

ΘΕΡΜΟΦΙΛΗ ΒΙΟΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ)

Θερμόφιλη Βιοαποικοδόμηση (Κομποστοποίηση) (Composting): Ορισμοί - Στόχοι

Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για ομοιογενή και σταθερής ποιότητας καλλιεργητικά υποστρώματα από την μία μεριά, αλλά και διατήρησης της γονιμότητας των εδαφών γενικότερα από την άλλη, έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση μεθόδων αξιοποίησης των οργανικών υπολειμμάτων για την παραγωγή υψηλής ποιότητας υποκαταστάτων και οργανικών βελτωτικών εδάφους και λιπασμάτων με την μέθοδο της **θερμόφιλης βιοαποικοδόμησης** ή "κομποστοποίησης", (composting) όπως επικράτησε να αποδίδεται και στα ελληνικά η βιοαποικοδομητική αυτή διεργασία. Παράλληλα τα συνεχώς ογκούμενα προβλήματα διάθεσης των αστικών απορριμμάτων, της εξοικονόμησης ενέργειας, και της αποκατάστασης και διατήρησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος προϋποθέτουν την εφαρμογή αποτελεσματικών και περιβαλλοντικά φιλικών μεθόδων διαχείρισης. Η κομποστοποίηση ως εκ της φύσεως της έρχεται και στις δύο περιπτώσεις να συμπληρώσει ένα σύνολο φυσικών κυκλικών διεργασιών που έχουν σοβαρά διαταραχθεί σε βάρος της ομαλής λειτουργίας του οικοσυστήματος. Όπως εύστοχα έχει επισημάνει ο Barry Commoner, *"το μεγάλο λάθος του τρόπου ζωής μας και της σύγχρονης τεχνολογίας μας είναι ότι μετέτρεψε τις κυκλικές διαδικασίες της φύσης σε ευθύγραμμες στο τέλος των οποίων συσσωρεύονται τοξικά απόβλητα, λύματα και απορρίμματα κάθε είδους"*. Η κομποστοποίηση λοιπόν των οργανικών υπολειμμάτων έχει δύο όψεις: είτε αποβλέπει (α) την ανακύκλωση και αξιοποίησή τους στη γεωργία, είτε (β) την διαχείρησή τους στα συστήματα διάθεσης αποβλήτων. Δηλαδή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί διορθωτικά είτε σαν σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων, είτε σαν σύστημα διαχείρισης και αποκατάστασης της γονιμότητας του εδάφους.

Τι είναι "κομποστοποίηση";

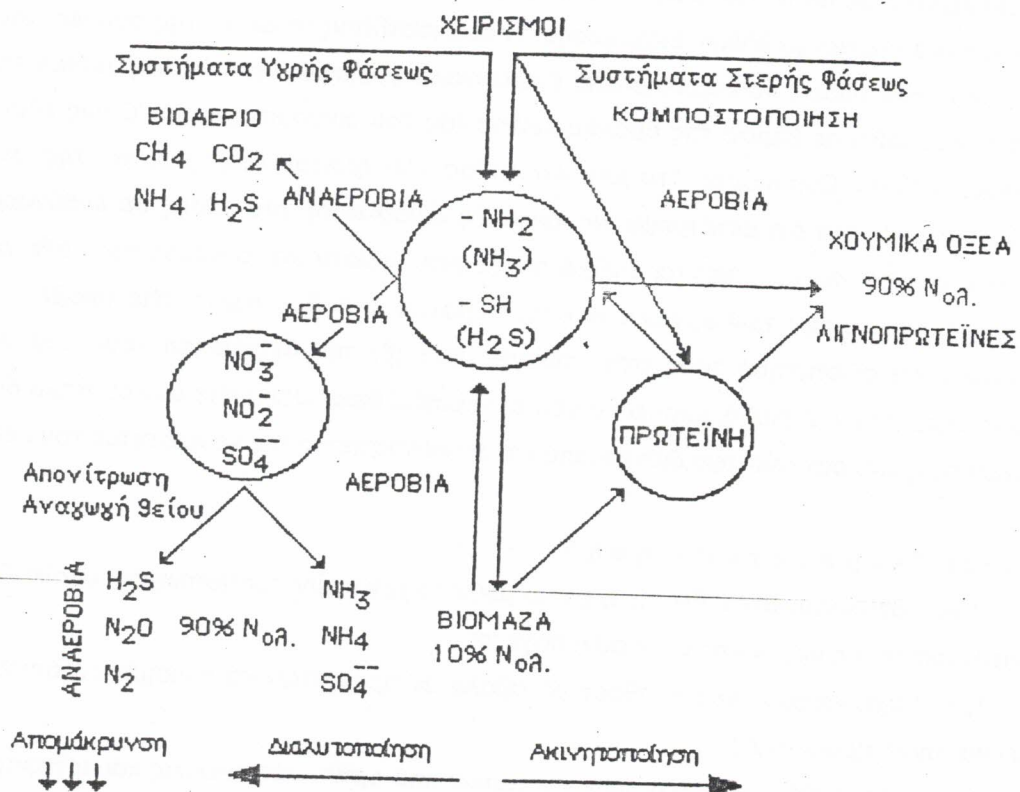
Όπως δείχνεται στην Εικ. 1, η μέσω μικροοργανισμών τροποποίηση, αποικοδόμηση και ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης συνεπάγεται:

- 1) τον σχηματισμό ενός πλήθους μεταβολικών προϊόντων και κλασμάτων, όπως χουμικών ουσιών και λιγνο-πρωτεϊνών,
- 2) την απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων από οργανικές ενώσεις και μεταφορά τους σε διαλυτά ή αδιάλυτα ανόργανα άλατα, και

3) την έκκλυση αερίων, όπως διοξειδίου του άνθρακα, αμμωνίας, μεθανίου, υδροθειού ή οξειδίων του αζώτου.

Τα περισσότερα από τα εφαρμοζόμενα συστήματα βιολογικής σταθεροποίησης και μετατροπής ανήκουν στα συστήματα υγρής φάσεως και αφορούν συνήθως αραιά υδατικά διαλύματα υπό συνθήκες που δεν επιτρέπουν σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από αυτή του περιβάλλοντος. Θερμόφιλες συνθήκες μπορούν ν' αναπτυχθούν και σε υδατικά διαλύματα μόνον εφ' όσον είναι αυξημένης συγκέντρωσεως και έχουν εξασφαλισθεί συνθήκες που να επιτρέπουν τον επαρκή αερισμό τους. Πέραν των ειδικών αυτών περιπτώσεων, συνθήκες κατάλληλες για την ανάπτυξη θερμόφιλων μικροβιακών πληθυσμών εξασφαλίζονται κατά κύριο λόγο στα συστήματα κομποστοποίησης η οποία και εφαρμόζεται συνήθως σε στερεά ή ημιστερεά οργανικά υλικά. Το γεγονός αυτό καθιστά κατά κάποιο τρόπο την κομποστοποίηση μοναδική μεταξύ των μεθόδων βιολογικής σταθεροποίησης αποβλήτων.

Ο όρος "κομπόστα" (compost) χρησιμοποιόταν μέχρι πολύ πρόσφατα για όλα σχεδόν τα στερεά και υγρά προϊόντα των χειρισμών της Εικ. 1. Περιελάμβανε δηλαδή ετερόκλητα προϊόντα παραγόμενα τόσο υπό αερόβιες όσο και υπό ζυμωτικές και αναερόβιες συνθήκες. Η χαλαρή και αβασάνιστη αυτή χρήση του όρου προκαλεί σύγχυση δεδομένου ότι η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης ακολουθεί οπωσδήποτε διαφορετικές πορείες, περνάει από διαφορετικά στάδια και κατά συνέπεια τα προϊόντα τους θα πρέπει να προσδιορίζονται σαφέστερα με πιο πρόσφορους όρους.



Εικ. 1. Σχηματική πορεία δημιουργίας μεταβολικών προϊόντων κατά την πορεία αναερόβιων και αερόβιων χειρισμών επεξεργασίας οργανικών υλικών.

Η σύγχυση οφείλεται εν πολλοίς στην αντίληψη ότι η χουμποποίηση, επειδή αποτελεί φυσική διεργασία, είναι αναπόσπαστη και αναγκαία φάση κάθε βιοαποδομητικής πορείας. Η απλούστευση αυτή οδηγεί σε διπλό σφάλμα. Κατ' αρχήν, αν μιά διεργασία συμβαίνει να είναι φυσική, αυτό δεν σημαίνει ότι είναι και αναγκαία. Έπειτα, και αν ακόμα συμμετέχει στην πορεία ενός φυσικού φαινομένου, αυτό από μόνο του δεν επαρκεί για να προσδιορίσει το τελικό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, η καζείνοποίηση η οποία επίσης είναι μιά φυσική διεργασία, δεν επαρκεί από μόνη της για τον χαρακτηρισμό κάθε αλλοιωμένου γάλακτος ως τυριού. Έπειτα, η χουμποποίηση δεν αντιπρόσωπεύει κάποια αναγκαία πορεία αποικοδόμησης της οργανικής ύλης. Αντίθετα, μπορεί να ανασταλεί ή εκτραπεί υπό συνθήκες έλλειψης οξυγόνου ή ελαττωματικής σύνθεσης του υποστρώματος.

Ο όρος κομποστοποίηση (composting), όπως υιοθετήθηκε από την μεγάλη πλειοψηφία των επιστημόνων που έλαβαν μέρος σε πρόσφατα Διεθνή Συνέδρια στο θέμα αυτό, καθώς και από την Επιτροπή Εμπειρογνομώνων της Ε.Ο.Κ., αναφέρεται στη βιολογική οξειδωτική διαδικασία αποικοδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών υπό συνθήκες που οδηγούν στην ανάπτυξη θερμοκρασιών της θερμόφιλης περιοχής. Το τελικό της προϊόν πρέπει να είναι αρκετά σταθερό για αποθήκευση και εφαρμογή στο έδαφος, χωρίς να έχει οποιεσδήποτε ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Κατά συνέπεια, η κομποστοποίηση αποτελεί εξειδικευμένη μορφή σταθεροποίησης αποβλήτων κατά την οποία οι συνθήκες υγρασίας και αερισμού είναι τέτοιες που να εξασφαλίζουν την ταχεία ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών ευνοϊκών για την ανάπτυξη και επικράτηση θερμόφιλων μικροοργανισμών. Ο ορισμός αυτός προσδιορίζει σε τελευταία ανάλυση μιά ελεγχόμενη βιο-οξειδωτική διαδικασία η οποία:

1. Αφορά ετερογενή οργανικά υλικά σε στερεά κατάσταση,
2. Περνάει από μιά αρχική φάση αποικοδόμησης κατά την οποία αναπτύσσονται θερμοκρασίες της θερμόφιλης περιοχής και παράγονται πρόσκαιρα φυτοτοξικές ουσίες, και
3. Οδηγεί σε μιά κατάσταση σταθεροποίησης το τελικό προϊόν της οποίας χαρακτηρίζεται ως ώριμη κομπόστα.

Κατά συνέπεια, χειρισμοί και προϊόντα που δεν πληρούν τις πιο πάνω προϋποθέσεις δεν πρέπει να χαρακτηρίζονται με τους όρους "κομποστοποίηση" και "κομπόστα". Ο πιο πάνω ορισμός εξαιρεί επίσης προϊόντα τα οποία έχουν παραχθεί κάτω από ανεξέλεγκτες ή ανεπαρκώς ελεγχόμενες συνθήκες, και θέττει υπό αμφισβήτηση περιπτώσεις προϊόντων που έχουν παραχθεί είτε βεβιασμένα, είτε με άσκοπα παρατεταμένες διαδικασίες.

Σε ότι αφορά την χώρα μας, οι εξελληνισμένοι όροι **composting** = κομποστοποίηση και **compost** = κομπόστα, συχνά οδηγούν σε ανεκδοτολογικές συγχύσεις. Οι όροι "φυτόχωμα" ή "οργανικό λίπασμα" από την άλλη μεριά, προσδιορίζουν μιά ετερόκλητη ποικιλία προϊόντων, συνήθως χουμποποιημένες φυσικές αποθέσεις οργανικών υλικών, τα οποία δεν έχουν παραχθεί κατ' ανάγκην υπό θερμόφιλες συνθήκες.

Σχολιάζοντας την κομποστοποίηση θα πρέπει να γίνει απόλυτα σαφής η διάκριση που υπάρχει μεταξύ της μονάδας παραγωγής και της διαδικασίας αυτής καθ' εαυτής. Η μονάδα παραγωγής αφορά το σύστημα του μηχανικού εξοπλισμού, τις εγκαταστάσεις και τα μέσα κομποστοποίησης. Η διαδικασία κομποστοποίησης αφορά την ορθή εφαρμογή της πορείας βιομετατροπής και την αριστοποίηση των παραμέτρων από τις οποίες ελέγχεται η αλληλουχία των φάσεων. Στη διεθνή αγορά κυκλοφορούν διάφοροι τύποι συστημάτων κομποστοποίησης και με διάφορα ονόματα ενδεικτικά των πλεονεκτημάτων που προβάλλουν οι κατασκευαστές τους. Συχνά οι διαφορές μεταξύ των συστημάτων είναι διακοσμητικές ή δαπανηρές ή έχουν μικρή σχέση με τις βιολογικές αρχές της κομποστοποίησης.

Τι μπορεί να κομποστοποιηθεί;

Οποιοδήποτε μίγμα στερεών οργανικών υλικών προσφέρεται για κομποστοποίηση αρκεί η περιεκτικότητά του σε ξηρή οργανική ουσία να είναι άνω του 20%. Στον Πίνακα 2 δίδονται χαρακτηριστικά παραδείγματα οργανικών υλικών στα οποία έχει γίνει έρευνα για την παραγωγή κομποστών για γεωργική χρήση.

Είναι προφανές ότι για να λειτουργήσει το σύστημα της κομποστοποίησης πρέπει να καλυφθούν οι ανάγκες αύξησης των κύριων συντελεστών λειτουργίας του συστήματος δηλαδή των μικροοργανισμών. Συνήθως οι κύριες θρεπτικές ανάγκες αφορούν τις πηγές άνθρακα, ενέργειας και αζώτου.

Πίνακας 2. Οργανικά υλικά που μπορούν να κομποστοποιηθούν.

ΠΗΓΕΣ	ΥΛΙΚΑ
Βιομηχανίες ξύλου	Φλοιοί δένδρων. Πριονίδια
Απορρίματα πόλεων	Κλαδιά, φύλλα δενδροστοιχειών. Οργανικό κλάσμα σκουπιδιών. Λάσπες βιολογικού καθαρισμού
Υφαντουργεία	Υπολείμματα βάμβακος, μαλλιού, λιναριού
Καπνοβιομηχανίες	Νεύρα φύλλων καπνού. Τρίμματα καπνού
Χαρτοβιομηχανίες	Λάσπες
Βιομηχανίες τροφίμων	Υπολείμματα φρούτων και λαχανικών. Στέμφυλα οινοποίησης, Υπολείμματα σφαγείων
Γεωργικές βιομηχανίες	Υπολείμματα εκκοκασμού βάμβακος. Ελαιοπυρήνας. Πυρηνόξυλο. Λιόφυλλα. Άχυρο. Φλοιοί ρυζιού
Γεωργικές εκμεταλλεύσεις	Υπολείμματα καλλιεργειών. Φύλλα και κλαδιά δενδροκομείων. Κληματίδες
Ζωοτεχνικές μονάδες	Κοπριά ορνιθοτροφείων, χοιροστασιών, βουστασιών. Στρωμνή
Φυσικές πηγές	Οργανικές αποθέσεις. Λιγνίτης

Ιδανικά, οι ως άνω πηγές πρέπει να παρέχονται σε τέτοιες αναλογίες που να εξασφαλίζουν όση ακριβώς ενέργεια χρειάζεται για να μετατραπεί σε μικροβιακό άζωτο όλη η ποσότητα του αζώτου που περιέχεται στο υλικό κομποστοποίησης. Στην πράξη τέτοιες ιδανικές αναλογίες είναι ανέφικτες. Ο λόγος C:N των οργανικών υλικών ποικίλει σημαντικά (Πίνακας 3.)

Σε μελέτες αυξησεως μικροβικών πληθυσμών σε χημικά καθορισμένα θρεπτικά μέσα υπο εργαστηριακές συνθήκες, είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς ποιά από τα θρεπτικά συστατικά αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα. Στην περίπτωση βιοαποδόμησης οργανικών υλικών στο εδαφικό περιβάλλον τα πράγματα γίνονται πιο ασαφή. Αν ο λόγος C:N είναι κάτω του 20, το περιεχόμενο άζωτο είναι κατά κανόνα επαρκές για την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης από την μικροβιακή χλωρίδα του εδάφους. Αν όμως ο λόγος είναι μεγαλύτερος, τότε το άζωτο ακινητοποιείται στο έδαφος. Δημιουργούνται δηλαδή συνθήκες πενίας αζώτου που αν και πρόσκαιρα, επιβάλλουν την προσθήκη αζωτούχων λιπασμάτων. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε

ΥΛΙΚΑ	Λόγος C/N
Χούμος εδάφους	10
Τριφύλλι (φυτά νεαρής ηλικίας)	12
Κοπριά χωνευμένη	20
Υπολείμματα εκκοκκισμού βάμβακος	22
Υπολείμματα καλλιέργειας τριφυλλιού	23
Φύλλα ελιάς	33
Σίκαλις (φυτά πράσινα)	36
Εκχυλισμένη ελαιοπυρήνα (Πυρηνόξυλο)	52
Καλαμιά αραβοσίτου	60
Αχυρο	80
Πριονίδι	400

Πίνακας 3. Τιμές του λόγου C:N διαφόρων οργανικών υλικών.

(Forth & Turk 1972, Fundamentals of Soil Science, 5th Edn. John Wiley και δεδομένα Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μικροβιολογίας ΓΠΑ)

ότι 100 g αχύρου περιέχουν 40 g άνθρακα και 0,5 g αζώτου και υποθέσουμε ότι το 66% περίπου του άνθρακα και του αζώτου είναι διαθέσιμο στην εδαφική μικροχλωρίδα επί 6 μήνες, ότι η μέση τιμή του λόγου C:N των μικροβιακών κυττάρων είναι περίπου 5:1 και ότι το 35% του άνθρακα (το υπόλοιπο χάνεται σαν CO₂ μέσω της αναπνοής ή απεκκρίνεται) και το 100% του αζώτου μετασχηματίζεται σε βιομάζα, τότε υπάρχει ένα έλλειμα 1,5 g αζώτου που θα πρέπει να καλυφθεί από το έδαφος. Στην περίπτωση της κομποστοποίησης έχει βρεθεί ότι η πλέον ευνοϊκή τιμή του λόγου C:N είναι της τάξεως 30-35. Σε αρκετές περιπτώσεις υλικών δεν χρειάζεται να γίνει καμιά διορθωτική παρέμβαση στην τιμή του λόγου C:N (π.χ. υπολείμματα εκκοκκιστηρίων βάμβακος). Σε άλλες, πρέπει είτε να προστεθεί άζωτο, είτε να αναμειχθούν διάφορα υλικά σε τέτοιες αναλογίες ώστε να προκύψει ένα πιο εξισορροπημένο μικροβιακό υπόστρωμα. Για παράδειγμα, τα οικιακά απορρίμματα μετά την απομάκρυνση των γυάλινων, μεταλικών και πλαστικών αντικειμένων είναι

πλούσια σε υδατάνθρακες (υπό μορφή φυτικών υπολειμμάτων και χαρπύ) αλλά φτωχά σε άζωτο. Προσφέρονται επομένως για ανάμιξη με αφυδατωμένη λάσπη βιολογικού καθαρισμού η οποία είναι πλούσια σε άζωτο.

Ποιά είναι τα πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης;

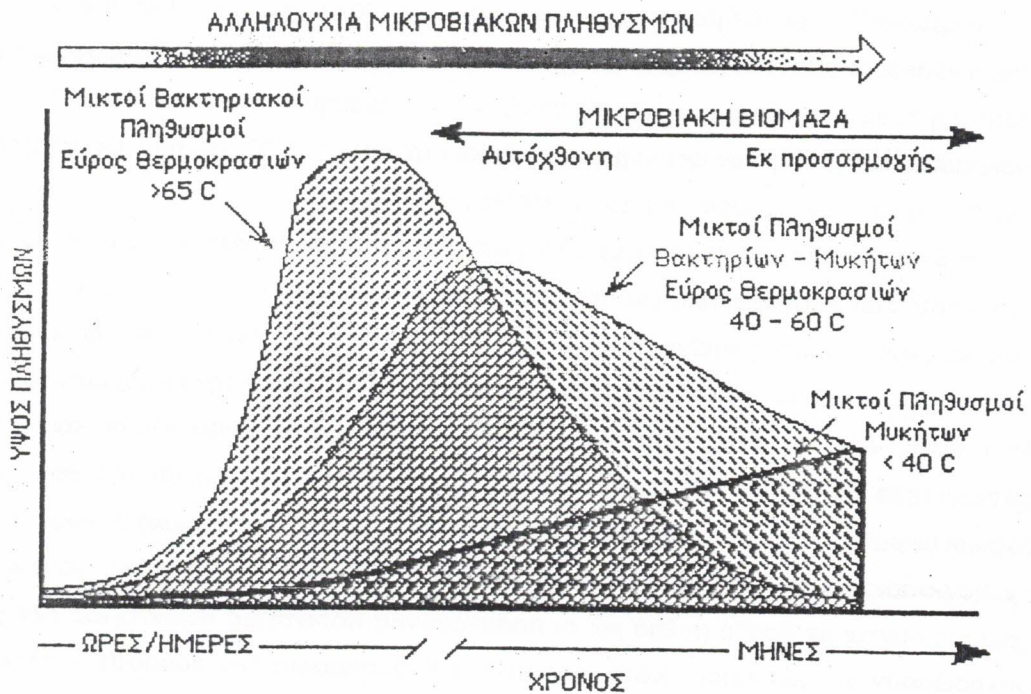
- Εξοικονομεί ενέργεια διότι η παραγόμενη κομπόστα υποκαθιστά ή μειώνει την χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και κατά συνέπεια συμβάλλει στην μείωση της αντίστοιχης ενέργειας που δαπανάται για την παραγωγή τους.
- Εξασφαλίζει ταχεία μείωση του όγκου και του βάρους του αρχικού υλικού λόγω της εξάτμισης του νερού και της αποικοδόμησης οργανικών υλικών. Έτσι, αυξάνεται η συγκέντρωση θρεπτικών υλικών ανά μονάδα όγκου και μειώνεται το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς.
- Εξουδετερώνει τις δυσάρεστες οσμές καθώς και τις οχλήσεις από μύγες και ποντικούς που κατά κανόνα συνοδεύουν τα αποσυντιθέμενα απορρίμματα.
- Το υλικό εξυγιαίνεται διότι στις παρατεταμένες υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της θερμόφιλης φάσης, θανατώνονται οι σπόροι ζιζανίων, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα παράσιτα που εδεχομένως υπάρχουν στο αρχικό υλικό.
- Η ώριμη κομπόστα βελτιώνει την σταθερότητα και την γονιμότητα του εδάφους, δεν συνεπάγεται εκδήλωση φυτοτοξικών φαινομένων όπως το μη κομποστοποιημένο αρχικό υλικό, και εν γένει δρά ευεργετικά στην ριζόσφαιρα των φυτών.
- Η κομποστοποίηση απορριμμάτων υψηλής υγρασίας αυξάνει την χωρητικότητα και την αποτελεσματικότητα λειτουργίας των μονάδων καύσης. Ας σημειωθεί ότι τα υψηλά ποσοστά υγρασίας καθιστούν την καύση εξαιρετικά ενεργοβόρα, ενώ παράλληλα μειώνουν την θερμοκρασία καύσης γεγονός που διευκολύνει τον σχηματισμό διοξινών.
- Αυξάνει την χωρητικότητα των χωματερών, επειδή τα οργανικά κλάσματα καταλαμβάνουν κατά κανόνα ένα σημαντικό ποσοστό στο σύνολο των απορριμμάτων.
- Εκμηδενίζει τον κίνδυνο αυτανάφλεξης και μειώνει τις πιθανότητες εκδήλωσης πυρκαϊών στις χωματερές.
- Η χρησιμοποίηση κομποστών σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες και γλαστρικά, μειώνει την εξάρτηση από την εισαγωγή τύρφης και άλλων οργανικών υποστρωμάτων

ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Από όσα ήδη αναφέρθηκαν γίνεται φανερό ότι η ένταση με την οποία πραγματοποιείται η βιομετατροπή της οργανικής ύλης και η διάρκειά της, εξαρτώνται από την φύση και την διαθεσιμότητα των συστατικών εκείνων τα οποία προσφέρονται ως υπόστρωμα ανάπτυξης και δράσης μίας πολύπλοκης αλληλουχίας εξειδικευμένων μικροβιακών πληθυσμών. Κατά συνέπεια, η ζώσα μικροβιακή μάζα πρέπει να θεωρηθεί ότι αποτελεί αναπόσπαστο συστατικό κάθε σταδίου της πορείας κομποστοποίησης.

Κατά την έναρξη της βιο-οξειδωτικής διαδικασίας, παρατηρείται ταχεία άνοδος της θερμοκρασίας. Η ένταση και διάρκεια της φάσης αυτής εξαρτάται από την σύνθεση της οργανικής

ύλης και ιδιαίτερα από τα συστατικά εκείνα τα οποία αποτελούν πρόσφορο θρεπτικό υπόστρωμα, όπως είναι για παράδειγμα τα απλά σάκχαρα. Η αποικοδόμηση κατά την φάση αυτή πραγματοποιείται από θερμόφιλα είδη βακτηρίων, η δράση των οποίων δεν επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες ($> 60^{\circ}\text{C}$) και τις αυξημένες τιμές του pH (8.0) (Εικ. 2). Ο μόνος παράγοντας, εκτός του οξυγόνου, ο οποίος μπορεί να παίξει περιοριστικό ρόλο κατά την φάση αυτή είναι η μείωση του ρυθμού διαθεσιμότητας των πηγών άνθρακα.



Εικ. 2. Αλληλουχία μικροβιακών πληθυσμών των κύριων φάσεων κομποστοποίησης

Η θερμότητα που εκλύεται κατά την θερμόφιλη φάση είναι προϊόν μικροβιακής δραστηριότητας. Στις πετυχημένες κομπόστες η ροή του αέρα (που είναι άλλωστε απαραίτητη για την εξασφάλιση των αεροβίων συνθηκών) δεν είναι ικανή να απομακρύνει την παραγόμενη θερμότητα. Έπειτα, το ίδιο το υλικό λειτουργεί σαν μονωτικό. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του υλικού ταχύτατα, μέσα σε λίγες ημέρες φθάνει μέχρι και τους 70°C . Υπό ορισμένες μάλιστα συνθήκες σε υλικά όπως νωπές μάζες μαλλιού, βάμβακος ή σανού σημειώνονται και εξώθερμες χημικές αντιδράσεις οι οποίες μπορούν να ανεβάσουν την θερμοκρασία πάνω από 200°C και να προκαλέσουν αυτανάφλεξη.

Από σχετικές θερμιδομετρικές μελέτες βρέθηκε ότι η έκλυση θερμότητας σε νωπό άχυρο εμβολιασμένο με βακτηριακούς πληθυσμούς ($1,6 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$) εμφανίζει ένα μέγιστο της τάξεως των $10^{-4} \text{ cal sec}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ξηρού αχύρου) στους 40°C . Ένα δεύτερο μέγιστο της τάξεως των $15 \times 10^{-4} \text{ cal sec}^{-1} \text{ g}^{-1}$ εμφανίζεται στους 60°C και οφείλεται σε θερμόφιλους μικροοργανισμούς. Είναι προφανές λοιπόν ότι η μεταβολικά παραγόμενη θερμότητα των μικροοργανισμών μπορεί να ανεβάσει σημαντικά την θερμοκρασία του νωπού οργανικού υλικού.

Οι πηγές του αζώτου κατά την θερμόφιλη φάση αποικοδομούνται σχεδόν εξ' ολοκλήρου και ταχύτατα. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται την παραγωγή σημαντικών ποσών αμμωνίας που ανεβάζουν τις τιμές του pH σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Προοδευτικά, καθώς η διαθεσιμότητα των εύκολα αφομοιόσιμων πηγών άνθρακα μειώνεται, εμφανίζονται όλο και πιο ενεργά στην σκηνή της αποικοδόμησης θερμόφιλοι μύκητες, οι οποίοι αποικοδομούν ημικυτταρίνες και κυτταρίνες. Η λιγνίνη δεν αποικοδομείται σε θερμοκρασίες άνω των 65 °C . Η αποικοδόμησή της συντελείται αργότερα σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες (< 50°C), όταν επικρατούν πλέον οι λιγνολυτικοί μύκητες.

Θερμόφιλοι ακτινομύκητες, ιδιαίτερα είδη των γενών *Thermoactinomyces* και *Thermoplasma* απαντώνται αρκετά συχνά. Φαίνεται ότι ακολουθούν τα θερμόφιλα βακτήρια, και η ανάπτυξή τους εξαρτάται από τις συνθήκες καλού αερισμού της κομπόστας. Το μέγιστο της θερμοκρασίας αύξησής των ακτινομυκήτων βρίσκεται στους 70°C περίπου. Οι ακτινομύκητες και οι μύκητες αποτελούν τις κύριες κυτταρινολυτικές ομάδες.

Η θερμοκρασία της κομπόστας στη φάση αυτή μπορεί να φθάσει σε τόσο υψηλά επίπεδα ώστε να καταστεί απαγορευτική για περαιτέρω μικροβιακή δράση. Καθώς πέφτει η θερμοκρασία, ακολουθεί ένας δεύτερος κύκλος μικροβιακής δραστηριότητας. Αναστροφή της κομπόστας κατά την στιγμή αυτή μειώνει περαιτέρω την θερμοκρασία και επιταχύνει την μικροβιακή δραστηριότητα. Τελικά όμως όλα τα διαθέσιμα ευαφομοίωτα υλικά θα καταναλωθούν και η μικροβιακή δραστηριότητα θα αρχίσει να μειώνεται προοδευτικά. Με την πτώση της θερμοκρασίας, οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, κυρίως μύκητες που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, επικρατούν και χρησιμοποιούν την κυτταρίνη που έχει απομείνει και τελικά την λιγνίνη. Τα συστατικά αυτά χρησιμοποιούνται με βραδύ ρυθμό και οι παραγόμενες ποσότητες θερμότητας δεν μπορούν να αναπληρώσουν τις απώλειες. Κατά συνέπεια η θερμοκρασία της κομπόστας εξακολουθεί να μειώνεται.

Με το πέρας της θερμόφιλης φάσης το υλικό έχει χάσει την αρχική του μορφή, δομή και σύσταση. Έχει τα χαρακτηριστικά της κομπόστας, όμως επειδή περιέχει ένα σύνολο φυτοτοξικών ουσιών (λιπαρά οξέα μικρού μοριακού βάρους) μικροβιακής προελεύσεως είναι ακόμα ακατάλληλο για χρήση. Χαρακτηρίζεται ως άωρη κομπόστα. Η ωρίμανση της άωρης κομπόστας είναι επίσης μία βιο-οξειδωτική πλήν βραδεία διαδικασία, η οποία σε ωρισμένες περιπτώσεις υλικών μπορεί να διαρκέσει αρκετούς μήνες. Η φάση της ωρίμανσης δεν έχει την ένταση των προηγούμενων φάσεων και πραγματοποιείται από μία μικτή μεσόφιλη μικροβιακή χλωρίδα.

Επιλογή Συστήματος Κομποστοποίησης

Σήμερα, οι γνώσεις μας πάνω στο λειτουργικό ρόλο των μικροβιακών πληθυσμών του ιδιότυπου αυτού οικοσυστήματος έχουν προχωρήσει σε ικανοποιητικό βαθμό και προσφέρουν την απαραίτητη θεωρητική βάση για την ανάπτυξη πρόσφορων μεθόδων κομποστοποίησης. Από την άλλη μεριά, τα τεχνολογικά μέσα προσφέρουν την δυνατότητα ελέγχου της πορείας της κομποστοποίησης προς προεπιλεγμένες κατευθύνσεις οι οποίες μπορεί να στοχεύουν είτε στην παραγωγή κάποιου τελικού προϊόντος με προκαθορισμένα χαρακτηριστικά, είτε στην

βελτιστοποίηση της απόδοσης της λειτουργίας του συστήματος κομποστοποίησης, όταν αυτό χρησιμοποιείται σαν σύστημα διαχείρισης αποβλήτων.

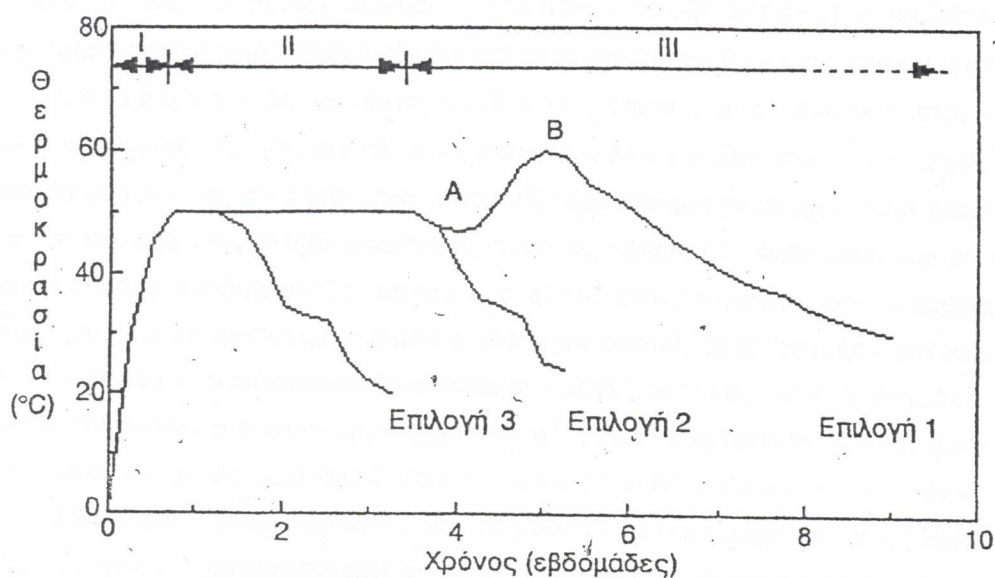
Όλα τα συστήματα κομποστοποίησης έχουν σαν κοινή αφετηρία και βασική προϋπόθεση ότι εξασφαλίζουν κατά κάποιο τρόπο ικανοποιητικό αερισμό του υποστρώματος. Στα παραδοσιακά συστήματα ο αερισμός γινόταν εμπειρικά με περιοδικές αναστροφές ή "γυρίσματα". Στα σύγχρονα συστήματα ο αερισμός του υλικού, είτε διάτεταγμένου σε **γραμμικούς σωρούς** (σειράδια), (windrows) είτε **εγκιβωτισμένου** (in-vessel), εξασφαλίζεται ή με περιοδικά γυρίσματα, ή με ενισχυμένη παροχή αέρα (Rudgers, Beltsville) ή και με τους δύο τρόπους μαζί. Στη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών ιδιαίτερο ενδιαφέρον συγκεντρώνουν τα "**στατικά**" συστήματα κομποστοποίησης στα οποία ο αερισμός εξασφαλίζεται μέσω κάποιας διάταξης ενισχυμένης παροχής αέρα (forced aeration) η οποία ενεργοποιείται είτε σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα (Willson *et al.* 1980), είτε μέσω θερμοκρασιακής ανατροφοδότησης (temperature feed back control) (Finstain *et al.* 1986). Το κύριο χαρακτηριστικό της τελευταίας μεθόδου, η οποία είναι γνωστή ως **μέθοδος Rudgers**, είναι ότι ο αερισμός ελέγχεται μέσω της μικροβιακής δραστηριότητας. Μεταβάλλοντας δηλαδή κάποιες παραμέτρους, είναι δυνατόν η μικροβιακή δραστηριότητα να ενισχυθεί, επιβραδυνθεί ή και να παρεμποδιστεί. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα ανάπτυξης ενός ευέλικτου συστήματος διαχείρισης στερεών αποβλήτων και υπολειμμάτων ικανού να ανταποκρίνεται σε μία μεγάλη ποικιλία στρατηγικών επιλογών σαν αυτών που περιγράφονται ενδεικτικά στον Πίνακα 4.

Έχει διαπιστωθεί ότι η αποδομητική ικανότητα της μικροβιακής χλωρίδας που συμμετέχει στην κομποστοποίηση αυξάνει στη θερμοφιλή περιοχή των 50-55°C (Bardos & Lopez-Real, 1989). Υπάρχουν όμως παρατηρήσεις που δίνουν το προβάδισμα στις μεσόφιλες συνθήκες (Finstain *et al.* 1986). Είναι πολύ πιθανό μία ενδιάμεση περιοχή που να επιτρέπει αλληλοεπικαλυπτόμενη ανάπτυξη μεσόφιλων και θερμοφίλων πληθυσμών να είναι η πλέον ενδεδειγμένη. Πάντως, η επιλογή του θερμοκρασιακού καθεστώτος εξαρτάται από το είδος του υποστρώματος, και τους επιδιωκόμενους στόχους. Κατά συνέπεια χρειάζεται διερεύνηση σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Με το σύστημα Rudgers, η πορεία της θερμοκρασίας κατά την θερμοφιλή φάση της κομποστοποίησης μπορεί να ελέγχεται στους 40, 50, 60 °C ή οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία, ή ν' ακολουθεί συνδυασμό θερμοκρασιών, ανάλογα με τις ανάγκες και τους επιδιωκόμενους στόχους, όπως για παράδειγμα για την πρόκληση του θερμικού θανάτου κάποιου ανεπιθύμητου παθογόνου ή εχθρού.

Πίνακας 4. Ενδεικτικές επιλογές κομποστοποίησης και επιδιωκόμενων στόχων

Ε Π Ι Λ Ο Γ Η	Σ Τ Ο Χ Ο Σ
Μεγίστη δυνατή μείωση της μάζας του υλικού	Το τελικό προϊόν δεν έχει ιδιαίτερη αξία. Καθίσταται πρόσφορο για ασφαλή υγειονομική ταφή
Ελαχίστη δυνατή μείωση της μάζας του υλικού	Παραγωγή εμπορεύσιμου σταθερού προϊόντος κατάλληλου για γεωργική χρήση
Μεγίστη δυνατή απώλεια υγρασίας	Καύση του τελικού προϊόντος. Διαχείριση υγρών αποβλήτων υψηλού οργανικού φορτίου (Συγκομποστοποίηση)

Επομένως, η πορεία της κομποστοποίησης είναι δυνατόν να ελέγχεται κατά τρόπο ώστε να ακολουθεί ορισμένες προεπιλεγμένες ατραπούς σαν αυτές της Εικ. 3.



Εικ.3. Προεπιλεγμένες ατραποί πορείας κομποστοποίησης με το σύστημα Rutgers (κατά Lopez-Real & Vere, 1991)

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα όλες οι επιλογές ακολουθούν την ίδια αρχική πορεία της ταχείας ανόδου της θερμοκρασίας μέχρι ένα προκαθορισμένο όριο (επιλογή 1). Στη φάση αυτή η πορεία της κομποστοποίησης αρχίζει να ανακόπτεται σταδιακά καθώς το υπόστρωμα εξαντλείται, προκαλώντας μείωση των αναγκών σε αερισμό μέχρι σημείου που το σύστημα θερμοκρασιακής ανατροφοδοσίας παύει να λειτουργεί (σημείο A). Αν στο στάδιο αυτό γίνει ανάμιξη του υλικού, χωρίς παροχέτευση άλλου αερισμού, η θερμοκρασία ανέρχεται σχετικά γρήγορα, φθάνει ένα μέγιστο (σημείο B) και στη συνέχεια μειώνεται προοδευτικά μέχρι να φθάσει στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Μια τέτοια επιλογή οδηγεί στην παραγωγή ενός εξαιρετικά σταθεροποιημένου υλικού. Η διάρκεια της δεύτερης φάσης κυμαίνεται από μερικές εβδομάδες μέχρι μερικούς μήνες και εξαρτάται από τον βαθμό σταθεροποίησης που επιτεύχθηκε κατά την φάση του ενισχυμένου αερισμού, την φύση του υποστρώματος και το τελικό προϊόν (Εικ. 3).

Η επιλογή 1, προϋποθέτει ότι σ' όλη την διάρκεια της πορείας αυτής η υγρασία ελέγχεται ώστε να διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Η επιλογή 2 αποτελεί παραλλαγή της πρώτης. Δηλαδή η υγρασία μειώνεται σκόπιμα σε περιοριστικό επίπεδο στο σημείο A, είτε με αναστροφή είτε με ενισχυμένο αερισμό ρυθμισμένο σε πιο χαμηλή θερμοκρασία (π.χ. 35°C), είτε και με τους δύο τρόπους. Η επιλογή αυτή μεγιστοποιεί τις απώλειες βάρους (στερεών και υγρασίας), μειώνει τις περαιτέρω απώλειες στερεών (περισσότερο τελικό προϊόν) και οδηγεί στην παραγωγή πιο αφυδατωμένου τελικού προϊόντος. Η τρίτη επιλογή (επιλογή 3) επιτυγχάνεται με μείωση της υγρασίας στις πρώτες δύο με τρεις εβδομάδες μετά την έναρξη της θερμοφιλικής φάσης και οδηγεί στην παραγωγή αφυδατωμένου υλικού. Μπορεί να εφαρμοσθεί σε υλικά που προορίζονται για

καύση καθώς και σε υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά για την μετατροπή τους σε οργανικό μεταπλαστικό εδάφους, οργανικό λίπασμα, ή υλικό επικάλυψης εδάφους (mulch).

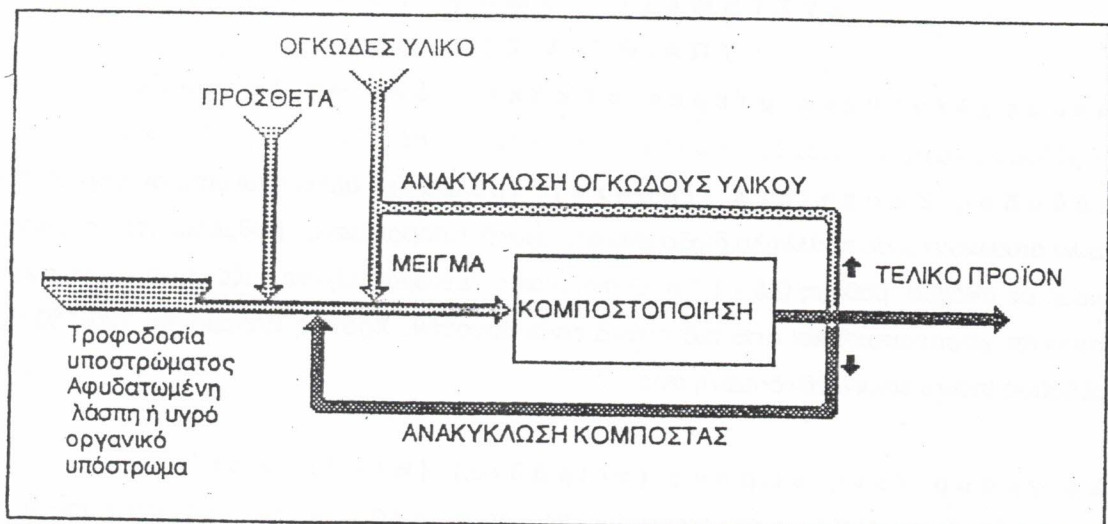
Η Εικ. 4. δείχνει τους χειρισμούς που προβλέπονται σ' ένα γενικευμένο σχήμα κομποστοποίησης Υποστρώματα με εξαιρετικά υψηλή υγρασία δύσκολα κομποστοποιούνται μόνα τους. Οι λάσπες του βιολογικού καθαρισμού για παράδειγμα δεν κομποστοποιούνται επιτυχώς παρά μόνον σε μικρές πιλοτικές μονάδες όπου είναι δυνατόν να εξασφαλισθεί ικανοποιητικός αερισμός με συνεχή ή περιοδική ανάμειξη. Η αδυναμία κομποστοποίησης οφείλεται στην υπερβολική περιεκτικότητα σε νερό που έχει σαν συνέπεια τον κορεσμό των ελεύθερων πόρων. Έτσι, η μεταφορά οξυγόνου στην κομποστοποιούμενη μάζα παρεμποδίζεται εκτός εάν υπόκειται σε έντονη ανάμειξη ώστε να διευκολύνεται η μεταφορά οξυγόνου στις αποκαλυπτόμενες με την ανάμειξη επιφάνειες.

Για να υπερπηδηθούν οι δυσκολίες της μεταφοράς οξυγόνου σε τέτοιες περιπτώσεις έχουν υιοθετηθεί οι ακόλουθες τρεις προσεγγίσεις:

1. Ανακύκλωση της κομπόστας και ανάμειξη με το αφυδατωμένο μη κομποστοποιημένο κέικ (κέικ = αφυδατωμένη λάσπη βιολογικού καθαρισμού). Πρόκειται δηλαδή, για κομποστοποίηση ουσιαστικά σκέτης λάσπης δεδομένου ότι δεν προστίθενται ογκώδες τεμαχιδιακό ή άλλο υλικό και το ανακυκλούμενο κλάσμα προέρχεται εξ ολοκλήρου από την ίδια την λάσπη.

2. Προσθήκη στη λάσπη "πρόσθετο" ογκώδους οργανικού υλικού, και

3. Προσθήκη ογκώδους χονδρόκοκκου υλικού, από ξύλο (chips) ή άλλα παρόμοια υλικά και στη συνέχεια διαχωρισμός και επαναπαραλαβή τους από το τελικό προϊόν της κομπόστας.



Εικ. 4. Γενικευμένη πορεία κομποστοποίησης που δείχνει τις αναγκαίες εισροές υποστρώματος, ανακυκλούμενου κλάσματος κομπόστας, πρόσθετων και ογκώδους τεμαχιδιακού υλικού.

Ο όρος "πρόσθετο" αναφέρεται στο οργανικό εκείνο υλικό το οποίο προστίθεται στο υπόστρωμα τροφοδοσίας με στόχο την μείωση του φαινομένου ειδικού βάρους και την αύξηση του

πορώδους ώστε να διευκολύνεται ο αερισμός ή (σε ορισμένες περιπτώσεις) την αύξηση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων οργανικών υλικών στο μείγμα. Στα πρόσθετα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί με αφυδατωμένες λάσπες περιλαμβάνονται: πριονίδι, άχυρο, τύρφη, φλούδια ριζιού, πυρηνόξυλο, κοπριά, στερεά απόβλητα, όπως απορρίμματα μαγειρίων και σκουπίδια, κλαδιά από το κλάδεμα δένδρων, η βιομάζα που συσσωρεύεται από την κοπή χλόης ή άλλα οργανικά απορρίμματα. Το ιδανικό "πρόσθετο" πρέπει να είναι ξηρό, να έχει μικρό φαινόμενο ειδικό βάρος και να βιοαποδομείται σχετικά εύκολα.

Απ' όσα αναφέρθηκαν, γίνεται φανερό ότι, παρά την πολυπλοκότητα από μικροβιακής απόψεως του οικοσυστήματος της κομπόστας, οι αρχές που διέπουν συνολικά την πορεία της κομποστοποίησης είναι σχετικά απλές. Αφορούν την αναλογία πηγών άνθρακα και αζώτου τις τυχόν ανεπιθύμητες προσμίξεις και την ορθή διαχείριση του καθεστώτος αερισμού. Πρέπει όμως να τηρούνται με σχολαστικότητα αν αποβλέπουμε σε σταθερό και υψηλής ποιότητας προϊόν. Δυστυχώς, ορισμένες εμπορικές μονάδες παραγωγής παραβλέπουν ή εφαρμόζουν χαλαρά τις αρχές κομποστοποίησης με αποτέλεσμα να κυκλοφορούν στην αγορά προϊόντα χαμηλής ποιότητας, φυτοτοξικά, και ασταθή. Το πρόβλημα περιπλέκεται και γίνεται ακόμα πιο οξύ από την έλλειψη οποιουδήποτε νομικού και εμπορικού ορισμού της κομποστοποίησης και των προϊόντων της. Αυτό σημαίνει ότι με το όνομα "κομπόστα" κυκλοφορούν στην αγορά ετερόκλητα και διαφόρου ποιότητας προϊόντα, τα οποία συχνά αφήνεται κατά πολύ ή δεν έχουν καμιά σχέση με τις βασικές προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα προϊόντα κομποστοποίησης.

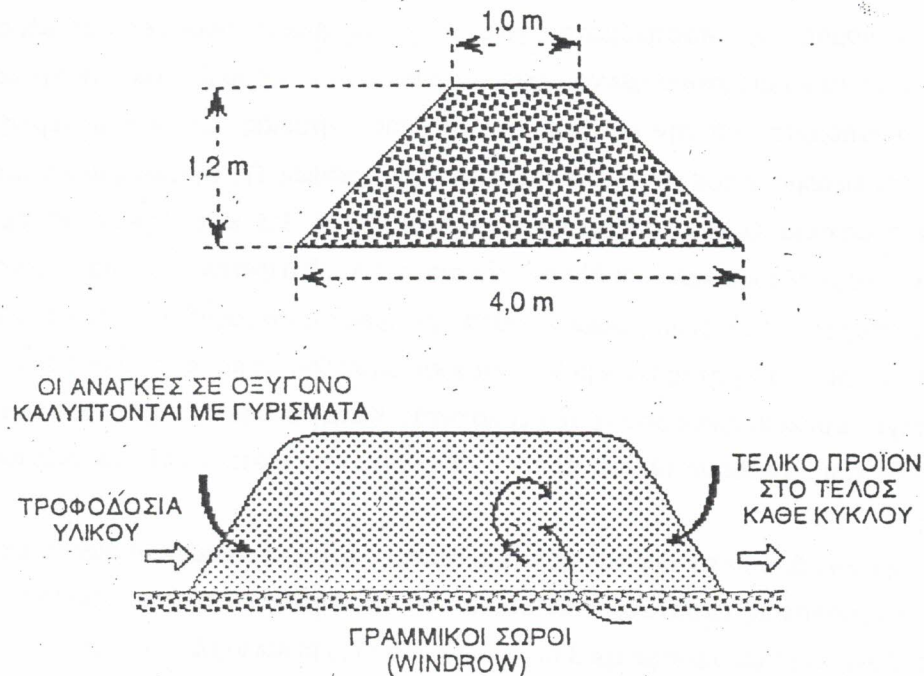
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Αναμοχλευόμενα στερεά αποθετημένα σε λάκκους

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Sir Albert Howard (1925) στις Ινδίες και είναι γνωστή ως **μέθοδος Bangalore (Indore)**. Τα υλικά δεν αλέθονται μήτε αναμιγνύονται αρχικά, αλλά απλώνονται σε επάλληλα διαδοχικά στρώματα: απορρίμματα - βοθρολύματα - έδαφος - άχυρο, κ.ο.κ. σε σκάμμα βάθους 0.5 - 1.0m. Ο αναγκαίος αερισμός εξασφαλίζεται με γυρίσματα τα οποία γίνονται χειρονακτικά και όσο πιο συχνά είναι δυνατόν. Χρόνος παραμονής 120-180 ημέρες. Η μέθοδος Indore είναι διαδεδομένη στις Ινδίες.

Σε γραμμικούς σωρούς (σειράδια) (windrows)

Το υλικό αποτίθεται σε γραμμικούς σωρούς τραπεζοειδούς διατομής στο ύπαιθρο. Οι σωροί διατάσσονται σε παράλληλες γραμμές στην επιφάνεια του εδάφους και η διατομή τους έχει περίπου τις διαστάσεις που δίδονται στην Εικ.5. Ο αερισμός γίνεται με γυρίσματα. Ο χρόνος παραμονής εξαρτάται από τον αριθμό των γυρισμάτων, τη σύνθεση του υλικού, την υγρασία κλπ. Είναι διαδεδομένη στις ΗΠΑ, Ισραήλ, και Μεξικό.



Εικ. 5. Παραδοσιακή διάταξη σε γραμμικούς σωρούς (windrows).

Αδιατάρακτα Συστήματα

Στα συστήματα της κατηγορίας αυτής το υλικό δεν υποβάλλεται σε γυρίσματα. Κομποστοποιείται δηλαδή υπό αδιατάρακτες συνθήκες. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές οι οποίες μπορούν να διακριθούν σε συστήματα που αερισμός τους στηρίζεται στη φυσική διάχυση και σε αυτά που είναι εφοδιασμένα με μηχανισμούς ενισχυμένου αερισμού.

Brikollari, (Caspari, Briquetting)

Τα συστήματα αυτά ανήκουν στην πρώτη κατηγορία, δηλαδή εκείνα που αερίζονται με φυσική διάχυση. Σε γενικές γραμμές στα συστήματα αυτά το υλικό αφού αλεσθεί, συμπιέζεται, και δεματάζεται σε κύβους (μπλόκ), οι οποίοι διατάσσονται σε πυκνές γραμμές όπου παραμένουν αδιατάρακτοι επί 30-40 ημέρες, όσο δηλαδή διαρκεί η θερμοφιλή φάση. Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο αερισμός στηρίζεται στη φυσική διάχυση μέσω των δεματιών. Μετά την αρχική φάση κομποστοποίησης (θερμοφιλή φάση) ακολουθεί ωρίμανση και άλεση. Σε μία παραλλαγή στο αρχικό μείγμα προστίθεται λάσπη μέχρι ποσοστό υγρασίας 53% περίπου. (Γερμανία, Ελβετία).

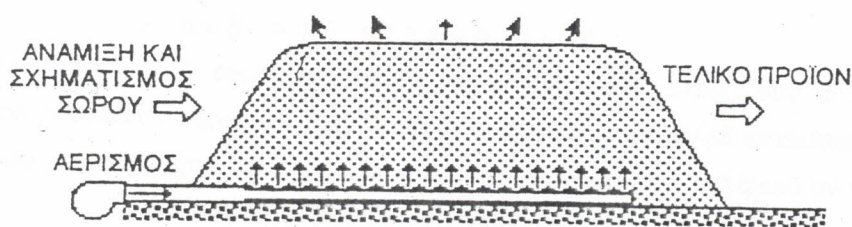
Σε αδιατάρακτους σωρούς ή κλίνες με ενισχυμένο αερισμό

Το σύστημα κομποστοποίησης σε σωρούς με ενισχυμένο αερισμό υπό αδιατάρακτες συνθήκες, χωρίς δηλαδή γυρίσματα, αναπτύχθηκε στον Σταθμό Γεωργικής Έρευνας Beltsville του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ, και γι' αυτό συχνά αναφέρεται σαν σύστημα **Beltsville** ή **A R S** (Aerated Static Pile).

Είναι αρκετά δημοφιλές στις ΗΠΑ όπου εφαρμόζεται για την κομποστοποίηση τόσο της νωπής όσο και της αφυδατωμένης λάσπης. Διαφέρει από το σύστημα σε γραμμικούς σωρούς κατά

το ότι ο αερισμός του υποστρώματος γίνεται με ενισχυμένη παροχέτευση αέρα. Επίσης, στο σύστημα αυτό το κομποστοποιημένο υλικό συνήθως δεν ανακυκλώνεται σαν ογκώδες πρόσθετο, μήτε χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της αρχικής υγρασίας. Οι περισσότερες πληροφορίες αφορούν την εφαρμογή του για την κομποστοποίηση λασπών. Ως ογκώδες υλικό χρησιμοποιούνται συνήθως τεμαχίδια ξύλου (chips) σε αναλογία 1:2 ή 1:3 κατ' όγκον. Μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν εξ ίσου καλά και άλλα υλικά όπως: φλούδια φισικιών, τεμαχισμένα ελαστικά ή το υλικό των απορριμμάτων διαμορφωμένο κατά προτίμηση σε σφαιρίδια. Είναι προφανές ότι βασική προϋπόθεση του συστήματος είναι μεν η εξασφάλιση καλού αερισμού του σωρού αλλά χωρίς αυτό να συνεπάγεται υπερβολικές απώλειες θερμότητας. Κατά συνέπεια, το μέγεθος των τεμαχιδίων και η ποσότητα του ογκώδους υλικού πρέπει να ελέγχονται ώστε να εξασφαλίζεται το επιθυμητό πορώδες.

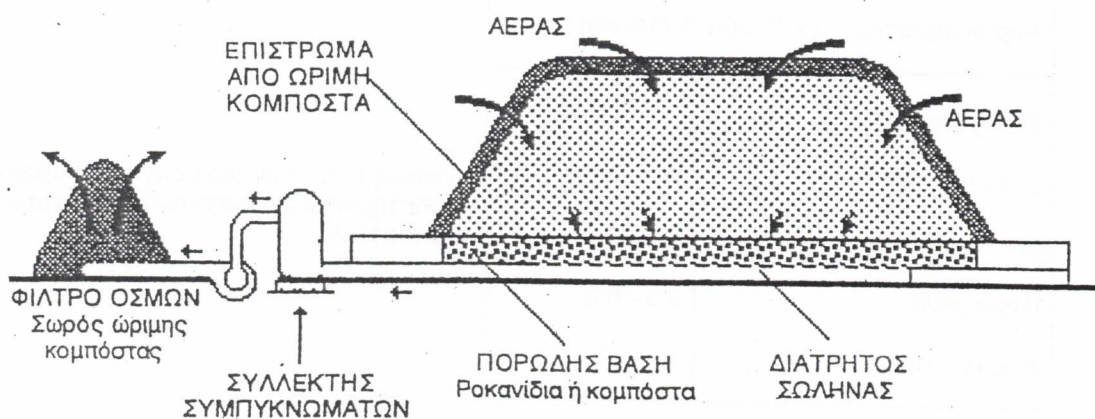
Στην Εικ. 6. δίδεται διαγραμματικά η διάταξη ενός αεριζόμενου σωρού εφοδιασμένου με σύστημα εμφύσησως αέρα στο εσωτερικό του. Ο σωρός είναι τραπεζοειδούς ή τριγωνικής διατομής. Συνήθως έχει ύψος μέχρι 3 m, πλάτος 4,5 - 7,5 m και μήκος 12 - 15m.



Εικ. 6. Αδιατάρακτο σύστημα κομποστοποίησης. Αερισμός δι' εμφύσησως

Η διάταξη αυτή είναι απλή και οικονομική στην κατασκευή και την λειτουργία της. Επίσης έχει το πλεονέκτημα ότι εξασφαλίζει ικανοποιητική θερμοκρασιακή κατανομή μέχρι και τα εξωτερικά στρώματα του σωρού. Έχει όμως το μειονέκτημα των αερίων εκπομπών στον περιβάλλοντα χώρο, οι οποίες στην θερμοφιλή φάση κυρίως, περιλαμβάνουν πτητικές ουσίες αρκετές από τις οποίες μπορεί να είναι δυσάρεστης οσμής. Κατά συνέπεια πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων πλησίον κατοικημένων περιοχών. Επιπλέον, κατά την χωροταξική τους τοποθέτηση πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνεται υπ' όψη όχι μόνο η απόσταση από τις πλησιέστερες κατοικίες αλλά και η κατεύθυνση πνοής των ανέμων.

Τα μειονεκτήματα αυτά αντιμετωπίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό με την παραλλαγή του συστήματος αερισμού της Εικ. 7 όπου αντί για εμφύσηση έχουμε αναρρόφηση του αέρα. Δηλαδή, ο αερισμός του σωρού γίνεται με εξαναγκασμένη εισροή του αέρα από τον περιβάλλοντα χώρο στην μάζα του σωρού μέσω ενός συστήματος αναρροφήσεως που έχει εγκατασταθεί στην βάση του σωρού.



Εικ. 7. Τυπική διάταξη αερισμού δι' αναρροφήσεως.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος κομποστοποίησης ενισχυμένου αερισμού διά αναρροφήσεως είναι τα εξής:

1. Επειδή ο αέρας που εισρέει ψύχει επιφανειακά τον σωρό, συνιστάται η επικάλυψη του σωρού με στρώμα ώριμης κομπόστας.
2. Γιά την καλύτερη κατανομή του αέρα, συνιστάται πάνω από τους σωλήνες εξαερισμού να απλώνεται ένα στρώμα ογκώδους υλικού το οποίο θ' αποτελεί την βάση του σωρού.
3. Το εξ' αναρροφήσεως ρεύμα του αέρα επειδή είναι κορεσμένο υδρατμών και περιέχει επίσης πολλά πτητικά δυσαρέστου οσμής, πρέπει κατ' αρχήν να περνάει από έναν συλλέκτη συμπυκνωμάτων (παγίδα νερού) και στην συνέχεια από ένα φίλτρο απόσμησης που μπορεί να είναι ένας απλός σωρός ώριμης κομπόστας.
4. Ο χρόνος παραμονής είναι συνήθως 21 - 30 ημέρες. Με το πέρας του χρόνου αυτού το υλικό του σωρού, το επίστρωμα, το στρώμα της βάσης και η κομπόστα του φίλτρου αναμιγνύονται και διατηρούνται προσωρινά σε σωρό.
5. Όταν η υγρασία του υλικού μειωθεί στο επιθυμητό επίπεδο (συνήθως <math><50\%</math>), το μίγμα περνάει από δονούμενα κόσκινα όπου διαχωρίζεται το ογκώδες υλικό.
6. Όπως σε όλα τα υπαίθρια συστήματα κομποστοποίησης, πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε τα στραγγίσματα από την βάση του σωρού να συλλέγονται και να υποβάλλονται στους ενδεδειγμένους χειρισμούς (ανακύκλωση κατά την διαβροχή της κομπόστας, αερόβια επεξεργασία, κλπ) ώστε να αποφεύγεται η διήθησή τους σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Ας σημειωθεί ότι τα στραγγίσματα είναι κατά κανόνα εξαιρετικά βεβαρυμένα και αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα υπάρχει πάντα κίνδυνος ρύπανσης του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, ιδιαίτερα όταν το έδαφος είναι χαλαρής συστάσεως και περατό.

Χαρακτηριστικά των Υγρών Έκπλυσης	
BOD ₅ (mgO ₂ /l)	50 - 39000
COD (mgO ₂ /l)	770-67000
pH	5,5 - 9,0
Ίζημα (ml/l)	0,3 - 8,0
Αγωγιμότητα (mS/cm)	1,4 - 32

Πίνακας 6. Ενδεικτικά όρια τιμών ορισμένων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων στραγγισμάτων κομποστών.

ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ο όρος "εγκιβωτισμένα" χρησιμοποιείται εδώ με την έννοια ότι αναφέρεται στα συστήματα εκείνα όπου το υλικό κομποστοποιείται μέσα σε κάποιο τύπο αντιδραστήρα, ασχέτως αν αυτός είναι ανοικτός ή κλειστός, και αν διαθέτει ή όχι σύστημα μηχανικής ανάμιξης. Υπάρχει ένας σημάπτικός αριθμός συστημάτων και παραλλαγών, πολλά από τα οποία έχουν εγκαταληφθεί ή έχουν λειτουργήσει σε πιλοτικές μόνον εγκαταστάσεις. Θα αναφερθούν συνοπτικά μερικοί από τους σημαντικώτερους.

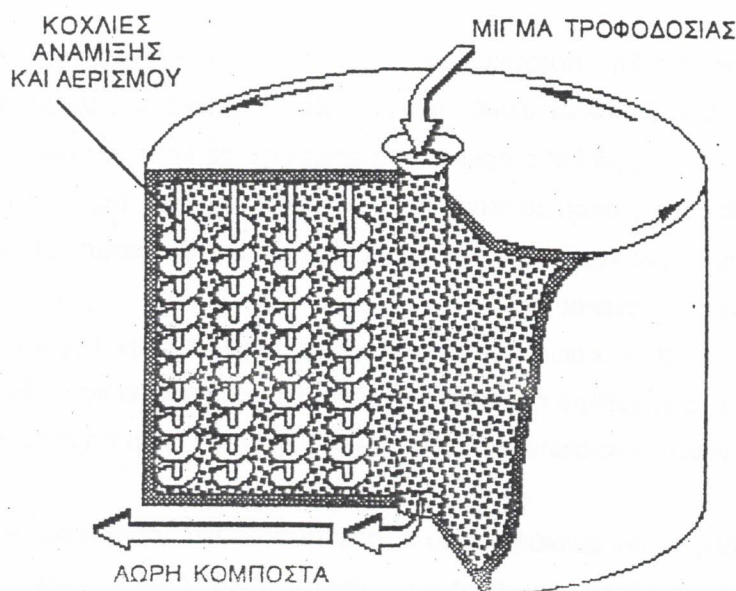
Συστήματα καθέτου ροής

Eaig - Thomas: Είναι το παλαιότερο ίσως σύστημα κομποστοποίησης σε διάταξη τύπου σιλό. Αποτελείται από 8 ορόφους διατεταγμένους κατακόρυφα. Ένας κεντρικός άξονας δίνει κίνηση σε σύστημα αναμόχλευσης και οδηγεί το υλικό σταδιακά στους κατώτερους ορόφους. Ο αερισμός ακολουθεί αντίθετη ροή. Διοχετεύεται στο κατώτερο σημείο και οδεύει προς τα πάνω. Χρόνος παραμονής 2-3 ημέρες. Το άωρο υλικό αποτίθεται στο ύπαιθρο σε γραμμικούς σωρούς για ωρίμανση (Κορέα, Ιταλία, Ελβετία).

Frazer -Eweson: Το υλικό αλέθεται και τοποθετείται σε κατακόρυφο πύργο που φέρει 4 ή 5 διάτρητα πατώματα και ειδικούς μηχανικούς βραχίονες που αναγκάζουν το κομποστοποιούμενο υλικό να διέρχεται σταδιακά μέσα από διάτρητα πατώματα. Ο αερισμός γίνεται εκ των κάτω μέσω φυσητήρα. Χρόνος παραμονής 4-5 ημέρες. Αναφέρονται προβλήματα "μπουκώματος" των διάτρητων πατωμάτων. Μιά μονάδα δυναμικότητας 18 ton/ημέρα λειτούργησε στις ΗΠΑ το διάστημα 1954-1962. Είναι άγνωστο αν λειτουργούν σήμερα ανάλογες μονάδες.

Συστήματα οριζοντίου ροής

Fairfield - Hardy: Αποτελείται από κυκλική δεξαμενή εφοδιασμένη με σύστημα αναμόχλευσης αποτελούμενο από δύο ακτινικά τοποθετημένους βραχίονες που φέρουν ατέρμονες κοχλίες. Ο αερισμός γίνεται με φυσητήρες από τον πίθμενα της δεξαμενής και μέσω οπών που φέρουν οι κοχλίες (Εικ. 8).



Εικ. 8. Σύστημα κομποστοποίησης Fairfield - Hardy

Το σύστημα είναι συνεχούς λειτουργίας και έχει χρόνο παραμονής 5 ημέρες. Η πρώτη μονάδα κατασκευάστηκε στις ΗΠΑ (Altoona, PA) το 1951. Είναι δυναμικότητας 25 t/ημέρα, και εξακολουθεί να λειτουργεί. Μία δεύτερη μονάδα δυναμικότητας 135 t/ημέρα κατασκευάστηκε το 1969 στο San Juan, PR. Το 1978 εγκαταστάθηκε στο Toronto, Ontario μονάδα δυναμικότητας 45 t/ημέρα για την κομποστοποίηση απορριμμάτων και ιλύος, η οποία επίσης εξακολουθεί να λειτουργεί.

ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Οι δυνατότητες επιλογών όπως αυτές που περιγράψαμε πιο πάνω, δείχνουν πόσο μεγάλη μπορεί να είναι η ποικιλομορφία των προϊόντων που μπορεί να παραχθούν με τα προηγμένα συστήματα κομποστοποίησης. Όπως είναι αυτονόητο, ο βαθμός ποικιλομορφίας αυξάνει σημαντικά αν ληφθούν υπόψη και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης. Με τέτοια ποικιλομορφία είναι φανερό ότι είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιων ποιοτικών κριτηρίων (Mullett, 1991). Τα κύρια πλεονεκτήματα που αναμένονται από τον καθορισμό ενιαίων κριτηρίων είναι ότι θα :

1. Διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των ενδιαφερομένων.
2. Προάγουν την οικονομία μειώνοντας τις σπατάλες σε εργασία, υλικά και ενέργεια στην παραγωγή και τις ανταλλαγές αγαθών.
3. Προστατεύουν τα συμφέροντα του καταναλωτή προσφέροντας επαρκείς και συνεπείς υπηρεσίες.
4. Προάγουν την ποιότητα ζωής: ασφάλεια, υγεία και προστασία του περιβάλλοντος.
5. Προάγουν το εμπόριο αφαιρώντας τους φραγμούς που προέρχονται από διαφορετικές πρακτικές μεταξύ των διαφόρων κρατών.

Η αναγκαιότητα ύπαρξης ποιοτικών κριτηρίων για τα προϊόντα της κομποστοποίησης, όπως άλλωστε και για κάθε άλλο υλικό, αναγνωρίζεται γενικά και μάλιστα έχει επισημανθεί ότι προκειμένου να είναι αξιόπιστα πρέπει να βασίζονται σε επιστημονικές μόνον αρχές και όχι σε κάποιες πολιτικές ίσως σκοπιμότητες. Πολλές μάλιστα χώρες της ΕΟΚ έχουν ήδη θεσπίσει δικά τους ποιοτικά κριτήρια κυρίως σε ότι αφορά την χρήση των κομποστών που προέρχονται από αστικά απορρίμματα. (Πίνακας 7).

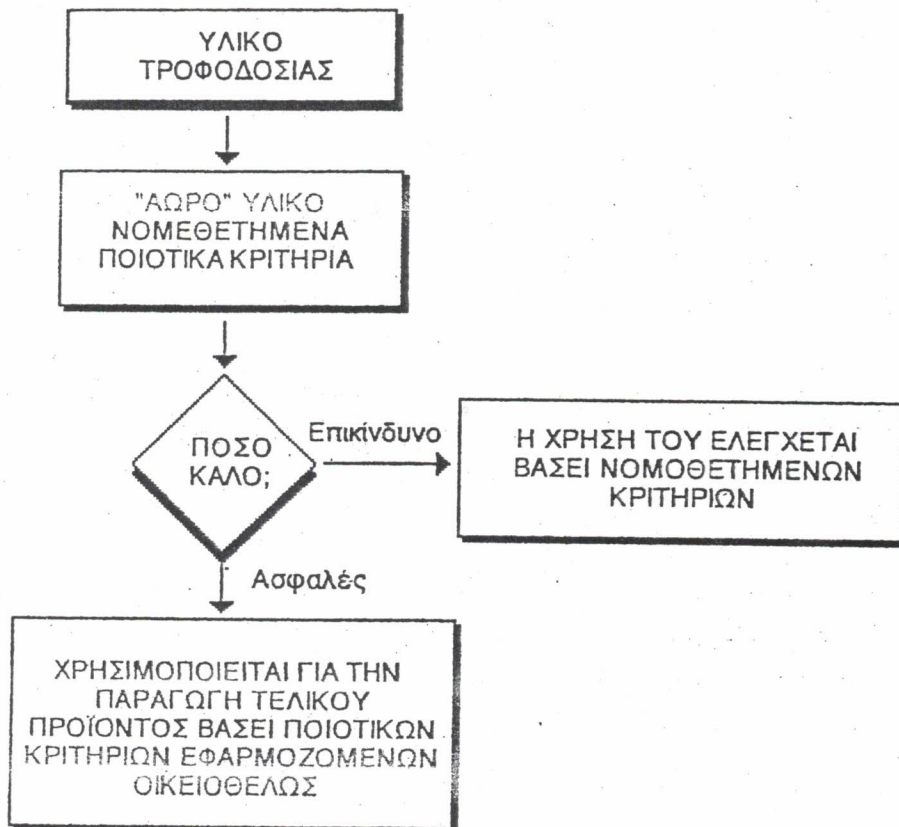
Με τις εξελίξεις όμως που σημειώνονται σήμερα στην Ευρώπη για την Ενιαία Αγορά, προβλέπεται ότι το ελεύθερο εσωτερικό εμπόριο θα υποχρεωθεί να επιβάλλει αργά ή γρήγορα, τη θεσμοθέτηση ενιαίων ποιοτικών κριτηρίων και στα προϊόντα που παράγονται από την επεξεργασία αποβλήτων.

Διαφωνίες έχουν ανακύψει κατά πόσον τα ποιοτικά χαρακτηριστικά πρέπει να υΐθετούνται σε εθελοντική βάση (Γερμανία), ή να είναι υποχρεωτικά (Δανία). Είναι γεγονός ότι προκειμένου περί άλλων προϊόντων στις περισσότερες περιπτώσεις, οι κώδικες ποιοτικών χαρακτηριστικών που έχουν διαμορφωθεί από Εθνικά και Διεθνή σώματα βασίζονται στην οικίοθελή αποδοχή.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Α Ω Ρ Η	Ω Ρ Ι Μ Η
Υγειονομική ασφάλεια: Ελεύθερο παθογόνων, παρασίτων και σπόρων ζιζανίων ικανών να βλαστήσουν. Στοιχεία θερμοκρασιών επί 12 μήνες τουλάχιστον.	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Προσμίξεις: όπως γυαλί, πλαστικά και μέταλλα >2 mm	< 0.5% (Ξ.β.)	< 0.5% (Ξ.β.)
Πέτρες: διαμέτρου > 5 mm	< 0.5% (Ξ.β.)	< 0.5% (Ξ.β.)
Καταλληλότητα για εφαρμογή σε φυτά: Ελέγχεται με βιοδοκιμές βλαστήσεως σπόρων και ανταπόκρισης στο άζωτο	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Υγρασία: Για υλικό χύμα	< 45 %	< 45%
Για σακασμένο υλικό	< 45%	< 35%
Οργανική ουσία (σαν απώλεια βάρους μετά από καύση)	> 40%	> 20%
Βαρέα μέταλλα: Μέγιστο όριο mg/Kg Ξ.β.		
Μόλυβδος	150	150
Κάδμιο	2	2
Χρώμιο	100	100
Χαλκός	100	100
Νικέλιο	50	50
Υδράργυρος	1.5	1.5
Ψευδάργυρος	400	400

Πίνακας 7. Προδιαγραφές προϊόντων κομποστοποίησης στην Γερμανία

Σχετικά με το θέμα αυτό, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά κομποστοποίησης θα πρέπει να μην περιορίζονται μόνον στο τελικό προϊόν, αλλά να περιλαμβάνουν τόσο το αρχικό υλικό όσο και τα ενδιάμεσα προϊόντα (Γαλλία). Έχει όμως υποστηριχθεί και η αντίθετη άποψη. Συγκεκριμένα, ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά πρέπει ν' αφορούν μόνον το τελικό προϊόν που προσφέρεται στον καταναλωτή για χρήση, και να μην γίνεται αναφορά στο αρχικό υλικό, στην διαδικασία παραγωγής ή στις τυχόν προσμίξεις που έγιναν ενδεχομένως στο τελικό προϊόν.



Εικ. 9. Σχήμα ποιοτικών κριτηρίων προϊόντων κομποστοποίησης που συγκεντρώνει τις περισσότερες πιθανότητες αποδοχής του από τις χώρες της ΕΟΚ.
(EEC/DGII Workshop on "Composting and Compost Assurance Criteria" Angers, 1991)

Η κεντρική ιδέα της Γαλλικής πρότασης είναι απλή και στηρίζεται στην παραδοχή ότι προϊόντα κάποιας ποιότητας πρέπει να θεωρηθούν ως χρησιμοποιήσιμα, ενώ προϊόντα τα οποία εξακολουθούν να είναι επικίνδυνα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως απόβλητα. Μιά σχηματική παράσταση της προσέγγισης αυτής δίδεται στην Εικ. 9. Η προσέγγιση αυτή, η οποία έχει τύχει πολλών ευνοϊκών σχολίων, συγκεντρώνει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Είναι συμβατή με την υφιστάμενη νομοθεσία πολλών χωρών, όπως για παράδειγμα με τη νομοθεσία περί διαθέσεως της ιλύος βιολογικού καθαρισμού, που καθορίζει πότε η ιλύς παύει να υπόκειται στους περιοριστικούς κανονισμούς χρήσης τελικού προϊόντος.

