων ποσοτήτων φυτικών υπολειμμάτων κήπου μπορεί να γίνει και η προμήθεια ενός μικρού θρυμματιστή. Το παραγόμενο κόμποστ, όπως είναι φυσικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον οικογενειακό λαχανόκηπο ή ανθόκηπο.



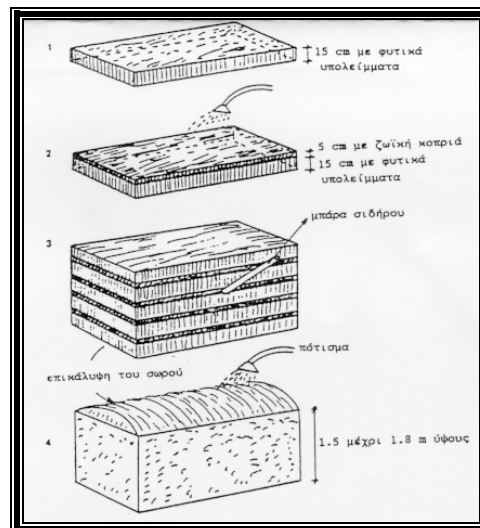
Εικόνα 7. Οικιακή κομποστοποίηση



Εικόνα 8. Κάδος κομποστοποίησης (αριστερά εξωτερικό μέρος κάδου, δεξιά εσωτερικό μέρος κάδου)

β) Αγροτική κομποστοποίηση (Εικ.9)

Πρόκειται για την κομποστοποίηση την οποία μπορεί να κάνει ένας αγρότης κομποστοποιώντας τα φυτικά υπολείμματα της αγροτικής εκμετάλλευσης του ή ακόμη και άλλων φυτικών υπολειμμάτων της περιοχής του, προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες της εκμετάλλευσης του σε κόμποστ. Φυσικό είναι να προσθέτει σε αυτά και τα τροφικά υπολείμματα της κουζίνας του, στην περίπτωση που αυτά δεν διατίθενται για την διατροφή ζώων. Οι υποδομές και ο εξοπλισμός που απαιτούνται σε αυτή την περίπτωση είναι ένα δάπεδο χωμάτινο ή καλυμμένο με τσιμέντο για την συγκέντρωση και κομποστοποίηση των πρώτων υλών, ένας τεμαχιστής των κλαδοκάθαρων και για την αναστροφή των σωρών είτε ένας ενοικιαζόμενος φορτωτής ή η προσθήκη σχετικής χούφτας στο δικό του τρακτέρ.



Εικόνα 9. Αγροτική κομποστοποίηση-κατασκευή του σωρού κομποστοποίησης

γ) Συνεταιριστική κομποστοποίηση

Πρόκειται για συστηματική μονάδα κομποστοποίησης η οποία μπορεί να κατασκευαστεί από ένα Συνεταιριστικό Φορέα, οι συνέταιροι του οποίου θα προσκομίζουν τα υπολείμματα τους και θα παίρνουν ανάλογη προς αυτά ποσότητα κόμποστ. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται η εκπόνηση

σχετικής οικονομοτεχνικής μελέτης με την οποία και βάση τις ποσότητες και την ποιότητα των πρώτων υλών, θα προσδιοριστεί το μέγεθος της, ο απαιτούμενος εξοπλισμός και η βιωσιμότητα της και ακόμη η διεκδίκηση δανείου και επιδοτήσεων.

δ) Δημοτική κομποστοποίηση

Πρόκειται για συστηματική μονάδα κομποστοποίησης η οποία μπορεί να κατασκευαστεί από ένα ή πιο πολλούς φορείς Τοπικής Αυτοδιοίκησης.

Σε αυτή την περίπτωση σωστό είναι στις προς κομποστοποίηση πρώτες ύλες να συμπεριληφθούν και τα τροφικά υπολείμματα κουζίνας των δημοτών με την εφαρμογή συστηματικής διαλογής τους στο σπίτι.

Αυτονόητο είναι ότι μια τέτοια μονάδα απαιτεί την εκπόνηση σχετικής οικονομοτεχνικής μελέτης η οποία εκτός των άλλων είναι απαραίτητη για τη δανειοδότηση της μονάδας και τη διεκδίκηση επιδότησης.

ε) Επιχειρηματική κομποστοποίηση

Πρόκειται για Επιχειρηματική μονάδα κομποστοποίησης η οποία κατασκευάζεται από ιδιώτη με σκοπό βεβαίως το κέρδος. Σε αυτή την περίπτωση για τη βιωσιμότητα της μονάδας απαιτείται να εξασφαλιστούν οι ευνοϊκές οικονομικές ρυθμίσεις που προβλέπονται από τη Συνεργασία Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα προκειμένου η μονάδα να καταστεί βιώσιμη. Επομένως είναι φυσικό ότι απαιτείται μια αξιόπιστη οικονομοτεχνική μελέτη.

1.8.Ορισμός, παραγωγή και σημασία (χρήση) του κομποστ

Το **Κόμποστ (Εικ.10)** είναι ένας τύπος οργανικού λιπάσματος που προέρχεται από οργανικά υπολείμματα μέσα από μια συγκεκριμένη διαδικασία βιολογικής αποδόμησης τους. Το compost θεωρείται προϊόν με μεγάλη γεωργική αξία, πρόκειται ουσιαστικά για ένα οργανικό λίπασμα με εδαφοβελτιωτικές ικανότητες. Όταν προστεθεί στην καλλιέργεια δεν ανταγωνίζεται το άζωτο με τα φυτά, είναι απαλλαγμένο από δυσοσμίες. Το κόμποστ περιέχει συνήθως 2% άζωτο, 0,5-1% φώσφορο και περίπου 2%

κάλιο. Αν κατά την κομποστοποίηση γίνει προσθήκη φωσφόρου, και καλίου, τα ποσοστά είναι ψηλότερα. Το άζωτο αποδεσμεύεται και είναι διαθέσιμο στα φυτά με αργό ρυθμό.



Εικόνα 10. Κόμποστ

Η διαδικασία **παραγωγής** του κόμποστ είναι απλή και οικονομική. Ένας τρόπος για να παράξουμε κόμποστ είναι να έχουμε στη διάθεση μας δύο τύπους φυτικών υπολειμμάτων: τα **δροσερά** και τα **ξηρά**. Αυτά τα υπολείμματα τα τοποθετούμε σε στρώσεις εναλλάξ το ένα πάνω στο άλλο, χρησιμοποιώντας μικρές ποσότητες από το κάθε είδος για κάθε στρώση. Η αναλογία που πρέπει να τηρήσουμε μεταξύ των δυο ειδών είναι 50-50% ή 25-75% αντίστοιχα. Έτσι φτιάχνουμε ένα σωρό ο οποίος για να αρχίσει να κομποστοποιείται πρέπει να έχει ελάχιστες διαστάσεις 125×125×125 εκ. Εάν φροντίζουμε να διατηρούμε υγρό αυτό τον σωρό, και μακριά από τον ήλιο, τότε αυτός θα αρχίσει να θερμαίνεται από την δράση μικροοργανισμών και γεωσκωλήκων που διασπούν την οργανική ουσία. Ανά 7 με 14 ημέρες συστήνεται να ανακατεύεται ο σωρός ώστε να οξυγονώνεται. Όταν το κόμποστ είναι έτοιμο έχει σκούρο χρώμα, είναι μαλακό και άοσμο. Θυμίζει έντονα φυτόχωμα. Ο χρόνος που χρειάζεται για να ωριμάσει πλήρως το κόμποστ εξαρτάται από την μέθοδο παρασκευής του, τις καιρικές συνθήκες και μπορεί να κυμανθεί από ένα μήνα μέχρι και δυο χρόνια. Τα οργανικά υπολείμματα μπορούν να προέρχονται από τα καθημερινά σκουπίδια ενός νοικοκυριού όπως τσόφλια από αυγά, φλούδες από φρούτα ή από σαλάτα, κουρεμένο γρασίδι, εφημερίδες, ξηρά κλαδιά, νεκρά φύλλα, άχυρα κ.ά.

Γενικότερα όμως μπορούμε να παράξουμε κόμποστ από οποιοδήποτε οργανικό υπόλειμμα με την προϋπόθεση ότι η σχέση C/N θα είναι των 30 και η υγρασία που διαθέτει θα είναι γύρω στο 60% σε υγρή βάση.

Η **σημασία** του κόμποστ είναι πολύ σπουδαία, διότι το κόμποστ αποτελεί ιδανικό υπόστρωμα για γλάστρες, αλλά και προσθετικό-βελτιωτικό εδάφους. Το κόμποστ εκτός από τις γλάστρες μπορεί να εφαρμοσθεί με επιτυχία και σε λαχανοκομικές, ανθοκομικές, αμπελουργικές και δενδροκομικές καλλιέργειες με προσοχή και σιγά-σιγά και πάντα σε συνδυασμό με άλλα υλικά όπως χώμα, άμμος, τύρφη, περλίτη. Η προσθήκη αυτών των υλικών είναι απαραίτητη για να μην υπάρξει πρόβλημα στα φυτά (κάψιμο). Το κομμάτι αυτό της ανακύκλωσης το έχουν εκμεταλλευτεί σε διεθνές επίπεδο φορείς όπως δήμοι, οι οποίοι οργανώνουν προγράμματα ώθησης της δημιουργίας κόμποστ από τους δημότες τους, το οποίο χρησιμοποιούν οι ίδιοι στους κήπους τους, με αποτέλεσμα έτσι να παράγονται γύρω στο 25% λιγότερα σκουπίδια σύμφωνα με τα στοιχεία των ίδιων δήμων. Άλλα δημοτικά προγράμματα αναλαμβάνουν να μαζέψουν ως κόμποστ έναντι συμβολικού τιμήματος. Έτσι με αυτό τον τρόπο παράγεται ένα χρήσιμο προϊόν για τους ενδιαφερόμενους της παραγωγής ενώ μειώνεται ο όγκος των σκουπιδιών και τα έξοδα για την διαχείριση τους.

1.9.Κόστος παραγωγής κόμποστ

Κομποστοποίηση όπως έχουμε αναφέρει ήδη είναι μια φυσική διαδικασία κατά την οποία τα οργανικά απόβλητα (φρούτα, λαχανικά, φύλλα, κλαδέματα, κ.ά.) μετατρέπονται σε ένα πλούσιο οργανικό μίγμα που λειτουργεί ως εδαφοβελτιωτικό και λίπασμα. Αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει πολύ εύκολα στον κήπο με τη χρήση ενός απλού κάδου κομποστοποίησης. Μέσα από αυτή τη διαδικασία προκύπτει το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης το compost το οποίο θυμίζει έντονα φυτόχωμα, και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε καλλωπιστικά φυτά εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, με εξαίρεση τα οξύφυλλα φυτά όπως η γαρδένια και η καμέλια. Επίσης, μπορεί να εφαρμοσθεί σε λαχανοκομικές,

ανθοκομικές, αμπελουργικές καλλιέργειες, σε συνδυασμό με τύρφη, περλίτη, χώμα, άμμο έτσι ώστε να αποφευχθεί το κάψιμο στα φυτά

Το κόμποστ είναι κατά κάποιο τρόπο ένα φθινό υλικό, και αυτό αποδίδεται στο ότι τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του είναι υλικά που προέρχονται από το σπίτι μας, τον κήπο μας, από κλαδέματα κ.ά., υλικά τα οποία εμείς τα θεωρούμε μηδαμινά και ασήμαντα. Πρέπει να πούμε ότι για να πάρουμε το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης που είναι το κόμποστ χρειάζεται αρκετό χρονικό διάστημα μέχρι να γίνει η πλήρης αποσύνθεση των υλικών, δηλαδή μέχρι να αρχίσει η δράση των μικροοργανισμών του εδάφους και αυτά με τη σειρά τους να διασπάσουν την οργανική ουσία. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το κόστος παραγωγής κόμποστ με την οικιακή κομποστοποίηση κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και αυτό οφείλεται στο ότι τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κόμποστ είναι αυτά ενός απλού νοικοκυριού (οικιακή κομποστοποίηση), όπως τσόφλια από αυγά, φλούδες λαχανικών και φρούτων κ.ά. γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα κλπ. Στην περίπτωση όπως προκύπτει για Επιχειρηματική ή Δημοτική μονάδα κομποστοποίησης με εξοπλισμό τότε το κόστος αυξάνεται και το ύψος του εξαρτάται εκτός από την ποιότητα των πρώτων υλών και από το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό.

Με αυτόν τον τρόπο έχουμε πολλαπλά οφέλη:

- ✓ **Μειώνονται οι συνολικές ποσότητες αποβλήτων που στέλνουν οι Δήμοι στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δημοτικών τελών που πληρώνουμε, αν συνδυαστεί με αλλαγή της πολιτικής χρέωσης των Δήμων για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων.**
- ✓ **Επιμηκύνεται σημαντικά ο χρόνος ζωής των ΧΥΤΑ, αφού έτσι δέχονται πολύ λιγότερα απόβλητα.**

- ✓ Προστασία του πλανήτη από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα οργανικά απόβλητα στους ΧΥΤΑ θάβονται και αποικοδομούνται κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων μεθανίου (CH₄), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), και σε λιγότερες ποσότητες υδρόθειο (H₂S) κ.ά. Τα αέρια αυτά όταν είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου για την αλλαγή του κλίματος της Γης.

- ✓ Ένα άλλο πρόβλημα στο οποίο δίνει λύση η κομποστοποίηση των οργανικών αποβλήτων είναι η ερημοποίηση των εδαφών. Η συστηματική καλλιέργεια της Γης, σε συνδυασμό με την καταστροφή των δασών από φωτιές και την εμπορική υπερεκμετάλλευση τους, έχουν κάνει τα εδάφη πολύ φτωχά σε οργανική ύλη. Η λύση για τη συνέχιση της καλλιέργειας της Γης είναι η υπερβολική χρήση λιπασμάτων που έχει πολλαπλές αρνητικές επιπτώσεις στα νερά, στην πανίδα και φυσικά στον άνθρωπο. Το compost, δηλαδή το προϊόν της κομποστοποίησης, επιστρέφει στο έδαφος τις απαραίτητες για τη γονιμότητα του οργανικές και ανόργανες ουσίες.

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων χωρών μιας μονάδας κομποστοποίησης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα δεδομένα:

A) Οι πρώτες ύλες που υπολογίζεται να φτάνουν κάθε χρόνο στη μονάδα

B) Η εβδομαδιαία κατανομή της παραγωγής των πρώτων υλών

Γ) Η όλη διαδικασία επεξεργασίας των πρώτων υλών, από την παραλαβή τους μέχρι και τη διάθεση των τελικών προϊόντων.

Μια μονάδα κομποστοποίησης (*Εικ. 11*) αποτελείται από τους παρακάτω χώρους:

A) Χώρος παραλαβής και προσωρινής εναπόθεσης πρώτων υλών

Η επιφάνεια του χώρου παραλαβής και προσωρινής εναπόθεσης, υπολογίζεται με βάση τις ανάγκες του πλέον κρίσιμου μήνα από πλευράς όγκου υλικών που συσσωρεύονται. Για τον υπολογισμό αυτό θα ληφθούν υπόψη οι παραλαμβανόμενες ποσότητες το συγκεκριμένο μήνα σε αλεσμένη κατάσταση, όπως και η επιφάνεια που απαιτείται για να δεχθεί τα ανάλεστα υπολείμματα δυο έως τεσσάρων ημερών.

B) Χώρος χώνευσης των υλικών

Για το σχεδιασμό του χώρου χώνευσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- Η παραγωγή αλεσμένων υπολειμμάτων
- Η εξισορροπημένη επεξεργασία τους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους
- Μέθοδος κομποστοποίησης
- Η διάρκεια της κομποστοποίησης σε διάφορους χώρους
- Η δυνατότητα σχηματισμού σειραδίων με βάση τον μηχανικό αναστροφέα

Γ) Χώρος ωρίμανσης

Στο τέλος της θερμοφιλής φάσης εκτιμάται ότι θα υπάρχουν απώλειες όγκου της τάξης του 20% με 40%. Η ποσότητα αυτή προωθείται για κοσκίνισμα. Στο κοσκίνισμα έχουμε πρόσθετη μείωση όγκου 20% με 35%. Το παραγόμενο κόμποστ θα αποθηκευτεί για ωρίμανση, για περίοδο 12 εβδομάδων, σε σωρό ύψους 3 μέτρων. Για αποθήκευση - ωρίμανση του κόμποστ, για 12 εβδομάδες, απαιτούνται 12 χώροι ίδιας επιφάνειας που για εύχρημη κίνηση του φορτωτή προσθήκης και αφαίρεσης του κόμποστ στο χώρο επιλέγεται πλάτος 4,0m.

Δ) Χώρος τυποποίησης -αποθήκευσης

Για τη δυνατότητα τυποποίησης απαιτούνται:

- Εξοπλισμός κόσκινου για το δεύτερο κοσκίνισμα με διάμετρο 10 χιλιοστά
- Εξοπλισμός ενσάκισης (με ζυγιστικό ή ογκομετρικό σύστημα)
- Προσωρινή αποθήκευση του κόμποστ για επεξεργασία τυποποίησης
- Αποθήκευση άλλων υλικών για ανάμειξη με το κόμποστ πριν την ενσάκιση
- Αποθήκευση ενσακισμένου κόμποστ



Εικόνα 11. Μονάδα κομποστοποίησης

2.Υλικά και Μέθοδοι

2.1.Γενικά στοιχεία του πειράματος

Το πείραμα ξεκίνησε την 1 Οκτωβρίου, 2009 ημέρα Πέμπτη, στην Πιλοτική Μονάδα Κομποστοποίησης, στο Αγρόκτημα, και παράλληλα στο Εργαστήριο Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων στο Τ.Ε.Ι Ηρακλείου Κρήτης.

Συγκεκριμένα τοποθετήθηκε μια ικανοποιητική ποσότητα τεμαχισμένων φρέσκων (πράσινων) κλαδοκάθαρων (*Εικ.12*) πάνω στην πίστα κομποστοποίησης της Πιλοτικής Μονάδας Κομποστοποίησης του Τ.Ε.Ι Κρήτης στο Ηράκλειο. Ο σωρός των κλαδοκάθαρων προέρχεται από

κλαδέματα δενδροστοιχείων, κήπων και πάρκων του Δήμου Ηρακλείου, και αυτά μπορεί να είναι, φύλλα από διάφορα δένδρα, ρίζες διαφορετικών μεγεθών, κλαδιά διαφόρων μεγεθών, φίκους διαφόρων ποικιλιών κ.ά. Η διάρκεια του πειράματος διήρκησε περίπου τρεις (3) μήνες.

Για τον αερισμό των προς κομποστοποίηση κλαδοκάθαρων γινόταν κάθε **15 ημέρες** γύρισμα, δηλαδή αναστροφή του σωρού με ταυτόχρονη προσθήκη νερού. Το σχήμα του σωρού ήταν αυτό του κόλουρου κώνου έτσι ώστε να είναι πιο εύκολες οι μετρήσεις που παίρναμε με τη βοήθεια μιας μετροταινίας. Συγκεκριμένα μετρούσαμε: το **ύψος του σωρού**, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι και την κορυφή του σωρού, στη συνέχεια την **περίμετρο του σωρού**, δηλαδή τη περιφέρεια του σωρού, και τέλος, την **περίμετρο της κορυφής**, δηλαδή την περιφέρεια της κορυφής. Στο τέλος των παραπάνω εργασιών μετρούσαμε τη θερμοκρασία σε τρία (3) διαφορετικά σημεία του σωρού, δηλαδή την **κορυφή**, τη **μέση** και τη **βάση** του σωρού. Η θερμοκρασία διαφοροποιόταν και στα τρία αυτά σημεία του σωρού, δηλαδή στην κορυφή είχαμε αυξημένη θερμοκρασία, στη μέση παρατηρούσαμε μειωμένη θερμοκρασία, όχι με μεγάλη διαφορά από την πρώτη (θερμοκρασία κορυφής), τέλος, τη διαφορά τη μεγάλη την παρατηρούσαμε στη βάση λόγω κυρίως της αυξημένης υγρασίας σε αυτή τη θέση. Πρέπει να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι θερμοκρασία του σωρού τη παίρναμε ημερησίως για να σχηματιστεί μια καμπύλη διαφοροποίησης των θερμοκρασιών καθημερινώς.

Στο τέλος όλων αυτών των εργασιών (ανά 15 ημέρες) παίρναμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα από το κέντρο και σε βάθος του σωρού, και το τοποθετούσαμε σε μια μικρή πλαστική σακούλα όπου και προσδιορίζαμε την **Σχετική Υγρασία** του δείγματος, την **Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (E.C)**, το **pH**, επίσης υπολογίζαμε με τη βοήθεια μαθηματικής εξίσωσης τον **Συνολικό Όγκο του σωρού** μετά από κάθε γύρισμα, τέλος, προσδιορίσαμε το **Ολικό Άζωτο (N)** και τον **Οργανικό Άνθρακα (C)** στο δείγμα του κόμποστ.



Εικόνα 12. Σωρός κλαδοκάθαρων

2.2. Μέθοδοι Μέτρησης Παραμέτρων Παραγόμενου Κόμποστ

Στις μεθόδους μέτρησης παραμέτρων παραγόμενου κόμποστ συμπεριλαμβάνονται ο προσδιορισμός του pH, της E.C (γνωστά και ως φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του compost), της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας, του συνολικού όγκου του σωρού, τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου και του οργανικού άνθρακα.

Είναι γνωστό ότι με το **pH** εκφράζουμε τη συγκέντρωση ιόντων H^+ και OH . 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 **Ηλεκτρική Αγωγιμότητα** 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 του κόμποστ που θα εφαρμοσθεί κατά στρέμμα ή ως προς την αναλογία συμμετοχής του στην παρασκευή υποστρωμάτων.

Ο προσδιορισμός της **Σχετικής Υγρασίας** σε υλικά προς κομποστοποίηση ή σε δείγματα κόμποστ αποσκοπεί στο να εκτιμηθεί κατά πόσο η έλλειψη ή περίσσεια νερού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη διαδικασία. Όταν η υγρασία βρίσκεται κάτω από το **45%** δημιουργεί προβλήματα στους μικροοργανισμούς που αποδομούν την οργανική ουσία, ενώ υγρασία πάνω από **70%** δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες.

Η μέτρηση της **Θερμοκρασίας** αποτελεί την πιο βασική μέτρηση που γίνεται στο σωρό του κόμποστ. 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 65-70 °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 μεταξύ 55-65 °C.

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 °C που θα διατηρηθεί για τουλάχιστον τρεις ημέρες σε όλη τη μάζα του σωρού θεωρείται αρκετή για την καταστροφή των παθογόνων

Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται σε τρία (3) διαφορετικά σημεία του σωρού και αυτά είναι **κορυφή, μέση, βάση**. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό θερμόμετρο: DTM Ni-Cr. Το θερμόμετρο αυτό αποτελείται από 2 μέρη, τον μακρύ μεταλλικό άξονα με

χειρολαβή μήκους 1,2 μέτρα ο οποίος φέρει στην άκρη διμεταλλική ακίδα Νικελίου-Χρωμίου, και από το ψηφιακό όργανο το οποίο αναγράφει τις ενδείξεις σε οθόνη LCD. Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται βυθίζοντας το μεταλλικό σώμα του θερμομέτρου με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ο μεταλλικός άξονας να είναι καλυμμένος με κόμποστ περίπου μέχρι τη μέση, σε τρία διαφορετικά σημεία του κόμποστ δηλαδή στην κορυφή, στην μέση και στη βάση έτσι ώστε να καταγράψουμε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες αφού πρώτα σταθεροποιηθεί η ένδειξη της οθόνης.

Ο **Συνολικός όγκος** του σωρού υπολογίζεται κάθε 15 ημέρες δηλαδή μετά από κάθε γύρισμα, με τη βοήθεια μαθηματικής εξίσωσης η οποία μας δείχνει το όγκο του σωρού και επομένως περιμένουμε μείωση του. Αυτό αποδίδεται στο ότι αρχίζει σιγά-σιγά η σταδιακή αποσύνθεση των υλικών.

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

Το N 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 ανάμειξη με απόβλητα πλούσια σε N είναι η ενδεικνυόμενη λύση για την κομποστοποίηση φτωχών σε N σε ανόργανη μορφή, π.χ. ως αζωτούχο λίπασμα.

Ο **προσδιορισμός του ολικού αζώτου** πραγματοποιείται τόσο στο έδαφος όσο και στους φυτικούς ιστούς με διάφορους τρόπους ανάλογα με τη μορφή που βρίσκεται και που ενδιαφέρει αυτόν που διενεργεί την ανάλυση. Όμως παρά τις προσπάθειες που έγιναν κατά καιρούς να αντικατασταθεί η κλασική μέθοδος **Kjeldahl** εν τούτοις δεν κατέστη δυνατόν αλλά έγιναν μόνο μερικές βελτιώσεις που αφορούν κυρίως τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του

αζώτου στο έδαφος, σε οργανικά υλικά, σε composts, σε λιπάσματα, σε εκχυλίσματα κλπ.

Το ολικό άζωτο στους φυτικούς ιστούς κυμαίνεται από 0,2 μέχρι 4% και αυτό εξαρτάται από το είδος του φυτού, το μέρος του φυτού, την ηλικία κλπ. Σημασία έχει πολλές φορές ο προσδιορισμός όχι μόνο του ολικού N αλλά του νιτρικού ή αμμωνιακού ή νιτρώδους N. Οι μορφές αυτές του N βρίσκονται σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις στους φυτικούς ιστούς αλλά πολλές φορές η γνώση της περιεκτικότητας αυτών των μορφών μας δίνει πολύτιμες πληροφορίες.

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου γίνεται κατά κανόνα με τη μέθοδο **Kjeldahl** και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές καύσης και απόσταξης. Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες άλλες συσκευές για αυτοματοποίηση του προσδιορισμού του ολικού N αλλά τα αποτελέσματα αυτών των προσπαθειών δεν είναι και τόσο ικανοποιητικά. Για το λόγο αυτό σήμερα χρησιμοποιούμε σήμερα τη κλασική μέθοδο **Kjeldahl**, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν και άλλες συσκευές, αλλά η συγκεκριμένη χρησιμοποιείται στο Εργαστήριο Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων.

Η μέθοδος που χρησιμοποιούμε για τον προσδιορισμό του ολικού N αναφέρεται και με τον όρο **Macro Kjeldahl** που σημαίνει ότι το δείγμα που χρησιμοποιείται για ένα προσδιορισμό είναι σχετικά μεγάλο. Στην προκειμένη περίπτωση το δείγμα μπορεί να είναι 0,5 έως 1 g. Όμως η χρησιμοποίηση μεγάλου δείγματος σημαίνει ότι τόσο οι ποσότητες των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούνται για ένα προσδιορισμό όσο και τα διάφορα μέρη της συσκευής είναι σχετικά μεγάλα σε σχέση με άλλες συσκευές που χρησιμοποιούνται για μικρές ποσότητες δείγματος και για τον λόγο αυτό οι συσκευές ονομάζονται μικροσυσκευές. Στην περίπτωση του N η μέθοδος που χρησιμοποιείται για μικρές ποσότητες δείγματος καλείται **MicroKjeldahl**.

Τέλος, ο **Άνθρακας** 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 διοξείδιο του άνθρακα 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, δηλαδή τη δυνατότητα των μικροοργανισμών να το αφομοιώσουν. Κάποια φυσικά υλικά είναι πιο ανθεκτικά στη μικροβιακή αποσύνθεση. Ο άνθρακας π.χ. στα ξυλώδη υλικά δεν αποδομείται δύσκολα, σε αντίθεση με τις κοπριές.

Από πρακτικής σκοπιάς η διαθεσιμότητα του άνθρακα καθορίζει:

- Την κρυσταλλότητα των αποβλήτων ως πηγή άνθρακα για την κομποστοποίηση χρόνο παραμονής τους στο σύστημα
- Το ρυθμό με τον οποίο μπορούν να διασπαστούν τα απόβλητα
- Το ανώτατο όριο του λόγου του άνθρακα προς άζωτο που δεν επιβραδύνει την διεργασία

Προσδιορισμός pH με νερό στην αναλογία 1:1 ^{1/2} (V/V)

Εργαστηριακά όργανα

- ❖ Κύλινδρος εσωτερικής διαμέτρου 42 χιλιοστών και ύψος 58 χιλιοστά, με χωρητικότητα 80 cm³.
- ❖ Βαρίδιο για την συμπίεση των δειγμάτων μέσα στον κύλινδρο βάρους 1385

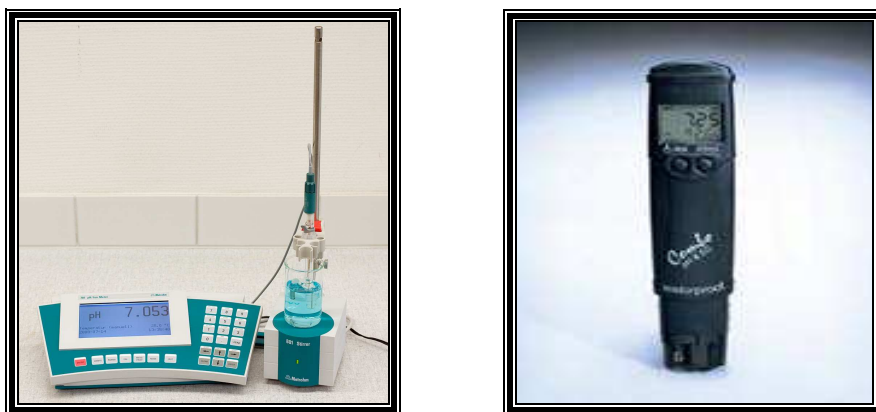
Συσκευή λήψης δείγματος για τον προσδιορισμό pH σε παραγόμενο compost

Για τη σωστή λήψη δείγματος ακολουθούμε προσεκτικά τα παρακάτω βήματα με τη βοήθεια της συσκευής λήψης δείγματος (*Εικ. 13*)



Εικόνα 13. Συσκευή Λήψης Δείγματος

1. Παίρνουμε μια αντιπροσωπευτική ποσότητα κόμποστ και την τοποθετούμε σε ένα πλαστικό δίσκο
2. Ρίχνουμε μια ελάχιστη ποσότητα απιονισμένο νερό στο δείγμα (κόμποστ), έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια ρευστότητα στο δείγμα, σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να γίνει λάσπη
3. Στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός κουταλιού παίρνουμε ποσότητα τόση ώστε να γεμίσουν μέχρι τη μέση και λίγο παραπάνω οι δύο πλαστικοί δακτύλιοι
4. Βάζουμε το βαρίδιο στους πλαστικούς δακτυλίους, έτσι ώστε να συμπιεστεί το δείγμα
5. Βγάζουμε το βαρίδιο και στη συνέχεια με τη βοήθεια μιας σπάτουλας αφαιρούμε τον πρώτο πλαστικό δακτύλιο, στη συνέχεια παίρνουμε το δείγμα που έχει κατακαθίσει στον δεύτερο δακτύλιο. Το δείγμα τοποθετείται σε ένα πλαστικό ποτήρι μαζί με 125 ml απιονισμένο νερό, το ανακατεύουμε για 10 λεπτά περίπου και ύστερα το τοποθετούμε σε ένα χωνί αφού πρώτα έχουμε τοποθετήσει διηθητικό χαρτί μέσα στο άνοιγμα του χωνιού και από κάτω έχουμε μεριμνήσει να υπάρχει ένα άλλο ποτήρι έτσι ώστε να συλλέξουμε το διήθημα
6. Το αφήνουμε για μια μέρα περίπου και την επόμενη μέρα, συλλέγουμε το «διήθημα» από το κόμποστ και το προσδιορίζουμε στο pH- μετρο
(*Εικ. 14*)



Εικόνα 14. pH-μετρα, δυο ειδών (αριστερά) σταθερό, (δεξιά), χειροκίνητο

Προσδιορισμός Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (E.C) σε νερό στην αναλογία 1:1 $\frac{1}{2}$ (V/V)

Εργαστηριακή συσκευή (Εικ. 15)

Για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, δηλαδή το σύνολο των διαλυτών αλάτων στο οργανικό υλικό ή στο υπόστρωμα χρησιμοποιούμε σήμερα σύγχρονα αγωγιμόμετρα, τα οποία αποτελούνται από τα εξής μέρη:

1. Τη βάση η οποία αποτελείται από τα εξής κουμπιά: **ON/OFF**, **ZERO**, **READ CELL CONST**, **STAND BY**, **THERMOMETR**, δυο ψηφιακές οθόνες όπου στη μια (μεγάλη) μας δείχνει τη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και στη δεύτερη (μικρή) μας δείχνει τη θερμοκρασία του δείγματος το οποίο μετράται,
2. Τα δυο ηλεκτρόδια, τα οποία είναι μετακινούμενα για τις ανάγκες του πειράματος



Εικόνα 15. Ηλεκτρικό αγωγιμόμετρο

Διαδικασία μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η διαδικασία προσδιορισμού της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε οργανικό υλικό είναι η εξής:

1. Πατάμε το κουμπί **ZERO**
2. Πατάμε το κουμπί **READ CELL CONST** με σκοπό να δούμε στην οθόνη το νούμερο 1050, αν όχι το ρυθμίζουμε από το ανάλογο κουμπί του
3. Επαναφέρουμε το κουμπί **READ CELL CONST**
4. Ξεπλένουμε πολύ καλά τα ηλεκτρόδια με απιονισμένο νερό
5. Γυρνάμε το τελευταίο κουμπί από **STAND BY** σε 20 mS/cm
6. Πατάμε το κουμπί **READ**
7. Τοποθετούμε το ηλεκτρόδιο στο διάλυμα προς μέτρηση
8. Καταγράφουμε την ένδειξη της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας
9. Από τη θερμοκρασία που καταγράψαμε και από τον αντίστοιχο πίνακα βρίσκουμε τον συντελεστή F. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στους 25 βαθμούς κελσίου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$EC_{25} = EC \cdot F$$

Προσδιορισμός της σχετικής υγρασίας (%) σε παραγόμενο κόμποστ

Εργαστηριακές συσκευές

Όπως έχουμε αναφέρει ο προσδιορισμός της υγρασίας στα προς κομποστοποίηση υλικά γίνεται με σκοπό στο να εκτιμηθεί κατά πόσο η έλλειψη ή περίσσεια νερού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Όταν η υγρασία βρίσκεται κάτω από το 45% δημιουργεί σοβαρό πρόβλημα στους μικροοργανισμούς, ενώ υγρασία που βρίσκεται πάνω από το 70% δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες.

Για τον προσδιορισμό της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιούμε τις παρακάτω εργαστηριακές συσκευές:

1. Φούρνος ξήρανσης ρυθμισμένος στους 105 βαθμούς κελσίου (**Εικ. 16**)
2. Πυρίμαχες κάψες διαφόρων μεγεθών (**Εικ. 17**)
3. Ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας (**Εικ. 18**)



Εικόνα 16. Φούρνος ξήρανσης



Εικόνα 17. Κάψες διαφόρων μεγεθών



Εικόνα 18. Ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας

Διαδικασία προσδιορισμού της σχετικής υγρασίας (%) σε οργανικό υλικό

Η διαδικασία προσδιορισμού της υγρασίας περιλαμβάνει προσεκτικά τα παρακάτω βήματα:

1. Τεμαχίζουμε το υλικό μας όσο το δυνατόν σε μικρότερα κομμάτια με προσοχή για να μην αλλοιώσουμε τα χαρακτηριστικά του
2. Ζυγίζουμε τις κάψες άδειες, στεγνές και καθαρές (Τιμή Α)
3. Τοποθετούμε μια μικρή ποσότητα δείγματος στην κάθε κάψα στην οποία και σημειώνουμε με κάποιο κωδικό το υλικό που μετράμε

4. Επαναζυγίζουμε τις κάψες (Τιμή Β)
5. Τοποθετούμε τη κάψα στο φούρνο στους 105 βαθμούς κελσίου για 24 ώρες (1 ημέρα)
6. Την επόμενη μέρα βγάζουμε τη κάψα από το φούρνο και τη ζυγίζουμε (Τιμή Γ)

Ο υπολογισμός της υγρασίας γίνεται με τη βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης:

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

Προσδιορισμός της θερμοκρασίας σε οργανικό υλικό

Εργαστηριακή συσκευή

Μια από τις πιο βασικές παραμέτρους της κομποστοποίησης είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας του κόμποστ. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με τη βοήθεια ενός φορητού θερμόμετρου (*Εικ.19*) η οποία πραγματοποιείται κάθε μέρα αλλά και κάθε 15 ημέρες περίπου όταν γίνεται γύρισμα του σωρού.



Εικόνα 19. Φορητό θερμόμετρο

Διαδικασία προσδιορισμού της θερμοκρασίας στο κόμποστ

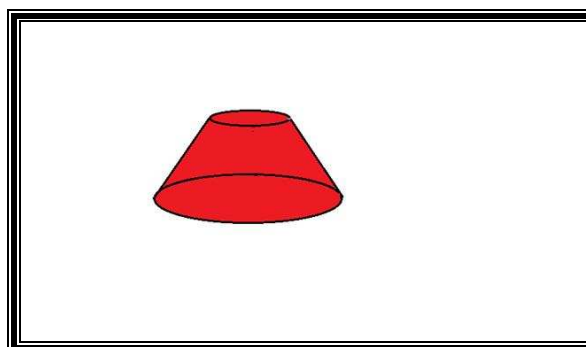
Η μέτρηση της θερμοκρασίας όπως έχουμε αναφέρει πραγματοποιείται ημερησίως αλλά και κάθε 15 ημέρες μετά από κάθε γύρισμα του σωρού. Η διαδικασία προσδιορισμού της θερμοκρασίας είναι η εξής:

1. Με τον μεταλλικό άξονα του θερμομέτρου που είναι και ο κύριος άξονας του τον τοποθετούμε στο κέντρο και σε βάθος του σωρού μέχρι να καλυφθεί περίπου μέχρι τη μέση ο μεταλλικός άξονας με το υλικό.
2. Τα σημεία που επιλέγουμε να τοποθετήσουμε τον μεταλλικό άξονα είναι κυρίως η κορυφή, η μέση, και βάση έτσι ώστε να παρατηρήσουμε τις διαφορές των τριών θερμοκρασιών
3. Περιμένουμε μερικά λεπτά (περίπου 5 λεπτά) μέχρι να σταθεροποιηθεί η ένδειξη της θερμοκρασίας στην οθόνη του θερμομέτρου και στη συνέχεια καταγράφουμε τη αντίστοιχη θερμοκρασία

Προσδιορισμός Συνολικού Όγκου Σωρού μετά από κάθε γύρισμα

Διαδικασία προσδιορισμού του συνολικού όγκου σωρού

Διαμορφώνουμε το σωρό σε σχήμα κολουρου κώνου και παίρνουμε τις ακόλουθες διαστάσεις (**Εικ.20**)



Εικόνα 20. Σχηματική απεικόνιση του σωρού σε σχήμα κολουρου κώνου

Π_1 = Περιφέρεια βάσης

Π_2 = Περιφέρεια κορυφής

Π_3 = Ύψος σωρού

Από τα στοιχεία αυτά προσδιορίζουμε την ακτίνα του κύκλου της βάσης (R) και την ακτίνα του κύκλου της κορυφής (r) από τους τύπους:

$$\text{A) } \Pi_1 = 2\pi \times R = 2 \times 3,14 \times R \longrightarrow R = \Pi_1 / 2 \times 3,14$$

$$\text{B) } \Pi_2 = 2\pi \times r = 2 \times 3,14 \times r \longrightarrow r = \Pi_2 / 2 \times 3,14$$

Μετά τον υπολογισμό των δυο (2) ακτινών (R και r), υπολογίζουμε τον όγκο του σωρού από τον ακόλουθο τύπο υπολογισμού του όγκου του κόλουρου κώνου.

$$\text{Δηλαδή: Όγκος σωρού} = 3,14 \times Y / 3 (R^2 + Rr + r^2)$$

Προσδιορισμός του Ολικού Αζώτου (N) σε δείγμα κόμποστ

Εργαστηριακές συσκευές και αντιδραστήρια

Ο προσδιορισμός του ολικού N στο εργαστήριο έγινε με τη βοήθεια της εστίας πέψης mikroKjeldahl (Εικ.21). Στο παρελθόν έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες αντικατάστασης της κλασσικής μεθόδου αλλά μόνο βελτιώσεις έχουν γίνει όσον αφορά τον εξοπλισμό της συσκευής που χρησιμοποιείται από εκείνον που διενεργεί την ανάλυση. Εκτός από τη παραπάνω συσκευή χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εργαστηριακά όργανα και αντιδραστήρια:

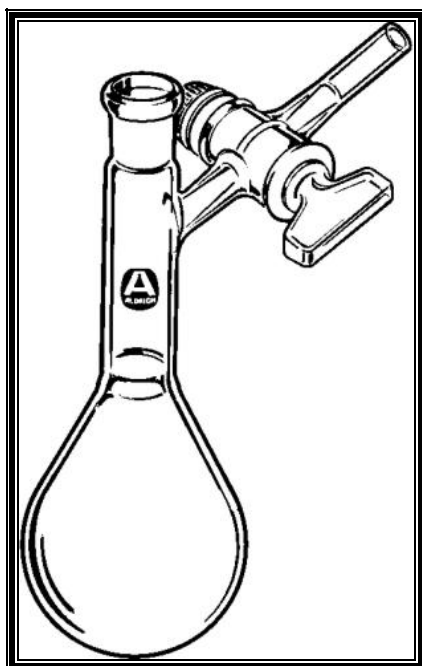
1. Μύλος για την άλεση του δείγματος (Εικ.22)
2. Φιάλες Kjeldahl των 500 ml περίπου (Εικ.23)
3. Ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας (Εικ.24)
4. Σπάτουλα για τη λήψη του δείγματος (Εικ.25)
5. Θεικό οξύ πυκνό (H₂ SO₄)
6. Σελήνιο σε σκόνη (Se)
7. Βορικό οξύ (H₃BO₃)



Εικόνα 21. Εστία πέψης μικροKjeldahl



Εικόνα 22. Μύλος για άλεση του δείγματος



Εικόνα 23. Φιάλη Kjeldahl



Εικόνα 24. Ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας



Εικόνα 25. Σπάτουλα για τη λήψη δείγματος

Διαδικασία προσδιορισμού ολικού αζώτου σε δείγμα κόμποστ

A) Διαδικασία πέψης:

1. Μελετούμε τρία (3) δείγματα, τα δυο (2) εκ των οποίων θα περιέχουν το υλικό (κλαδοκάθαρα) το οποίο έχει προηγουμένως αλεστεί στο μύλο. Το άλεσμα του δείγματος γίνεται με στόχο την ομογενοποίησή του. Με αυτό τον τρόπο παίρνεται αντιπροσωπευτικό μέρος του δείγματος κάθε φορά που υπάρχει ανάγκη να γίνει μια ανάλυση. Το τρίτο θα είναι κενό, θα έχει μόνο σκόνη σεληνίου και θα είναι ο μάρτυρας. Ζυγίζουμε περίπου 0,10 gr λεπτό - αλεσμένο υλικό στη ζυγαριά ακριβείας το οποίο το έχουμε τοποθετήσει προηγουμένως προσεκτικά με μια λεπτή σπάτουλα. Στη συνέχεια το υλικό το τοποθετούμε με προσοχή στις δυο μακρόστενες φιάλες ενώ στη τρίτη φιάλη τοποθετούμε το μάρτυρα (κενό), τη σκόνη.

2. Παίρνουμε ξεχωριστό υλικό από το αλεσμένο υλικό για να προσδιορίσουμε την υγρασία του. Αυτό γίνεται με τη γνωστή μέθοδο προσδιορισμού στους 105 βαθμούς Κελσίου.

3. Προσθέτουμε μια μεζούρα πέψης στη φιάλη πέψης με τη βοήθεια ειδικής μικρομεζούρας.

4. Στη συνέχεια προσθέτουμε πυκνό H_2SO_4 σε όλες τις φιάλες πέψης και θερμαίνουμε σταδιακά για τέσσερις ώρες περίπου. 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 έχει

ολοκληρωθεί όταν το περιεχόμενο έχει πάρει το χρώμα του σκούρου πράσινου.

5. Τέλος, τη κωνική φιάλη τη τοποθετούμε ακριβώς κάτω από τη προχοίδα με σκοπό να κάνουμε τιτλοδότηση. Προσθέτουμε μερικές σταγόνες διαλύματος NaOH 0,1 N υπό ανάδευση μέχρι το διάλυμα να αποκτήσει ένα κοκκινοπορφυρό χρώμα. Στο σημείο αυτό το pH του διαλύματος κυμαίνεται γύρω στο 5. Το διάλυμα αυτό πρέπει να ανακατεύεται πριν από κάθε χρήση του.

B) Διαδικασία απόσταξης: (Εικ.26)

1. Στη φιάλη που περιέχει το διάλυμα του δείγματος μας προστίθεται ένα κουταλάκι κονιοποιημένη ελαφρόπετρα (Pumice Stone) ή γυάλινες χάντρες (Glass beads). Η προσθήκη αυτή έχει σαν σκοπό να εμποδίσει το άφρισμα του περιεχομένου της φιάλης κατά την απόσταξη.

2. Στον υποδοχέα της συσκευής τοποθετείται μια κωνική φιάλη των 50 ml μέσα στην οποία έχουμε τοποθετήσει προσεκτικά και σιγά-σιγά 20 ml διαλύματος βορικού οξέος-δείκτη. Κατά την τοποθέτηση αυτή δίδεται προσοχή ώστε η άκρη του υποδοχέα της συσκευής να είναι βυθισμένη στο βορικό οξύ έτσι ώστε κατά την απόσταξη η αμμωνία που παράγεται να εξουδετερώνεται από το οξύ.

3. Η φιάλη Kjeldahl τοποθετείται πάνω στην εστία της συσκευής απόσταξης κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο λαιμός της να σχηματίζει γωνία 45 μοιρών με ένα κατακόρυφο άξονα. Με προσοχή προσθέτονται από ένα κύλινδρο σιγά-σιγά 150 ml διαλύματος καυστικού νατρίου 10 N προσέχοντας το καυστικό νάτριο να τρέχει ομαλά στο λαιμό της φιάλης και να και να πηγαίνει στον πυθμένα της χωρίς να αναταράσσει το περιεχόμενο της.

4. Μετά την προσθήκη του καυστικού νατρίου η φιάλη πωματίζεται γρήγορα με το ειδικό πώμα που φέρει η συσκευή και ανοίγεται η εστία για να γίνει η απόσταξη. Παράλληλα ανοίγεται και το νερό του ψυκτήρα της συσκευής. Κατά τη διάρκεια της απόσταξης δίδεται προσοχή ώστε η

θερμοκρασία του διαλύματος στον υποδοχέα της συσκευής να κυμαίνεται γύρω στους 35 βαθμούς κελσίου.

5. Η απόσταξη σταματά όταν η ποσότητα του υγρού μέσα στον υποδοχέα της συσκευής φθάσει τα 200 ml περίπου, οπότε πρακτικά έχει δεσμευτεί το σύνολο της αμμωνίας που περιείχε το δείγμα.

6. Για να κλείσουμε τη συσκευή αποσυνδέουμε πρώτα τη φιάλη από τη συσκευή και μετά κλείνουμε την εστία. Το αντίθετο μπορεί να προκαλέσει αναρρόφηση του διαλύματος στη φιάλη και να προκληθεί **έκρηξη**.

7. Στη συνέχεια πριν πάρουμε τη φιάλη κάτω από τον ψυκτήρα ξεπλύνουμε με υδροβολέα το άκρο του ψυκτήρα ώστε το νερό ξεπλύματος να πέσει και αυτό μέσα στη φιάλη.

8. Μετά από αυτό παίρνουμε τη φιάλη από τον υποδοχέα της συσκευής και ογκομετρούμε με διάλυμα θειϊκού οξέος 0,01 N μέχρι το χρώμα από πράσινο να γίνει ροζ.

9. Παράλληλα με την εκτέλεση του προσδιορισμού στο άγνωστο δείγμα, γίνεται και ένας άλλος προσδιορισμός κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο χωρίς όμως δείγμα. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε την ένδειξη του τυφλού για να τη χρησιμοποιήσουμε στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 26. Συσκευή απόσταξης αζώτου (N)

Υπολογισμός αποτελεσμάτων

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

- Αν το οξύ (HCL ή H₂SO₄) είναι 0,01N και κατά την τιτλοδότηση του δείγματος καταναλώθηκαν Aml και κατά την τιτλοδότηση του τυφλού Bml τότε το ολικό N του δείγματος είναι $(A-B) \times 0,01$ χιλιοστοισοδύναμα αζώτου
- Το γραμμοισοδύναμο όμως του N είναι 14 γραμμάρια και επομένως το χιλιοστοισοδύναμο του $14/1000 = 0,014$ ή 14 mgN
- Επομένως ο τύπος που τελικά μας δίνει την % περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό N είναι ο ακόλουθος:

$$N\% = (A-B)/14 \quad / \quad \text{Ξηρό βάρος (mg)}$$

Στην συγκεκριμένη περίπτωση

1^η Φάση:

Το 1 ^ο δείγμα είχε βάρος: 0,1043 gr	}	+ 1,5 ml θειικό οξύ
Το 2 ^ο δείγμα είχε βάρος: 0,1073 gr		

2^η Φάση:

Στο πρώτο δείγμα καταναλώθηκαν 23,6 ml

Στο δεύτερο δείγμα καταναλώθηκαν 22,6 ml

Ο μάρτυρας (τυφλό) κατανάλωσε 7,02 ml

Εφαρμόζουμε τον ακόλουθο τύπο:

$$N\% = (A-B)/14 \quad / \quad \text{Ξηρό βάρος (mg)}$$

Όπου A: Τα ml τιτλοδότησης του δείγματος

Όπου B; Τα ml τιτλοδότησης του μάρτυρα

Στη συνέχεια έχουμε:

$$N \% = 23,6 - 7,02 / 1043 \text{ mg} = 16,58/1043 = 0,015$$

$$N \% = 22,6 - 7,02/1073 = 15,58/1073 = 0,014$$

$$\text{Άρα: } 0,015 + 0,014 / 2 = 0,0145 \text{ N \%}$$

Προσδιορισμός του Ενεργού Άνθρακα (C) σε δείγμα κόμποστ

Εργαστηριακά όργανα

Ο άνθρακας 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.

Για τον προσδιορισμό του οργανικού άνθρακα στο παραγόμενο κόμποστ χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εργαστηριακά όργανα:

1. Φούρνος καύσης
2. Κάψες πορσελάνης
3. Εργαστηριακός μύλος

Διαδικασία προσδιορισμού ενεργού άνθρακα σε παραγόμενο compost

1. Το οργανικό υλικό, το κόμποστ ξηραίνεται για 48 h στη θερμοκρασία των 75 βαθμών κελσίου
2. Το ξηρό δείγμα αλέθεται σε εργαστηριακό μύλο με σκοπό την πλήρη ομογενοποίηση του
3. Τοποθετείται σε κάψα δείγμα 2-3 gr και ταυτόχρονα προσδιορίζεται ακριβώς η υγρασία του αλεσμένου υλικού στους 105 βαθμούς κελσίου
4. Καίγεται στο φούρνο καύσης στους 600 βαθμούς κελσίου για 16 περίπου ώρες ή μέχρι σταθερού βάρους
5. Ζυγίζεται η τέφρα και προσδιορίζεται η % σε ξηρή ουσία

Υπολογισμοί αποτελεσμάτων

Για τον προσδιορισμό του ενεργού άνθρακα εφαρμόζεται ο ακόλουθος τύπος:

$$C\% = (100 - \text{Τέφρα}) / 1,8$$

2.3.Μετρήσεις Οικονομικού Περιεχομένου

2.3.1.Απόδοση Θρυμματιστή

Για τον προσδιορισμό της απόδοσης του θρυμματιστή μετρήθηκε η ποσότητα του θρυμματισμένου υλικού που δίδει την ημέρα σε οκτώ (8) ώρες εργασίας από τις οποίες μια (1) ώρα είναι δυο (2) διαλείμματα.

2.3.2.Απόδοση Φορτωτή

Για τον προσδιορισμό της απόδοσης του φορτωτή μετρήθηκε η ποσότητα του συνολικού υλικού (κλαδοκάθαρα) που μπορεί να μεταφέρει για το σχηματισμό των σωρών ή για την αναστροφή τους που δίδει την ημέρα σε οκτώ (8) ώρες εργασίας από τις οποίες μια (1) ώρα είναι δυο (2) διαλείμματα.

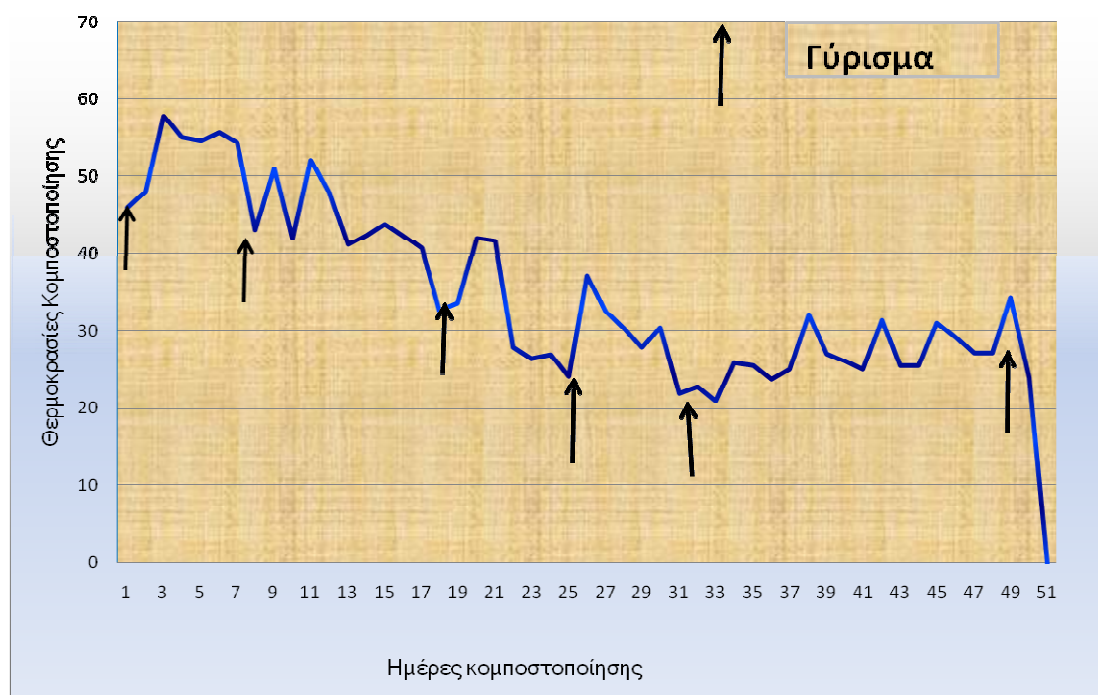
2.3.3.Απόδοση Κόσκινου

Για τον προσδιορισμό της απόδοσης του κόσκινου μετρήθηκε η ποσότητα του κοσκινισμένου υλικού (κλαδοκάθαρα) που δίδει την ημέρα σε οκτώ (8) ώρες εργασίας από τις οποίες μια (1) ώρα είναι δυο (2) διαλείμματα.

3.Αποτελέσματα- Συζήτηση

3.1.Μέτρηση της Θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία του διαγράμματος αναφέρεται στο μέσο όρο των τριών θερμοκρασιών του σωρού που παίρναμε καθημερινά, πριν και μετά από κάθε γύρισμα που γινόταν συνήθως κάθε δεύτερη εβδομάδα (2^η). Μετά από κάθε γύρισμα παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του σωρού αυξάνεται αισθητά και στη συνέχεια αρχίζει σταδιακά να πέφτει μέχρι το επόμενο γύρισμα. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας στο σωρό κατά τη διάρκεια των 50 ημερών περίπου που διήρκεσε το πείραμα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιηθήκαν πέντε (5) γυρίσματα.



Διάγραμμα 1. Μεταβολή της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τις ημέρες (50 ημέρες) κομποστοποίησης των κλαδοκάθαρων του Δήμου Ηρακλείου.

Ημερομηνία εγκατάστασης σωρού: 28/9/2009

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τις μέρες κομποστοποίηση και την πραγματοποίηση των πέντε γυρισμάτων. Μετά το τέλος του 3^{ου} γυρίσματος παρατηρείται σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας. Αυτό οφείλεται τόσο στην εξάντληση των εύκολα αποδομήσιμων υλικών (φύλλων) όσο και στο ότι οι συνθήκες εκείνη τη περίοδο δεν ήταν ικανοποιητικές, ενώ το μικρό μέγεθος του σωρού δεν εξασφάλιζε την αναγκαία θερμομόνωση συγκράτηση της παραγόμενης θερμότητας.

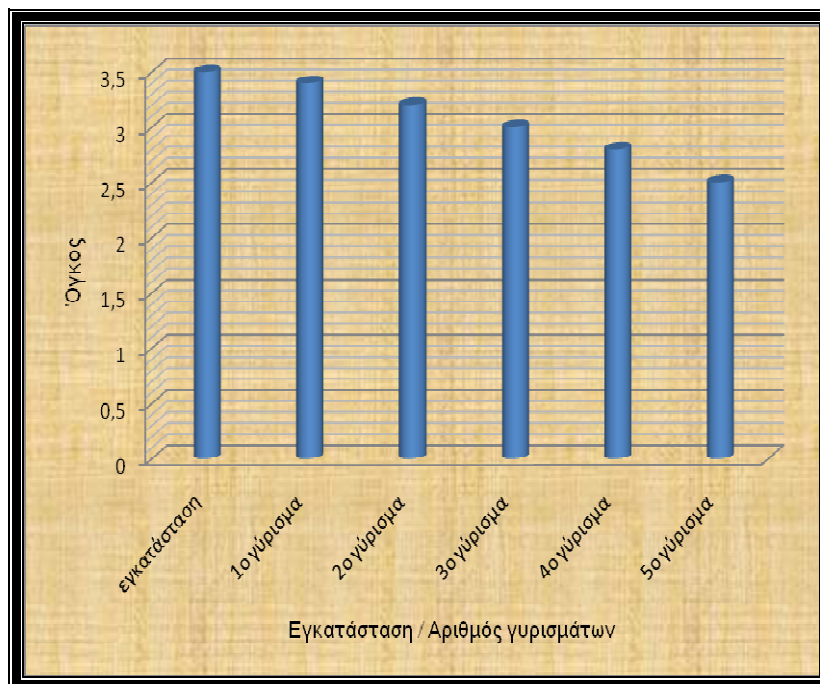
3.2.Μέτρηση του συνολικού όγκου του σωρού

Ο όγκος των κλαδοκάθαρων όπως είναι φυσικό δεν παρέμεινε σταθερός από την αρχή της εγκατάστασης του σωρού μέχρι το τέλος του 5^{ου} γυρίσματος. Αυτό αποδίδεται στο ότι έχει αρχίσει η σταδιακή αποδόμηση του υλικού, αποτέλεσμα της δράσης των μικροοργανισμών που έχουν την ικανότητα να διασπούν την οργανική ουσία. Στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα παρατηρείται η σταδιακή αποδόμηση του υλικού. Κατά την εγκατάσταση του σωρού ο όγκος του ήταν 3,5 m³ ενώ στο πέμπτο (5^ο) και τελευταίο γύρισμα του σωρού ο όγκος έπεσε στα 2,5 m³. Η απώλεια έφτασε περίπου το 30% του αρχικού όγκου.

Πίνακας 1. Μεταβολή του όγκου του μείγματος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Εγκατάσταση/Αριθμός γυρισμάτων	Όγκος (m³)	Μείωση %
28/9/2009	Εγκατάσταση σωρού	3,5	-----
29/9/2009	1 ^ο γύρισμα	3,4	2,85
12/10/2009	2 ^ο γύρισμα	3,2	8,57
22/10/2009	3 ^ο γύρισμα	3,0	10
1/11/2009	4 ^ο γύρισμα	2,8	25
7/12/2009	5 ^ο γύρισμα	2,5	28,57

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι ο όγκος του σωρού κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ελατώνεται βαθμιαία για να φτάσει στα 2,5 m³. Η απώλεια αυτή είναι φυσιολογική ως αποτέλεσμα της βιοαποδόμησης του υλικού των κλαδοκάθαρων από τους αποδομητικούς μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στη διάρκεια της κομποστοποίησης και κυρίως στους θερμόφιλους μικροοργανισμούς.



Διάγραμμα 2. Μεταβολή του όγκου του σωρού σε συνάρτηση με τον αριθμό των γυρισμάτων

3.3.Μέτρηση της σχετικής υγρασίας του κόμποστ

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας που δείχνει τη μεταβολή υγρασίας του υλικού (κόμποστ) μετά από κάθε γύρισμα.

Πίνακας 2. Μεταβολή της υγρασίας του κιβωτίου μετά από κάθε γύρισμα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Στάδιο κομποστοποίησης	Υγρασία (%) μετά από κάθε γύρισμα και προσθήκη νερού
28/9/2009	Εγκατάσταση	46,8%
29/9/2009	1 ^ο γύρισμα	47%
12/10/2009	2 ^ο γύρισμα	33,3%
22/10/2009	3 ^ο γύρισμα	39,6%
1/11/2009	4 ^ο γύρισμα	39,7%
7/12/2009	5 ^ο γύρισμα	42,2%

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι η υγρασία κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα εξαιτίας του έντονα χονδρόκοκκου υλικού που δεν επέτρεπε τη συγκράτηση μεγάλων ποσοτήτων νερού. Το στοιχείο αυτό συνέβαλε και στη μικρή άνοδο της θερμοκρασίας μετά από κάθε γύρισμα.

3.4. Μέτρηση του pH

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας ο οποίος μας δείχνει τη μεταβολή του pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Πίνακας 3. Μεταβολή του pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Στάδιο κομποστοποίησης	pH
28/9/2009	Εγκατάσταση	6,50
29/9/2009	1 ^ο γύρισμα	7,60
12/10/2009	2 ^ο γύρισμα	7,70
22/10/2009	3 ^ο γύρισμα	7,90
1/11/2009	4 ^ο γύρισμα	8,10
7/12/2009	5 ^ο γύρισμα	7,78

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα κατά την έναρξη της κομποστοποίησης το pH εμφανίζει σταδιακή άνοδο η οποία αποδίδεται κυρίως στη μικροβιακή αποδόμηση και εξάτμιση των οξέων, και ταυτόχρονα στην απελευθέρωση της αμμωνίας. Στη συνέχεια λόγω οξείδωσης της αμμωνίας σημειώνεται σταδιακή μείωση του.

3.5.Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας που μας δείχνει τη μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Πίνακας 4. Μεταβολή της E.C. κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Στάδιο κομποστοποίησης	E.C.(mS/cm)
28/9/2009	Εγκατάσταση	1,38
29/9/2009	1 ^ο γύρισμα	1,18
12/10/2009	2 ^ο γύρισμα	0,89
22/10/2009	3 ^ο γύρισμα	0,84
1/11/2009	4 ^ο γύρισμα	0,79
7/12/2009	5 ^ο γύρισμα	0,78

Γενικά την κομποστοποίηση οργανικών υλικών σημειώνεται σταδιακή αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εξαιτίας της ελευθέρωσης ανόργανων στοιχείων.

Σύμφωνα όμως με τον παραπάνω πίνακα οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του κόμποστ παρουσιάζουν σταδιακή μείωση. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί σαν άμεσο αποτέλεσμα της προσθήκης νερού από την εγκατάσταση του σωρού στο αγρόκτημα, μέχρι και το τελευταίο γύρισμα, δηλαδή το πέμπτο (5^ο) και επομένως την απόπλυση των ανόργανων στοιχείων. Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι προσθήκη νερού γινόταν μόνο τις μέρες του γυρίσματος. Επίσης, μπορεί να αποδοθεί στην κορεσμένη ατμόσφαιρα με υγρασία, αλλά και των βροχοπτώσεων προς το τέλος της διαδικασίας του πειράματος.

3.6. Μέτρηση του ενεργού άνθρακα σε δείγμα compost

Ο άνθρακας γενικά μειώνεται κατά την πορεία της κομποστοποίησης λόγω της διάσπασης των οργανικών στοιχείων από τους διάφορους μικροοργανισμούς

Στον παρακάτω πίνακα που ακολουθεί παρατηρείται η σταδιακή μεταβολή του ενεργού άνθρακα κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης

Πίνακας 5. Μεταβολή του ενεργού άνθρακα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Στάδιο κομποστοποίησης	Ενεργός άνθρακας
28/9/2009	Εγκατάσταση	29,8
29/9/2009	1 ^ο γύρισμα	26,9
12/10/2009	2 ^ο γύρισμα	24,88
22/10/2009	3 ^ο γύρισμα	23,78
1/11/2009	4 ^ο γύρισμα	22,89
7/12/2009	5 ^ο γύρισμα	21,89

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι το ποσοστό του άνθρακα μειώνεται σταδιακά ως αποτέλεσμα της δράσης των μικροοργανισμών και την ελευθέρωση επομένως διοξειδίου του άνθρακα σύμφωνα με την εξίσωση:



3.7.Μέτρηση του ολικού αζώτου σε δείγμα compost

Στον παρακάτω πίνακα που ακολουθεί παρατηρείται η σταδιακή μεταβολή του ολικού αζώτου κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης

Πίνακας 6. Μεταβολή του ολικού αζώτου κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Στάδιο κομποστοποίησης	Ολικό άζωτο
28/9/2009	Εγκατάσταση	2,8
29/9/2009	1 ^ο γύρισμα	2,7
12/10/2009	2 ^ο γύρισμα	2,6
22/10/2009	3 ^ο γύρισμα	2,4
1/11/2009	4 ^ο γύρισμα	2,2
7/12/2009	5 ^ο γύρισμα	2,1

3.8.Οικονομοτεχνικά στοιχεία πιλοτικής μονάδας κομποστοποίησης κλαδοκάθαρων

- Η απόδοση του μύλου τεμαχισμού των κλαδοκάθαρων εξαρτάται από το είδος των δένδρων και θάμνων από τους οποίους προέρχονται. Αν π.χ. τα κλαδοκάθαρα προέρχονται από ευκαλύπτους ο τεμαχισμός τους είναι σχετικά εύκολος και η απόδοση του μύλου φθάνει τα 5-6 m³ (ατεμάχιστα) κλαδοκάθαρα. Αντιθέτως αν τα κλαδοκάθαρα προέρχονται από δένδρα μουριάς η απόδοση του μύλου πέφτει στα 2-3 m³ (ατεμάχιστα) κλαδοκάθαρα.
- Ο μύλος λειτουργεί με πετρέλαιο και η κατανάλωση του είναι περίπου 5 λίτρα την ώρα/
- Ο φορτωτής μπορεί να μεταφέρει από το χώρο του μύλου στο χώρο κομποστοποίησης (απόσταση 50 m) για τη διαμόρφωση των

σειραδίων κομποστοποίησης, περίπου 25 m^3 τεμαχισμένων κλαδοκάθαρων των ώρα.

- Ο φορτωτής λειτουργεί με πετρέλαιο και η μέση κατανάλωση του φτάνει τα 6 λίτρα την ώρα.
- Κατά την αναστροφή των σειραδίων με τον φορτωτή η απόδοση του φθάνει περίπου τα 15 m^3 ανά ώρα.
- Κατά το ραφινάρισμα του τελικού κόμποστ με κόσκινο των 10 mm μπορούν να κοσκινιστούν 3 m^3 ακοσκίνιστου κόμποστ.
- Η σύνθεση των χονδροειδών υλικών που δίδει το κόσκινο για την παραπάνω ποσότητα κοσκινισμένου κόμποστ είναι η εξής:

A) φύλλα 60%

B) κλαδιά 10%

Γ) χώμα 1,5%

Δ) διάφορα χόρτα 23,5%

4. Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία της παρούσης εργασίας αλλά και άλλων παρόμοιων παλαιότερων μετρήσεων, ως προς το κόστος επεξεργασίας των κλαδοκάθαρων στην Πιλοτική Μονάδα Κομποστοποίησης του Τ.Ε.Ι Κρήτης, προκύπτουν σε ετήσια βάση τα ακόλουθα:

4.1. Τεχνικά στοιχεία

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μεταβολές του όγκου και του βάρους των κλαδοκάθαρων του Δήμου Ηρακλείου ενός έτους, που επεξεργάζονται (κομποστοποιούνται) στην Πιλοτική Μονάδα του Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Περιγραφή υλικών	Όγκος		Βάρος	
	m ³	Απώλειες (%)	Τόννοι (t)	Απώλειες (%)
1. Συνολική ετήσια ποσότητα κλαδοκάθαρων	5.000	-----	500	-----
2. Τεμαχισμένα κλαδοκάθαρα (2,5 m ³ / 1 m ³ ατεμάχιστα προς τεμαχισμένα	2.000	60	500	-----
3. Αραφινάριστο τελικό κόμποστ με υγρασία περίπου 40-45%	800	60	375	25
4. Ραφινάρισμένο τελικό κόμποστ με υγρασία περίπου 40-45%, με κοκκομετρία <10mm	600	25	260	30
5. Χονδρόκοκκα τεμάχια >10mm για επανακομποστοποίηση	200	-----	105	-----

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία του πίνακα, από 5.000 m³ ατεμάχιστων κλαδοκάθαρων, με βάρος 500 τόννων περίπου, παράγονται περίπου 200 m³ κόμποστ με βάρος 100 τόννων.

4.2. Οικονομοτεχνικά στοιχεία

1.Απαιτούμενες ώρες τεμαχισμού των 5.000 m³ κλαδοκάθαρων, με μέση απόδοση του μύλου γύρω στα 4 m³ ανά ώρα ατεμάχιστων κλαδοκάθαρων (5.000:4)=1.250 ώρες

2.Απαιτούμενα ημερομίσθια των 8 ωρών, με μια ώρα διάλειμμα (1.250:7)×1,5 άτομα=267 ημερομίσθια

3.Απαιτούμενα καύσιμα για τη λειτουργία του μύλου με μέση κατανάλωση πετρελαίου 5 λίτρα ανά ώρα (1250×5)=6.250 λίτρα

4.Απαιτούμενες ώρες για τη μεταφορά τεμαχισμένων κλαδοκάθαρων προς διαμόρφωση σειραδίων με μέση απόδοση φορτωτή 25 m³ ανά ώρα (2.000 m³ :25 m³ ανά ώρα)=80 ώρες

5.Απαιτούμενες ώρες για την πραγματοποίηση τριών (3) γυρισμάτων με μέση απόδοση φορτωτή 15 m³ ανά ώρα για 1.500 m³ (μέσος όγκος) (1.500:15) ×3=300 ώρες

6.Απαιτούμενα ημερομίσθια για τη διαμόρφωση των σειραδίων και την πραγματοποίηση τριών (3) γυρισμάτων (80+300=380 ώρες:7)=54 ημερομίσθια

7.Απαιτούμενες ώρες για το ραφινάρισμα των 800 m³ κόμποστ (800m³:3 m³)=266 ώρες

8.Απαιτούμενα ημερομίσθια για το ραφινάρισμα (266 ώρες:7 ώρες=38 ημερομίσθια)

9.Απαιτούμενα καύσιμα του φορτωτή για τη διαμόρφωση των σειραδίων, τα γυρίσματα και το ραφινάρισμα (80+300+266+646 ώρες × 6 λίτρα πετρέλαιο=3.876 λίτρα)

10.Απαιτούμενο ηλεκτρικό ρεύμα λειτουργίας του κόσκινου=18€/ώρα

4.3. Οικονομικά στοιχεία

Ημερομίσθια		Δαπάνη (€)
• Τεμαχισμού	267	
• Διαμόρφωση και αναστροφή σειραδίων	54	
• Ραφινάρισμα compost	38	
ΣΥΝΟΛΟΝ	359	359×35€=12.565€
Καύσιμα		
➤ Πετρέλαιο μύλου	6.250 λίτρα	
➤ Πετρέλαιο φορτωτή	2.676 λίτρα	
ΣΥΝΟΛΟΝ	8.926 λίτρα	8.926 λίτρα×0.5€=4.463€
Ηλεκτρικό ρεύμα	Kwatt	
Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος για το κόσκινο	266	266×18€=4.788€
Σύνολο δαπανών=		21.834€

1. **Σύνολο παραγωγής κόμποστ: 200 m³**
2. **Σύνολο δαπανών εκτός αποσβέσεων: 21.834€**
3. **Σύνολο δαπανών/200/m³: 21.834: 200 m³:109,17€/ m³**

Επομένως το κόστος παραγωγής του compost από τα κλαδοκάθαρα, χωρίς να υπολογίζονται οι αποσβέσεις των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού είναι **0,109€/λίτρο**.

ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βασίλης Ι. Μανιός, Καθηγητής ΤΕΙ Ηρακλείου, 2007. Υποστρώματα και Συστήματα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών Εκτός Εδάφους. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο, Σελίδες: 29-30
- Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ, Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Εκπαίδευσης «Βιολογική Γεωργία» Ενέργεια 3.4 γ Παρασκευή και Αξιολόγηση Κόμποστ από τα Υπολείμματα Θερμοκηπιακών Λαχανοκομικών Καλλιεργειών, 2008. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. ΤΕΙ Κρήτης. Ηράκλειο, Σελίδες: 1 - 20
- Θρασύβουλος Β. Μανιός, Επίκουρος Καθηγητής, Γεωπόνος - Χημικός Μηχανικός, Κώστας Μανιαδάκης, Τεχνολόγος Γεωπονίας, Σπύρος Δοκιανάκης, Χημικός Μηχανικός, Μιχάλης Φουντουλάκης, Χημικός Μηχανικός, 2009. Εργαστήριο Επεξεργασίας και Αξιοποίηση Στερεών Αποβλήτων. ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο, Σελίδες: 12-15, 25-27, 30-35, 43-44
- Θρασύβουλος Β. Μανιός, Επίκουρος Καθηγητής, Γεωπόνος - Χημικός Μηχανικός, Κωνσταντίνος Μανιαδάκης, Τεχνολόγος Γεωπόνος, 2007. Εργαστήριο Χουμοποίησης Οργανικών Υπολειμμάτων. ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο, Σελίδες: 43 - 63
- Θρασύβουλος Β. Μανιός, Επίκουρος Καθηγητής, 2009. Εργαστήριο Διαχείρισης Στερεών και Υγρών Αποβλήτων, Κομποστοποίηση Οργανικών Υπολειμμάτων. ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο, Σελίδες: 3 - 14, 25 - 34
- Θρασύβουλος Β. Μανιός και Βασίλειος Ι. Μανιός, Επίκουρος Καθηγητής και Ομότιμος Καθηγητής αντίστοιχα. Κομποστοποίηση Οργανικών Υπολειμμάτων και Αποβλήτων και Εφαρμογής του Παραγόμενου Κόμποστ. Περιοδικό Γεωργία. Σελίδες: 48 - 56
- Κουρκουνάκης Κωνσταντίνος, 2009. Πτυχιακή Εργασία Κομποστοποίηση Λάσσης Βιολογικού Καθαρισμού Λυμάτων με Χρήση Πλαστικών Σωλήνων ως Διογκωτικό Υλικό. ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο, Σελίδες: 16 - 20, 21 - 65

- Καλογεράκης Σπυρίδων και Παναρετάκη Πάτρα, 2010. Πτυχιακή εργασία Μεταβολή Βάρους και όγκου φυτικών υπολειμμάτων κατά την κομποστοποίηση τους. ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο, Σελίδες: 5-15
- Πλούταρχος Ε. Τσικαλάς, Καθηγητής, Γεωπόνος - Εδαφολόγος με ειδικότητα στη Θρέψη Φυτών - Γονιμότητα Εδαφών, 2003. Αντικείμενα Εργαστηρίου Θρέψη Φυτών - Γονιμότητα Εδαφών. ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο, Σελίδες: 18 - 19, 36 - 39
- Προσωπική επαφή με τον κύριο Ευάγγελο Παυλάκη, ο οποίος μου έδωσε πολύτιμες πληροφορίες όσον αφορά τα οικονομοτεχνικά στοιχεία της πιλοτικής μονάδας κομποστοποίησης κλαδοκάθαρων. Ο κύριος Ε. Παυλάκης δουλεύει στο Δήμο Πρασίνου Ηρακλείου Κρήτης σε συνεργασία με το ΤΕΙ Κρήτης και συγκεκριμένα με το Εργαστήριο Διαχείριση Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- Βικιπαίδεια, η Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια, Ορισμός, Παραγωγή, Σημασία του Κόμποστ.
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%8C%CE%BC%CF%80%CE%BF%CF%83%CF%84>
- Καινοτόμες Μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων, Θρασύβουλος Μανιός, ΤΕΙ Κρήτης.
<http://www.teicrete.gr/diatmim/notes/KAINOTOMES/Kainotomes-Manios-III.pdf>



Η φωτογραφία αυτή είναι από την εκδήλωση που οργανώθηκε από το εργαστήριο Διαχείριση Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων του ΤΕΙ Κρήτης, σε συνεργασία με το Δήμο Ηρακλείου, για τη δωρεάν διανομή κόμποστ στους δημότες του Ηρακλείου.

Συγκεκριμένα το κόμποστ αυτό παράγεται από κλαδοκάθαρα, δενδροστοιχίες, κλαδέματα, του Δήμου Ηρακλείου. Πρόκειται δηλαδή για ένα οργανικό λίπασμα με εδαφοβελτιωτικές ιδιότητες.

Στην διάρκεια της εκδήλωσης είχαν την ευκαιρία να ενημερωθούν πάνω από 3.000 επισκέπτες και μοιράστηκαν πάνω από 2.000 συσκευασίες (6 τόνοι) κομπόστ.

Στη παραπάνω φωτογραφία φαίνονται τα εξής πρόσωπα (από αριστερά προς τα δεξιά):

Δρ. Σπύρος Δοκιανάκης (Χημικός Μηχανικός), Αλέξανδρος Χρυσοχοϊδης (Φοιτητής), Δημήτρης Καλαντζής (Φοιτητής), Δρ. Μιχάλης Φουντουλάκης (Χημικός Μηχανικός), Γιάννης Κουράκης (Δήμαρχος Ηρακλείου), Δρ. Ευάγγελος Καπετανάκης (Πρόεδρος των ΤΕΙ), Δρ. Θρασύβουλος Μανιός (Υπεύθυνος εργαστηρίου Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων), Γιάννης Σαμπαθιαννάκης (Τεχνολόγος Γεωπόνος), Ιωάννα Πετούση (Γεωπόνος).