

## ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

### □□□□ 1. Ορισμός και αρχές κομποστοποίησης

Ως κομποστοποίηση ορίζεται η βιολογική, αερόβια, θερμοφιλή και ελεγχόμενη διεργασία μερικής αποσύνθεσης των οργανικών αποβλήτων που οδηγεί στην παραγωγή κόμποστ, ενός δηλαδή οργανικού εδαφοβελτιωτικού που προσομοιάζει στο χούμους του εδάφους και προωθεί την ανάπτυξη των φυτών (Weissbartetal., 2002). Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, κομποστοποίηση είναι η ελεγχόμενη βιο-οξείδωση ετερογενών οργανικών υλικών , από ετερογενείς και κυρίως ετερότροφους μικροοργανισμούς. Προϊόν της κομποστοποίησης είναι το κόμποστ, το οποίο είναι πλούσιο σε οργανική ουσία με υψηλό χουμικό περιεχόμενο και χρησιμοποιείται κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό υλικό αλλά και ως υπόστρωμα (Λαζαρίδη κ. α. , 2002).

Η κομποστοποίηση, ως μια βιολογική διαδικασία έχει όλα τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς των βιολογικών διεργασιών. Ο πρωταρχικός περιορισμός, είναι ότι οι επιδόσεις και το δυναμικό των συστημάτων κομποστοποίησης καθορίζονται από αυτά των μικροβιολογικών στοιχείων του συστήματος. Έτσι η κομποστοποίηση δεν μπορεί να εξαφανίσει ανόργανα συστατικά που τυχόν υπάρχουν στα απόβλητα, όπως για παράδειγμα τα βαρέα μέταλλα, ενώ η ποιότητα των αποβλήτων που τροφοδοτούν το σύστημα καθορίζει και την ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ. Ακόμη πιο σημαντικοί είναι οι περιορισμοί που θέτει η βιολογική φύση του συστήματος στον χρόνο περάτωσης της διεργασίας. Οι βιολογικές διαδικασίες δεν μπορούν να επιταχυνθούν πέρα από τα φυσιολογικά τους όρια, ενώ αντίθετα μια σειρά κακών χειρισμών μπορεί να τις επιβραδύνει πολύ (Κόμποστ Νετ 2005).

Τα κύρια προϊόντα του βιολογικού μεταβολισμού είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και θερμότητα.

Όταν η διεργασία της κομποστοποίησης έχει ρυθμιστεί ικανοποιητικά, τότε το οργανικό

υλικό (που αποτελείται κυρίως από υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια, κυτταρίνη και λιγνίνη) μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, ενώ παράγεται και ενέργεια σε μορφή θερμότητας από τη δράση των μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται θερμοκρασίες από 60 έως 75 °C για αρκετές ημέρες.

Η ικανότητα των μικροοργανισμών να αφομοιώσουν το οργανικό υλικό εξαρτάται από το αν μπορούν να παράγουν τα ένζυμα που χρειάζονται κάθε φορά για την αποσύνθεση του υποστρώματος. Συστήματα κομποστοποίησης που δεν έχουν ικανοποιητικά ρυθμιστεί, επιτυγχάνουν χαμηλότερες θερμοκρασίες για μικρότερο χρονικό διάστημα και με αυτό τον τρόπο, μπορεί να μην καταστρέφεται το σύνολο των παθογόνων.

Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι η αποτυχία ακόμη και ακριβών συστημάτων οφείλεται στη παράβλεψη βασικών λειτουργικών, τροφικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων.

**Η αρχή του περιοριστικού παράγοντα, που ισχύει για όλα τα βιολογικά συστήματα, σημαίνει ότι υπάρχουν ανώ τατα και κατώ τατα όρια για όλες τις περιβαλλοντικές και τροφικές παραμέτρους που επηρεάζουν την κομποστοποίηση.** Έξω από αυτά τα όρια η διεργασία επιβραδύνεται σημαντικά ή και σταματά εντελώς. Για να μην υπάρξουν προβλήματα στην κομποστοποίηση και να προχωρήσει η διεργασία με τον βέλτιστο τρόπο πρέπει να εξετάζονται οι τροφικές και περιβαλλοντικές παράμετροι του συστήματος και να λαμβάνονται μέτρα ώστε να παραμένουν μέσα σε όρια κατάλληλα για την κομποστοποίηση.

Αυτή η βασική αρχή ισχύει για όλα τα υλικά και συστήματα κομποστοποίησης, αν και οι συνέπειες από την αγνόηση της είναι ανάλογες του μεγέθους της εγκατάστασης.

Αποτελεί βασική αρχή το γεγονός ότι κάθε βιοαποδομήσιμο ή βιολογικό υλικό, μπορεί να κομποστοποιηθεί μόνο του εάν διαθέτει τις απαραίτητες φυσικές και χημικές ιδιότητες, αλλά πιο συχνά και με άλλα κατάλληλα υλικά. Υλικά κατάλληλα για κομποστοποίηση είναι το οργανικό κλάσμα οικιακών απορριμμάτων, η ιλύς βιολογικών καθαρισμών, τα απόβλητα κήπων (ή «πράσινα») τα υπολείμματα οινοποιείων, βιομηχανιών επεξεργασίας και τυποποίησης (χυμών εσπεριδοειδών, οπωροφόρων) τα φυτικά υπολείμματα (εκκοκκιστηρίων βάμβακος κλπ.) αλλά και τα ζωικά απόβλητα (κοπριές) και η στρωμνή πτηνοτροφείων.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στη ποσοστιαία συμμετοχή των διαφορετικών υλικών με βάση καθορισμένα κριτήρια, έτσι ώστε το τελικό κόμποστ να είναι ώριμο σε μικρότερο χρόνο, να διαθέτει ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά και ευρύτητα χρήσεων.

### □□□□ 2. Συστήματα κομποστοποίησης

Ως μια αερόβια διαδικασία, η κομποστοποίηση χρειάζεται παροχή αέρα για αναπλήρωση του οξυγόνου μέσα στη μάζα των αποβλήτων που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς. Ανάλογα με τις υποδομές τους τα συστήματα κομποστοποίησης είναι δυνατόν να διακριθούν σε δύο τύπους:

A) στα κλειστά

και

B) στα ανοικτά συστήματα.

#### **A)Κλειστά συστήματα**

Με στόχο τη βέλτιστη εκμετάλλευση του χώρου και τη μείωση του χρόνου, έχουν αναπτυχθεί διάφορα κλειστά, ιδιαιτέρως επιτηδευμένα συστήματα κομποστοποίησης διαφόρων διαστάσεων, διατάξεων και μορφών κατακόρυφα ή οριζόντια που απαιτούν συνοδευτικά υλικά ή όχι, τα περισσότερα των οποίων είναι προϊόντα μακρόχρονης έρευνας.

Στα συστήματα αυτά, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται μέσα σε κλειστούς αντιδραστήρες, οι οποίοι διαθέτουν μηχανολογικό εξοπλισμό κατάλληλο για τη μείωση των οσμών και τον έλεγχο διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως η παροχή αέρα, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση οξυγόνου, το pH και η υγρασία.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, προστίθεται νερό στο υλικό, που βρίσκεται στον αντιδραστήρα σε τακτά διαστήματα, έτσι ώστε να αυξηθεί η μικροβιακή δράση, ενώ είναι δυνατόν σε κάποιους άλλους αντιδραστήρες να εισάγεται θερμός αέρας για να διατηρείται η κομποστοποίηση σε ένα βέλτιστο επίπεδο, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Τα πλεονεκτήματα του κλειστού συστήματος είναι ότι γίνεται καλύτερος έλεγχος των οσμών, το υλικό που κομποστοποιείται παραμένει για μικρό χρονικό διάστημα μέσα στον αντιδραστήρα και τέλος απαιτούνται μικρότερες εκτάσεις γης για την εγκατάσταση του .

### **B) Ανοικτά συστήματα**

Στα ανοικτά συστήματα, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε ανοικτούς χώρους. Στα ανοικτά συστήματα συγκαταλέγονται

- (i) το σύστημα των αναστρεφόμενων σειραδίων (WindrowsSystem) και
- (ii) το σύστημα των αεριζόμενων στατικών σωρών (AeratedStaticPile). Και στα δύο συστήματα οι βασικοί μηχανισμοί που ακολουθούνται είναι παρόμοιοι, ο εξοπλισμός όμως που χρησιμοποιείται διαφέρει σημαντικά.

Στη περίπτωση των σειραδίων το οξυγόνο εισέρχεται στη μάζα του υλικού με φυσικό αερισμό κατά το γύρισμά τους, ενώ στην περίπτωση των σταθερών σωρών γίνεται εμφύσηση ή αναρρόφηση αέρα με μηχανικούς αεριστήρες ή φυσητήρες.

Στο σύστημα των αναστρεφόμενων σωρών (σειράδια), το υλικό που πρόκειται να κομποστοποιηθεί, τοποθετείται σε ανοικτούς επιμήκεις σωρούς τριγωνικής ή τραπεζοειδούς διατομής και αναστρέφεται περιοδικά.

Η κομποστοποίηση με τη μέθοδο αυτή βασίζεται στο φυσικό αερισμό των σειραδίων, ο οποίος επιτυγχάνεται με συχνή αναστροφή των σωρών. Οι σωροί αναστρέφονται **2 – 3** φορές την εβδομάδα κατά τη διάρκεια των **τριών ν** πρώτων, ώστε το μίγμα να αναμιχθεί πλήρως, να υγιεινοποιηθεί, να μειωθούν οι οσμές και να εξασφαλιστεί η είσοδος του απαιτούμενου οξυγόνου, ενώ στη συνέχεια αναδεύονται **μία φορά την εβδομάδα** για άλλες **τρεις – τέσσερις**.

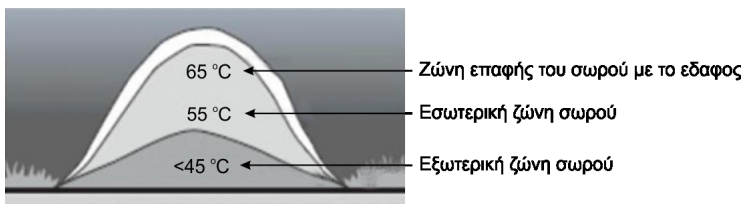
Με την ανάδευση των σωρών επιτυγχάνεται :

- i. Αερισμός στο εσωτερικό των σωρών και παροχή οξυγόνου στους μικροοργανισμούς.
- ii. Καταστροφή των συσσωμάτων των οργανικών ουσιών που παρατηρούνται εξ αιτίας της έκλυσης υγρασίας κατά την κομποστοποίηση. Τα συσσωματώματα αυτά γίνονται με το χρόνο πρακτικά αδιαπέραστα ως προς τον αέρα και άρα καθίστανται αναερόβια.

iii. Τη συνεχή ανάμιξη των υλικών για την καλύτερη επαφή των μικροοργανισμών με την τροφή και τη διατήρηση της θερμοκρασίας σταθερής σε όλο το σωρό.

Η θερμοκρασία στο κέντρο του σωρού, μπορεί να φθάσει τους 65 °C και διατηρείται σε επίπεδα άνω των 50 °C μέχρι και 10 ημέρες. Το χειμώνα οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και κυμαίνονται από 50 – 60 °C

Ο ενώ κοντά στην επιφάνεια του σωρού είναι ακόμη χαμηλότερες και τείνουν να εξισωθούν με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (Σχήμα 1 πηγή Muller– Kopp, 2005). Οι μικροβιακοί πληθυσμοί μπορεί να είναι αερόβιοι ή αναερόβιοι ή διαφόρων συνδυασμών ανάλογα με το κάθε πότε και πόσο συχνά αναστρέφεται ο σωρός.



**Σχήμα 1:** Κατανομή θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού κομποστοποίησης

### 3. Ποιότητα του παραγόμενου κομποστ

Για να χρησιμοποιηθεί το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης στη γεωργική πρακτική, θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Οι προδιαγραφές ποιότητας του κόμποστ ποικίλλουν ευρύτατα από χώρα σε χώρα, τόσο όσο αφορά στη φιλοσοφία τους όσο και στις παραμέτρους που προσδιορίζονται τα θεσμοθετημένα όρια τους και τα συστήματα πιστοποίησης. Ο γενικός στόχος που είναι κοινός σε όλες τις προδιαγραφές είναι η προστασία του εδάφους, ειδικά των γεωργικών εδαφών, κυρίως από τα βαρέα μέταλλα.

Όλες οι χώρες έχουν συμπεριλάβει υγειονομικά κριτήρια ποιότητας του κομποστ, τόσο για παθογόνους μικροοργανισμούς για τον άνθρωπο, όσο και για τα ζώα και τα φυτά. Τα κριτήρια αυτά αναφέρονται στο προϊόν, στη διεργασία ή και στα δύο. Απαιτούν απουσία σαλμονέλας και απουσία ή πολύ χαμηλές τιμές εντεροβακτηρίων και περιττωματικών στρεπτόκοκκων, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις απαιτείται απουσία νηματοειδών, κυστοειδών και άλλων φυτοπαθογόνων. Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία απαιτείται απουσία σαλμονέλας και εντεροβακτηρίων, χωρίς άλλη αναφορά σε φυτοπαθογόνα ή σε χρόνο έκθεσης του υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι ξένες προσμίξεις όπως γυαλί, πλαστικό και πέτρες αναφέρονται στις περισσότερες προδιαγραφές χωρίς μεγάλη διαφοροποίηση, ως ποσοστό κατά βάρος ξηρής ουσίας, και σε σχέση με τη διάμετρο των σωματιδίων.

Τέλος, αυξανόμενο ρόλο στις προδιαγραφές ποιότητας του κόμποστ για αγρονομικές χρήσεις έχουν ο βαθμός βιολογικής σταθεροποίησης του υλικού και το περιεχόμενο του σε άζωτο (ολικό και νιτρικά). Σύμφωνα με τους Μανιό και Μανιαδάκη (2001) οι επιθυμητές τιμές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του κομποστ δίνονται στον πίνακα.

### **Παράμετρος**

### **Διακύμανση**

Οργανική ουσία

> 50% Ξηρά ύλη

Σχέση C/N

< 20 : 1

pH

7.00 - 8.00

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

< 4 mS/cm

CEC

>100 meq/100 g Ξηρά ύλη

Δείκτης βλαστικότητας

> 90%



**Πίνακας 1:** Ενδεικτικές τιμές διαφόρων ποιοτικών παραμέτρων του κομπόστ

(Πηγή: Μανιός και Μανιαδάκης, 2001).

#### □□□□ 4. Μέτρα παρακολούθησης των διεργασιών ν κομποστοποίησης

Για την παρακολούθηση των διεργασιών κομποστοποίησης (και της εννοούμενης αδρανοποίησης ιλύος) προτείνεται στα διάφορα στάδια της διεργασίας και κυρίως στο τελικό προϊόν η διενέργεια τριών κατηγοριών μετρήσεων – αναλύσεων.

**A) Φυσικώ ν και χημικώ ν παραμέτρων:**

Θερμοκρασία περιβάλλοντος και υποστρωμάτων(συνιστάται φορητό ψηφιακό θερμόμετρο με ράμφος και με ακρίβεια ενός δεκαδικού στοιχείου στην κλίμακα των οC).

Υγρασία(συνιστάται ο προσδιορισμός της απώλειας βάρους του εκάστοτε δείγματος μετά από ξήρανση στους 105 °C για 24 ώρες (FCQAO, 1994).

Πτητικά στερεά(προτείνεται εργαστηριακή δοκιμή προσδιορισμού των πτητικών στερεών με τον καθορισμό της υπολειπόμενης τέφρας – APHA, 1992)

pH(προτείνεται ο προσδιορισμός του σε υδατικά αιωρήματα με αναλογία 1: 10 ήτοι 10 γρ δείγματος σε 100 ml απιονισμένου νερού, και ανάδευση για 2 ώρες σε ανακινούμενο επωαστικό θάλαμο στους 25 οC και διήθηση υπό κενό [APHA1992, FCQAO, 1994] και στην συνέχεια με την βοήθεια ψηφιακού pH- μέτρου στα παραληφθέντα εκχυλίσματα).

Ηλεκτρική αγωγιμότητα(προτείνεται ο προσδιορισμός της στα ίδια εκχυλίσματα με το pH[APHA1992, FCQAO, 1994] και μέτρηση με ηλεκτρικό αγωγιμόμετρο.

Βαρέα μέταλλα(προτείνεται ο προσδιορισμός τους σε διαπιστευμένα χημικά εργαστήρια).

**B) Μικροβιολογικές αναλύσεις:** Ολικών αερόβιων μεσόφιλων και θερμοφιλων βακτηρίων, σποριογόνων μεσόφιλων και θερμοφιλων βακτηρίων, κυτταρινολυτικών, πρωτεολυτικών μεσόφιλων και θερμοφιλων βακτηρίων, μυκήτων και ζυμών. Επίσης προτείνεται έλεγχος ως προς την ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών, όπως κολιμορφων, περιττωματικών στρεπτόκοκκων, θειοαναγωγικών κλωστριδίων, Salmonellaspp και

Listeria spp και παρακολούθηση τους καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

**Γ) Απομόνωση και ταυτοποίηση στελεχών v:** Enterococcus spp καθώς και έλεγχο ευαισθησίας αυτών σε αντιβιοτικά.