

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ Ι : ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ**



**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΣΤΗΝ**  
**ΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ**  
**ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΙΩΡΗΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ**  
**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΟΪΖΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**ΑΘΗΝΑ 2010**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	Σ
<b>φάσμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	v
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	1
1.1 Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων στην Ε.Ε.....	1
1.1.1 Εισαγωγή .....	1
1.1.2 Οδηγίες και Κανονισμοί .....	6
1.2 Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα.....	15
1.3 Προδιαγραφές Ποιότητας Κόμποστ στην ΕΕ και Διεθνώς.....	19
1.3.1 Πρότυπα για τα βαρέα μέταλλα.....	19
1.3.2 Πρότυπα για τους οργανικούς ρύπους στο κόμποστ .....	25
1.3.3 Πρότυπα για την περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς, ακαθαρσίες και ζιζάνια .....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	31
2.1 Γενικά για την κομποστοποίηση.....	31
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση.....	34
2.2.1 Διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων.....	34
2.2.2 Σχέση άνθρακα / αζώτου .....	36
2.2.3 Υγρασία .....	36
2.2.4 pH.....	37
2.2.5 Θερμοκρασία .....	38
2.2.6 Αερισμός.....	38
2.2.7 Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν την κομποστοποίηση.....	39
2.2 Οργανικά υλικά κατάλληλα για κομποστοποίηση.....	39
2.4 Ο ρόλος των μικροοργανισμών στην κομποστοποίηση.....	41
2.5 Ωρίμανση του κόμποστ.....	45
2.5.1 Εισαγωγή .....	45
2.5.2 Μέθοδοι εκτίμησης της ωρίμανσης.....	46
2.5.3 Η σημασία της ωρίμανσης.....	48
2.6 Εγκαταστάσεις και συστήματα κομποστοποίησης.....	49
2.7 Οικιακή κομποστοποίηση.....	52
2.8 Οφέλη κομποστοποίησης.....	52
2.9 Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	57
3.1 Εισαγωγή.....	57
3.2 Ζεόλιθος.....	57
3.3.3 Ο Βερμικουλίτης.....	61
3.4 Πριονίδι, Ροκανίδι.....	64
3.5 Το ώριμο κόμποστ ως πρόσθετο.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ	
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί</b>
<b>σελιδοδείκτης.</b>	
4.1	
Εισαγωγή.....	<b>Σφάλμ</b>
<b>α! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

4.2 Μακροσκοπική Ανάλυση της Διεργασίας Αερόβιας Αποδόμησης (κομποστοποίηση).....	Σφ
<b>άλλα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
4.3.3 Οι Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση .....	61
4.3 Φυσικοί παράγοντες .....	66
4.3.1 Θερμοκρασία .....	66
4.3.2 Υγρασία .....	68
4.3.3 Περιεκτικότητα οξυγόνου .....	69
4.3.3 Η Φύση του υποστρώματος.....	61
4.4 Χημικοί παράγοντες .....	71
4.4.1 Η αναλογία άνθρακα – αζώτου C/N.....	72
4.4.2 pH.....	73
4.4.3 Ποιότητα και ωρίμανση του compost.....	75
4.4.4 Η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα.....	77
4.5 Βιοτικοί παράγοντες .....	78
4.6 Η χρήση προσθέτων.....	80
4.6.1 Ζεόλιθος.....	80
4.6.2 Περλίτης.....	84
4.6.3 Βερμικουλίτης.....	91
4.7 Η εξέλιξη της κομποστοποίησης σήμερα 91	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
5.1. Εισαγωγή.....	121
5.2. Το πρότυπο σύστημα οικιακής κομποστοποίησης οργανικού κλάσματος απορριμμάτων.....	121
5.3. Μεθοδολογία μετρήσεων.....	124
5.3.1. Προσδιορισμός θερμοκρασίας.....	124
5.3.2. Προσδιορισμός υγρασίας.....	125
5.3.3. Προσδιορισμός Ph.....	125
5.3.4. Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	126
5.3.5. Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VSS).....	126
5.3.6. Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC).....	127
5.3.7. Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN).....	128
5.3.8. Προσδιορισμός νιτρικών.....	131
5.3.9. Προσδιορισμός αμμωνιακών.....	133
5.3.10. Προσδιορισμός αναλογίας –.....	135
5.3.11. Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων.....	135
5.3.12. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας.....	136
5.3.13. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
6.1. Εισαγωγή.....	139
6.2. Σύσταση του υποστρώματος.....	140
6.3. Πρώτος κύκλος πειραμάτων.....	141
6.3.1. Τροφοδοσία των αντιδραστήρων.....	141
6.3.2. Δειγματοληψία – Απώλεια μάζας.....	143
6.3.3. Μέτρηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος.....	145

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

6.3.4. Μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος.....	149
6.3.5. Μέτρηση του του υποστρώματος.....	152
6.3.6. Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος.....	155
6.3.7. Μέτρηση των πτητικών στερεών (VSS) στο υπόστρωμα.....	157
6.3.8. Μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα.....	160
6.3.9. Μέτρηση του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα.....	164
6.3.10. Μέτρηση του λόγου στο υπόστρωμα.....	166
6.3.11. Μέτρηση νιτρικών στο υπόστρωμα.....	169
6.3.12. Μέτρηση αμμωνιακών στο υπόστρωμα.....	172
6.4. Δεύτερος κύκλος πειραμάτων.....	175
6.4.1. Τροφοδοσία των αντιδραστήρων.....	175
6.4.2. Δειγματοληψία – Απώλεια μάζας.....	177
6.4.3. Μέτρηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος.....	179
6.4.4. Μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος.....	182
6.4.5. Μέτρηση του του υποστρώματος.....	185
6.4.6. Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος.....	188
6.4.7. Μέτρηση των πτητικών στερεών (VSS) στο υπόστρωμα.....	191
6.4.8. Μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα.....	194
6.4.9. Μέτρηση του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα.....	197
6.4.10. Μέτρηση του λόγου στο υπόστρωμα.....	199
6.4.11. Μέτρηση νιτρικών στο υπόστρωμα.....	202
6.4.12. Μέτρηση αμμωνιακών στο υπόστρωμα.....	204
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	205
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αλματώδης τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών μαζί με την βελτιστοποίηση του τρόπου ζωής δημιούργησε σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η χρήση και η επεξεργασία των οργανικών στερεών αποβλήτων κρίνεται επιτακτική προκειμένου το οργανικό κλάσμα να είναι ωφέλιμο. Η κομποστοποίηση, που αποτελεί μια αερόβια διεργασία αποδόμησης του οργανικού κλάσματος με τον διαχωρισμό στην πηγή παραγωγής τους, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία χρήσιμου προϊόντος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει δύο κύριους στόχους. Ο πρώτος αφορά στην μελέτη της επίδρασης των αδρανών προσθέτων στην αερόβια επεξεργασία οργανικών αποβλήτων. Ο δεύτερος στόχος αποσκοπεί στην μελέτη των συνθηκών κομποστοποίησης του οργανικού κλάσματος σε πρότυπο αντιδραστήρα οικιακής κομποστοποίησης, σχεδιασμένο από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και συγκεκριμένα του Εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος της σχολής Χημικών Μηχανικών.

Στο πρώτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται μία εκτενής περιγραφή της περιβαλλοντικής νομοθεσίας που προβλέπεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και αφορά στον τρόπο επεξεργασίας, διαχείρισης και τελικής διάθεσης των στερεών αποβλήτων και θέτει τα απαιτούμενα όρια του ρυπαντικού φορτίου που μπορεί να φέρει το τελικό υλικό (κόμποστ) πριν την τελική του διάθεση. Ακολουθεί περιγραφή των αντίστοιχων διατάξεων που ισχύουν στην Ελλάδα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής περιγραφή της κομποστοποίησης αναφορικά με τους παράγοντες που την επηρεάζουν, λειτουργικά προβλήματα που πιθανό να αντιμετωπίσουμε, εγκαταστάσεις και συστήματα που υπάρχουν, δίνοντας μεγάλη έμφαση στην οικιακή κομποστοποίηση.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί τα πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιούνται στην διεργασία της κομποστοποίησης. Αρχίζει με μία σύντομη αναφορά στα ορυκτά γενικώς. Ακολουθεί ταξινόμηση των πυριτικών ορυκτών, και έπειτα γίνεται διεξοδική αναφορά τόσο στη δομή, όσο και στις ιδιότητες και τη χρήση των ορυκτών αυτών που χρησιμοποιήθηκαν ως πρόσθετα για

τις ανάγκες των πειραμάτων (ζεόλιθος, βερμικουλίτης). Τέλος γίνεται αναφορά για το πριονίδι και το ώριμο κόμποστ ως πρόσθετα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των συνθηκών κομποστοποίησης καθώς επίσης και της χρήσης προσθέτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο πειραματικό μέρος.

Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται όλα τα πειραματικά αποτελέσματα καθώς και εκτενής σχολιασμός.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα πειραματικά αποτελέσματα.

## **SYMMARY**

One of the most versatile and remunerative techniques for handling biodegradable solid wastes is composting. A large variety of such wastes of plant, animal, and synthetic origins can be gainfully composted, at scales varying from a household bin to a large industry. Compost also has an inexhaustible market as a soil conditioner and fertilizer. Apart from being a source of nitrogen, phosphorus, potassium, and other nutrients for plants, compost is also believed to suppress soil-borne diseases in plants. These virtues make composting an ideal option for processing the enormous quantities of biodegradable solid wastes that are generated in the world. In this study, a review of the state of the art of compost science is presented, encompassing the history, the mechanism, the production, the characteristics, and the effects of composting.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

### 1.1 Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων στην Ε.Ε.

#### 1.1.1 Εισαγωγή

Η περιβαλλοντική προστασία έχει καθοριστική σημασία για την ποιότητα ζωής των σημερινών και των μελλοντικών γενεών. Σημαντική πρόκληση αποτελεί ο συνδυασμός της λήψης μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος, με τη συνεχιζόμενη οικονομική δραστηριότητα και μεγέθυνση κατά τρόπο μακροπρόθεσμο και αειφόρο.

Η Κοινοτική πολιτική για την προστασία του περιβάλλοντος ξεκίνησε ουσιαστικά με τη Σύνοδο κορυφής των Παρισίων το 1974. Ακολούθησαν τα “προγράμματα δράσης” της Κοινότητας και ήδη από το 1975 προβλέπονται στον κοινοτικό προϋπολογισμό κονδύλια για την προστασία του περιβάλλοντος. Το 1981 οι ως τότε διάσπαρτες περιβαλλοντικές υπηρεσίες συγχωνεύονται στη Γενική Διεύθυνση XI (περιβάλλον, πυρηνική ασφάλεια προστασία πολιτών) και υπό το πρίσμα των εξελίξεων υιοθετείται η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη (1η Ιουλίου 1987) ως ανεξάρτητη πολιτική για το περιβάλλον. Την ίδια χρονιά υιοθετείται το 4ο Πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον, με βασικό στόχο την αποτελεσματική εφαρμογή της κοινοτικής νομοθεσίας για το περιβάλλον από τα κράτη μέλη. Το 1991 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε το πρόγραμμα για τη διαχείριση των αποβλήτων προτεραιότητας στα οποία περιλαμβάνονταν:

- Απόβλητα από ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό
- Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις
- Οχήματα στο τέλος κύκλου ζωής τους
- Συσσωρευτές
- Ελαστικά
- Συσκευασίες και απορρίμματα συσκευασιών
- Χρησιμοποιημένα Ορυκτέλαια
- Νοσοκομειακά απόβλητα
- PCB's

---

Ακολούθησε το 5ο Πρόγραμμα Δράσεως για το Περιβάλλον "προς μια αειφόρο ανάπτυξη" το οποίο θέσπισε τις αρχές μιας πιο ενεργητικής Ευρωπαϊκής στρατηγικής για την περίοδο 1992-2000 και σηματοδότησε την αρχή μίας οριζόντιας κοινοτικής δράσεως, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες ρύπανσης (βιομηχανία, ενέργεια, τουρισμός, μεταφορές, γεωργία). Πλέον τρέχει το 6ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον το οποίο προσδιορίζει γενικούς στόχους και καθορίζει κατάλογο περιβαλλοντικών προτεραιοτήτων μέχρι και το έτος 2010.

Η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης εστιάζει στα εξής σημεία :

- Η πρόληψη είναι προτιμότερη από τη λήψη διορθωτικών μέτρων
- Τα περιβαλλοντικά προβλήματα πρέπει να αντιμετωπίζονται στην πηγή τους
- Ο ρυπαίνων πρέπει να πληρώνει το κόστος των μέτρων που θα ληφθούν για την προστασία του περιβάλλοντος
- Η περιβαλλοντική πολιτική πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να αποτελεί τμήμα των άλλων πολιτικών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας

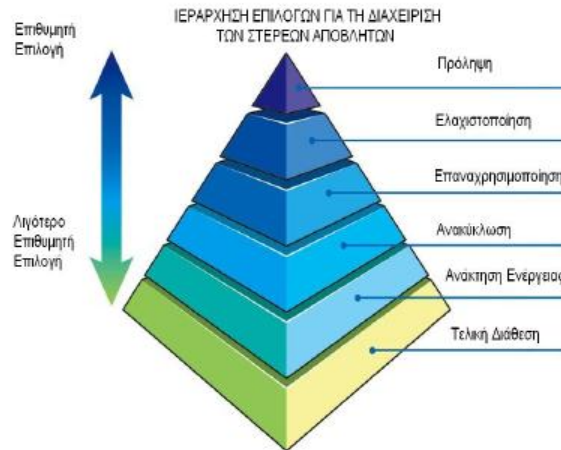
Ολόκληρη η περιβαλλοντική πολιτική της Ε.Ε. βασίζεται στην αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει". Σύμφωνα με αυτήν, ο ρυπαντής, είναι υπεύθυνος για τις επιπτώσεις και για τη δαπάνη αποκατάστασης των ζημιών. Κατά συνέπεια, είναι ζητούμενο ο κάθε πολίτης να υποχρεούται να καλύπτει πλήρως τη δαπάνη διαχείρισης των ΑΣΑ που παράγει. Οι πληρωμές μπορεί να πραγματοποιηθούν με τη μορφή επενδύσεων για να επιτευχθεί συμμόρφωση προς αυστηρότερα πρότυπα ή με τη μορφή φόρου επιβαλλόμενου στις επιχειρήσεις ή στους καταναλωτές που χρησιμοποιούν μη οικολογικά προϊόντα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, σύμφωνα με τις ισχύουσες Συνθήκες και βάσει των Αρχών της Βιώσιμης (αειφορικής) Ανάπτυξης, έχει υιοθετήσει την παρακάτω ιεράρχηση (η οποία έχει ενσωματωθεί και στην εθνική μας νομοθεσία) στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ ( σχήμα 1.1):

- Πρόληψη ή Μείωση στην πηγή
- Επαναχρησιμοποίηση (επέκταση της χρήσιμης ζωής)
- Ανακύκλωση -Ανάκτηση Υλικών
- Ανάκτηση ενέργειας



➤ Βέλτιστη τελική διάθεση.

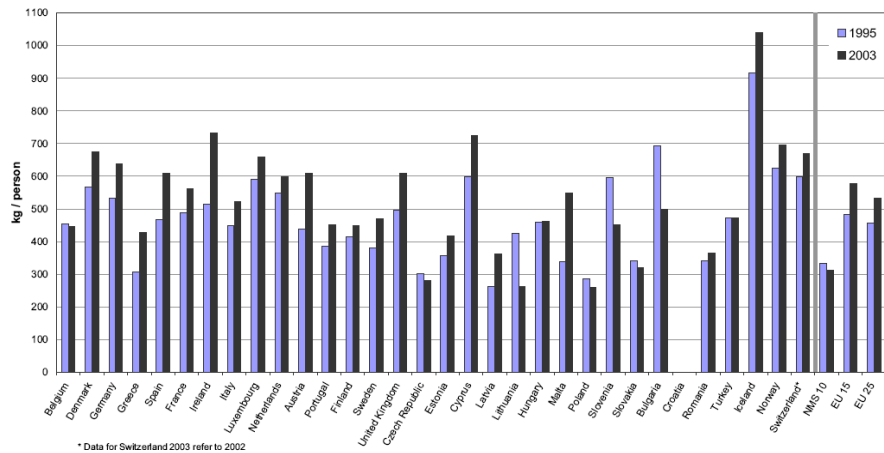


Σχήμα 1. 1 Ιεράρχηση πολιτικών διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ευρωπαϊκή Ένωση. [i]

## 1. Αρχή της πρόληψης ή και μείωσης των παραγόμενων αποβλήτων

Με την έννοια «Πρόληψη των απορριμμάτων» νοείται μια σειρά τεχνικών επιλογών και νομοθετικών - οικονομικών ρυθμίσεων, καθώς και ένα πλαίσιο κοινωνικής συμπεριφοράς και ενεργής συμμετοχής των πολιτών, με στόχο την ελάττωση της παραγωγής απορριμμάτων και κατά συνέπεια τη μείωση του όγκου και του βάρους αυτών που καταλήγουν στους χώρους τελικής διάθεσης.

Οι δυνατότητες πρόληψης της δημιουργίας αποβλήτων εξαρτώνται από σειρά παραγόντων όπως η οικονομική ανάπτυξη, η έκταση στην οποία οι επιχειρήσεις έχουν ήδη υιοθετήσει βέλτιστες πρακτικές για τη μείωση των αποβλήτων, κλπ. Η πρόληψη μπορεί να επιτευχθεί μόνον αν επηρεαστούν οι πρακτικές αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής: πως σχεδιάζεται το προϊόν, πως παράγεται, πως διατίθεται στον καταναλωτή και πως χρησιμοποιείται τελικά.



**Διάγραμμα 1. 1** Κατά κεφαλή παραγωγή απορριμμάτων στην ΕΕ [1]

Η δυσκολία της πρόληψης φαίνεται ξεκάθαρα στο διάγραμμα 1.1. Σε όλες σχεδόν τις Ευρωπαϊκές χώρες παρατηρείται αύξηση της κατακεφαλίν παραγωγής απορριμμάτων (δεδομένα 2003) σε σχέση με το 1995. Στην βέλτιστη περίπτωση κάποιες χώρες όπως το Βέλγιο, η Εσθονία, η Πολωνία και η Τουρκία παρουσιάζουν σταθερή ή μια μικρή μείωση στην παραγωγή.

Βασικό ζήτημα στην πρόληψη παραγωγής απορριμμάτων αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο της εξαγωγής παρθένων πρώτων υλών, της επεξεργασίας, μεταποίησης, μεταφοράς και χρήσης. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν – σε αρκετά παγιωμένη μορφή – μέθοδοι αναλύσεων κύκλου ζωής για τα κάθε είδους προϊόντα, κατασκευές κ.λ.π. Ήδη όμως έχουν ληφθεί αποφάσεις που υλοποιούνται είτε μέσω χρηματοδοτικών προγραμμάτων (π.χ. LIFE), είτε μέσω θεσμοθέτησης τεχνικών προτύπων, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN). Σε ειδικές περιπτώσεις η πρόληψη μπορεί να γίνεται μέσω περιορισμών ή απαγορεύσεων στη χρήση συγκεκριμένων ουσιών (π.χ. βαρέων μετάλλων), ώστε να προλαμβάνεται σε μεταγενέστερο στάδιο η δημιουργία επικίνδυνων αποβλήτων. Άλλοι τρόποι συνεισφοράς στην πρόληψη, είναι τα προγράμματα οικολογικών ελέγχων, με παράλληλη θέσπιση κινήτρων ή και αντικινήτρων σε οικονομικούς φορείς του

---

Δημόσιου ή του ιδιωτικού τομέα (οικολογικό σήμα) και η ενθάρρυνση των καταναλωτών να αγοράσουν προϊόντα που ρυπαίνουν λιγότερο.

## **2. Αρχή επαναχρησιμοποίησης των υλικών**

Με βάση και την ευθύνη του παραγωγού, ο κατασκευαστής οφείλει να εξασφαλίζει τα μέσα, όχι μόνο για να περιορίσει τη δημιουργία αποβλήτων, (με συνετή χρήση των φυσικών πόρων, ανανεώσιμων πρώτων υλών ή μη επικίνδυνων υλικών) αλλά και για τη δημιουργία προϊόντων ώστε να διευκολύνεται επαναχρησιμοποίηση και ανάκτησή τους.

## **3. Αρχή ανακύκλωσης και αξιοποίησης των υλικών**

Η ανάκτηση από τα απορρίμματα αποτελεί τον πυρήνα κάθε αειφόρου πολιτικής διαχείρισής τους. Αυτό σημαίνει ότι σε περιπτώσεις όπου η δημιουργία τους δεν μπορεί να αποφεύγεται, θα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται ή να υποβάλλονται σε διαδικασίες ανάκτησης υλικών. Βασική διαδικασία για την ανάκτηση των υλικών, είναι ο διαχωρισμός τους στην πηγή. Αυτό απαιτεί τη συμμετοχή των καταναλωτών και των τελικών χρηστών στην αλυσίδα διαχείρισης και τους καθιστά περισσότερο ευαίσθητους ως προς την ανάγκη μείωσης της παραγωγής αποβλήτων. Σημαντική επίσης προϋπόθεση αποτελεί για την οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων ανακύκλωσης και η δημιουργία αγορών για τα προϊόντα που θα προκύψουν.

Στόχος της στρατηγικής είναι να μειωθούν οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αποβλήτων καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους, από την παραγωγή μέχρι την τελική διάθεση τους. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει να αντιμετωπίζεται κάθε είδος αποβλήτων όχι μόνο ως πηγή ρύπανσης που επιβάλλεται να μειωθεί, αλλά και ως ενδεχόμενος πόρος που προσφέρεται για εκμετάλλευση.

## **4. Αρχή ανάκτησης ενέργειας**

Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η ανάκτηση υλικών λόγω τεχνικών περιορισμών, θα πρέπει να οδηγούνται τα απόβλητα με σημαντικό θερμικό περιεχόμενο σε μονάδες θερμικής

---

επεξεργασίας με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, ώστε να διατεθεί τελικώς μόνο το κλάσμα που δεν δύναται να αξιοποιηθεί.

## 5. Αρχή της ασφαλούς διάθεσης

Η απόρριψη στερεών αποβλήτων σε χώρους διάθεσης έχει βαρύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και θα πρέπει να επιλέγεται ως έσχατη λύση. Χρησιμοποιείται εκτενώς μιας και είναι η οικονομικότερη λύση, αλλά οι πρόσφατες νομοθετικές διατάξεις έχουν ως μεσοπρόθεσμο στόχο να καταλήγουν σε χώρους διάθεσης μόνο τα μη ανακτήσιμα και αδρανή απόβλητα.

### 1.1.2 Οδηγίες και Κανονισμοί

Οι οδηγίες και οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορούν τα στερεά απόβλητα εστιάζοντας ειδικότερα στο κόμποστ παρουσιάζονται παρακάτω.

- **Απόφαση 2001/688/EC για τον καθορισμό των οικολογικών κριτηρίων απονομής του κοινοτικού σήματος (Eco Label) σε βελτιωτικό εδάφους**

Σύμφωνα με την απόφαση, η περιεκτικότητα του τελικού προϊόντος στα ακόλουθα στοιχεία πρέπει να είναι μικρότερη από τις κατώτερες τιμές (Πίνακας 2.1), μετρημένες επί ξηράς ουσίας.

**Πίνακας 1. 1** Προδιαγραφές παραγόμενου κόμποστ.

Στοιχείο	mg/kg
(As)* Αρσενικό	10
(Cd) Κάδμιο	1
(Cr) Χρώμιο	100
(Cu) Χαλκός	100
(F)* Φθόριο	200
(Mo)* Μολυβδένιο	2
(Ni )Νικέλιο	50
(Pb) Μόλυβδος	100

(Zn) Ψευδάργυρος	300
(Se)* Σελήνιο	1,5
(Hg) Υδράργυρος	1

\* 1

Τα επίπεδα πρωτογενών παθογόνων μικροοργανισμών στα προϊόντα δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις ανώτατες τιμές που καθορίζονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1. 2** Επίπεδα πρωτογενών παθογόνων μικροοργανισμών

Salmonella	Απουσία σε 25g
E.coli	<1000 MPN /g <sup>2</sup>
Helminth Ova	Απουσία σε 1.5g

Όλα τα προϊόντα πρέπει να προσφέρονται σε στερεά μορφή και να έχουν περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία τουλάχιστον 25% κατά βάρος και σε οργανικές ύλες τουλάχιστον 20% (μετρημένη με την απώλεια κατά την καύση). Τα προϊόντα δεν πρέπει να επιδρούν δυσμενώς στη βλάστηση ή τη μετέπειτα ανάπτυξη του φυτού. Όσα προϊόντα τηρούν τις προαναφερθείσες προδιαγραφές τότε απονέμονται το κοινοτικό σήμα «Eco-Label» προς χρήση του προϊόντος ως εδαφοβελτιωτικό, [2]

- **Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999 περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων**

Στόχος της παρούσας οδηγίας είναι η πρόληψη ή μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της ταφής αποβλήτων στο περιβάλλον, και ειδικότερα στα επιφανειακά ύδατα, στα υπόγεια ύδατα, στο έδαφος, στον αέρα και στην υγεία του ανθρώπου. Παρουσιάζει λεπτομερώς τις διάφορες κατηγορίες αποβλήτων (αστικά απόβλητα, επικίνδυνα, μη επικίνδυνα, αδρανή) και ισχύει για

<sup>1</sup> τα σχετικά με την παρουσία αυτών των στοιχείων δεδομένα απαιτούνται μόνον για προϊόντα που περιέχουν υλικά από βιομηχανικές διεργασίες και αστικά απορρίμματα.

<sup>2</sup> MPN: Most Probable Number

---

όλους τους χώρους ταφής, οι οποίοι ορίζονται ως χώροι διάθεσης αποβλήτων, με εναπόθεση των αποβλήτων επί ή εντός του εδάφους. Οι χώροι ταφής ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- χώροι ταφής επικίνδυνων αποβλήτων
- χώροι ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων
- χώροι ταφής αδρανών αποβλήτων.

Επιπλέον η οδηγία θέτει ποσοτικούς στόχους για την εκτροπή του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ. Πιο συγκεκριμένα για την Ελλάδα ισχύει ότι μέχρι το 2010 τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής θα πρέπει να μειωθούν κατά 25% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας αυτών που είχαν παραχθεί το 1995. Ενώ το 2013 τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για υγειονομική ταφή πρέπει να μειωθούν κατά 50%. Τέλος το 2020 το ποσοστό των βιοαποδομήσιμων υλικών για υγειονομική ταφή πρέπει να περιοριστεί στο 35%. [3]

- **Οδηγία 96/61/ΕΚ (IPPC) του συμβουλίου της 24ης Σεπτεμβρίου 1996 σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης**

Η οδηγία (η λεγόμενη "οδηγία IPPC"), που αντικαθιστά την οδηγία 96/61ΕΚ, θεσπίζει την έκδοση άδειας για βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες υψηλού δυναμικού ρύπανσης. Για την έκδοση μιας τέτοιας άδειας προϋποτίθεται η τήρηση ορισμένων περιβαλλοντικών απαιτήσεων, έτσι ώστε οι επιχειρήσεις να αναλαμβάνουν οι ίδιες την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης που ενδεχομένως θα προξενήσουν. Η ολοκληρωμένη πρόληψη και ο έλεγχος της ρύπανσης αφορούν βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες, νέες ή ήδη υπάρχουσες, υψηλού δυναμικού ρύπανσης (ενεργειακές βιομηχανίες, παραγωγή και μεταποίηση μετάλλων, εξορυκτική βιομηχανία, χημική βιομηχανία, διαχείριση των αποβλήτων).

Η οδηγία προβλέπει μέτρα αποφυγής και όταν αυτό δεν είναι δυνατόν, μείωσης των εκπομπών από τις ανωτέρω δραστηριότητες στην ατμόσφαιρα, το νερό και το έδαφος, και μέτρα για τα απόβλητα, ώστε να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος στο σύνολό του.

---

Τα Κράτη Μέλη με την παρούσα οδηγία, οφείλουν να ορίσουν το φορέα, τις βασικές αρχές τις θεμελιώδη υποχρεώσεις του, καθώς επίσης να μεριμνήσουν ώστε οι αρμόδιες Αρχές να ελέγχουν ότι η εγκατάσταση θα λειτουργήσει κατά τρόπο ώστε:

- Να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα προληπτικά αντιρρυπαντικά μέτρα, ιδίως με τη χρήση των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών
- Να μην προκαλείται καμία σημαντική ρύπανση
- Να αποφεύγεται η παραγωγή αποβλήτων ή εάν αυτό δεν είναι δυνατόν, να αξιοποιούνται ή όταν αυτό είναι τεχνικά και οικονομικά αδύνατο, να διατίθενται με τρόπο που να αποφεύγονται ή να μειώνονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον
- Η ενέργεια να χρησιμοποιείται αποτελεσματικά
- Να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για να προλαμβάνονται τα ατυχήματα και να περιορίζονται οι συνέπειές τους
- Να λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα κατά την οριστική παύση των δραστηριοτήτων ώστε να αποφεύγεται κάθε κίνδυνος ρύπανσης και ο χώρος της εκμετάλλευσης να επανευρίσκει ικανοποιητική μορφή.

Αναφορικά με το θέμα της αδειοδότησης στην παρούσα οδηγία αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με τα εξής σημεία:

- Άδειες για νέες εγκαταστάσεις
- Όροι χορήγησης άδειας για υφιστάμενες εγκαταστάσεις
- Αίτηση άδειας
- Ολοκληρωμένη προσέγγιση στην έκδοση αδειών.

Αναφέρεται επίσης ότι με την επιφύλαξη άλλων απαιτήσεων εθνικής ή κοινοτικής νομοθεσίας, η αρμόδια αρχή χορηγεί άδεια για την εγκατάσταση η οποία περιλαμβάνει όρους με τους οποίους εξασφαλίζεται ότι η εγκατάσταση πληρεί τις απαιτήσεις της παρούσας οδηγίας ή στην αντίθετη περίπτωση, δεν χορηγεί άδεια.

Κάθε χορηγούμενη ή τροποποιημένη άδεια περιλαμβάνει τις προβλεπόμενες στην παρούσα

---

οδηγία πρακτικές λεπτομέρειες για την προστασία της ατμόσφαιρας, των υδάτων και του εδάφους καθώς και μέτρα για τη διαχείριση των αποβλήτων της εγκατάστασης.

Τέλος στη παρούσα οδηγία υπάρχουν διατάξεις αναφορικά με:

- Την επανεξέταση και αναπροσαρμογή των όρων της άδειας εκ μέρους της αρμόδιας αρχής
- Τις οφειλές των Κρατών Μελών αναφορικά με την τήρηση των όρων της άδειας
- Την πρόσβαση στις πληροφορίες και συμμετοχή του κοινού στη διαδικασία χορήγησης της άδειας
- Τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές και τα ποιοτικά πρότυπα περιβάλλοντος
- Την εξέλιξη των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών
- Την ανταλλαγή πληροφοριών
- Τις οφειλές των Κρατών Μελών αναφορικά με τις διασυννοριακές επιπτώσεις
- Τις Κοινοτικές οριακές τιμές εκπομπής. [4]

- **Κανονισμός (ΕΟΚ) αρ.2092/91 του Συμβουλίου περί του βιολογικού τρόπου παραγωγής προϊόντων και των σχετικών ενδείξεων στα γεωργικά προϊόντα και στα είδη διατροφής**

Ο Κανονισμός (ΕΟΚ) αρ.2092/91 προβλέπει τις παρακάτω οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο οργανικό λίπασμα (Πίνακας 1.3):

**Πίνακας 1. 3** Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (mg/kg) [5]

<b>Μέταλλο</b>	<b>Οργανικό Λίπασμα</b>
Cd	0,7
Cr	70
Cu	70
Ni	25
Pb	45
Hg	0,4
Zn	200



- **Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία**

Η οδηγία αυτή ρυθμίζει την χρησιμοποίηση ιλύος καθαρισμού λυμάτων, κατά τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις για το έδαφος, τη βλάστηση, τα ζώα και τον άνθρωπο. Αποσκοπεί επίσης στην ενθάρρυνση της ορθής επαναχρησιμοποίησης της ιλύος στη γεωργία. Η Οδηγία καθορίζει οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος και στην ιλύ, καθώς επίσης και οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται στο έδαφος σε ετήσια βάση. Παρακάτω παρουσιάζονται οι οριακές τιμές που καθορίζονται με την οδηγία και την προβλεπόμενη αναθεώρησή της.

**Πίνακας 1. 4** Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος [mg/kg] [6]

Μέταλλα	Οδηγία 86/278 6<pH<7	Εν εξελίξη αναθεώρηση της Οδηγίας 86/278/ΕΟΚ		
		5<pH<6	6<pH<7	pH>7
Cd	1-3	0,5	1	1,5
Cr	-	30	60	100
Cu	50-140	20	50	100
Ni	30-75	15	50	70
Pb	50-300	70	70	100
Hg	1-1.5	0,1	0,5	1
Zn	150-300	60	150	200

**Πίνακας 1. 5** Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ (mg/kg ξηράς ουσίας) [6]

Μέταλλα	Οδηγία 86/278	Εν εξελίξη αναθεώρηση της Οδηγίας 86/278/ΕΟΚ
Cd	20 – 40	10
Cr	-	1000
Cu	1000 – 1750	1000
Ni	300 – 400	300
Pb	750 – 1200	750
Hg	16 – 25	10
Zn	2500 – 4000	2500

**Πίνακας 1. 6** Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατά έτος στα καλλιεργήσιμα εδάφη [kg/ha.έτος] [6]

Μέταλλα	Οδηγία 86/278	Εν εξελίξη αναθεώρηση της Οδηγίας 86/278/ΕΟΚ
Cd	0,15	0,03
Cr	-	3
Cu	12	3
Ni	3	0,9
Pb	15	2
Hg	0,1	0,03
Zn	30	7,5

- **Οδηγία του Συμβουλίου 75/442/ΕΟΚ, περί στερεών αποβλήτων**

Η οδηγία αυτή συνιστά το νομοθετικό πλαίσιο της κοινοτικής πολιτικής σε θέματα διαχείρισης αποβλήτων. Άρχισε να ισχύει από το 1977 και τροποποιήθηκε το 1991 (**Οδηγία 91/156/ΕΟΚ**) για να ληφθούν υπόψη οι νέες συνθήκες και να ενσωματωθούν οι κατευθυντήριες αρχές που επισημάνθηκαν από την κοινοτική στρατηγική το 1989, για τη διαχείριση των αποβλήτων και συγκεκριμένα η πρόληψη, η αξιοποίηση και η τελική διάθεση των αποβλήτων.

Στην Οδηγία περιλαμβάνονται τα σημαντικότερα στοιχεία στα οποία θεμελιώνεται η κοινοτική πολιτική διαχείρισης των αποβλήτων και συγκεκριμένα:

- Ορίζεται η έννοια των αποβλήτων
- Προσδιορίζονται κοινή ορολογία, ιδιαίτερα αναφορικά με τις διαδικασίες της αξιοποίησης και της τελικής διάθεσης, καθώς και οι διάφορες κατηγορίες αποβλήτων που περιλαμβάνονται στον κατάλογο της απόφασης 94/3/ΕΚ της Επιτροπής
- Ιεραρχούνται οι προτεραιότητες τις οποίες οφείλει να τηρεί κάθε πολιτική διαχείρισης αποβλήτων, ευνοώντας κατ' αρχήν την πρόληψη, προωθώντας εν συνεχεία την αξιοποίηση και τέλος την ακίνδυνη τελική διάθεση
- Καθιερώνονται οι αρχές της γεινίασης και της αυτάρκειας που εφαρμόζονται στα απόβλητα που προορίζονται για τελική διάθεση και προβλέπεται η συγκρότηση ολοκληρωμένου και επαρκούς δικτύου εγκαταστάσεων διάθεσης

- 
- Υποχρεούνται τα κράτη μέλη να εκπονήσουν σχέδια διαχείρισης αποβλήτων, τα οποία θεωρούνται ουσιώδους σημασίας εργαλεία, για την υλοποίηση της πολιτικής αυτής
  - Θεσπίζεται υποχρεωτική διαδικασία έγκρισης για κάθε επιχείρηση που αναπτύσσει δραστηριότητες αξιοποίησης ή διάθεσης αποβλήτων, καθώς επίσης και σύστημα μητρώου και τακτικών ελέγχων των δραστηριοτήτων αυτών

Ένα από τα ουσιώδη στοιχεία της Οδηγίας είναι η θέσπιση διαδικασίας υποχρεωτικής έκδοσης άδειας για κάθε επιχείρηση που αναπτύσσει δραστηριότητες διάθεσης ή αξιοποίησης αποβλήτων, καθώς και συστήματος μητρώου και περιοδικού ελέγχου των δραστηριοτήτων αυτών, όπως προβλέπεται στα άρθρα 9 και 14 [7]

- **Οδηγία 2006/12/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2006 περί των στερεών αποβλήτων**

Σύμφωνα με την παρούσα οδηγία τα κράτη μέλη οφείλουν:

- Να λαμβάνουν τα ενδεδειγμένα μέτρα για να προωθούν την πρόληψη ή τη μείωση της παραγωγής και της βλαπτικότητας των αποβλήτων, αναπτύσσοντας καθαρότερες και οικονομικότερες τεχνολογίες, διαθέτοντας στην αγορά προϊόντα σχεδιασμένα να συμβάλλουν κατά το δυνατόν λιγότερο στη ρύπανση.
- Να αξιοποιούν τα απόβλητα με ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, ανάκτηση ή οποιαδήποτε άλλη ενέργεια που έχει ως στόχο την παραγωγή δευτερογενών πρώτων υλών, ή τη χρησιμοποίηση των αποβλήτων ως πηγή ενέργειας.
- Να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα για να εξασφαλίζουν ότι η διάθεση ή η αξιοποίηση των αποβλήτων πραγματοποιείται χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η υγεία του ανθρώπου και χωρίς να χρησιμοποιούνται διαδικασίες ή μέθοδοι που ενδέχεται να βλάψουν το περιβάλλον.
- Να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα, σε συνεργασία με άλλα κράτη μέλη εφόσον αυτό παρίσταται αναγκαίο ή σκόπιμο, ώστε να δημιουργηθεί ολοκληρωμένο και κατάλληλο δίκτυο εγκαταστάσεων διάθεσης των αποβλήτων, που λαμβάνει υπόψη τις καλύτερες διαθέσιμες τεχνολογίες που δεν συνεπάγονται υπερβολικό κόστος. Το δίκτυο αυτό

---

πρέπει να επιτρέψει στην κοινότητα ως σύνολο να καταστεί αυτόνομη στον τομέα της διάθεσης των αποβλήτων της και στα κράτη μέλη να τείνουν χωριστά προς το στόχο αυτό, λαμβανομένων υπόψη των γεωγραφικών συνθηκών ή της ανάγκης ειδικών εγκαταστάσεων για ορισμένες κατηγορίες αποβλήτων

- Να ορίσουν αρμόδια αρχή επιφορτισμένη με την υλοποίηση της παρούσας οδηγίας
- Σύμφωνα με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», η δαπάνη για τη διάθεση των αποβλήτων βαρύνει τον κάτοχο που παραδίδει απόβλητα σε φορέα συλλογής ή σε επιχείρηση και τους προηγούμενους κατόχους ή τον παραγωγό του προϊόντος που παράγει απόβλητα
- Αδειοδοτούνται επιχειρήσεις αξιοποίησης αποβλήτων με συγκεκριμένα και αυστηρά κριτήρια [8]

- **Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών**

Η νέα Οδηγία πλαίσιο 2008/98/ΕΚ αντικαθιστά την Οδηγία 2006/12/ΕΚ (και καταργεί τις Οδηγίες για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων και των λιπαντικών (75/439/ΕΚ, 91/689/ΕΚ) και θα πρέπει να ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο των κρατών μελών ως το Δεκέμβριο του 2010. Η αναθεώρηση της Οδηγίας έγινε στα πλαίσια υλοποίησης της Στρατηγικής για την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων και την ανακύκλωση με στόχο να αποσαφηνίσει έννοιες όπως απόβλητο, διάθεση, αξιοποίηση, να ενισχύσει και να προωθήσει την πρόληψη της παραγωγής των απορριμμάτων, να εισάγει την έννοια της ανάλυσης κύκλου ζωής στη λήψη αποφάσεων για την διαχείρισή τους και να προωθήσει την ανάκτηση υλικών και ενέργειας. Η Οδηγία θεσπίζει την ακόλουθη ιεράρχηση ως προτεραιότητα στη νομοθεσία και την πολιτική για τη διαχείριση των απορριμμάτων:

- Πρόληψη
- Ανακύκλωση
- Άλλου είδους ανάκτηση
- Διάθεση

---

Επίσης καθορίζει πότε η αποτέφρωση των απορριμμάτων θεωρείται ανάκτηση και όχι διάθεση, σε συμφωνία και με τα έγγραφα αναφοράς των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών για την αποτέφρωση των αποβλήτων (IPPC Directive).

Η νέα Οδηγία προβλέπει την δημοσίευση κατευθύνσεων για τα κριτήρια ταξινόμησης ενός αποβλήτου ως προϊόντος ή όχι, καθώς και τη θέσπιση ποσοτικών στόχων πρόληψης της παραγωγής των απορριμμάτων από τα κράτη μέλη. Θέτει συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους για την αξιοποίηση των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις (70% ως το 2020), ελάχιστο ποσοτικό στόχο ανακύκλωσης των οικιακών αποβλήτων (50% ως το 2020) και προϋποθέτει την ξεχωριστή συλλογή τουλάχιστον του χαρτιού, μετάλλου, πλαστικού και γυαλιού μέχρι το 2015. Αναφορικά με τη διαχείριση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, προτείνει την ξεχωριστή συλλογή τους και τη διερεύνηση του πλαισίου διαχείρισής τους από την Επιτροπή. [9]

## **1.2 Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα**

Η πρώτη διάταξη για τη διαχείριση των αποβλήτων στην Ελλάδα, ήταν η ΥΑ ΕΙβ/301/64 «περί συλλογής, αποκομιδής και διάθεσης απορριμμάτων», η οποία και καθόριζε τις τεχνικές προδιαγραφές για τη διαχείριση των απορριμμάτων και πιο συγκεκριμένα για τη συλλογή αλλά και τη διάθεση αυτών. Σύμφωνα με το άρθρο 7 «Επιτρέπονται κατόπιν αποφάσεως του Νομάρχου εκδιδόμενης μετά σύμφωνον γνώμην του Υγειονομικού Κέντρου τη αιτήσει του Δήμου ή της Κοινότητας, αι κάτωθι παρεκκλίσεις των δια της παρούσης καθοριζομένων όρων», δινόταν ουσιαστικά ή δυνατότητα για παρέκκλιση από τα άρθρα της ρύθμισης με απλή απόφαση νομάρχη.

Λίγα χρόνια αργότερα ψηφίζονται οι Νομοθετικές ρυθμίσεις Ν.Δ. 703/1970, Ν. 25/1975, Ν. 429/1976, Ν. 1080/1980 οι οποίες καθορίζουν τον υπολογισμό των δημοτικών τελών καθαριότητας (αποκομιδή απορριμμάτων) με βάση τα τ.μ. του νοικοκυριού. Με βάση τις προαναφερθείσες ρυθμίσεις καθορίζονται σε ετήσια βάση τα δημοτικά τέλη που καλούνται να πληρώσουν οι πολίτες. Η σύνδεση των τελών διαχείρισης απορριμμάτων με το μέγεθος του οικοπέδου και όχι με την παραγωγή αυτών, έχει ως αποτέλεσμα ο πολίτης είτε να μη γνωρίζει είτε να μην έχει κίνητρο να μειώσει τα παραγόμενα απορρίμματα. Για το λόγο αυτό είναι

---

απαραίτητη η εφαρμογή ενός συστήματος κοστολόγησης με βάση τη συμπεριφορά του πολίτη ή της επιχείρησης και όχι την αντικειμενική αξία του ακινήτου και του συνολικού εμβαδόν του.

Το 1985 ψηφίζεται ο Νόμος 1650 «για την προστασία του Περιβάλλοντος», ο οποίος και θέτει το γενικό πλαίσιο αλλά και τους στόχους και τα μέσα για την προστασία του Περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το άρθρο 12 ορίζονταν αρμόδιοι φορείς για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, οι ΟΤΑ η οποίοι όμως είχαν τη δυνατότητα να μην διαχειρίζονται απόβλητα που λόγω της σύστασής τους δεν μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά απορρίμματα. Σε αυτή την περίπτωση αρμόδιος για τη διαχείριση με βάση το Νόμο, είναι τα φυσικά ή νομικά πρόσωπα από τις δραστηριότητες των οποίων παράγονται τα συγκεκριμένα απόβλητα.

Η πρώτη προσπάθεια προσαρμογής της Ελληνικής Νομοθεσίας για τη διαχείριση των απορριμμάτων με την αντίστοιχη Κοινοτική έγινε με την ΚΥΑ 49541/1424/86 «Στερεά απόβλητα σε συμμόρφωση με την Οδηγία 75/442/ΕΟΚ». Με την ΚΥΑ αυτή, διατυπώνονται οι βασικές αρχές που πρέπει να διέπουν τη διαχείριση των απορριμμάτων, ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο, άμεσα ή έμμεσα η Δημόσια Υγεία και να μην δημιουργούνται βλάβες στο περιβάλλον, ενώ περιγράφεται για πρώτη φορά η αναγκαιότητα σύνταξης Σχεδίων Διαχείρισης, καθώς και οι διαδικασίες που πρέπει να τηρούνται. Επιπροσθέτως:

- Δίνεται ο ορισμός των βασικών εννοιών και ορίζονται οι φορείς διαχείρισης των απορριμμάτων
- Καθορίζονται οι φάσεις του σχεδιασμού διαχείρισης
- Ρυθμίζεται το θέμα των αδειών για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, που χορηγούνται σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα, πέρα των ΟΤΑ. Προβλέπεται επίσης, η άσκηση ελέγχου στις εγκαταστάσεις, βιομηχανίες και επιχειρήσεις που διαχειρίζονται στερεά απόβλητα
- Καθορίζονται οι υπόχρεοι καταβολής δαπάνης διαχείρισης και αναφέρονται οι κατά περίπτωση κυρώσεις για τη μη συμμόρφωση των υπόχρεων προς τις οδηγίες των αρμόδιων υπηρεσιών, που μπορεί να είναι ποινικές, διοικητικές ή και χρηματικά πρόστιμα.

Το 1994 συγκροτείται με το Ν. 2242/1994 (άρθρο 4) «Ειδικό Σώμα Ελεγκτών για την Προστασία του Περιβάλλοντος», που τελούσε υπό την «εποπτεία» του Υπουργού

---

Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, καθώς και του οικείου Νομάρχη και του Περιφερειάρχη. Ανάμεσα στις αρμοδιότητές του ήταν «η προστασία του περιβάλλοντος από τις καταστροφές του δασικού πλούτου, τις καταπατήσεις των δημόσιων εκτάσεων, τις παράνομες κατατμήσεις γης, τις αυθαίρετες κατασκευές, τις παράνομες επεμβάσεις στα ρέματα, στον αιγιαλό και στη ζώνη παραλίας και σε κάθε άλλη παράνομη δραστηριότητα, που μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον». Επίσης, ασκούσε τον έλεγχο για την τήρηση των περιβαλλοντικών όρων σε περιπτώσεις κατασκευής έργων ή εκτέλεσης δραστηριοτήτων που θέτουν σε κίνδυνο το περιβάλλον. Επρόκειτο, όπως αποδείχθηκε, για μια ελάχιστη ευέλικτη υπηρεσιακή μονάδα, που την έφερναν συχνά σε αντιπαράθεση με τις υπηρεσίες της Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Με το άρθρο 9 του Ν. 2947/2001, καταργήθηκε το Ειδικό Σώμα Ελεγκτών για την Προστασία του Περιβάλλοντος και προβλέφθηκε η αντικατάστασή του από μια νέα οργανωτική μονάδα. Η «Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Περιβάλλοντος» (Ε.Υ.Ε.Π.) υπάγεται απευθείας στον Υπουργό ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και διαθέτει αρμοδιότητες με περιεχόμενο κυρίως ελεγκτικό και γνωμοδοτικό.

Το 1996 εκδίδεται η ΚΥΑ 69728/824 (καταργήθηκε) στην οποία εκτός από τις γενικές κατευθύνσεις και την κατάρτιση πλαισίου τεχνικών προδιαγραφών, δίδεται ιδιαίτερη σημασία στη σύνταξη Σχεδίων Διαχείρισης των αποβλήτων και ορίζονται οι αρμόδιοι φορείς τόσο για τον σχεδιασμό, όσο και για την εφαρμογή τους. Σε επίπεδο Νομού, η αρμοδιότητα ανήκει στη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση και σε Περίπτωση αδυναμίας της, στην οικεία Περιφέρεια. Δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην εξυγίανση των χώρων διάθεσης, μετά το τέλος της λειτουργίας τους και στην αποκατάσταση ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης. Τέλος, προσαρτώνται σ' αυτήν ως παραρτήματα οι Ευρωπαϊκοί κατάλογοι αποβλήτων (ΕΚΑ), όπως καταγράφονται στην Απόφαση 94/3/ΕΚ. Το ίδιο έτος εκδίδεται η εγκύκλιος 9/96/30-01-1996 του ΥΠΕΧΩΔΕ, με την οποία καθορίζεται πιο αναλυτικά το περιεχόμενο του φακέλου προέγκρισης χωροθέτησης των εγκαταστάσεων διάθεσης απορριμμάτων.

Ένα χρόνο αργότερα με την έκδοση της ΚΥΑ 113944/97 (καταργήθηκε) για τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων και της ΚΥΑ 114218/97 για την Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων ολοκληρώνεται και εξειδικεύεται το νομοθετικό πλαίσιο για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων.

---

Λίγα χρόνια αργότερα ο Νόμος 2939/2001 διαμορφώνει το θεσμικό πλαίσιο για την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων. Με τον νόμο αυτόν, ενσωματώνεται η Οδηγία 94/62/ΕΟΚ στο Εθνικό Δίκαιο, και καθορίζεται το πλαίσιο για την υλοποίηση προγραμμάτων ανακύκλωσης/επαναχρησιμοποίησης/αξιοποίησης συσκευασιών και άλλων προϊόντων (μπαταρίες, ηλεκτρονικά, ελαστικά κ.α.), με τη θέσπιση συγκεκριμένων ποσοτικών στόχους και χρονικών ορίων για την προσέγγισή τους. Ειδικά, τα σχετικά προεδρικά διατάγματα καθορίζουν τους επιμέρους όρους για το κάθε ρεύμα αποβλήτου. Ως σήμερα έχουν εκδοθεί τα Π.Δ. 82/2004, 109/2004, 115/2004, 116/2004, 117/2004 και 15/2006 για τα ορυκτέλαια, τα ελαστικά, τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές, τα οχήματα στο τέλος κύκλου ζωής τους και τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού αντίστοιχα. Μέχρι την έναρξη λειτουργίας του Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π. οι αρμοδιότητες που ανατίθενται σε αυτόν με το Νόμο 2939, ασκούνται από τη Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Για το σκοπό αυτό έχει συσταθεί το Γραφείο εναλλακτικής διαχείρισης Συσκευασιών/ άλλων προϊόντων, το οποίο υπάγεται στη Διεύθυνση Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού και στο οποίο έχει ανατεθεί η εποπτεία και ο έλεγχος εφαρμογής του Νόμου.

Το 2003 δημοσιεύεται η ΚΥΑ 37591/2031/2003 για τη διαχείριση των αποβλήτων από υγειονομικές μονάδες. Με βάση την παραπάνω ΚΥΑ, υποχρεούνται οι Υγειονομικές Μονάδες να εκπονήσουν Εσωτερικό Κανονισμό Διαχείρισης Επικινδύνων Ιατρικών Αποβλήτων ενώ απαιτείται και η παράλληλη ενεργοποίηση και συμμετοχή των Επιτροπών Υγιεινής και Ασφάλειας των ΥΜ, οι οποίες θα πρέπει να παίξουν καθοριστικό ρόλο τόσο στην ενημέρωση των εργαζομένων όσο και στην εποπτεία της ορθής λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης των ΕΙΑ. Την ίδια χρονιά δημοσιεύεται η ΚΥΑ 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης» για την πλήρη συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 91/156/ΕΟΚ. Στην προαναφερθείσα ΚΥΑ καθορίζονται οι στόχοι και οι αρχές της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, καθώς και οι προδιαγραφές του εθνικού (ΕΣΔΑ) αλλά και των περιφερειακών σχεδίων (ΠΕΣΔΑ) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων. Επιπλέον καθορίζονται οι υπόχρεοι φορείς για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων (ΦοΣΔΑ) καθώς και μέτρα για την αποκατάσταση και αξιοποίηση των χώρων διάθεσης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι με την προαναφερθείσα ΚΥΑ.



---

Οι πιο πρόσφατες νομοθετικές ρυθμίσεις αφορούν στη δημοσίευση της ΚΥΑ 13588/725/2006 «Μέτρα όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων», την έγκριση του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων (Υ.Α. 8668/2007) και τη δημοσίευση του Ν. 3536/2007 ο οποίος καθορίζει τη νομική μορφή των Φορέων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΦοΔΣΑ) και προβλέπει τη δημοσίευση κοινής υπουργικής απόφασης, η οποία θα εξειδικεύει οργανωτικά τους ζητήματα και ζητήματα τιμολογιακής πολιτικής. Θα πρέπει να σημειωθεί τέλος και ο Ν.3688/08, στο άρθρο 15 του οποίου συμπληρώνονται ορισμένες διατάξεις του Ν.33536/07 για τους ΦοΔΣΑ [i]

### **1.3 Προδιαγραφές Ποιότητας Κόμποστ στην ΕΕ και Διεθνώς**

Οι προδιαγραφές ποιότητας του κόμποστ διαφοροποιούνται από κράτος σε κράτος. Για αυτόν τον λόγο θεωρήθηκε σωστό να παρουσιάσουμε και να εξετάσουμε ποικίλα καθιερωμένα και δημοσιευμένα πρότυπα βασισμένα σε τρεις κύριες κατηγορίες που θεωρούνται θεμελιώδεις για το χαρακτηρισμό της ποιότητας. Αυτές οι κατηγορίες περιλαμβάνουν τη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, την συγκέντρωση επίμονων οργανικών ρύπων, το περιεχόμενο σε παθογόνους μικροοργανισμούς και το επίπεδο ωρίμανσης/σταθεροποίησης του κόμποστ.

#### **1.3.1 Πρότυπα για τα βαρέα μέταλλα**

Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους στην απόθεση του κόμποστ είναι η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων σε βαρέα μέταλλα καθότι αυτά μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και την ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα με το υπάρχον νομικό οι ακόλουθοι ρύποι θεωρούνται ως πιθανά τοξικά στοιχεία :

- Αρσενικό (As)
- Κάδμιο (Cd)
- Χρώμιο (Cr)
- Χαλκός (Cu)
- Υδράργυρος (Hg)
- Νικέλιο (Ni)
- Μόλυβδος (Pb)

---

➤ Ψευδάργυρος (Zn)

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα όρια σε βαρέα μέταλλα για διάφορες χώρες. Η Γερμανία μπορούμε να διακρίνουμε έχει τα πλέον αυστηρά κριτήρια.

**Πίνακας 1.7** Όρια βαρέων μετάλλων για τα ευρωπαϊκά πρότυπα κόμποστ (mg/kg ξηρής ύλης εκτός από όπου δηλώνεται) [10]

Χώρα	Κανονισμός	Τύπος προτύπων	Cd	Crtot	CrVI	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
<b>Αυστρία</b>	Ποιοτική κατηγορία A+ (οργανική καλλιέργεια)	νομικό διάταγμα	0.7	70	-	70	0.4	25	45	200	-
	Ποιοτική κατηγορία A (καλλιέργεια κήπου)		1	70	-	150	0.7	60	120	500	-
	Ποιοτική κατηγορία B (διαμόρφωση χώρου, αποκατάσταση)		3	250	-	500	3	100	200	1800	-
	Ποιοτική κατηγορία B (διαμόρφωση χώρου, αποκατάσταση)					400				1200	
<b>Βέλγιο</b>	Υπουργείο γεωργίας	νομικό διάταγμα	1.5	70	-	90	1	20	120	300	-
<b>Δανία</b>	Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Κανονισμός Νο 49 «Εφαρμογή προϊόντων από απορρίμματα για γεωργική χρήση»)	νομικό διάταγμα	0.8			1000	0.8	30	120/60 για ιδιωτικούς κήπους	4000	25
<b>Φινλανδία</b>	Αποφάσεις του Υπουργείου Γεωργίας και Δασών (46/94)	νομικό διάταγμα	3	-	-	600	2	100	150	1500	50
<b>Γαλλία</b>	Κανονισμός NF U 44 051 για εδαφοβελτιωτικά	νομικό διάταγμα	3				8	200	800		
<b>Γερμανία</b>	Εξασφάλιση ποιότητας RAL GZ	Εθελοντική συμφωνία (QAS)	1.5	100	-	100	1	50	150	400	-
	Διάταξη για οργανικά απορρίμματα (κατηγορία I)	νομικό διάταγμα	1	70		70	0.7	35	100	300	-
	Διάταξη για οργανικά απορρίμματα (κατηγορία I)		1.5	100	-	100	1	50	150	400	-
<b>Ελλάδα</b>	Πλαίσιο προδιαγραφών και γενικά προγράμματα για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων	νομικό διάταγμα	10	510	10	500	5	200	500	2000	15
<b>Ιρλανδία</b>	Χορήγηση αδειών των εργοστασίων επεξεργασίας όπως συμφωνείται με EPA	εθελοντικά	1.5	100	-	100	1	50	150	350	15

	Κατηγορία I	εθελοντικά	1	100	-	100	1	50	100	200	
	Κατηγορία II	εθελοντικά	1.5	150	-	150	1	75	150	400	
<b>Ιταλία</b>	Τεχνικός κανονισμός, DCI 27/07/84 (MSWC) - οριακές τιμές για το στερεό οργανικό μέρος	νομικό διάταγμα	10	500	10	600	10	200	500	2500	10
	Σχέδιο διατάγματος στη χρήση της ποιότητας MBTC	σχέδιο νόμου	3	-	3	300	3	100	280	1000	-
	Νόμος σχετικά με τα λιπάσματα (L 748/84 amd: 03/98) BWC/GC/SSC	νομικό διάταγμα	1.5	-	0.5	150	1.5	50	140	500	
<b>Λουξεμβούργο</b>	Χορήγηση αδειών για εγκαταστάσεις		1.5	100	-	100	1	50	150	400	-
<b>Ολλανδία</b>	κόμποστ	νομικό διάταγμα	1	50	-	60	0.3	20	100	200	15
	κόμποστ (παλύ καθαρό)		0.7	50	-	25	0.2	10	65	75	5
<b>Πορτογαλία</b>	Κανονισμός για ιλύς	νομικό διάταγμα	20	1000		1000	16	300	750	2500	-
<b>Ισπανία</b>	Κανονισμός 1310/1990 pH>7 (χρήση ιλύς στη γεωργία)		40	1500	-	1750	25	400	1200	4000	-
	Κανονισμός 1310/1990 pH<7 (χρήση ιλύς στη γεωργία)		20	1000	-	1000	16	300	750	2500	-
	Διαταγή 28/V/1998 σχετικά με το λίπασμα ΒΟ.Ε.η'μ.131.2 Ιουνίου 1998	νομικό διάταγμα	10	400	-	450	7	120	300	1100	-
<b>Ισπανικό σχέδιο για την κομποστοποίηση</b>	Κατηγορία AA	Εν εξελίξη νομικό διάταγμα	2	250	-	300	2	100	150	400	-
	Κατηγορία A (σταθεροποιημένο απόβλητο)	Εν εξελίξη νομικό διάταγμα	5	400	-	450	5	120	300	1100	-
<b>Σχέδιο της Catalunya στη κομποστοποίηση</b>	Κατηγορία A	Εν εξελίξη νομικό διάταγμα	2	100	0	100	1	60	150	400	-
	Κατηγορία B (σταθεροποιημένο απόβλητο)	Εν εξελίξη νομικό διάταγμα	3	250	0	500	3	100	300	1000	-
<b>Σουηδία</b>	Τιμές οδηγίας QAS	Εθελοντικά	1	100	-	100	1	50	100	300	

<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	«Συμβουλευτική Επιτροπή για τη θέσπιση προτύπων στο κόμποστ» (ACOS)	νομικό διάταγμα (ΕΚ κανονισμός 2092/91)	0.7	70	0	70	0.4	25	45	200	-
	BSI PAS 100:2005	Εθελοντική συμφωνία	1.5	100	-	200	1	50	200	400	-
<b>Καναδάς</b>	BNQ τύποι AA και A,		3	210	-	100	0.8	62	150	500	13
	CCME κατηγορία A		3	210	-	400	0.8	62	150	700	13
	BNQ τύποι B, CCME κατηγορία B και AAFC		20	1060*		757*	5	180	500	1850	75
<b>ΗΠΑ</b>	Κανονισμός EPA CFR40/503 για ιλύς		39	κανένα ανώτατο όριο	-	1500	17	420	300	2800	41
	Νέας Υόρκη - Κατηγορία I		10	100	-	1000	10	200	250	2500	-
	Ουάσιγκτον – Βαθμός A		10	600	-	750	8	210	150	1400	20
	Ουάσιγκτον – Βαθμός AA		39	1200	-	1500	17	420	300	2800	20
	Τέξας - Βαθμός 1 Compost		16	180	-	1020	11	160	300	2190	10
	Τέξας - Βαθμός 2 Compost		39	1200	-	1500	17	420	300	2800	41
	Παλιότητα κόμποστ στο ινστιτούτο Rodale		4	100	-	300	0.5	50	150	400	10
<b>Αυστραλία</b>	NRMMC ανώτατα όρια κατηγορίας C1		1	100-400		100-200	1	60	150-300	200-250	20
	NRMMC ανώτατα όρια κατηγορίας C2 κόμποστ		20	500-3000		2500	15	270	420	2500	60
<b>Νέα Ζηλανδία</b>	Τιμές DoH (1992)		15	1000	-	1000	10	200	600	2000	-
<b>Ευρωπαϊκή Κοινότητα (ΕΚ)</b>	βιολογική διαχείριση βιολογικών αποβλήτων (κατηγορία 1)	Εν εξελίξει νομικό διάταγμα	0.7	100		100	0.5	50	100	200	
	βιολογική διαχείριση βιολογικών αποβλήτων (κατηγορία 2)		1.5	150		150	1	75	150	400	
	Σταθεροποιημένα βιολογικά απορρίμματα**		5	600		600	5	150	500	1500	
<b>ΕΚ/οικολογικό - σήμα'</b>	2001/688/ΕΚ	εθελοντικά	1	100		100	1	50	100	300	10

---

ΕΚ/οικολογική - γεωργία'	2092/91 EC-1488/97 ΕΚ	εθελοντικά	0.7	70	0	70	0.4	25	45	200	
-----------------------------	-----------------------	------------	-----	----	---	----	-----	----	----	-----	--

\* Θέστε στα πρότυπα BNQ μόνο

\*\* Ομαλοποιημένος σε ένα περιεχόμενο οργανικής ουσίας 30%

---

### 1.3.2 Πρότυπα για τους οργανικούς ρύπους στο κόμποστ

Χιλιάδες χημικές ενώσεις εμπεριέχονται σε προϊόντα και υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως στη καθημερινή μας ζωή. Πολλές από αυτές είναι μολυσματικές αν και λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης ή της ευκολίας να διασπαστούν από τους μικροοργανισμούς δεν προκαλούν απειλή στο περιβάλλον. Εντούτοις, υπάρχουν μερικές οργανικές ενώσεις που δεν διασπώνται εύκολα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας αποβλήτων και τείνουν να συσσωρεύονται αποτελώντας πηγή ανησυχίας λόγω της τοξικότητάς τους. Υπάρχουν τρεις κύριοι λόγοι γιατί μια οργανική ένωση πρέπει να αντιμετωπίζεται:

(α) Η αποδόμηση από τους μικροοργανισμούς της σχετικής ένωσης είναι αργή (από μερικούς μήνες έως πολλά έτη) και επομένως υπάρχει κίνδυνος συγκέντρωσης στο χώμα

(β) Η οργανική ένωση μπορεί να συσσωρευτεί στα ζώα και επομένως θέτει μια σοβαρή απειλή στον άνθρωπο

(γ) Τα προϊόντα αποδόμησης της οργανικής ένωσης είναι τοξικότερα από την αρχική ένωση.

Σχετικά με τους οργανικούς ρύπους στο κόμποστ, για την ώρα στην ΕΕ μόνο Αυστρία, Δανία και Λουξεμβούργο φαίνεται να ανησυχούν και έτσι έχουν θεσπίσει τα όρια που βλέπουμε στον πίνακα 1.9

Ο Καναδάς δηλώνει ότι δεν υπάρχει κανένας ισχυρός λόγος να συνυπολογισθούν τα όρια οργανικών μολυσματικών παραγόντων στα πρότυπα του κόμποστ και ότι οι οργανικοί μολυσματικοί παράγοντες πρέπει να εξεταστούν για την τυποποίηση του λιπάσματος μόνο στην περίπτωση που πληροφορίες ή επιστημονικά συμπεράσματα το δικαιολογούν.

Στις ΗΠΑ, το ζήτημα της απαγόρευσης των χημικών ουσιών που εισάγονται στο κόμποστ εστιάζεται σε ορισμένα ζιζανιοκτόνα των οποίων ο ρυθμός βιοαποδόμηση είναι πολύ χαμηλός.

**Πίνακας 1. 7** Οριακές τιμές για οργανικούς ρύπους και φυτοφάρμακα στο κόμποστ [10]

	<b>Αυστρία MSWC<sup>1</sup></b>	<b>Δανία κόμποστ από βιοαπορρίμματα</b>	<b>Τιμές Λουξεμβούργου για το φρέσκο και ωριμασμένο κόμποστ</b>	<b>Αυστραλία NRMMC</b>
<b>PCB<sup>2</sup></b>	1 mg/kg dm		0.1 mg/kg ξ.ο. (4 αναλύσεις το χρόνο)	0.05-0.3 mg/kg ξ.ο.
<b>PCCD/F<sup>3</sup></b>			20 mg/kg ξ.ο. (4 αναλύσεις το χρόνο)	
<b>Διοξίνες</b>	50 ng ITEQ/kg ξ.ο.			
<b>PAH<sup>4</sup></b>	6 mg/kg din	3 mg/kg ξ.ο.	10 mg/kg ξ.ο. (2 αναλύσεις το χρόνο)	
<b>AOX<sup>5</sup></b>	500 mg/kg			
<b>Υδρογονάνθρακες</b>	3000 mg/kg			
<b>LAS<sup>6</sup></b>		1300 mg/kg ξ.ο.		
<b>NPE<sup>7</sup></b>		30 mg/kg ξ.ο.		
<b>DEHP<sup>8</sup></b>		50 mg/kg ξ.ο.		
<b>OCPs<sup>9</sup></b>				0.02-0.05
<b>DDT/DDD/DDE<sup>10</sup></b>				0.5 mg/kg dm

### 1.3.3 Πρότυπα για την περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς, ακαθαρσίες και ζιζάνια

Η πιο καθοριστική παράμετρος που επηρεάζει τον ρυθμό μείωσης των παθογόνων οργανισμών στο τελικό κόμποστ είναι το επίπεδο καθώς και η διάρκεια της θερμοκρασίας κατά την κομποστοποίηση της οργανικής ύλης.

**Πίνακας 1. 8** Ζεύγη θερμοκρασίας/χρόνου για την αποστείρωση [10]

<sup>1</sup> Κόμποστ που παράγεται από αστικά απορρίμματα μόνο

<sup>2</sup> Πολυχλωριωμένα διφαινύλια

<sup>3</sup> Πολυχλωριωμένο διβενζοφουράνιο

<sup>4</sup> Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες

<sup>5</sup> Απορροφήσιμα οργανικά αλόγονα

<sup>6</sup> Άλατα των αλκυλοβενζολοσουλφονικών οξέων

<sup>7</sup> nonylphenol

<sup>8</sup> Φθαλικός διεστέρας

<sup>9</sup> Οργανοχλωρικά φυτοφάρμακα

<sup>10</sup> Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane/ Dichloro – Diphenyl- Dichloroethane/ Dichloro – Diphenyl - Dichloroethylene



Χώρα	Ελάχιστη θερμοκρασία °C	Μέρες
Αυστρία		
Βέλγιο	60	4
Δανία	55	14
Γαλλία	60	4
Γερμανίας	55	14
	60 (in-vessel)	7
	65 (not in-vessel)	7
Ιταλία	55	3
Ολλανδία	55	4
Σουηδία	55-77, εξαρτάται από το προς κομποστοποίηση υλικό	
Ηνωμένο Βασίλειο	60 (δεν απαιτείται αλλά στοχεύεται να προσεγγιστεί)	Υπάρχει χρονική περίοδος για την διεργασία αλλά ανεξάρτητη της θερμοκρασίας
Καναδάς (CCME)	55	3 in-vessel 15 for windrow 3 for aerated static pile
ΗΠΑ	55	5 in vessel 15 for windrow
Αυστραλία	55	απαιτήσεις για τρεις στροφές του σωρού με εσωτερική θερμοκρασία που φθάνει τους 55°C για 3 ημέρες πριν από κάθε στροφή
Νέα Ζηλανδία	55	3
Εν εξελίξη νομικό διάταγμα στη ΕΚ για τα βιοαπορρίμματα	55 windrow composting 65 windrow composting 60 in-vessel composting	14 (5στροφές) 1 εβδομάδα (2 στροφές)

Για την παρουσία ζιζανίων, δεν υπάρχει ομοιόμορφη εικόνα μεταξύ των χωρών. Εκείνες οι χώρες με τα αναπτυγμένα συστήματα - Αυστρία και Γερμανία - έχουν πρότυπα σε νομική βάση, όπως και το Βέλγιο. Η Σουηδία, η Ολλανδία, η Δανία και το Ηνωμένο Βασίλειο έχουν εθελοντικά πρότυπα σε ισχύ.

**Πίνακας 1. 9** Απαιτήσεις σχετικά με τα παθογόνα, τις ακαθαρσίες και τα ζιζανία σε διάφορες χώρες [10]

	<b>Παρουσία παθογόνων</b>	<b>Παρουσία ακαθαρσιών</b>	<b>Παρουσία ζιζανίων</b>
<b>Αυστρία</b>	Νομοθετημένο, εξαρτώμενο από τον τομέα της εφαρμογής	Νομοθετημένο, ακαθαρσίες >2mm, agric: max. 0.5%; non food: max. 1.0%	Νομοθετημένο, για κηπευτική χρήση: μέγιστο όριο είναι 3 φυτά/λίτρο
Βέλγιο Φλαμανδική περιοχή	Νομοθετημένο, έμμεσος έλεγχος διεργασίας	Νομοθετημένο, πέτρες >5 mm, max. 2%, ακαθαρσίες >2mm, max. 0.5%	Νομοθετημένο, κανένας σπόρος ζιζανίων δεν επιτρέπεται
<b>Βέλγιο Waloonia</b>	Νομοθετημένο, έμμεσος έλεγχος διεργασίας	Νομοθετημένο, πέτρες >5 mm, max. 2%, ακαθαρσίες >2mm, max. 0.5%	Νομοθετημένο κανένας σπόρος ζιζανίων δεν επιτρέπεται
<b>Βέλγιο Βρυξέλλες</b>	Νομοθετημένο, έμμεσος έλεγχος διεργασίας	Νομοθετημένο, πέτρες >5 mm, max. 2%, ακαθαρσίες >2mm, max. 0.5%	Νομοθετημένο, κανένας σπόρος ζιζανίων δεν επιτρέπεται
<b>Δανία</b>	Νομοθετημένο	Νομοθετημένο πλαστικό, μέταλλο, γυαλί >2 mm δε μπορεί να υπερβεί το 0.5% βάρος επί ξηράς ουσίας	Εθελοντικά : Πολύ χαμηλά όρια (<0.5 σπόροι και μέρη φυτού /1), σημαντικά(0.5-2/1), Μεγάλο περιεχόμενο (>2/1)
<b>Φινλανδία</b>	Μόνο με παρατήρηση απουσίας παθογόνων	Νομοθετημένο: max 0.5% fin	Όχι
<b>Γαλλία</b>	Νομοθετημένο, κανένας επιβλαβής μικροοργανισμός που μπορεί να επηρεάσει το άτομο, τα ζώα ή το περιβάλλον	Ναι	Όχι
<b>Γερμανία</b>	Νομοθετημένο, έλεγχος διεργασίας της κομποστοποίησης και εξέταση του τελικού προϊόντος	Νομοθετημένο, <0.5% βάρος επί ξ.ο. σε πλαστικό γυαλί και μέταλλο πέτρες μεγέθους >5mm και <5% βάρος επί ξ.ο.	Νομοθετημένο, Για χρήση κόμποστ σε γλάστρες μέγιστο όριο είναι <0.5 φυτά/λίτρο
<b>Ελλάδα</b>	Νομοθετημένο, κανένα εντεροβακτήριο δεν πρέπει να είναι ανιχνεύσιμο	Πλαστικό <0.3% βάρος επί ξ.ο, γυαλί <0.5% βάρος επί ξ.ο	Όχι
<b>Ιρλανδία (χορήγηση Χορήγηση αδειών</b>	(καθεστώς χορήγησης αδειών) για τα παθογόνα ανθρώπων και εγκαταστάσεων	<1.5% βάρος επί ξ.ο. και >25 mm r	Όχι
<b>Ιταλία</b>	Νομοθετημένο	νομοθετημένο, πλαστικά (<10 mm): <0.5% βάρος επί ξ.ο.; αδρανή υλικά (<10mm):<1% βάρος επί ξ.ο αδρανή υλικά (>10mm):απόντα	Νομοθετημένο, Ο νόμος χρήσης λιπασμάτων απαιτεί την απουσία ζιζανίων
<b>Λουξεμβούργο Χορήγηση αδειών</b>	Νομοθετημένο, έλεγχος διεργασίας της κομποστοποίησης	Νομοθετημένο, πλαστικό, γυαλί, μέταλλο (>2mm)	Νομοθετημένο, μέγιστο 2 σπόροι/λίτρο

	και εξέταση του τελικού προϊόντος	<0.5% βάρος επί ξ.ο; πέτρες(>5mm) <5% βάρος	
<b>Ολλανδία</b>	Εθελοντικές δοκιμές προϊόντων	Εθελοντικά, Γυαλί (>2mm) <0.2% βάρος επί ξ.ο, πέτρα (>5mm) <2% βάρος επί ξ.ο, glass (>16m) absent???	Εθελοντικά, μέγιστο όριο είναι 2 σπόροι ή φυτά/λίτρο
<b>Πορτογαλία</b>	Όχι	Όχι	Όχι
<b>Ισπανία</b>	Νομοθετημένο product test	Νομοθετημένο πλαστικά μέρια και άλλα αδρανή δεν πρέπει να είναι πάνω από 10 mm.	Νομοθετημένο, ναι
<b>Σουηδία</b>	Εθελοντικά product test	Εθελοντικά πλαστικό, γυαλί, μέταλλο (>2mm) <0,5% dm	Εθελοντικά, 82 ανα λίτρο
<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	Εθελοντικά, Salmonella spp πρέπει να είναι απύσαστα στα 25gr φρέσκιας μάζας και το ανώτατο όριο Escherichia coli είναι 1000 CFUgr <sup>-1</sup>	Εθελοντικά, Για το συνολικό γυαλί, μέταλλο, πλαστικό και οποιαδήποτε μη-πέτρινα τεμάχια >2mm το ανώτατο όριο είναι 0.5 % m/m ξ.ο εκ της οποίας 0.25 είναι πλαστικό Για πέτρες >4mm το ανώτατο όριο είναι 8% m/m ξ.ο.	Εθελοντικά, Δεν επιτρέπεται η ανάπτυξη ζιζανίων

Καναδάς	<p><b>CCME</b> (νομοθετημένο) Συγκεκριμένη θερμοκρασία – χρόνος κομποστοποίησης για τα απόβλητα αιχλής σύμφωνα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία λιπασματοποίησης. (I) Το κόμποστ πρέπει να έχει: Περιπτωματικά κολοβακτηριδία &lt;1000MPN / g ολικά στερεά υπολογιζόμενα επί ξηρού βάρους, όχι Salmonella sp. Ανιχνεύσιμο επίπεδο &lt; 3 MPN / 4g ολικά στερεά υπολογιζόμενα επί ξηρού βάρους. (II) Το κόμποστ των οργανικών αποβλήτων εκτός από της αιχλής πρέπει να έχει: Fecal coliforms &lt; 1000 MPN / g ολικά στερεά υπολογιζόμενα επί ξηρού βάρους, ή όχι Salmonella sp. Με επίπεδο ανίχνευσης &lt; 3 MPN / 4 ολικά στερεά υπολογιζόμενα επί ξηρού βάρους.</p> <p><b>BNQ</b> (Εθελοντικά) θέτει όρια για faecal coliforms και απουσία της Salmonellae</p>	<p>CCME (Νομοθετημένο) και BNQ (εθελοντικά) Ξένη ύλη ορίζεται αυτή που ξεπερνά τα 2 mm προερχόμενη από ανθρώπινη παρέμβαση και είναι οργανικά ή ανόργανα συστατικά όπως μέταλλο γυαλί και πολυμερή τα οποία μπορούν να είναι παρόντα στο κόμποστ αποκλείοντας τα ορυκτά χώματα ξύλα και πέτρες.</p>	Όχι
ΗΠΑ	Νομοθετημένο - product test	όχι	Όχι
Αυστραλία	Κανόνες και οδηγίες	<p>Εθελοντικά  Γυαλί, μέταλλο και άκαμπτα πλαστικά &gt;2 mm  50.5%dm; Πλαστικά εύκαμπτα &gt;5 mm, 80.05% dm;  Πέτρες 85% dm Οι προμηθευτές και οι πελάτες ενθαρρύνονται να συμφωνήσουν σε ένα αποδεκτό ανώτατο όριο της οπτικής μόλυνσης από το ελαφρύ πλαστικό</p>	όχι
Νέα Ζηλανδία	Εθελοντικά	Να διαπερνά 100% 15mm x 15mm κόσκινο	όχι

**Μορφοποιήθηκε:** Γραμματοσειρά: Arial, 12 pt

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

### 2.1 Γενικά για την κομποστοποίηση

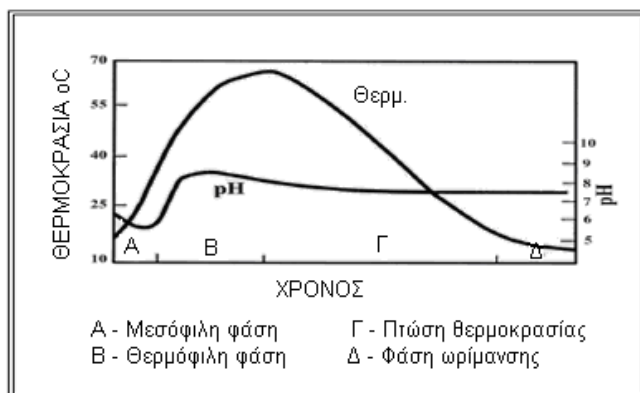
Ο όρος κομποστοποίηση (composting) αναφέρεται στη βιολογική διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού). Το τελικό προϊόν είναι σταθεροποιημένο και μπορεί να διατεθεί, χωρίς να έχει ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η φράση « αποδομείται βιολογικά » διαφοροποιεί την εν λόγω μέθοδο από τις άλλες μεθόδους διαχείρισης ΣΑ. Ο όρος « οργανικό κλάσμα » έχει να κάνει με τη βιολογική αποδόμηση. Γενικά μόνο τα βιολογικής προέλευσης υλικά να βιοαποδομηθούν. Η φράση « ελεγχόμενες συνθήκες » είναι ίσως η πιο σημαντική από τις φράσεις – κλειδιά, καθότι διαφοροποιεί τη κομποστοποίηση από τη βιολογική αποδόμηση που λαμβάνει χώρα στη φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων. [14]

Κατά την έναρξη της βίο-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 αποδόμηση κατά την φάση αυτή πραγματοποιείται από θερμοφιλα είδη βακτηρίων, η δράση των οποίων δεν επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες (>60 °C) και τις αυξημένες τιμές του pH (8.0). Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του υλικού αυξάνεται ταχύτατα και μέσα σε λίγες μέρες μπορεί να φθάνει μέχρι και τους 70 °C.[15]

Οι ενώσεις του αζώτου κατά την θερμοφιλή φάση αποδομούνται σχεδόν πλήρως και ταχύτατα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην παραγωγή σημαντικών ποσών αμμωνίας που ανεβάζουν τις τιμές του pH σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Η εξέλιξη της θερμοκρασίας και του pH παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1. Καθώς μειώνεται η διαθεσιμότητα των εύκολα αποδομήσιμων πηγών άνθρακα, εμφανίζονται θερμοφιλοι μύκητες-ακτινομύκητες, οι

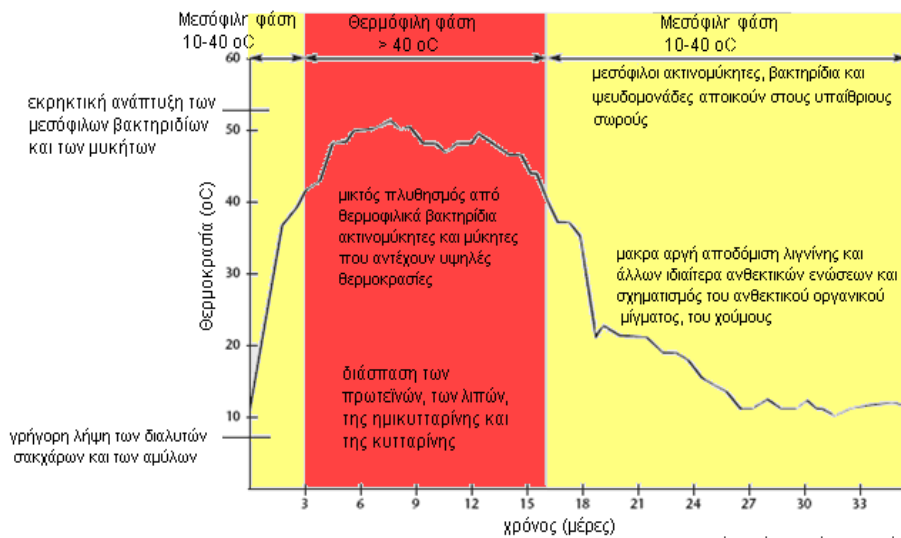
οποίοι αποδομούν ημικυτταρίνες και κυτταρίνες. Αντίθετα η λιγνίνη δεν αποδομείται σε θερμοκρασίες άνω των 65 °C. Η αποδόμησή της συντελείται αργότερα σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες (<50 °C), όταν επικρατούν πλέον οι λιγνολυτικοί μύκητες.



**Σχήμα 2. 1**Τυπική κατανομή θερμοκρασίας και pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης [16]

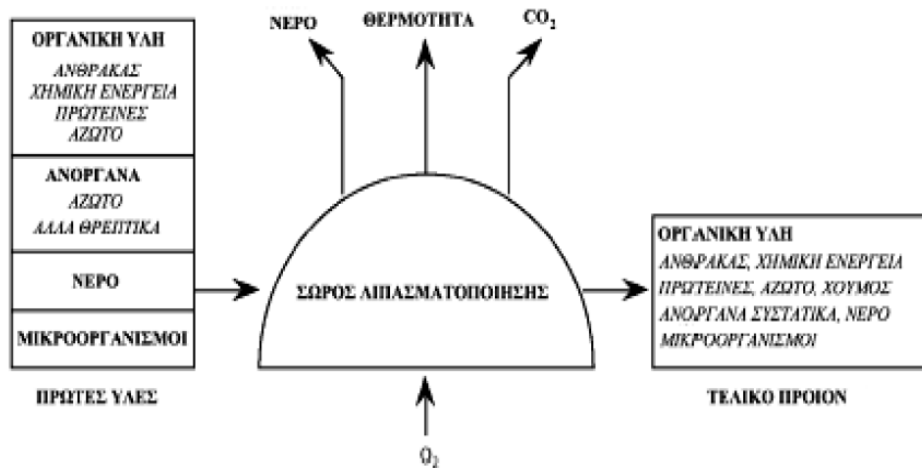
Καθώς μειώνεται η θερμοκρασία ακολουθεί ένας δεύτερος κύκλος μικροβιακής δραστηριότητας όπως φαίνεται κ στο σχήμα 3.2, στον οποίο επικρατούν οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, κυρίως μύκητες που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, οι οποίοι χρησιμοποιούν την κυτταρίνη που έχει απομείνει από το στάδιο της θερμόφιλης φάσης καθώς και 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 διεργασίας εξακολουθεί να μειώνεται.

Με το πέρας της δεύτερης μεσόφιλης φάσης το υλικό έχει πλέον αλλάξει την αρχική του μορφή, δομή και σύσταση. Το επόμενο στάδιο είναι η ωρίμανση του υποστρώματος η οποία είναι μία βίο-οξειδωτική βραδεία διαδικασία, η οποία μπορεί να διαρκέσει και μερικούς μήνες. Η φάση της ωρίμανσης δεν έχει την ένταση των προηγούμενων δύο φάσεων και πραγματοποιείται από μία μικτή μεσόφιλη μικροβιακή χλωρίδα.



Σχήμα 2. 2 Τα θερμοκά στάδια κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης [16]

Τα τελικά προϊόντα που προκύπτουν από τη διαδικασία της κομποστοποίησης απεικονίζονται στο σχήμα 3.3 και είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), το νερό ( $H_2O$ ) και η σταθεροποιημένη οργανική ύλη πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία.



Σχήμα 2. 3 Ισοζύγιο της διεργασίας της κομποστοποίησης [14]

---

## 2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση

Οι παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης είναι τόσο βιολογικοί όσο και χημικοί. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι οι εξής:

- Η διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων
- Η σχέση άνθρακα / αζώτου
- Το ποσοστό υγρασίας
- Το pH
- Η θερμοκρασία
- Ο αερισμός
- Η παρουσία τοξικών (π.χ. τοξικά μέταλλα)

Αναλυτικότερα για της παραπάνω παραμέτρους αναφέρονται στις παρακάτω παραγράφους

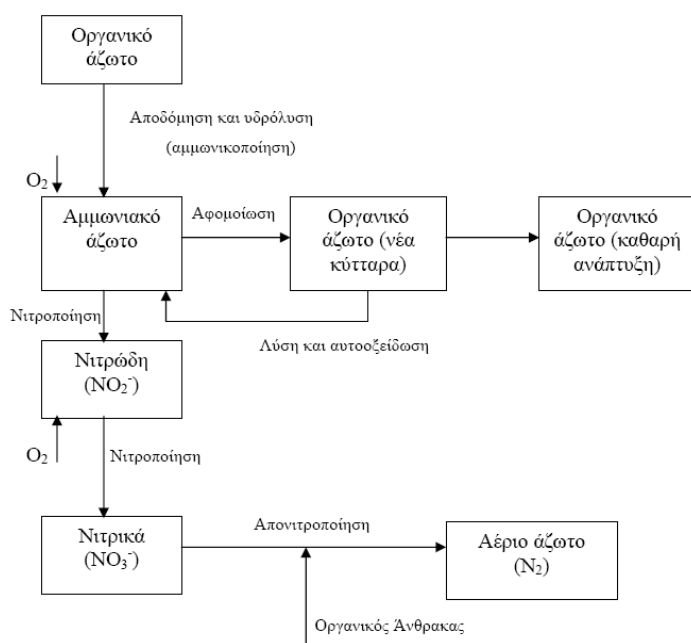
### 2.2.1 Διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων

Προκειμένου να γίνει σωστά η διεργασία της κομποστοποίησης, οι μικροοργανισμοί πρέπει να τροφοδοτηθούν με τα απαραίτητα θρεπτικά σε κατάλληλη αναλογία. Τα βασικότερα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί σε μεγάλες ποσότητες είναι κατά σειρά προτεραιότητας ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), και το κάλιο (K). Έλλειψη ή περίσσεια τους επιβραδύνει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης.

Ο άνθρακας χρησιμοποιείται ως βασική πηγή ενέργειας από τους μικροοργανισμούς αλλά και για να συνθέσουν τις πρωτεΐνες σε συνδυασμό με το άζωτο, να σχηματίσουν τα κύτταρα και να εξασφαλίσουν την αναπαραγωγή τους. Το κάλιο και ο φώσφορος είναι βασικά συστατικά για την κυτταρική διαίρεση και το μεταβολισμό. Σε ένα σύστημα



κομποστοποίησης ο άνθρακας ή το άζωτο είναι συνήθως οι περιοριστικοί παράγοντες για μια αποτελεσματική αποσύνθεση. Αν το άζωτο γίνει περιοριστικός παράγοντας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, η διαδικασία της αποσύνθεσης θα επιβραδυνθεί. Αντίθετα αν υπάρχει περίσσια αζώτου, συχνά χάνεται από το σύστημα ως αμμωνία (σε μορφή αερίου) ή άλλες αζωτούχες ενώσεις.



**Σχήμα 2. 4** Μετασχηματισμοί αζώτου σε συστήματα βιολογικής επεξεργασίας [17]

Οι μικροοργανισμοί επίσης χρειάζονται ιχνοστοιχεία, όπως βόριο, κοβάλτιο, σίδηρο, μαγνήσιο, μολυβδένιο, σελήνιο, νάτριο, ψευδάργυρο. Ενώ αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι βασικά για τη διατήρηση της ζωής τους, συγκεντρώσεις έστω λίγο μεγαλύτερες από τις ενδεδειγμένες μπορεί να είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς.

Ακόμα και αν υπάρχουν τα απαραίτητα θρεπτικά σε επαρκείς ποσότητες, η χημική τους σύσταση μπορεί να μην τα καθιστά διαθέσιμα σε ορισμένους ή όλους τους μικροοργανισμούς. Η ικανότητα της χρησιμοποίησης των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από τα ένζυμα του κάθε μικροοργανισμού.

### 2.2.2 Σχέση άνθρακα / αζώτου

Για την αποτελεσματική εφαρμογή της διεργασίας της κομποστοποίησης ο λόγος C/N πρέπει να είναι περίπου 30:1 (έχουν, όμως, αναφερθεί και ιδανικές αναλογίες κοντά στο 15:1). Μεγάλες διαφοροποίησης ως προς το λόγο αυτό επιδρούν αρνητικά στην εξέλιξη της μεθόδου. Για παράδειγμα αν η αναλογία C/N είναι μεγαλύτερη από 35:1 τότε προκαλείται μια αργή αποσύνθεση που ευνοεί μεγαλύτερες απώλειες αζώτου. Σ' αυτή την περίπτωση οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται σε διαδοχικούς βιολογικούς κύκλους, οξειδώνοντας αργά το πλεόνασμα του άνθρακα μέχρι να φέρουν το λόγο σε ευνοϊκές συνθήκες για το μεταβολισμό τους. Αν σε αντίθετη περίπτωση το αρχικό οργανικό υλικό παρουσιάζει πάρα πολύ χαμηλές τιμές C/N ευνοούνται απώλειες αζώτου λόγω πτητικότητας της αμμωνίας.

Πίνακας 2. 1 Πηγές αζώτου και άνθρακα

Πηγή αζώτου, (N)	Πηγή άνθρακα, (C)
γκαζόν	φύλλα
κλαδέματα	φλούδες κορμών
φρούτα και λαχανικά	άχυρο
οικιακά φυτά	πριονίδι
κοπριά	χαρτί κουζίνας, χαρτοπετσέτες
απορρίμματα κουζίνας, κατακάθια καφέ	Στέλεχος καλαμποκιού

### 2.2.3 Υγρασία

Η παρουσία του νερού παίζει σημαντικό ρόλο στην κομποστοποίηση. Όταν το ποσοστό υγρασίας είναι χαμηλό οδηγούμαστε σε επιβράδυνση ή αναστολή των βιολογικών διεργασιών, φαινόμενο που είναι εντονότερο στις περιπτώσεις που συνοδεύονται από πτώση της θερμοκρασίας.

---

Η υπερβολική υγρασία μειώνει την διάχυση του οξυγόνου στη μάζα του υλικού. Η υγρασία προσροφάτε αφενός στα σωματίδια λόγω των υδροφιλικών χαρακτηριστικών τους αλλά γεμίζει λόγω τριχοειδών φαινομένων τους μικρότερους πόρους δημιουργώντας έτσι ζώνες αναερόβιες. Μια επακόλουθη επίπτωση της μεγάλης υγρασίας είναι η δημιουργία οσμών λόγω της επικράτησης αναερόβιων συνθηκών σε μεγάλο τμήμα της μάζας των απορριμμάτων. Παρόλο που οι περισσότερες ενοχλητικές οσμές παράγονται από την αναερόβια δράση, και η ζύμωση παράγει διάφορες «γλυκές» όσμες π.χ αλκοόλες. [18]

Για τους λόγους αυτούς, τα προς κομποστοποίηση υλικά θα πρέπει να περιέχουν το κατάλληλο ποσοστό υγρασίας. Το βέλτιστο ποσοστό υγρασίας, για τη διεργασία της κομποστοποίησης, κυμαίνεται μεταξύ 45-55%.

#### **2.2.4 pH**

Οι τιμές του pH επηρεάζουν σημαντικά τις διεργασίες της κομποστοποίησης, αφού από τις τιμές αυτές εξαρτάται το είδος των μικροοργανισμών που θα αναπτυχθούν. Για παράδειγμα τα βακτήρια δραστηριοποιούνται σε ουδέτερο ή αλκαλικό περιβάλλον υπό αερόβιες συνθήκες (π.χ γένη *Bacillus*) και υπό αναερόβιες (π.χ γένη *Clostridium*). Αντίθετα σε  $pH < 5,5$  η διάσπαση των κυτταρινών, ημικυτταρινών κλπ γίνεται κυρίως από μύκητες και ακτινομύκητες (π.χ γένη *Aspergillus*). Τα συνήθη υλικά που οδηγούνται στην κομποστοποίηση παρουσιάζουν γενικά χαμηλό pH ενώ για την βελτιστοποίηση της διεργασίας το pH πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6,0 και 8,5.

Κατά τα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης σχηματίζονται οργανικά οξέα και το υπόστρωμα γίνεται όξινο, με pH γύρω στην τιμή 5. Σ' αυτό το σημείο οι μύκητες που αντέχουν το όξινο περιβάλλον κατέχουν ένα σημαντικό ρόλο στην αποσύνθεση. Οι μικροοργανισμοί στη συνέχεια διασπούν τα οξέα και η τιμή του pH αυξάνεται σταδιακά προς ουδέτερο εύρος, γύρω στο 7, ή ακόμα υψηλότερα σε αλκαλικό περιβάλλον λαμβάνοντας τιμές έως 8,5. Όσο η τιμή του pH αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και ο ρόλος

---

των βακτηρίων στην κομποστοποίηση. Αν η τιμή του pH παραμείνει σε όξινα επίπεδα, αυτό σημαίνει ότι το κόμποστ δεν είναι ακόμα ώριμο.

### **2.2.5 Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία θεωρείται ίσως η σημαντικότερη παράμετρος για τη διεργασία της κομποστοποίησης. Η μικροβιακή δραστηριότητα προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας η οποία πολλές φορές ξεπερνά τους 60 °C, οπότε γίνεται ανεπιθύμητη και λαμβάνονται μέτρα για την ελάττωση της (ύγρυνση των υλικών, βελτίωση του αερισμού, ανάδευση του κ.λ.π). Σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες αναστέλλεται η δραστηριότητα των περισσότερων μικροοργανισμών. Μία θερμοκρασία γύρω στους 50-60 °C είναι επιθυμητή για ένα χρονικό διάστημα επειδή οδηγεί σε μερική αποστείρωση του υλικού. Σε αυτή την θερμοκρασιακή περιοχή καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που ενδεχομένως υπάρχουν στα υλικά. Κατά την εξέλιξη της διεργασίας η βέλτιστη θερμοκρασία κομποστοποίησης στη μεσόφιλη περιοχή κυμαίνεται ανάμεσα στους 35-45 °C ενώ αν πέσει κάτω απ' τους 20 °C η αποδόμηση επιβραδύνεται [16]

### **2.2.6 Αερισμός**

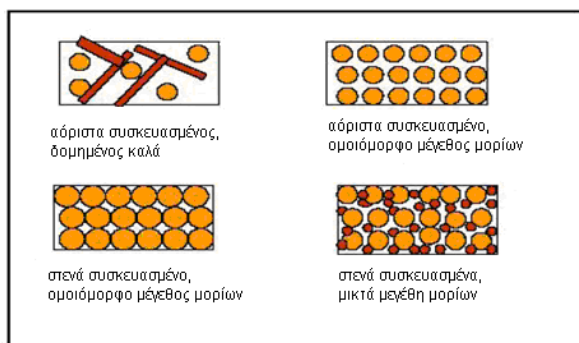
Η σημασία της παρουσίας του οξυγόνου κατά τη διάρκεια της διεργασίας της κομποστοποίησης είναι εύκολο να αναγνωρισθεί καθώς πρόκειται για μια αερόβια διεργασία και οι μικροοργανισμοί που δρουν χρειάζονται οξυγόνο για την διάσπαση των οργανικών ουσιών. Γι' αυτό το λόγο πρέπει στο υπόστρωμα να παρέχεται οξυγόνο είτε μέσω του ανάδευσης του υλικού είτε χρησιμοποιώντας δυναμικά συστήματα αερισμού.

Ο αερισμός έχει πολλές λειτουργίες κατά την διεργασία της κομποστοποίησης

- παρέχει οξυγόνο και βοηθά τον αερόβιο μεταβολισμό
- ελέγχει την θερμοκρασία
- απομακρύνει την υγρασία και αέρια προϊόντα του μικροβιακού μεταβολισμού όπως το CO<sub>2</sub> και άλλα.

### 2.2.7 Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν την κομποστοποίηση

Το μέγεθος των οργανικών υλικών: όταν τα οργανικά υλικά που πρόκειται να κομποστοποιηθούν είναι τεμαχισμένα σε μικρότερα κομμάτια τότε προσφέρεται μεγαλύτερη επιφάνεια στους μικροοργανισμούς να δράσουν και επίσης το οξυγόνο διαχέεται ευκολότερα σε όλη τη μάζα της οργανικής ύλης. Έτσι ευνοείται η αποσύνθεση και αποφεύγεται η ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών. Φυσικά το μέγεθος των υλικών δεν μπορεί να είναι πολύ μικρό, γιατί τότε είναι εξαιρετικά δύσκολο να έχει το σύστημα το απαραίτητο πορώδες. Το μέγεθος για κάθε υλικό εξαρτάται από την ικανότητά του να αποσυντίθεται. Για το μεγαλύτερο μέρος των λαχανικών και φρούτων το κατάλληλο μέγεθος ξεκινά από 2in (50mm) και ανάλογα με την ικανότητα αποσύνθεσης φτάνει μέχρι 6in (0,15m) ή και μεγαλύτερο.



Σχήμα 2. 5 Η επίδραση του πορώδους στον αερισμό. [19]

Οι καιρικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, ο άνεμος και η βροχή μπορούν να επηρεάσουν τη διεργασία της κομποστοποίησης. [20] βέβαια αυτά εξαρτάται και από τα συστήματα κομποστοποίησης που χρησιμοποιούνται (κλειστού, ανοιχτού τύπου).

### 2.3 Οργανικά υλικά κατάλληλα για κομποστοποίηση

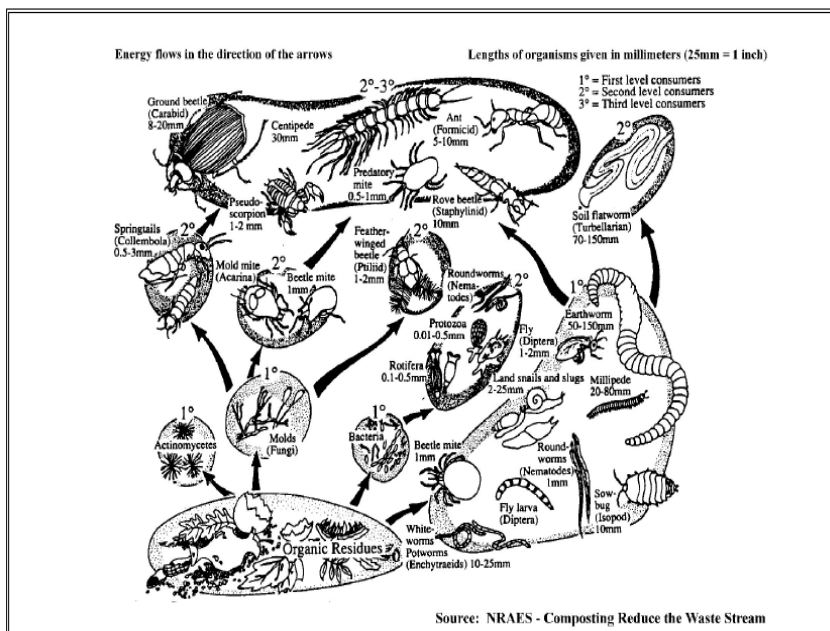
Τα βασικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων οργανικών υλικών που είναι διαθέσιμα για κομποστοποίηση αναλύονται παρακάτω :

- 
- **Μαλακά Οργανικά με μεγάλη περιεκτικότητα υγρασίας**, όπως λαχανικά, ρίζες, φρούτα, χλόη, μαλακά φύλλα και απορρίμματα κουζίνας. Η περιεχόμενη υγρασία μετατρέπεται σε ελεύθερο νερό με αποτέλεσμα ο σωρός να γίνεται όλο και πιο υγρός. Το νερό εμποδίζει τη διάλυση του οξυγόνου άρα η αερόβια διαδικασία μετατρέπεται σε αναερόβια με αποτέλεσμα την παραγωγή στραγγιδίων και οσμών. Ακατάλληλα για κομποστοποίηση από μόνα τους.
  - **Σκληρά οργανικά**, όπως φρέσκα φύλλα, και κλαδέματα κήπων. Μικρή περιεχόμενη υγρασία στο ολικό βάρος. Εύκολη κομποστοποίηση χωρίς παραγωγή στραγγιδίων. Μίγμα μαλακών και σκληρών οργανικών αποτελεί ιδεώδες υπόστρωμα για κομποστοποίηση.
  - **Κυτταρινούχα υλικά**, όπως ξύλο, πριονίδι, άχυρο, ξερά φύλλα, χαρτί. Τα υλικά αυτά έχουν κύρια συστατικά λιγνίνη και κυτταρίνη με πολύ μικρή υγρασία. Κομποστοποιούνται πολύ αργά ή καθόλου και μόνο με τη βοήθεια μυκήτων που όμως δεν αντέχουν τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κομποστοποίηση. Χρησιμεύουν κυρίως σαν πρόσθετο υλικό για να αυξήσουν το πορώδες και να διευκολύνουν τον αερισμό.
  - **Πρωτεϊνούχα υλικά**, όπως υπολείμματα τροφίμων, απόβλητα βιομηχανιών επεξεργασίας κρέατος, απόβλητα γαλακτοκομίας. Είναι υλικά ζωικής προέλευσης. Βιοαποικοδομούνται εύκολα αλλά δημιουργούν προβλήματα οσμών. Πρέπει να αποφεύγονται σε συστήματα ανοιχτής κομποστοποίησης.
  - **Απόβλητα ανθρώπων και ζώων**, όπως ιλύες βιολογικών καθαρισμών, κοπριές. Γίνεται διάκριση μεταξύ αποβλήτων σαρκοφάγων και φυτοφάγων ζώων. Τα πρώτα περιλαμβάνουν μικρόβια και παράσιτα που μπορεί να περάσουν στο τελικό προϊόν ενώ τα δεύτερα είναι πιο ακίνδυνα. Περιέχουν σημαντικές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου.
  - **Αστικά απορρίμματα**. Περιλαμβάνουν όλες τις παραπάνω κατηγορίες. Η κομποστοποίηση χωρίς προηγούμενη απομάκρυνση άλλων υλικών παράγει ένα προϊόν που είναι ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση. [12]

## 2.4 Ο ρόλος των μικροοργανισμών στην κομποστοποίηση

Μέσα στο σωρό του κόμποστ, αμέτρητοι οργανισμοί τρέφονται, αναπτύσσονται, αναπαράγονται και πεθαίνουν, μετατρέποντας τα οργανικά απόβλητα σε χρήσιμο και περιβαλλοντικά φιλικό, οργανικό λίπασμα.

Η πολύπλοκη τροφική αλυσίδα που εργάζεται στο κόμποστ έχει ως τροφική βάση τη νεκρή οργανική ύλη και ονομάζεται *σαπροφυτική αλυσίδα*. Υπάρχουν πολλοί μικροοργανισμοί που συμμετέχουν στην αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Οι περισσότεροι δεν είναι ορατοί από το ανθρώπινο μάτι. Ωστόσο αν και απαιτούνται πολλά διαφορετικά είδη μικροοργανισμών για την αποσύνθεση των διαφόρων συστατικών, η απαραίτητη ποικιλία συνήθως υπάρχει ήδη στα υλικά που πρόκειται να κομποστοποιηθούν και απλώς αναπτύσσονται όταν οι συνθήκες του περιβάλλοντος γίνουν κατάλληλες.



Σχήμα 2. 6 Σχηματική απεικόνιση του κύκλου δραστηριότητας των μικροοργανισμών σε οργανικό υλικό. [16]

---

Η οργανική ύλη καταναλώνεται από κάποια είδη ασπόνδυλων όπως σαρανταποδαρούσες (millipedes), οστρακόδερμα τάξης oniscoidea (sow bugs), σαλιγκάρια (snails) και γαστερόποδα γένους limacidae (slugs). Αυτά τα ασπόνδυλα τεμαχίζουν τα οργανικά υλικά δημιουργώντας περισσότερη διαθέσιμη επιφάνεια για να δράσουν στη συνέχεια οι μύκητες (fungi), τα βακτήρια (bacteria) και οι ακτινομύκητες (actinomycetes). Αυτά αποτελούν με τη σειρά τους τροφή για οργανισμούς όπως αραχνίδια τύπου acarina (springtails).

Πολλά είδη σκουληκιών τρώνε αποσυνθεμένα λαχανικά και μικρόβια και εκκρίνουν οργανικές ουσίες που εμπλουτίζουν το κόμποστ. Το δίκτυο των τούνελ που δημιουργούν στην οργανική ύλη βοηθά στον καλύτερο αερισμό του κόμποστ, ενώ καταναλώνοντας υλικό για να τραφούν αυξάνουν την επιφάνεια της οργανικής ύλης και διευκολύνουν τα μικρόβια να δράσουν. Όταν κάποιος απ' τους παραπάνω οργανισμούς πεθάνει, περισσότερη τροφή είναι διαθέσιμη για τους άλλους μικροοργανισμούς καθότι απελευθερώνουν το συσσωρευμένο άζωτο ανακυκλώνοντας τις μικρές αλλά πολύτιμες ποσότητες του. [21], [22]

Στο πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης, όπου οι θερμοκρασίες αυξάνονται από το επίπεδο των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος προς το θερμόφιλο επίπεδο, κυριαρχούν τα μεσόφιλα βακτήρια τα οποία πολλαπλασιάζονται γρήγορα, καθώς χρησιμοποιούν τις απλές διαθέσιμες οργανικές ενώσεις. Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 45°C οι μεσόφιλοι πληθυσμοί πεθαίνουν και κυριαρχούν τα θερμόφιλα βακτήρια όπως το γένος *Bacillus*. Οι υψηλές θερμοκρασίες στο στάδιο αυτό δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη στους ακτινομύκητες και τους μύκητες, γι' αυτό και απουσιάζουν.

Οι μύκητες οι οποίοι συναγωνίζονται με τα βακτήρια για την διαθέσιμη τροφή, παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της κομποστοποίησης καθώς το υπόστρωμα γίνεται ξηρότερο, αφού οι μύκητες είναι ανθεκτικότεροι σε συνθήκες με χαμηλά ποσοστά υγρασίας από ότι τα βακτήρια. Οι μύκητες έχουν την ικανότητα να διασπούν τις σύνθετες ενώσεις κάτω από κανονικές έως μέτριες θερμοκρασίες, όχι όμως και τις πολύ υψηλές. Κάποιοι τύποι μυκήτων έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις σε άζωτο από ότι



---

τα βακτήρια και είναι ικανοί να αποσυνθέσουν τις κυτταρίνες, τις οποίες τα βακτήρια δεν μπορούν να διασπάσουν. Τα πιο κοινά γένη μυκήτων είναι αυτά των *Penicillium* και *Aspergillus*. Τα βακτήρια και οι μύκητες που συμμετέχουν στην αποσύνθεση του υλικού μπορούν να ταξινομηθούν ως μεσόφιλοι και θερμόφιλοι.

Οι μεσόφιλοι είναι αυτοί που αναπτύσσονται καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 25 και 45 °C και κυριαρχούν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης στα αρχικά στάδια της διεργασίας, όταν οι θερμοκρασίες είναι σχετικά χαμηλές. Οι μικροοργανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν το διαθέσιμο οξυγόνο για να μετατρέψουν τον οργανικό άνθρακα του υποστρώματος, σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό και την παράλληλη παραγωγή ενέργειας σε μορφή θερμότητας. Για ορισμένο όγκο υποστρώματος και δεδομένου ότι δεν υπάρχει συνεχής παροχή αέρα ή ανάδευση του υποστρώματος, η θερμότητα συσσωρεύεται στα εσωτερικά στρώματα του υποστρώματος αυξάνεται πάνω από τα όρια ανοχής των μεσόφιλων οργανισμών.

Σ' αυτό το σημείο, ενεργοποιούνται οι θερμόφιλοι οργανισμοί οι οποίοι προτιμούν θερμοκρασίες μεταξύ 45°C και 70°C και παράγουν ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας από ότι οι μεσόφιλοι, έτσι ώστε η θερμοκρασία που παρατηρείται αρκεί για να σκοτώσει την πλειοψηφία των παθογόνων οργανισμών. Όσο υπάρχουν πηγές θρεπτικών και ενέργειας οι μικροοργανισμοί συνεχίζουν η δράση της αποδόμησης του υποστρώματος. Όταν όμως αρχίζουν να εξαντλούνται, οι θερμόφιλοι οργανισμοί πεθαίνουν και η θερμοκρασία του μειώνεται. Έτσι οι μεσόφιλοι οργανισμοί κυριαρχούν και πάλι μέχρι τη στιγμή που θα έχουν χρησιμοποιηθεί όλες οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας.

Σταδιακά, ο πληθυσμός των ακτινομυκήτων αυξάνεται όσο η θερμοκρασία πέφτει και οι εναπομένουσες πιο πολύπλοκες ενώσεις μπορούν να διασπασθούν από εξωκυτταρικά ένζυμα. Οι ακτινομύκητες προτιμούν συνήθως τη χαμηλή υγρασία, τις έντονα αερόβιες συνθήκες και το ουδέτερο έως ελαφρά αλκαλικό pH. Τα γένη των ακτινομυκήτων που έχουν αναγνωρισθεί σε κόμποστ είναι *Streptomyces* sp., *Thermomonospora* sp., *Thermoactinomyces vulgaris*. Ο πληθυσμός των ακτινομυκήτων ορισμένες φορές είναι

τόσο μεγάλος ώστε γίνονται ορατοί στην επιφάνεια του κομπόστ (ελαφρώς ωχροκίτρινο χρώμα). Καθώς η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 35°C, οι ενώσεις που δεν έχουν ήδη διασπασθεί εμφανίζουν μια αντοχή στην αποσύνθεση, ενώ κυριαρχούν οι μύκητες με την ικανότητά τους, μέσω των ενζύμων, να αποικοδομούν τις πιο δύσκολες ενώσεις. Η συνολική μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται σταδιακά με πολύ αργούς ρυθμούς όταν οι ενώσεις που απομένουν είναι ανθεκτικές στην αποσύνθεση.

Γενικά, η ποικιλότητα των ειδών των οργανισμών στο θερμόφιλο στάδιο της κομποστοποίησης μειώνεται έντονα σε θερμοκρασίες πάνω από 60°C. Επίσης όταν η θερμοκρασία υπερβεί τους 60°C και η μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται έντονα. Σε θερμοκρασίες 45-55°C μεγιστοποιείται ο ρυθμός βιοαποδόμησης, σε θερμοκρασίες 35-40°C μεγιστοποιείται η μικροβιακή ποικιλότητα, ενώ θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 55°C συμβάλλουν στην εξυγίανση του υποστρώματος καθώς σκοτώνονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί.



Σχήμα 2. 7 Η πυραμίδα των μικροοργανισμών κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης [23]

---

## 2.5 Ωρίμανση του κόμποστ

### 2.5.1 Εισαγωγή

Πότε το κόμποστ είναι έτοιμο ; Η απάντηση είναι ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένος χρόνος για να παραχθεί έτοιμο και ώριμο κόμποστ. Η διάρκεια εξαρτάται από την πρώτη ύλη και τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε. Ως ώριμο κόμποστ, μπορούμε να θεωρήσουμε το υλικό εκείνο στο οποίο η βιολογική δραστηριότητα είναι πολύ αργή. Όλα τα εύκολα αποικοδομούμενα υλικά έχουν διασπασθεί αφήνοντας μόνο τις πολύπλοκες οργανικές ουσίες που δεν αποδομούνται εύκολα.

Πολλοί χρησιμοποιούν τον όρο «σταθερότητα» για το έτοιμο κόμποστ, αναφερόμενοι στο ότι έχουν σταματήσει οι βιολογικές δραστηριότητες. Η «ωρίμανση» και η «σταθερότητα» του κόμποστ αποτελούν δυο διαφορετικές ιδιότητες αν και η διαφορά είναι πολύ λεπτή . Η σταθερότητα (stability) ορίζεται με βάση την βιοδιαθεσιμότητα του οργανικού υλικού. Αυτό σημαίνει ότι συνδέεται με το ρυθμό της αποσύνθεσης, δηλαδή το ρυθμό της μικροβιακής δραστηριότητας. Η ωρίμανση (maturity) του κόμποστ έχει σχέση με την καταλληλότητα του για την ανάπτυξη των φυτών. Το ανώριμο κόμποστ είναι συνήθως φυτοτοξικό και δεν ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών. [24]

Υπάρχουν πολλά κριτήρια σύμφωνα με τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν οι διάφορες μέθοδοι που αξιολογούν τον βαθμό ωρίμανσης του κόμποστ. Ανάλογα με το είδος της παραμέτρου που προσδιορίζεται μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Φυσικοχημικές ιδιότητες
- Μικροβιολογικές δοκιμές
- Βιοδοκιμές με φυτά

Οι πιο γνωστές μέθοδοι μετρούν τη διακύμανση της θερμοκρασίας, και του pH, την αναλογία C/N, NH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub> καθώς και την παραγωγή CO<sub>2</sub>, ή κατανάλωση O<sub>2</sub> για δεδομένη

---

περίοδο. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει μια διεθνώς αποδεκτή μέθοδος για την μέτρηση του βαθμού ωρίμανσης.

### 2.5.2 Μέθοδοι εκτίμησης της ωρίμανσης

Η ωριμότητα αποτελεί βαθμό της ολοκλήρωσης της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Δεν μπορεί να περιγραφεί από μία και μόνο ιδιότητα αλλά από δύο και περισσότερες παραμέτρους του κόμποστ. Η ωριμότητα ως ένα βαθμό επηρεάζεται από την σχετική σταθερότητα του υλικού ενώ παράλληλα περιγράφει την επίδραση άλλων χημικών παραμέτρων στην ανάπτυξη των φυτών. Το ανώριμο κόμποστ μπορεί να περιέχει υψηλά ποσοστά αμμωνίας, οργανικών οξέων ή και άλλων ευδιάλυτων στο νερό συστατικών τα οποία περιορίζουν την ανάπτυξη των βλαστών. Όλες οι χρήσεις του κόμποστ απαιτούν το τελικό προϊόν να είναι ελεύθερο από αυτά τα φυτοτοξικά συστατικά.

Πολλές χώρες έχουν νομοθετήσει ή εθελοντικά θεσπίσει σειρά μετρήσεων για τη διασφάλιση της ωριμότητας και σταθερότητας του κόμποστ.

**Πίνακας 2. 2** Επιλεγμένα τεστ ωρίμανσης για διάφορες χώρες [10]

---

<b>Αυστρία</b>	Παράμετρος ωρίμανσης η δοκιμή κάρδαμου cress απαιτεί μια ελάχιστη απόδοση του σπόρου <i>Lepidium sativum</i> που αυξάνεται για μία περίοδο περίπου 9 ημερών. Οι παράμετροι που μετριοούνται είναι βιομάζα, ποσοστό βλάστησης και καθυστέρηση της βλάστησης.
<b>Βέλγιο-Φλάνδρα</b>	Υποχρεωτικά- λόγος νιτρικών-αμμωνιακών >1 για το λίπασμα
<b>Δανία</b>	Εθελοντικά- ο βαθμός σταθερότητας των προϊόντων χαρακτηρίζεται ως είτε ανέτοιμος, φρέσκος, σταθερός είτε πολύ σταθερός, υπολογίζεται βάσει των απαιτήσεων σε O <sub>2</sub> σε 96 ώρες και στο τεστ λιπάσματος «Solvita»
<b>Γερμανία</b>	Εθελοντικά - τεστ Rottegrad (βαθμός αποδόμησης) .
<b>Λουξεμβούργο</b>	Υποχρεωτικά -, τεστ Rottegrad (βαθμός αποδόμησης) .

---

<b>Ολλανδία</b>	Προεραπικά Rottegrad (καταγραφή μέγιστης θερμοκρασίας)
<b>Σουηδία</b>	Προαιρετικό Solvita test.
<b>Η.Β.</b>	Μικροβιακή Μέθοδος ποσοστού αναπνοής .Ανώτερο όριο 16mg CO <sub>2</sub> /γρ οργανικής ύλης ανά μέρα
<b>Καναδάς</b>	<p><u>BNQ:</u></p> <p><u>Το λίπασμα θεωρείται ώριμο εάν καλύπτει δύο από τις ακόλουθες απαιτήσεις:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• C/N ρυθμός &lt; 25</li> <li>• Ποσοστό λήψης οξυγόνου &lt; 150 mg O<sub>2</sub>/kg πτητικά στερεά ανα ώρα</li> <li>• Η βλάστηση των σπόρων κάρδαμου (<i>Lepidium sativum</i>) και των σπόρων ραδικιών (<i>Raphanus sativus</i>) στο λίπασμα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 90% του ποσοστού βλάστησης του δείγματος ελέγχου</li> </ul> <p><u>CCME:</u></p> <p>το λίπασμα πρέπει να παραμείνει για 21 ημέρες το λιγότερο και να καλύψει μια από τις ακόλουθες 3 απαιτήσεις:</p> <p>a) το ποσοστό αναπνοής &lt;=400 χιλιοστόγραμμα O<sub>2</sub>/χιλιόγραμμο των πτητικών στερεών (ή της οργανικής ουσίας) /ώρα</p> <p>b) το ποσοστό εξέλιξης διοξειδίου του άνθρακα είναι λιγότερο από, ή ίσο, 4 χιλιοστόγραμμα του άνθρακα υπό μορφή διοξειδίου του άνθρακα ανά γραμμάριο οργανικής ουσίας ανά ημέρα</p> <p>c) η άνοδος της θερμοκρασίας του λιπάσματος επάνω από την περιβαλλοντική θερμοκρασία είναι λιγότερο από 8 °C.</p>
<b>Αυστραλία</b>	Προαιρετικά προτείνεται αυτοθέρμανση
<b>Νέα Ζηλανδία</b>	Προαιρετικά, έλεγχος pH, αγωγιμότητα, νιτρικά , αμμωνιακά, μέγιστο μέγεθος σωματιδίου

Στις Ηνωμένες Πολιτείες δεν υπάρχει συγκεκριμένη προσέγγιση για να εξακριβωθεί η ωριμότητα του κόμποστ. Σε πρόσφατη εργασία του Συμβουλίου ποιότητας κόμποστ της πολιτείας της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ (CCQC) και σε συνδυασμό με το επιτροπή ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων στην πολιτεία της καλιφόρνια των ΗΠΑ, «Woods End Laboratory», ως ωριμότητα ορίσανε το βαθμό ολοκλήρωσης της διεργασίας της κομποστοποίησης. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενους

ορισμούς που είχαν δωθεί στην Αμερική καταδεικνύοντας ότι η ωριμότητα δε μπορεί να θεωρείται πλέον ως μια αυτόνομη παράμετρος η οποία μπορεί να μετρηθεί ξεχωριστά. Για να προσδιοριστεί θα πρέπει να μετρηθούν δυο και περισσότερες παράμετροι αφού έχει υπολογιστεί πρώτα η αναλογία C:N. Οι προτάσεις που τέθηκαν στην Καλιφόρνια συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 2. 3** Παράμετροι εκτίμησης της ωρίμανσης του κόμποστ προτεινόμενες από το CCQC [10]

<b>Στάδιο 1: Μέτρηση αναλογίας (C:N)</b>	
<b>Στάδιο 2: Εάν C:N &lt;25, τότε περνά σε ένα από τα Α και Β</b>	
<b>Ομάδα Α παράμετροι (επιλογή μίας)</b>	<b>Ομάδα Β παράμετροι (επιλογή μίας)</b>
Αναπνοή:	1. Λόγος αμμωνιακών / νιτρικά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> :NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )
1 CO <sub>2</sub> – evolution (εργαστηριακή μέτρηση CO <sub>2</sub> ή Solvita τεστ)	2. Συγκέντρωση αμμωνίας (inc. Solvita τεστ)
2. O <sub>2</sub> – πρόσληψη	3. πτητικά οργανικά οξέα
3. Dewar Self Heating τεστ	4. τεστ ανάπτυξης

Σύμφωνα με τον πίνακα το κόμποστ αρχικά θα πρέπει να έχει αναλογία C/N μικρότερη ή ίση με 25 ώστε να προχωρήσει στην Α ή στην Β ομάδα μετρήσεων. Στο τέλος των μετρήσεων το κόμποστ όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.4 μπορεί να χαρακτηριστεί ως πολύ ώριμο, ώριμο ή ανώριμο. [10]

**Πίνακας 2. 4** Χαρακτηρισμός ωρίμανσης του κόμποστ όπως τέθηκε από το CCQC

<b>Πολύ ώριμο</b>	<b>ώριμο</b>	<b>Ανώριμο</b>
Μη συνεχής αποδόμηση Καμία μυρωδιά	Παραγωγή οσμών μη πιθανή Περιορισμένη δυνατότητα τοξικότητας	Πιθανές οσμές Υψηλή δυνατότητα τοξικότητας
Καμία πιθανή τοξικότητα	Ελάχιστη επίδραση στο N του εδάφους	Σημαντική επίδραση στο N του εδάφους

### 2.5.3 Η σημασία της ωρίμανσης

Η παρατεταμένη ωρίμανση βοηθά:

- Στη διάσπαση και των πλέον ανθεκτικών οργανικών υλικών

- 
- Στην επανεμφάνιση μικροβιακών πληθυσμών που αναπτύσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και οι οποίοι είναι χρήσιμοι για την περαιτέρω σταθεροποίηση του οργανικού προϊόντος καθώς μεταβολίζουν πιθανά φυτοτοξικά συστατικά και περιορίζουν την πιθανότητα δημιουργίας προβλημάτων στην ανάπτυξη των φυτών, κατά τη χρήση του κόμποστ.

Το παραγόμενο κόμποστ είναι βέλτιστης ποιότητας όταν περιέχει υψηλής ποιότητας χουμικά οξέα που είναι επιθυμητά για τις γεωργικές εφαρμογές, λόγω του γεγονότος ότι δεσμεύουν με προσρόφηση θρεπτικά συστατικά, όπως άζωτο, οργανικά νιτρικά, φωσφορικά, καθώς και τα υλικά που προστίθενται με τη μορφή χημικής λίπανσης, όπως Κ, Mg και ιχνοστοιχεία. Τα στοιχεία αυτά δεσμεύονται αρχικά από τα χουμικά οξέα του κόμποστ και στη συνέχεια αποδίδονται σταδιακά στο φυτικό ριζικό σύστημα. Αυτό έχει ως συνέπεια την ισορροπημένη ανάπτυξη των φυτών και παράλληλα αποφεύγεται η ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, καθότι τα θρεπτικά συστατικά δεν παρασύρονται από τα όμβρια ύδατα μέσω επιφανειακής απορροής (γεγονός που οδηγεί συχνά σε φαινόμενα ευτροφισμού ευρείας κλίμακας σε λίμνες και ποτάμια). [12]

## **2.6 Εγκαταστάσεις και συστήματα κομποστοποίησης**

Η ταξινόμηση των συστημάτων κομποστοποίησης γίνεται με βάση διάφορα κριτήρια. Με προσέγγιση από πλευράς χημικής μηχανικής η ταξινόμηση των συστημάτων κομποστοποίησης γίνεται με κριτήρια, τους μηχανισμούς «ροής» του στερεού, τις μόνιμες συνθήκες στον αντιδραστήρα και τον τρόπο παροχής του αέρα. Ο πιο βασικός διαχωρισμός είναι μεταξύ των συστημάτων εκείνων στα οποία το προς κομποστοποίηση υλικό τοποθετείται σε αντιδραστήρα ή όχι και τα μικτά συστήματα. Συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν αντιδραστήρες ονομάζονται «μηχανικά», «κλειστά» ή «κλειστού δοχείου» ενώ εκείνα που δεν χρησιμοποιούν αντιδραστήρες ονομάζονται «ανοικτά» συστήματα. Ο ορισμός ορισμένων συστημάτων ως «μηχανικά» δεν είναι ακριβής αφού όλα τα μοντέρνα συστήματα κομποστοποίησης είναι μηχανικά

---

μέχρι ενός σημείου. Κάποια συστήματα έχουν κινητό εξοπλισμό ενώ κάποια άλλα χρησιμοποιούν σταθερούς αντιδραστήρες και συστήματα μεταφοράς.

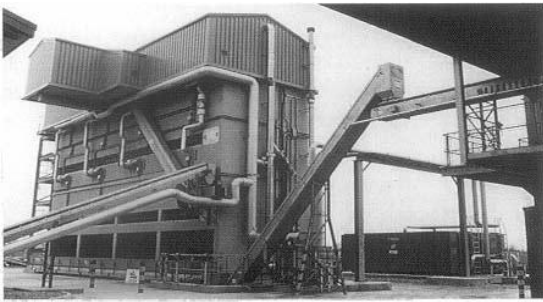
Τα συστήματα κομποστοποίησης μπορούμε να τα ταξινομήσουμε ως εξής:

1. Συστήματα χωρίς αντιδραστήρα (ανοικτά συστήματα)
  - A. Συστήματα με ανάδευση/σύστημα γραμμικής σωρού
    - i. Φυσικός ή
    - ii. Τεχνητός αερισμός
  - B. Συστήματα στατικής σωρού
    - i. Τεχνητός αερισμός του υλικού (σύστημα στατικής αεριζόμενης σωρού)
    - ii. Φυσικός αερισμός
2. Συστήματα με αντιδραστήρες κάθετης ροής
  - A. Με ανάδευση
  - B. Χωρίς ανάδευση του υλικού με
    - i. Συνεχή ή ημισυνεχή τροφοδοσία
    - ii. Αρχική φόρτωση του αντιδραστήρα (αντιδραστήρες διαλείποντος έργου)
3. Συστήματα με αντιδραστήρες οριζόντιας ροής υπό κλίση
  - A. Συστήματα περιστρεφόμενου τύμπανου
    - i. Διασπειρόμενης ροής
    - ii. Κελιά σε σειρά
    - iii. Πλήρους ανάμειξης
  - B. Συστήματα με αναδευτήρα (αντιδραστήρες τύπου δοχείου)
4. Μικτά Συστήματα [25]





**Εικόνα 2. 1** Σύστημα αναστρεφόμενων σειραδίων με χρήση αυτοκινούμενου αναστροφέα [26]



**Εικόνα 2. 2** Σύστημα κάθετου βιοαντιδραστήρα τύπου σιλό [26]



**Εικόνα 2. 3** Σύστημα

κομποστοποίησης σε κιβώτια [26]



**Εικόνα 2. 4** Σύστημα κομποστοποίησης σε δεξαμενές [26]



**Εικόνα 2. 5** Σύστημα κομποστοποίησης

σε περιστρεφόμενα τύμπανα [26]

---

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με κλειστό σύστημα αντιδραστήρα κάθετης ροής με ανάδευση και ημισυνεχή τροφοδοσία.

## 2.7 Οικιακή κομποστοποίηση

Η οικιακή κομποστοποίηση αποτελεί μια από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους ανακύκλωσης των οργανικών απορριμμάτων που αποτελούν την πλειοψηφία των απορριμμάτων για κάθε νοικοκυριό. Με την οικιακή κομποστοποίηση ένα σημαντικό ποσοστό διαχωρίζεται από τον κύριο όγκο των απορριμμάτων που έχουν σα τελικό προορισμό τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής. Πολλοί ιδιώτες παγκοσμίως εφαρμόζουν τη μέθοδο της κομποστοποίησης επιστρέφοντας έτσι στο έδαφος όλα εκείνα τα απαραίτητα συστατικά (οργανικά και ανόργανα) που χρειάζονται για την ανάπτυξη των φυτών. Έτσι εκτός από την ανακύκλωση των μετάλλων, του χαρτιού, των γυαλιών και των ελαστικών, που σε κάποιο ικανοποιητικό βαθμό μπορεί να επιτευχθεί, με τη διαδικασία της ανακύκλωσης, ανακυκλώνεται ουσιαστικά και το οργανικό κλάσμα, επαναφέροντάς το με περιβαλλοντικά ορθό τρόπο στο φυσικό αποδέκτη του το χώμα για να μπορέσει το τελευταίο διατηρώντας την κανονική δομή και γονιμότητά του να συνεχίσει να παράγει.

## 2.8 Οφέλη κομποστοποίησης

Με την κομποστοποίηση μπορούμε να συνοψίσουμε ότι οδηγούμαστε σε σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη τα κυριότερα από τα οποία είναι:

- Μείωση των οχλήσεων κατά τη συλλογή και μεταφορά των οικιακών στερεών αποβλήτων
- Μικρότερη επιβάρυνση των χώρων ταφής αποβλήτων (τόσο ποσοτικά όσο και ως προς το ρυπαντικό φορτίο) λόγω της μειωμένης ποσότητας στερεών αποβλήτων

---

που καταλήγουν στους χώρους αυτούς, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση του χρόνου λειτουργίας τους.

- Μειωμένη παραγωγή στραγγισμάτων στους χώρους ταφής αποβλήτων τα οποία επιπλέον, περιέχουν μικρότερο ρυπαντικό φορτίο.
- Μειωμένες αέριες εκπομπές από τους χώρους διάθεσης τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά (διοξειδίο του άνθρακα, μεθάνιο, πτητικές οργανικές ενώσεις κ.λπ.)
- Παραγωγή προϊόντος προστιθέμενης αξίας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές – αποφυγή της χρήσης συνθετικών λιπασμάτων
- Παραγωγή προϊόντος υψηλής ποιότητας λόγω του γεγονότος ότι προέρχεται από τη χρήση υλικών διαχωρισμένων στην πηγή (σε αντίθεση με το προϊόν που προέρχεται από οργανικό υλικό το οποίο διαχωρίζεται σε κεντρικές μονάδες μηχανικής διαλογής)
- Η χωριστή συλλογή και αξιοποίηση των βιοαποδομήσιμων οργανικών αποβλήτων εντός της οικίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απαιτούμενης συχνότητας για συλλογή των μικτών οικιακών αποβλήτων που τοποθετούνται στους κάδους. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για χώρες όπως η Ελλάδα όπου οι κλιματικές συνθήκες απαιτούν συχνό άδειασμα των κάδων για αποφυγή της ανάπτυξης συνθηκών αποδόμησης των αποβλήτων που συλλέγονται σε αυτούς.  
[27]

## 2.9 Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ

Είναι πλέον ισχυρά τεκμηριωμένο ότι η προσθήκη κομπόστ στο έδαφος μπορεί να έχει θετική επίδραση σε μία μακρά σειρά χημικών, φυσικών και βιολογικών χαρακτήρων του. Η γεωργία και οι διάφορες συναφείς δραστηριότητες συνιστούν την κυριότερη οδό αξιοποίησης των διαφόρων υλικών κομπόστ, τα οποία μάλιστα κατά τη διεθνή πρακτική εφαρμόζονται σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις για ελληνικά δεδομένα. Για την εδαφική εφαρμογή του κομπόστ στη γεωργία, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και να διενεργούνται λεπτομερείς έλεγχοι σχετικά με τις διάφορες χρήσεις και κατηγορίες ποιότητας του κομπόστ όπως ποσότητα εφαρμογής, περιεκτικότητα σε θρεπτικά, ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα, επιβλαβείς οργανικές ενώσεις, παθογόνα κλπ., επίπεδο ωρίμανσης κομπόστ (φρέσκο ή ώριμο κομπόστ), χρονική περίοδος εφαρμογής,

---

συχνότητα εφαρμογής, βάθος ενσωμάτωσης στο έδαφος, τύπος εδάφους και χαρακτήρες αυτού κ.ά.

Οι ενδεικνυόμενες χρήσεις του κομπόστ, εξαρτώνται από τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά και ποικίλουν από τη χρήση σε βιολογικά καλλιεργούμενα τρόφιμα, και γενικότερα καλλιέργειες παραγωγής τροφής και ζωοτροφών, έως τη χρήση για αποκατάσταση εδαφών και ως κάλυψη σε ΧΥΤΑ. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν νομοθετικοί περιορισμοί για τις επιτρεπόμενες χρήσεις με στόχο την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος. Σε αυτό το πλαίσιο παρατίθεται ένας ενδεικτικός οδηγός χρήσεων κομπόστ:

- ☑ **Φυτά μεγάλης καλλιέργειας**, απαιτητικά σε χουμικά συστατικά, προκειμένου να ενισχυθεί το ισοζύγιο χουμικών συστατικών στα καλλιεργούμενα εδάφη π.χ. τεύτλα, πατάτες αλλά και διάφορα λαχανικά αγρού, σε ποσότητα 4-10 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα κάθε 2-4 χρόνια.
- ☑ **Σιτηρά**, σε ποσότητα 2-6 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα, κάθε 2-4 χρόνια.
- ☑ **Λειβαδικές εκτάσεις**, σε ποσότητα 2-5 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα, κάθε 2-4 χρόνια. Το κομπόστ πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ξένα σώματα, που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στα βόσκοντα ζώα.
- ☑ **Δενδρώδεις καλλιέργειες**, μηλοειδή, πυρηνόκαρπα, εσπεριδοειδή, συκιές κλπ. Σε ποσότητα 10-20 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα, κάθε 3 χρόνια.
- ☑ **Αμπέλια**, σε ποσότητα 10-25 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα (φρέσκο κομπόστ σε βαριά εδάφη) ή 10 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα (ώριμο κομπόστ σε ελαφρά εδάφη), κάθε 3-4 χρόνια. Σε περίπτωση επικλινών εκτάσεων, συνιστώνται μεγαλύτερες δόσεις, 20-30 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα. (φρέσκο κομπόστ). Ως χρόνος εφαρμογής συνιστάται η περίοδος μεταξύ του τρυγητού και της έναρξης της βλάστησης.

- 
- ☑ **Δασικά φυτώρια**, σε ποσότητα 15-20 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα
  
  - ☑ **Θερμοκηπιακές καλλιέργειες**, σε ποσότητα 1-1,5 kg/m<sup>2</sup> νωπού υλικού, κάθε 2-4 χρόνια.
  
  - ☑ **Ανθοκομικές καλλιέργειες**, σε ποσότητα 10-25 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα.
  
  - ☑ **Διαμόρφωση περιβάλλοντος** και επιφανειών πρασίνου σε αστικές περιοχές, πάρκα, αθλητικά πεδία, αποτροπή φαινομένων διάβρωσης σε επικλινείς επιφάνειες, συγκράτηση πρηνών, χλοοφορία σε ταράτσες, σε θαμνοσυστάδες σε δρόμους, αντικατάσταση μητρικού εδάφους για την αποκατάσταση λατομείων, και χωματερών / ΧΥΤΑ, σε δόσεις των 10-30 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα στην αρχή και έπειτα 2-3 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα κάθε 2 χρόνια.
  
  - ☑ **Αναδασώσεις**, με ενσωμάτωση έως 150 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα.
  
  - ☑ **Ως υλικό βιοφίλτρου για την απορρόφηση δυσάρεστων οσμών** από βιομηχανικές εγκαταστάσεις με δύσοσμα απαέρια, εξαερισμών σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, κομποστοποίησης, μαζικής διατήρησης ζώων, κ.λ.π. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστώνται δόσεις 1 τόνου νωπού υλικού ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας βιοφίλτρου, κάθε 4 χρόνια, για ποσότητα απαερίων 50-100 m<sup>3</sup> ανά ώρα και ανά m<sup>2</sup>. [28]



Εικόνα 2. 6 Βιοφίλτρο κόμποστ για απόσμηση [ii]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

### 3.1 Εισαγωγή

Για να υπερπηδηθούν οι δυσκολίες που αφορούν στον αερισμό του υποστρώματος και της μεταφοράς οξυγόνου σε όλα τα στρώματα, καθώς επίσης και για να αυξηθούν οι ποσότητες άνθρακα και αζώτου μέσα στο σωρό, γίνεται προσθήκη κάποιων υλικών με χαρακτηριστική δομή και σύνθεση που συντελούν στην επιτάχυνση της διεργασίας.

Ο όρος πρόσθετο αναφέρεται στο υλικό εκείνο, το οποίο προστίθεται στο υπόστρωμα τροφοδοσίας, με στόχο τη μείωση του ειδικού βάρους και την αύξηση του πορώδους, ώστε να διευκολύνεται ο αερισμός ή η αύξηση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων οργανικών υλικών στο μείγμα. Στα πρόσθετα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνονται ορυκτά όπως ο ζεόλιθος και ο βερμικουλίτης, αλλά και ροκανίδι, πριονίδι, άχυρο, τύρφη, πυρηνόξυλο, κοπριά, και ώριμο κόμποστ. Το ιδανικό «πρόσθετο» πρέπει να είναι ξηρό, να έχει μικρό ειδικό βάρος και να βιοαποδομείται σχετικά εύκολα.[5]

### 3.2 Ζεόλιθος

#### 3.2.1 Γενικά για το Ζεόλιθο

Η ιστορία των ζεόλιθων ξεκινάει το 1756, όταν ανακαλύπτονται από ένα Σουηδό ορυκτολόγο, που τους περιγράφει ως μια καινούρια κατηγορία ορυκτών, τα οποία αποτελούνται από ενυδατωμένα αργιλλοπυριτικά των αλκαλίων και των αλκαλικών γαιών.

Οι ζεόλιθοι έχουν πολλές σημαντικές ιδιότητες με κύριες την εκλεκτικότητα σχήματος και την ανταλλαγή ιόντων, που τους καθιστούν πολύτιμα εργαλεία τόσο στην πετρελαϊκή βιομηχανία ως καταλύτες, όσο και σε άλλους βασικούς βιομηχανικούς τομείς, όπως στις

διεργασίες προσρόφησης, ξήρανσης, διαχωρισμού (μοριακά κόσκινα) και στα απορρυπαντικά. Ακόμα, έχουν μεγάλη δεκτικότητα στις τροποποιήσεις και έντονη ικανότητα προσρόφησης, με συνέπεια τη δημιουργία νέων δομών κατάλληλων για διάφορες εφαρμογές.

### 3.2.2 Χρήσεις

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί κυρίως στο εξωτερικό αλλά και στη χώρα μας ο ζεόλιθος μπορεί να βρει αρκετές εφαρμογές, όπως :

- ✓ **Στις αγροκαλλιέργειες**, για τη βελτίωση της απόδοσης του εδάφους.
- ✓ **Στην οικοδομική**, τόσο ως δομικοί λίθοι όσο και στην παραγωγή τσιμέντων.
- ✓ **Σε αποσμητικά κτηνοτροφικών μονάδων** καθώς βοηθάει στον έλεγχο των οσμών -κυρίως αμμωνίας και υδρόθειου- σε χώρους συντήρησης και αποθήκευσης τροφίμων.
- ✓ **Στις ιχθυοκαλλιέργειες** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το φιλτράρισμα του νερού και για την απορρόφηση της αμμωνίας.
- ✓ **Στη βιομηχανία** χρησιμοποιείται στα φίλτρα για την δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων βλαβερών ενώσεων.
- ✓ **Στην κτηνοτροφία**, ως ενισχυτικό στη διατροφή των χοίρων, των πουλερικών και των αιγοπροβάτων.
- ✓ **Στη μείωση της ρύπανσης και του ευτροφισμού των θαλασσών**, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί ως υποκατάστατο των φωσφορικών αλάτων από τα απορρυπαντικά.
- ✓ **Για την αποσκλήρυνση του νερού**, όπου επέρχεται αντικατάσταση των ιόντων ασβεστίου-μαγνησίου, από ιόντα νατρίου.
- ✓ **Στην αποθήκευση ηλιακής ενέργειας** με τη δέσμευση και απελευθέρωση θερμοκρασίας από ηλιακή ακτινοβολία σε εγκαταστάσεις κλιματισμού και θέρμανσης του νερού.
- ✓ **Στη χαρτοβιομηχανία** ως πληρωτικό υλικό



- ✓ **Εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο** λόγω της εκλεκτικής ικανότητας των ζεόλιθων να απορροφούν το άζωτο από την ατμόσφαιρα
- ✓ **Στον καθαρισμό διαφόρων τύπων λυμάτων** (αστικά, βιομηχανικά, γεωργικά, ραδιενεργά απόβλητα), όπως π.χ. αφαίρεση της αμμωνίας από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα.
- ✓ **Σε αποξηραντικά και απορροφητικά υλικά.**
- ✓ **Στον καθαρισμό φυσικών αερίων.**
- ✓ **Στην βιομηχανία καταλυτών.** [15]

### 3.3.2.5 Ο κλινοπτιλόλιθος

Ο κλινοπτιλόλιθος συναντάται στη φύση σε ιζηματογενή αποθέματα και μαζί με τον ευλανδίτη αποτελούν το πιο συχνά απαντώμενο ζεολιθικό είδος. Η πρώτη αναφορά στον κλινοπτιλόλιθο γίνεται το 1890 από τον Pirson, ο οποίος τον αναγνώρισε άστοχα ως μορδενίτη, καθώς ο κλινοπτιλόλιθος ανήκει στην ομάδα του ευλανδίτη.



Εικόνα 3. 1 Κλινοπτιλόλιθος

Έχει γενικό τύπο:



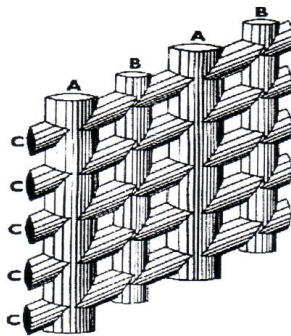
Χαρακτηρίζεται ως ευλανδίτης υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο, καθώς ο λόγος Si/Al ποικίλει από 4.2 έως 5.25 για τον κλινοπτιλόλιθο, ενώ για τον ευλανδίτη ξεκινάει από ένα ελάχιστο, περίπου από 2.7. Ο κλινοπτιλόλιθος αφυδατώνεται με δυσκολία και η

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

---

σταθερότητά του αυτή χαρακτηρίζεται από την ικανότητα άμεσης επαναπροσρόφησης νερού και διοξειδίου του άνθρακος. Η συνολική θεωρητική ιοντοεναλλακτική ικανότητα του κλινοπτιλόλιθου κυμαίνεται μεταξύ 1.6 και 2.8 meq/g.

Η δομή του κλινοπτιλόλιθου χαρακτηρίζεται από τη διαμόρφωση ενός τετραέδρου. Κάθε ένα τετράεδρο του κλινοπτιλόλιθου ανήκει από κοινού σε ένα τετραμελή και ένα πενταμελή δακτύλιο από Si και Al, ενώ οι μονάδες (Si, Al, O) είναι διατεταγμένες σε στοιβάδες. Η κάθε στοιβάδα διασταυρώνεται με άλλες μέσω δεσμών Si-O-Si και Si-O-Al. [15]



Σχήμα 3. 1 Σύστημα καναλιών κλινοπτιλόλιθου

Επίσης ο κλινοπτιλόλιθος εμφανίζει υψηλή θερμική σταθερότητα πάνω από τους 800°C, σε αντίθεση με τον ευλανδίτη που σε θερμοκρασία 500-550°C καταστρέφεται η δομή του. Τούτο δικαιολογείται από την υψηλή τιμή του λόγου Si/Al που εμφανίζεται στον κλινοπτιλόλιθο όπως και από την υψηλή του περιεκτικότητα σε ιόντα K<sup>+</sup>, καθώς ο δεσμός Si-O-Si είναι πιο σταθερός από το δεσμό Al-O-Si.

Χρησιμοποιείται ως

- εδαφολογικό εδαφοβελτιωτικό
- βελτίωση του μέσου αποδοτικότητας λιπάσματος
- ως γεωπονικό ροφητήρα ανάπτυξης των φυτών

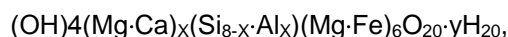
- ως μεταφορέας για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και άλλες οργανικές ενώσεις για την επανόρθωση του χώματος που μολύνεται με τα ραδιενεργά νουκλεΐδια και τα βαριά μέταλλα.

Ο κάθε ζεολίθος που περιέχει ιόντα αμμωνίου και καλίου μπορεί να προστεθεί στο έδαφος ως εδαφοβελτιωτικό. Τα θρεπτικά ιόντα απελευθερώνονται σταδιακά μέσα σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, και λειτουργούν ως ανόργανα λιπάσματα για την ανάπτυξη των φυτών. Αυτό συμβαίνει και στον κλινοππιλόλιθο, όπου η μεγάλη εκλεκτικότητα του έχει ως αποτέλεσμα την αργή απελευθέρωση της αμμωνίας και έτσι βελτιώνει την ικανότητα κατακράτησης αζώτου από το έδαφος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο έλεγχος του pH σχετίζεται με την ικανότητα των ζεολίθων να δρουν ως μέσο, το οποίο προστιθέμενο στο έδαφος αυξάνει την ικανότητά του να δεσμεύει το άζωτο αλλά και την υγρασία. Ο έλεγχος, λοιπόν, του pH και της υγρασίας καθώς και η ικανότητα του κλινοππιλόλιθου να δεσμεύει την αμμωνία που παράγεται κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, και να απελευθερώνει σταδιακά τα θρεπτικά ιόντα στο έδαφος μετά την απόθεση του κόμποστ, αποτελούν τους λόγους για τους οποίους επελέγει το συγκεκριμένο ορυκτό ως πρόσθετο στο αρχικό υπόστρωμα. [29]

### 3.3.3 Ο Βερμικουλίτης

#### 3.3.3.1 Γενικά για τον βερμικουλίτη

Το όνομα του βερμικουλίτη προέρχεται από το λατινικό “Vermiculair” και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από το Webb για το χαρακτηρισμό κάποιων υλικών. Ο βερμικουλίτης έχει γενικό χημικό τύπο



με το  $X = 1 - 1,4$  και το  $y =$  περίπου 8. Από το χημικό τύπο φαίνεται να περιέχουν σημαντική ποσότητα μαγνησίου και σιδήρου. Όπως και οι μοντμοριλονίτες το ίδιο και οι βερμικουλίτες έχουν υψηλή ικανότητα ιοντοεναλλαγής. Στην ιοντοεναλλακτική ικανότητα

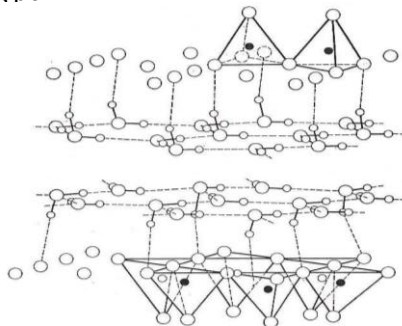
### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

του βερμικουλίτη σημαντικό ρόλο παίζει το ιόν  $Mg^{+2}$ , που φαίνεται να είναι το χαρακτηριστικό ιόν που συμμετέχει στην ιοντοεναλλαγή. Από όλα τα αργιλοπυριτικά ορυκτά ο βερμικουλίτης έχει τη μεγαλύτερη ιοντοεναλλακτική ικανότητα.

Η ιοντοεναλλακτική ικανότητα των αργίλων οφείλεται, κυρίως, σε αντικαταστάσεις στο κρυσταλλικό πλέγμα ιόντων τετρασθενούς πυριτίου με ιόντα τρισθενούς αργιλίου στο τετραεδρικό στρώμα και ιόντων αργιλίου με ιόντα μικρότερου σθένους, κυρίως μαγνησίου, στο οκταεδρικό στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία φορτίων στις δομικές μονάδες των αργίλων και επομένως την ανάπτυξη ικανότητας ιοντοεναλλαγής. Στον βερμικουλίτη οι αντικαταστάσεις αυτές του δίνουν το 80% της ικανότητας ιοντοεναλλαγής του.

#### 3.3.3.2 Δομή Βερμικουλίτη

Η δομή αποτελείται από φύλλα τριοκταεδρικής μίκας ή τάλκη διαχωριζόμενα από στρώματα μορίων νερού τα οποία καταλαμβάνουν ένα συγκεκριμένο χώρο της τάξης των 4,98Å που είναι περίπου το πάχος δύο μορίων νερού. Επομένως στη φυσική του μορφή, το ορυκτό αποτελείται από μια αλλοιωμένη μορφή μίκας και διπλά στρώματα νερού. Η δομή του βερμικουλίτη είναι ανισόρροπη κυρίως λόγω των αντικαταστάσεων  $Si^{4+}$  από  $Al^{3+}$ . Αυτές οι αντικαταστάσεις εξισορροπούνται μερικώς από άλλες αντικαταστάσεις στο πλέγμα της μίκας αλλά πάντα υπάρχει μια ανεπάρκεια φορτίου. Αυτή η ανεπάρκεια φορτίου ικανοποιείται από κατιόντα τα οποία βρίσκονται κυρίως μεταξύ των στρωμάτων μίκας και είναι ιδιαίτερα εναλλάξιμα.



**Σχήμα 3. 2** Σχεδιάγραμμα της δομής του βερμικουλίτη όπου φαίνονται τα ενδιάμεσα στρώματα νερού



Εικόνα 3. 2 Βερμικουλίτης

### 3.3.3.3 Χρήσεις

- **Μη επεξεργασμένος βερμικουλίτης:** Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για τον καθαρισμό του νερού π.χ για την προσρόφηση τοξικών μετάλλων από αυτό όπως Pb, Zn, Cd.
- **Θερμικά επεξεργασμένος βερμικουλίτης:** Οι χρήσεις του εξαρτώνται απ' το μέγεθος των κόκκων του υλικού και κατά συνέπεια από το βαθμό μηχανικής άλεσης που έχει υποστεί αυτό. Χρησιμοποιείται σε ορισμένους τομείς της βιομηχανίας, στις οικοδομικές εργασίες, στη γεωργία και στο περιβάλλον.
- **Βερμικουλίτης ενεργοποιημένος με οξέα:** Είναι ένας αποτελεσματικός καταλύτης για την πυρόλυση (cracking) βαρέων καυσίμων, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη εξαγωγή βενζίνης από αυτά. [25]

Η ικανότητα του βερμικουλίτη ως ορυκτό να δεσμεύει ιόντα αμμωνίου κατά την διεργασία της κομποστοποίησης και να διοχετεύει τα θρεπτικά ιόντα σταδιακά στο έδαφος μετά την απόθεση του κόμποστ, καθώς και ο έλεγχος του pH και της υγρασίας αποτελούν σημαντικούς λόγους για να επιλεγεί το συγκεκριμένο ορυκτό ως πρόσθετο κομποστοποίησης.

### 3.4 Πριονίδι, Ροκανίδι

Πρόκειται για μικρά κομμάτια ξύλου (ξύσματα) που προέρχονται από τη βασική κατεργασία του. Αυτά όταν προστίθενται στο κόμποστ αυξάνουν το πορώδες και διευκολύνουν τον αερισμό του, προσλαμβάνοντας ποσοστό υγρασίας. Τέλος αυξάνουν την περιεκτικότητά του σε άνθρακα και για αυτό χρησιμοποιείται όταν το μίγμα είναι πλούσιο σε άζωτο π.χ. εκτεταμένη προσθήκη πράσινων υλικών.

Είναι σημαντικό η προέλευση του να είναι από φυσική ξυλεία, χωρίς χημικά πρόσθετα. Τα συνθετικά ξύλα όπως MDF, μελαμίνες κ.λ.π δεν δίνουν κατάλληλο για κομποστοποίηση πριονίδι.



Εικόνα 4. 3 Πριονίδι

### 3.5 Το ώριμο κόμποστ ως πρόσθετο

Στη μέθοδο αυτή γίνεται ανάμειξη του ανακυκλωμένου προϊόντος με την αφυδατωμένη πρώτη ύλη. Πρόκειται δηλαδή, για απλή κομποστοποίηση, δεδομένου ότι δεν προστίθενται ογκώδη τεμάχια ή άλλα υλικά, και το ανακυκλούμενο κλάσμα προέρχεται αποκλειστικά από το ίδιο το ώριμο κόμποστ.

Η μέθοδος αυτή από μόνη της ίσως και να αποτελεί την καλύτερη για τη διεργασία μιας και το ώριμο κόμποστ διαθέτει όλα εκείνα τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτούν οι μικροοργανισμοί, λειτουργώντας παράλληλα ως ρυθμιστής της υγρασίας δεσμεύοντας την ήδη υπάρχουσα υγρασία.

Παρά την πολυπλοκότητα του οικοσυστήματος από μικροβιακής απόψεως, οι αρχές που διέπουν συνολικά την πορεία της διεργασίας της κομποστοποίησης είναι σχετικά απλές. Αφορούν κυρίως την αναλογία πηγών άνθρακα και αζώτου, τις πιθανές ανεπιθύμητες προσμίξεις και την ορθή διαχείριση του καθεστώτος αερισμού. Δυστυχώς, ορισμένες εμπορικές μονάδες παραγωγής προϊόντων κομποστοποίησης παραβλέπουν ή δεν εφαρμόζουν σωστά τις αρχές της μεθόδου, με αποτέλεσμα να κυκλοφορούν στην αγορά προϊόντα χαμηλής ποιότητας, φυτοτοξικά και ασταθή.[5]



**Εικόνα 3. 4** Ώριμο κόμποστ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

#### 4.1 Εισαγωγή

Η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας τις τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού έχει επιφέρει τεράστιες αλλαγές στην διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Η καθημερινή συσσώρευση τεράστιων όγκων στερεών αποβλήτων από σπίτια, νοσοκομεία, δήμους, βιομηχανίες και εργοστάσια έχει προκαλέσει έναν έντονο προβληματισμό στις κυβερνήσεις για τον τρόπο διαχείρισής τους. Η ανάγκη εύρεσης ενός περιβαλλοντικού μέτρου αποτελεί επιτακτική ανάγκη αφού η αποκλειστική χρήση των χώρων υγειονομικής ταφής αποτελεί την λιγότερη ενδεδειγμένη επιλογή. Η κομποστοποίηση (composting) είναι μια διεργασία αερόβιας αποδόμησης στερεών αποβλήτων που προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με το κόστος εφαρμογής της. Σήμερα εφαρμόζεται ολοένα και περισσότερο και αποτελεί την πιο ενδεδειγμένη περιβαλλοντική λύση για την διαχείριση και την επεξεργασία των οργανικών στερεών αποβλήτων.

#### 4.2 Μακροσκοπική Ανάλυση της Διεργασίας Αερόβιας Αποδόμησης (κομποστοποίηση)

##### 4.2.1 Η διεργασία της κομποστοποίησης.

Η κομποστοποίηση είναι η βιολογική διάσπαση της οργανικής ύλης που πραγματοποιείται υπό ελεγχόμενες αερόβιες συνθήκες προς το σχηματισμό ενός σταθεροποιημένου θρεπτικού τελικού προϊόντος.<sup>[2]</sup>

Αποτελεί μια διεργασία βασισμένη στις βιολογικές δράσεις βακτηρίων και μυκήτων (*Bharadwaj, 1995*) και περιλαμβάνει και την μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων των φυτών και των ζώων σ' ένα οργανικό βιολογικά



σταθεροποιημένο υλικό το οποίο επιδέχεται πολλαπλών χρήσεων (πχ. εδαφοβελτιωτικό, ρύθμιση εδαφών, αποκατάσταση εδαφών).

Στην κομποστοποίηση οι αερόβιοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το οργανικό υλικό ως υπόστρωμα. Οι πρώτοι μικροοργανισμοί των βιοδιασπώμενων στερεών απορριμμάτων που εμφανίζονται είναι τα μεσόφιλα βακτήρια, οι ακτινομύκητες, οι μύκητες και τα πρωτόζωα. Αναπτύσσονται μεταξύ 10 και 45 °C (*Cooperland, 2000*) και διασπούν εύκολα συστατικά όπως σάκχαρα και αμινοξέα (*Hellman et al 1997*). Οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν το υπόστρωμα, μετατρέποντας το αρχικά από πολύπλοκες ενώσεις σε ενδιάμεσες και έπειτα σε απλούστερες. (*Epstein, 1997, Ipek et al, 2002*).<sup>[1]</sup> Στην μεσοφιλική φάση (το πρώτο στάδιο της διεργασίας), η οξύτητα του οργανικού κλάσματος αυξάνεται εξαιτίας του σχηματισμού οργανικών οξέων με αποτέλεσμα την μείωση του pH μεταξύ των τιμών 4-5. (*Beck- Friis et al., 2003; Brinton, 1998; Eklind et al., 1997; Gray et al., 1971b; Krichmann and Widen, 1994; Nakasaki et al., 1993; Sundberg et al., 2004; Sundberg and Jonsson, 2005*)<sup>[17]</sup> Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 45 – 50 °C οι θερμοφιλικό μικροοργανισμοί αντικαθιστούν τους μεσοφιλικούς (*Hellman et al 1997*)<sup>[1]</sup>. Τα μικρόβια αυτά τα οποία δρουν σε όλο το όγκο προκαλούν την ανάπτυξη θερμοφιλικών θερμοκρασιών σαν αποτέλεσμα της παραγόμενης θερμότητας λόγω των βιοδιεργασιών. (*SWAN et al 2002*)<sup>[2]</sup>. Η δεύτερη φάση ονομάζεται θερμοφιλική φάση και μπορεί να διαρκέσει από μια έως μερικές βδομάδες ανάλογα με το είδος της κομποστοποίησης. Μετά την θερμοφιλική φάση η οποία διαρκεί μέχρι τέλους του φρέσκου οργανικού υλικού η μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται, όπως και η θερμοκρασία. Αυτή ονομάζεται ψυχρόφιλη φάση. Η φάση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί παράγονται χουμικές ενώσεις που θα σχηματίσουν το τελικό compost. (*Cooperband 2000*).

Κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης, οι ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και άζωτο μετατρέπονται μέσα από διαδοχικές δράσεις διαφορετικών μικροβίων σε πιο σταθερά οργανικά υλικά (*Pare et al, 1998*). Η διάσπαση των πρωτεϊνών, της ουρίας, και των ουρικών οξέων παράγει αμμωνιακά ιόντα (*Hancen et al., 1990*).

Η *αμμωνιοποίηση* (ammonification) αποτελεί την διαδικασία μετατροπής του αζώτου του οργανικού κλάσματος σε αμμωνιακά ιόντα. Το υψηλό pH, η υψηλή θερμοκρασία, και η υγρασία ρυθμίζουν την ισορροπία  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  και την εκπομπή αμμωνίας. Η διαλυτότητα της αμμωνίας μειώνεται περίπου στο 30% όταν η θερμοκρασία αυξάνεται από 40 στους 50 °C και το pH αυξάνεται. Υπό αυτές τις συνθήκες ευνοείται η πτητικότητα της αμμωνίας και η έκλυσή της στην ατμόσφαιρα. Επομένως παρατηρούνται απώλειες αζώτου υπό μορφή αέριας αμμωνίας.

Ένα άλλο στάδιο είναι η *νιτροποίηση*, όπου τα αμμωνιακά ιόντα μετατρέπονται σε νιτρικά μέσω της οξειδωσης κάτω από αερόβιες συνθήκες. Παρατηρείται κυρίως κατά την δεύτερη μεσόφιλη φάση όπου απαιτείται καλός αερισμός, παροχή οξυγόνου και άνθρακα στο υπόστρωμα. Παρόλο που η διεργασία της κομποστοποίησης αποτελεί μία αερόβια διεργασία, τμηματικά σε συγκεκριμένα σημεία του υποστρώματος, παρατηρείται η ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών. Κάτω από αυτές τις συνθήκες πραγματοποιείται η απονιτροποίηση, δηλαδή η μετατροπή των νιτρικών ιόντων σε  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ .

Η πορεία και ο βαθμός της διεργασίας εξαρτάται από του οργανικού μίγματος και από τις μεταβλητές που ελέγχουν την διεργασία. (*Marche et al,2003*). Όσο αφορά το βασικό προϊόν παρατηρείται ότι είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, ενώ ως παραπροϊόντα εμφανίζονται το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό, και η θερμότητα (*Abbasi and Ramasamy, 1999*).<sup>[1]</sup>

#### 4.2.2 Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση.

Η αναγκαιότητα του να πετύχουμε ένα πολύ καλής ποιότητας τελικό προϊόν προϋποθέτει τον πλήρη έλεγχο και την αναλυτική παρακολούθηση της διεργασίας ώστε να έχουμε μια σαφή εικόνα όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την διεργασία με τον έναν ή τον άλλον τρόπο. Αποδείχθηκε ότι το compost είναι μια μικρογραφία του οικοσυστήματος, όπου οι επιδράσεις μεταξύ βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων φέρνουν τις επιθυμητές αλλαγές.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την διεργασία διαμορφώνονται βάση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του οργανικού υλικού (*Bertoldi et al.1983*,

*Forster 1993, Tiquia and Tam 2000a*).<sup>[1]</sup> Σ' αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται τόσο φυσικοί όσο και χημικοί παράγοντες. Φυσικοί παράγοντες είναι: η θερμοκρασία, η υγρασία, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο, και χημικοί παράγοντες: ο λόγος C/N, το pH, το άζωτο και οι ανόργανες μορφές του, η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα.<sup>[20]</sup>

#### 4.3 Αβιοτικοί παράγοντες

##### 4.3 Φυσικοί παράγοντες

###### 4.3.1 Η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία στην διεργασία της κομποστοποίησης καθορίζει την πορεία πολλών βιολογικών διεργασιών που πραγματοποιούνται και παίζει ένα καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των μικροβίων (*Mustin, 1987*).<sup>[1]</sup> Αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την μικροβιακή δράση, και οι διακυμάνσεις της επηρεάζουν τις διάφορες φάσεις της κομποστοποίησης (*Epstein 1997 ; McKinley et al 1985*).<sup>[5]</sup>

Στα αερόβια συστήματα, η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 50 – 60 °C μέσα σε λίγες μέρες και μπορεί ακόμα να ξεπεράσει και τους 70 °C σε μερικές περιπτώσεις. Εάν η διεργασία διεξάγεται επιτυχώς η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει σε υψηλές τιμές μέσα σε 24 με 48 ώρες. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες , οι συνθήκες που επικρατούν στο σύστημα(αερισμός, υγρασία κλπ), το σύστημα κομποστοποίησης που χρησιμοποιείται που αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την προσαρμογή των μικροοργανισμών καθώς επίσης και από την φύση του υποστρώματος. Αντίθετα υπάρχουν περιπτώσεις όπου λόγω της χαμηλής περιβαλλοντικής θερμοκρασίας η χρονική προσαρμογή των μικροοργανισμών ήταν μεγαλύτερη(Lag phase) και περιπτώσεις όπου στον αντιδραστήρα είτε επικρατούσε πολύ υγρασία είτε ο αέρας ήταν πολύ ξηρός είτε δεν υπήρχε πολύ πράσινο (αζωτούχο) υλικό.

Οι υψηλές θερμοκρασίες και η δημιουργία αντιβιοτικών στην διάρκεια της διεργασίας μειώνουν δραστικά τους παθογόνους μικροοργανισμούς στο τελικό

κόμποστ. Μια θερμοκρασία μεταξύ 55 και 65 °C διασφαλίζει την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών (*Finstein et al ., 1987*) ενώ μια θερμοκρασία των 65 °C για περίπου 30 λεπτά, θεωρείται ιδανική για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών.(*Bollen, 1969; Lopez- Real and Foster, 1985; Bollen et al ., 1989*). Η *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)* έχει καθιερώσει πρότυπα που καθορίζουν την καταστροφή των μικροβίων. Η διατήρηση της θερμοκρασίας στους 55 °C για τουλάχιστον τρεις ημέρες ενδείκνυται για τελικό προϊόν A class ενώ για προϊόν class B ενδείκνυται θερμοκρασία 40 °C ή υψηλότερη για διάρκεια πέντε ημερών μέσα στις οποίες η θερμοκρασία να κυμανθεί στους 55 °C για τουλάχιστον τέσσερις ώρες. Σύμφωνα με (*Vineras et al., 2003*) για να πετύχει η αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών, στον αντιδραστήρα πρέπει να μην εντοπίζονται απώλειες θερμότητας ώστε να διατηρούνται οι υψηλές θερμοκρασίες. Η μέγιστη θερμοκρασία της διεργασίας της κομποστοποίησης κυμαίνεται μεταξύ 60- 70 °C όπου πολλοί μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται(*Epstein, 1977*).

Σε θερμοκρασίες μικρότερες των 20 °C η αποσύνθεση του υποστρώματος από τους μικροοργανισμούς μειώνεται ή και ακόμα σταματάει. Επιπρόσθετα η μικροβιακή δραστηριότητα παρεμποδίζεται και από θερμοκρασίες που φτάνουν τους 82 °C (*Finstein et al., 1986; Fermor et al., 1989*)<sup>[1]</sup> αφού οι κυψέλες των μικροοργανισμών καταστρέφονται με αποτέλεσμα τη ραγδαία μείωση των πληθυσμών τους, γεγονός που οδηγεί σε ανεπιθύμητη αποστείρωση του υπό επεξεργασία οργανικού υλικού.(*Sundberg, 2003*) <sup>[20]</sup> Η βέλτιστη θερμοκρασία στην κομποστοποίηση σύμφωνα με την μέγιστη αποσύνθεση του υποστρώματος κυμαίνεται μεταξύ 52-60 °C (*MacGregor et al al.,1981*)<sup>[1]</sup>

Στα συστήματα ελεγχόμενης διεργασίας αερόβιας αποδόμησης όπου εφαρμόζονται συνθήκες ασυνεχούς τροφοδοσίας(Batch systems), η θερμοκρασία καθορίζει τη φάση βιοαποδόμησης και αντίστροφα, κάθε φάση χαρακτηρίζεται από την θερμοκρασία. Για συστήματα συνεχούς τροφοδοσίας μετά την μεσόφιλη φάση, η θερμοκρασία διατηρείται εντός των ορίων ενός μικρού σχετικά εύρος τιμών που αντικατοπτρίζει την εμφάνιση θερμόφιλων συνθηκών. ▲

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

Σε συστήματα “ ανοικτού ” ή “ κλειστού ” τύπου, ευρείας, μέσης ή οικιακής κλίμακας, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην επιτάχυνση των αντιδράσεων βιοξείδωσης όπου, ως προς την θερμοκρασία, επιτυγχάνεται κατά την θερμοφιλή φάση. Τέλος, όσο αφορά την επίδραση του όγκου της σωρού ως προς τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας, οι ευμεγέθεις σωροί έχουν την τάση να συγκρατούν και να διαχέουν καλύτερα την εσωτερικά αναπτυσσόμενη θερμότητα στον όγκο τους, συγκριτικά με σωρούς μικρού μεγέθους, όπου η παραγόμενη θερμότητα διαχέεται στο περιβάλλον (*Sundberg, 2003*)<sup>[20]</sup>

#### 4.3.2 Υγρασία

Η υγρασία είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την μικροβιακή δράση, αφού παρέχει το μέσο για την μεταφορά των διαλυμένων θρεπτικών ουσιών που απαιτούνται για το μεταβολισμό και τις φυσικές δράσεις των μικροοργανισμών<sup>[1]</sup>

Ως παράμετρος επίδρασης μειώνεται κατά τα εξελικτικά στάδια της διεργασίας, καθώς η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών έχει ως αποτέλεσμα την εξάτμιση τμήματος της.<sup>[20]</sup> Μία ιδανική υγρασία για την αρχή της διεργασίας κυμαίνεται μεταξύ 60-70 %. Στα τελευταία στάδια της αποσύνθεσης όμως, το ιδανικό ποσοστό εντοπίζεται μεταξύ 50-60 %.<sup>[1]</sup>

Η μεταβολή του ποσοστού της υγρασίας εξαρτάται από την ισορροπία που επιτυγχάνεται μεταξύ της μικροβιακής δράσης και των τιμών του οξυγόνου. Σε πολύ χαμηλό ποσοστό, μικρότερο δηλαδή του 30%, η μικροβιακή δραστηριότητα αναστέλλεται. (*Bertoldi et al 1983, Tiquia et al 1996, 2002a*).<sup>[1]</sup> Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι, η διαδικασία αποδόμησης των οργανικών μακρομορίων από τους μικροοργανισμούς βασίζεται στην έκκριση ενζύμων και κατ’ επέκταση, στην κατανάλωση των θρεπτικών συστατικών σε υγρό περιβάλλον. Σε περιεκτικότητα του μέσου σε υγρασία μεγαλύτερη από 80% επικρατούν αναερόβιες συνθήκες, και οι ποσότητες οξυγόνου που είναι απαραίτητες για το μεταβολισμό της αερόβιας μικροπανίδας, δεν επαρκούν με αποτέλεσμα τη βαθμιαία αντικατάσταση αυτής από αναερόβιους

μικροοργανισμούς που δρουν και αναπτύσσονται απουσία οξυγόνου (*Polomski, 2003*).

Η ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών εκτός του ότι είναι ανεπιθύμητη καθώς παρεμποδίζει την ομαλή εξέλιξη των διεργασιών αερόβιων αποδόμησης ευνοεί τη δημιουργία αμμωνίας και άλλων χημικών ενώσεων που είναι υπεύθυνες για την έκλυση εξαιρετικά δυσάρεστων οσμών. (*Jereb, 2004*).<sup>[20]</sup>

#### 4.3.3 Περιεκτικότητα σε οξυγόνο

Η κομποστοποίηση αποτελεί την κατεξοχήν βιοδιασπώμενη αερόβια διεργασία και το οξυγόνο αποτελεί την βάση της. Η αποδοτική δράση των αερόβιων μικροβιακών πληθυσμών στις αντιδράσεις βιοξειδωσης προϋποθέτει την παρουσία αέρα και ειδικότερα, το περιεχόμενο σε αυτόν οξυγόνο.<sup>[20]</sup>

Ο αερισμός είναι μια συνιστώσα της διεργασίας της κομποστοποίησης που ενισχύει την ανάπτυξη αερόβιων μικροβιακών πληθυσμών σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες (*Barrington et al ..2003*).<sup>[1]</sup> Όταν η περιεκτικότητα του οξυγόνου είναι μεγαλύτερη από 10% κατ' όγκο, τα επίπεδα οξυγόνου κρίνονται εν γένει επιθυμητά. Στην περίπτωση αυτή, διασφαλίζοντας άριστες συνθήκες ως προς το μεταβολισμό των μικροοργανισμών και οι διεργασίες αερόβιας αποδόμησης εξελίσσονται ομαλά. (*Polomski 2003*).

Για περιεκτικότητα σε οξυγόνο μεταξύ 5 με 10%, οι διεργασίες αερόβιας αποδόμησης εξελίσσονται με αργό ρυθμό, ενώ τοπικά σε διάφορα σημεία της σωρού, εμφανίζονται αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Τέλος, για περιεκτικότητα σε οξυγόνο μικρότερη από 5%, οι αναερόβιες συνθήκες επικρατούν στα περισσότερα τμήματα της οργανικής μάζας.<sup>[20]</sup>

Μελέτες πραγματοποιήθηκαν για τις επιδράσεις της μη ύπαρξης αερισμού σε πειραματικούς αντιδραστήρες κομποστοποίησης σε τρία διαφορετικά στάδια: την 3<sup>η</sup> ημέρα, δηλαδή στο τέλος της μεσοφιλικής φάσης, την 4<sup>η</sup> ημέρα στην μέγιστη θερμοκρασία, και την 5<sup>η</sup> ημέρα όταν η θερμοκρασία έχει αρχίσει να πέφτει. Παρατηρήθηκε μία αύξηση της όξινης φάσης και μια μικρότερη αύξηση των λιπαρών οξέων από την διακοπή της παροχής οξυγόνου στα δύο τελευταία

στάδια *Robertsson (2001)* <sup>[1]</sup> .Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, κατά τα πρώτα στάδια οι απαιτήσεις πολλαπλασιασμού και εξάπλωσης των μικροοργανισμών προϋποθέτουν αυξημένες ποσότητες αέρα, οι οποίες βαθμιαία μειώνονται κατά τη μετάβαση από τη μεσόφιλη στη θερμοφιλη φάση. Το ποσοστό περιεκτικότητας του οξυγόνου είναι αντιστρόφως ανάλογο της αύξησης της θερμοκρασίας για αυτό και οι ποσότητες των παραγόμενων υδρατμών είναι ανάλογη της αύξησης της θερμοκρασίας ενώ και οι απαιτήσεις σε παροχή αέρα αυξάνονται για υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Η περιεκτικότητα του οξυγόνου δηλαδή κυμαίνεται αντιστρόφως ανάλογα της θερμοκρασίας στο χώρο διεργασίας, για αυτό και οι παραγόμενοι υδρατμοί είναι ανάλογοι της αύξησης της θερμοκρασίας, ενώ οι απαιτήσεις σε παρεχόμενο αέρα αυξάνονται για υψηλότερες θερμοκρασίες του 'εξωτερικού' περιβάλλοντος.<sup>[20]</sup>

Τέλος ο αερισμός αποτελεί ένα από τους κύριους παράγοντες της κομποστοποίησης, αφού ελέγχει την θερμοκρασία, αφαιρεί την περιττή υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα και ενισχύει την περιεκτικότητα του οξυγόνου για τις βιολογικές διεργασίες. Η βέλτιστη τιμή της περιεκτικότητας σε οξυγόνο κυμαίνεται μεταξύ 15%-20% (*Miller, 1992*) σε συνδυασμό με επίπεδα θερμοκρασίας κάτω από 60-65 °C (*Finstein and Miller, 1985*).<sup>[25]</sup>

#### 4.3.4 Η φύση του υποστρώματος

Το υπόστρωμα αποτελεί τη μόνη πηγή τροφής για τους μικροοργανισμούς και η φύση του υποστρώματος είναι ο πιο βασικός ρυθμιστικός παράγοντας της διεργασίας. Τα περισσότερα υποστρώματα αποτελούνται πολυμερή που περιλαμβάνουν και μόρια νερού.<sup>[1]</sup> Χαρακτηριστικό του υποστρώματος είναι το "πορώδες" δηλαδή το τμήμα εκείνο του όγκου του οργανικού υλικού μέσω του οποίου διαχέονται οι ποσότητες του αέρα, ανεξάρτητα από τις συνθήκες αερισμού.

Το πορώδες παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην διεργασία γιατί ενισχύει την ανταλλαγή αερίων με την ατμόσφαιρα και ενδυναμώνει τον αερισμό ώστε να επικρατεί και να γίνεται ελεύθερη απελευθέρωση θερμότητας.<sup>[20]</sup> Περιλαμβάνει τόσο την αέρια, όσο και την υγρή φάση στην οποία ωστόσο, το οξυγόνο διαχέεται

με εξαιρετικά μικρές ταχύτητες. Για το λόγο αυτό, το πορώδες συχνά ταυτίζεται με την αέρια φάση και ειδικότερα, με τους αεριοθύλακες που σχηματίζονται μεταξύ διαδοχικών και επάλληλων σωματιδίων οργανικού υλικού. Το πορώδες διαμορφώνεται από το μέσο μέγεθος των σωματιδίων του οργανικού υλικού και από τα επίπεδα υγρασίας κατά την φάση της τροφοδοσίας. Στην κομποστοποίηση συντελείται βαθμιαία μείωση του μεγέθους των σωματιδίων λόγω της αποδόμησης των οργανικών μακρομορίων.

Ως προς τις κλίμακες μεγέθους, όσο μικρότερο είναι ένα σωματίδιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η ελεύθερη επιφάνεια αυτού αναλογικά με τον όγκο του, γεγονός που διευκολύνει την ταχεία εξάπλωση των δρώντων μικροοργανισμών σε ολόκληρο την επιφάνεια του σωματιδίου (*O'Leary & Walsh, 1995*). Το μικρό μέγεθος των σωματιδίων λειτουργεί ως καταλύτης των αντιδράσεων βιοξειδωσης. Όσο μικρότερο είναι το μέσο μέγεθος των σωματιδίων, τόσο μειώνεται ο όγκος στο δίκτυο του πορώδους. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με υψηλά επίπεδα υγρασίας και λόγω της βαρυτικής πίεσης υπερκείμενων στρωμάτων οργανικού υλικού, δρα ανασχετικά στην ομαλή διέλευση του οξυγόνου δια μέσω των σωματιδίων δυσχεραίνοντας τη δέσμευση του από τους μικροβιακούς πληθυσμούς, με επακόλουθο την ταχεία ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών (*Sundberg, 2003*).<sup>[20]</sup>

#### 4.4 Χημικοί παράγοντες

##### 4.4.1 Η αναλογία αζώτου – άνθρακα C/ N

Η αερόβια κομποστοποίηση είναι η διάσπαση του οργανικού υποστρώματος παρουσία οξυγόνου. (*Haug, 1993*)<sup>[1]</sup>. Η αναλογία άνθρακα και αζώτου είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες της διεργασίας και αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για μια προκαταρκτική εκτίμηση της ταχύτητας των αντιδράσεων βιοξειδωσης.

Πρακτικά ο λόγος C:N εκφράζει την αναλογία των ατόμων άνθρακα προς τα άτομα αζώτου στο πρότυπο μόριο του αποβλήτου. Η αναλογία C/N για την κομποστοποίηση κυμαίνεται μεταξύ 25-35 επειδή θεωρείται ότι οι



μικροοργανισμοί απαιτούν 30 άτομα άνθρακα για κάθε άτομο αζώτου (*Bishop and Godfrey, 1983*) [25]. Πειραματικά έχει εξακριβωθεί ότι κατά την διαδικασία αποδόμησης, οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν το 30% με 35% περίπου των θρεπτικών συστατικών (κατά βάση οργανικός άνθρακας και άζωτο) που περιέχονται στα σύνθετα οργανικά μακρομόρια καθώς, η ποσότητα έκκρισης ενζύμων από τα βακτήρια είναι πεπερασμένη. (*Polomski, 2003*). Η δυνατότητα κατανάλωσης των θρεπτικών συστατικών δεν είναι απεριόριστη και εξαρτάται, αφενός από την περιεκτικότητα των μακρομορίων σε θρεπτικά συστατικά αφετέρου από τον τύπο των δρώντων μικροοργανισμών (*Jereb 2004*).<sup>[20]</sup>

Στην διεργασία της κομποστοποίησης η αναλογία αζώτου – άνθρακα (C/N) ενδείκνυται να είναι μεταξύ 30 – 40 με την υγρασία να κυμαίνεται μεταξύ 50% - 65% (*Agnew and Leonard, 2003*) παρόλο που πρόσφατες μελέτες (*Huang et al 2004, Zhu, 2007, Kumar et al 2010*) ανακάλυψαν ότι η κομποστοποίηση μπορεί επίσης να είναι αποτελεσματική σε αναλογία άνθρακα – αζώτου (C/N) κάτω από 20<sup>[15]</sup>.

Για τιμές του λόγου C/N μεγαλύτερες από 40/1 παρεμποδίζεται ο πολλαπλασιασμός των βακτηριακών πληθυσμών αφού λόγο της χαμηλής περιεκτικότητας του οργανικού υλικού σε άζωτο, τα βακτήρια αναγκάζονται να αναζητήσουν θρεπτικά συστατικά σε άλλες πηγές καταναλώνοντας έτσι κυψέλες ή νεκρούς μικροβιακούς πληθυσμούς προκειμένου να αναπληρώσουν το έλλειμμα σε άζωτο (*US Enviromental Protection Agency, 1994*).

Αντίθετα εάν ο λόγος είναι μικρότερος από 15/1 τότε παρατηρείται ταχεία ανάπτυξη και δράση των μικροοργανισμών που συνεπάγεται αύξηση στην κατανάλωση του οξυγόνου. Η διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων του υποστρώματος θεωρείται ότι είναι υπέρμετρη και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η πλεονάζουσα ποσότητα αζώτου να διαφεύγει με την μορφή αέριας αμμωνίας η οποία και αποτελεί την βασική αιτία εκπομπής δυσάρεστων οσμών.

Παράλληλα η έλλειψη οξυγόνου συντελεί στη βαθμιαία αντικατάσταση της αερόβιας πανίδας, από αναερόβιους μικροοργανισμούς (*Polomski, 2003*) Στην περίπτωση που η αρχική τιμή του λόγου του C/N είναι 30/1, διαπιστώνεται εν γένει μείωση της τιμής αυτής ώστε τελικώς, στο παραγόμενο compost η σχετική

τιμή να κυμαίνεται μεταξύ 15 και 20/1. Η τελική τιμή του λόγου C/N διαμορφώνεται από ένα συνδυασμό παραγόντων που αφορούν σε:

- Ρυθμό κατανάλωσης του άνθρακα και του αζώτου κατά τη διάσπαση των οργανικών μακρομορίων που συνιστούν τη μάζα βιοαποδομήσιμων πτητικών στερεών του αποβλήτου.
- Διαφυγή ποσοτήτων άνθρακα στα απαέρια των αντιδράσεων βιοξειδωσης με τη μορφή κυρίως οξειδίων του άνθρακα και δευτερευόντως μεθανίου.
- Διαφυγή ποσοτήτων αζώτου στα απαέρια των αντιδράσεων βιοξειδωσης με τη μορφή αμμωνίας.<sup>[20]</sup>

#### 4.4.2 pH

Το pH αποτελεί ενδεικτική παράμετρο της περιεκτικότητας των οργανικών αποβλήτων σε θρεπτικά συστατικά και ανάλογα με τον τύπο του οικιακού απορρίμματος έχει εύρος τιμών μεταξύ 3 και 11 (*Polomski 2003*). Επίσης, η τιμή του διαμορφώνει το βαθμό διαλυτότητας των περιεχόμενων στο υπόστρωμα βαρέων μετάλλων.

Σε ότι αφορά την επίδραση επί των δρώντων μικροοργανισμών, η εύρυθμη λειτουργία τους εξασφαλίζεται σε σχετικά ουδέτερο περιβάλλον για τιμές pH= 6,5- 7,5. Στο εύρος αυτό, ευνοείται η δραστηριότητα των βακτηρίων χωρίς να περιορίζεται σημαντικά εκείνη των μυκήτων, οι οποίοι δρούν αποδοτικότερα σε ελαφρώς όξινο περιβάλλον. (*O' Leary & Walsh, 1995*). Για pH = 5-6, η μικροβιακή δραστηριότητα εξελίσσεται ομαλά καθώς η ταχεία ανάπτυξη των θερμοφίλων συνθηκών, αντισταθμίζει τις αρνητικές συνέπειες του ελαφρώς όξινου περιβάλλοντος στους μικροβιακούς πληθυσμούς. Επιπλέον, σε περιπτώσεις όπου το περιβάλλον είναι ουδέτερο, ή ελαφρώς αλκαλικό (pH>7), ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερος, γεγονός που υποδεικνύει έντονη μικροβιακή δραστηριότητα.

Σε αντιδραστήρες ασυνεχούς τροφοδοσίας (batch reactor) οι τιμές του pH διαμορφώνονται από αντιδράσεις οξέων τριών τύπων. Οι αντιδράσεις αυτές, συνδυάζονται με τις τρεις κύριες φάσεις (μεσόφιλη, θερμοφιλη και ψυχρόφιλη) με τέτοιο τρόπο ώστε, κατά τη μεσόφιλη φάση αναπτύσσεται ένα ελαφρώς όξινο

περιβάλλον ( $5 < \text{pH} < 7$ ), το οποίο κατά τη θερμοφιλή φάση και έως το πέρας της ψυχρόφιλης σταθεροποιείται σε ελαφρώς αλκαλικό.

Ο πρώτος τύπος αντιδράσεων αφορά σε αντιδράσεις κατά τις οποίες παράγονται οργανικά οξέα εκ των οποίων τα κυριότερα αφορούν σε λακτικό και ακετικό οξύ. Με το πέρας των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά τη μεσόφιλη φάση, δημιουργείται ένα σχετικά όξινο περιβάλλον ( $\text{pH}=4$ ) (Weast et al., 1990).

Ο δεύτερος τύπος αφορά σε αντιδράσεις αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ) αμμωνίας. Σ' αυτό το στάδιο παρατηρείται αύξηση του  $\text{pH}$  εξαιτίας της κατανάλωσης των οξέων και την παραγωγή αμμωνιακών ιόντων λόγω της διάσπασης του οργανικού αζώτου από τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κυρίως κατά την αποδόμηση των πρωτεϊνών. Πιο συγκεκριμένα στο τέλος της μεσόφιλης φάσης και κυρίως κατά τη διάρκεια της θερμοφιλής φάσης, το άζωτο δεσμεύεται από τους μικροοργανισμούς και στο τέλος της θερμοφιλής φάσης, σημαντικό τμήμα του παραγόμενου αζώτου διαφεύγει με την μορφή αμμωνίας, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός σχετικά αλκαλικού περιβάλλοντος ( $\text{pH}=9$ ).

Ο τρίτος τύπος αφορά σε αντιδράσεις ανόργανων ενώσεων του άνθρακα. Ειδικότερα, κατά τις αντιδράσεις βιοξειδωσης οργανικών ενώσεων σχετικά χαμηλού μοριακού βάρους, παράγεται διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) το οποίο, είτε διαφεύγει μαζί με τα υπόλοιπα απαιρία, είτε διαλύεται στο νερό σχηματίζοντας μόρια ανθρακικού οξέος ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), όξινες ανθρακικές ρίζες ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) και ανθρακικές ρίζες.

Η μείωση του  $\text{pH}$  συνεπάγεται τόσο από την δράση νιτροποιών μικροοργανισμών για την μετατροπή αμμωνιακών σε νιτρικά (διεργασίας της νιτροποίησης) όσο και από την πτητικότητα της αμμωνίας η οποία απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. (Pagans et al., 2005; Mena et al., 2003)<sup>[18, 26]</sup>

Τέλος κατά την ρύθμιση των παραμέτρων που διέπουν τις διεργασίες αερόβιας αποδόμησης τα επίπεδα του  $\text{pH}$  δεν απαιτούν εκτεταμένο έλεγχο. Ωστόσο, ιδιαίτερη βαρύτητα πρέπει να δίνεται στην εξασφάλιση των απαραίτητων αερόβιων συνθηκών σε κάθε τμήμα του όγκου του οργανικού κλάσματος λόγω του γεγονότος ότι η δημιουργία αναερόβιων συνθηκών ευνοεί

τη σταδιακή αύξηση στις ποσότητες των παραγόμενων οργανικών οξέων επηρεάζοντας κατ' επέκταση και την τιμή του pH.

Η τιμή του pH στο παραγόμενο compost αποτελεί δείκτη του βαθμού ωρίμανσης καθώς, όσο πλησιέστερα βρίσκεται στην τιμή pH= 7, τόσο "ωριμότερο" είναι.<sup>[20]</sup>

#### 4.5 Παράμετροι ποιότητας του τελικού προϊόντος

##### 4.5.1 Ποιότητα και ωρίμανση του κόμποστ

Διάφορες μέθοδοι έχουν κατά καιρούς προταθεί για την ανάπτυξη και την ρύθμιση της διεργασίας της κομποστοποίησης και το χαρακτηρισμό της ποιότητας του compost. Δύο όμως είναι οι βασικοί όροι που αναφέρονται στην ποιότητα και ωρίμανση του compost και προσδιορίζουν την διάσπαση της οργανικής ύλης στην διεργασία της κομποστοποίησης, σταθεροποίηση και ωρίμανση.

Η βασική απαίτηση για ένα compost για να είναι εδαφιοβελτιωτικό είναι ο υψηλός βαθμός *ωρίμανσης* και *σταθεροποίησης* το οποίο απαιτεί ένα σταθερό οργανικό κλάσμα χωρίς παρουσία φυτοτοξικών συστατικών και παθογόνων μικροοργανισμών. Ο όρος *ωρίμανση* έχει σχέση με την ανάπτυξη των φυτών ή με την φυτοτοξικότητα (*Iannotti et al., 1993*), ενώ ο όρος *σταθεροποίηση* αναφέρεται συνήθως στην μικροβιακή δραστηριότητα που παρατηρείται στο compost. Ωστόσο, και οι δύο όροι μαζί *σταθεροποίηση* και *ωρίμανση* συνδέονται στενά, αφού τα φυτοτοξικά συστατικά παράγονται από τους μικροοργανισμούς του οργανικού κλάσματος (*Zucconi et al., 1985*). Κάθε όρος αναφέρεται σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της διεργασίας. Ο όρος *σταθεροποίηση* αναφέρεται σ' ένα συγκεκριμένο στάδιο της αποσύνθεσης ή κομμάτι του οργανικού κλάσματος κατά την κομποστοποίηση, το οποίο έχει σχέση με το είδος των οργανικών συστατικών που παραμένουν και το αποτέλεσμα της μικροβιακής δραστηριότητας στο υπόστρωμα. (*California Compost Quality Council, 2001*). Διάφορες ερμηνείες έχουν δοθεί για την σταθεροποίηση του compost: (*Bernal et al, 1998a*) σύνδεε την σταθεροποίηση με την μικροβιακή δραστηριότητα στο

compost (*UK Composting Association 2001*) όριζε την σταθερότητα ως το βαθμό της μικροβιακής αποσύνθεσης του υποστρώματος που έχει πραγματοποιηθεί. (*Hue and Liu 1995*) σύνδεε την σταθεροποίηση με την μικροβιακή δραστηριότητα και κυρίως την παρουσία δυσάρεστων οσμών.

Η *ωρίμανση* ορίζεται ως ο βαθμός ή το επίπεδο του τερματισμού της κομποστοποίησης. *California Compost Quality Council(CCQC)* ορίζουν την ωρίμανση ως το βαθμό ή το επίπεδο ολοκλήρωσης της κομποστοποίησης ενώ *UK Composting Association(2001)* θεωρούν την ωρίμανση ως το βαθμό που το compost έχει ωριμάσει καθώς επίσης ως και ώριμο compost το compost που δεν έχει καθόλου αρνητικές επιπτώσεις στα φυτά. Επιπρόσθετα (*Bernal et al 1998a*) περιγράφει την ωρίμανση στην δημιουργία ενός σταθερού οργανικού κλάσματος απουσία οξυγόνου και φυτοτοξικών συστατικών καθώς και παθογόνων μικροοργανισμών. Παρόμοιες ερμηνείες έχουν δοθεί και από *Chen and Inbar(1993), Iannotti et al (1993), and Hue and Liu( 1995)*.

Η *ωρίμανση* δεν περιγράφεται από μία μόνο ιδιότητα και για αυτό μετρείται από δύο ή και περισσότερους παραμέτρους της κομποστοποίησης. Η ωρίμανση σε τμήμα του compost επηρεάζεται από την σταθερότητα του υποστρώματος στο συγκεκριμένο κομμάτι και περιγράφει την επίδραση χημικών παραμέτρων του compost για την ανάπτυξη των φυτών. Αναρίθμητα κριτήρια και παράμετροι έχουν προταθεί για τον έλεγχο της ωρίμανσης του compost. Οι παράμετροι της ωρίμανσης βασίζονται σε διαφορετικές ιδιότητες: *φυσικές, χημικές και βιολογικές, περιλαμβανομένου μικροβιακής δραστηριότητας*.

Φυσικά χαρακτηριστικά όπως το *χρώμα, η οσμή, και η θερμοκρασία* δίνουν μια γενική ιδέα του βαθμού της αποσύνθεσης, αλλά όχι μια ολοκληρωμένη πληροφόρηση για το βαθμό της ωρίμανσης . Χημικοί μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως, περιλαμβανομένου της μέτρησης του C/N στην στερεή φάση(*Bernal et al., 1998a; Iglesias-Jimenez and Perez-Garcia, 1992*), την ποσότητα νερού(*Chanyasak and Kubota, 1981; Hue and Liu, 1995*), τα οργανικά οξέα(*Iannotti et al., 1994; Manios et al., 1989*), την νιτροποίηση(την συγκέντρωση  $\text{NH}_4\text{-N}$  και την αναλογία  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ . *Bernal et al ., 1998a; Finstein and Miller, 1985; Zucconi and de Bertoldi, 1987*), την ανταλλαγή ιόντων (*Harada and Inoko,*

1980) και το βαθμό χουμποποίησης του οργανικού κλάσματος(*de Nobil and Petrussi, 1988; Iglesias-Jimenez and Petez-Garcia, 1992*)<sup>[25]</sup>. Επιπρόσθετα η ωρίμανση του compost μετριέται και από την εκπομπή διοξειδίου άνθρακα, την διαλυτότητα του άνθρακα στο νερό, και στην παραγωγή στραγγισμάτων στο τελικό προϊόν (*Abd-el-Malek et al 1976, Garcia et al 1992, Ranalli et al 2001*)

Η φυτοτοξικότητα εκτιμάται μέσω φυτομετρικών tests με υγρά δείγματα και αποτελεί ένα κριτήριο για την ωρίμανση του compost με βιολογικές μεθόδους προσδιορισμού (*Cucha Queda et al 2002*)<sup>[4]</sup>

#### 4.5.2 Η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα

Η περιεκτικότητα του compost σε βαρέα μέταλλα, εξαρτάται αφενός από το τύπο του τροφοδοτούμενου οργανικού υπολείμματος, αφετέρου, από την τεχνική επεξεργασίας σε ότι αφορά στο διαχωρισμό του οργανικού κλάσματος από ανόργανα υλικά. Αναλυτικότερα, σε ότι αφορά στην εναλλακτική διαχείριση των αστικών απορριμμάτων, το compost που παράγεται από διεργασίες αερόβιας αποδόμησης σε εγκαταστάσεις μηχανικού διαχωρισμού, χαρακτηρίζεται από την παρουσία ανόργανων προσμίξεων στη μορφή τεμαχιδίων με μέση διάσταση μικρότερη των 3-4 mm.

Οι εν λόγω προσμίξεις εγκιβωτίστηκαν στον όγκο των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, κατά την διαδικασία μηχανικού διαχωρισμού από τα υπόλοιπα υλικά. Αντίθετα όταν το οργανικό υπόλειμμα προέρχεται από διαλογή στην πηγή, έχει το πλεονέκτημα ότι, το παραγόμενο compost χαρακτηρίζεται από χαμηλή περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, συγκρινόμενο με τα composts που παράγονται από εγκαταστάσεις μηχανικού διαχωρισμού.<sup>[20]</sup>

Τα βαρέα μέταλλα δεν αλλοιώνονται κατά την διεργασία της κομποστοποίησης και η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από την μικροβιακή διάσπαση και την μείωση του άνθρακα και του νερού στο κόμποστ. (*Richard 1992*). Επιπρόσθετα η βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων μπορεί να μειωθεί κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης εξαιτίας των διάφορων διεργασιών, όπως της μικροβιακής διάσπασης, οξειδωσης, απορρόφησης και διάσπασης της οργανικής

**Σχόλιο [MD1]:** Να ενσωματωθεί στο κεφάλαιο με τις παραμέτρους ποιότητας του τελικού προϊόντος (1,1,7)

ύλης.(*Greenway and Song, 2002,Richard 1992*) Από αυτές τις διεργασίες η μετατροπή του οργανικού κλάσματος σε μορφή χώματος αποτελεί το πρωταρχικό μηχανισμό που επηρεάζει την διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων (*Wong and Selvam 2006*). Είναι ξεκάθαρο ότι η επιβεβαίωση της μείωσης της διαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων γίνεται στο ώριμο compost (*Benito et al 2009*).

Γενικά, τα υψηλά ποσοστά βαρέων μετάλλων (π.χ *Cd, Cr, Cu, Pb, Ni*) στο compost προκαλούν μία εύλογη ανησυχία για το πόσο μπορούν να απορροφώνται από τα γεωργικά προϊόντα που προορίζονται για κατανάλωση. (*Bhattacharyaa et al, 2001, Deportes et al, 1995, Papadimitrou et al 2008*).<sup>[2]</sup>

Σε μερικές χώρες η περιεκτικότητα του compost σε βαρέα μέταλλα, διαμορφώνει τα επίπεδα ποιότητας όπου, από την υψηλότερη στη χαμηλότερη ποιότητα κατατάσσονται ως εξής( *Technisches Buro Hauer Umweltwirtschaft, 2001*) :

- Ποιότητα A+
- Ποιότητα A και
- Ποιότητα B

Η διάκριση των επιπέδων ποιότητας αφορά σε θέσπιση διαφορετικών κατώτερων ορίων σχετικά με την ποσοστιαία περιεκτικότητα της ξηρής μάζας του compost σε βαρέα μέταλλα.<sup>[20]</sup>

Τέλος πειραματικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι η προσθήκη φυσικού ζεόλιθου και συγκεκριμένα κλινοπτιλόλιθου στην διάρκεια της κομποστοποίησης είναι ένας τρόπος μείωσης της περιεκτικότητας των βαρέων μετάλλων.(*Zorpas et al., 2000*). Πιο συγκεκριμένα ο κλινοπτιλόλιθος, έχει την μοναδική ικανότητα να συγκρατεί όλα σχεδόν τα μέταλλα τα οποία συμμετέχουν σε ανταλλαγή ιόντων στο οργανικό κλάσμα. Η σειρά εκλεκτικότητας του είναι η εξής :  $Cu>Cr>Fe>Ni>Mn>Pb>Zn$ .<sup>[8]</sup>

**Πίνακας 1.** Οι Βέλτιστες Τιμές των Σημαντικότερων Παραμέτρων της Κομποστοποίησης.

<i>Parameter</i>	<i>Optimum value for composting</i>
C/N ratio	25 to 35
Particle size	10 mm for agitated systems and forced aeration, 50mm for long heaps and natural aeration
Moisture content	50 to 60% ( higher values when bulking agents are used
Temperature	55 to 60 °C held for 3 days
pH control	Normally not necessary

*Note: Gaur (2000)*

#### 4.6 Βιοτικοί παράγοντες

Όλες οι βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας στηρίζονται στην δράση των μικροοργανισμών. Σε αυτό το είδος της βιολογικής αερόβιας επεξεργασίας οι αερόβιοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το οργανικό υλικό σαν υπόστρωμα.

Η έκθεση και η έκταση αυτών των μικροοργανισμών αποτελούν σημαντικούς παράγοντες της διεργασίας. Τα μικρόβια αποσυνθέτουν την οργανική ύλη, επηρεάζοντας τα αζωτούχα συστατικά μέσω της οξειδωσης, της νιτροποίησης, και απονιτροποίησης. (Golueke, 1992; Tiquia and Tam, 200a) ενώ δεν έχουν την δυνατότητα να μεταβάλλουν άμεσα, τα αδιάλυτα μέρη της οργανικής ύλης. Έτσι όλες οι βιοχημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης καταλύονται από ένζυμα (Ayuso et al., 1996; Garcia et al., 1992a; Godden et al., 1983; Vuorinen, 1999, 2000). Τρία είναι τα βασικά είδη βιοτικών μικροοργανισμών που συμμετέχουν στην κομποστοποίηση: τα βακτήρια, οι μύκητες, και οι ακτινομύκητες.

Τα βακτήρια παίζουν το πιο κυριαρχικό ρόλο σ' όλες τις μικροβιακές δράσεις της διεργασίας εξαιτίας της ικανότητας τους να δρουν ταχύτατα σε υδατικές πρωτεΐνες και σ' όλα τα υποστρώματα. (Strom 1985a; Golueke,1992;Epstein, 1997).Επίσης μπορούν να δράσουν σε πιο πολύπλοκες



χημικά ουσίες και σε υποστρώματα δύσκολα βιοδιασπώμενα.<sup>[1]</sup> Ενδεικτικό παράδειγμα βακτηρίων είναι η *Lactobacillus* και *Escherichia coli* που οξειδώνουν το οργανικό υπόστρωμα παράγοντας οργανικά οξέα παρουσία οξυγόνου (*Briton, 1998; Sundberg, 2003; Sundberg and Jonsson, 2005*)<sup>[17]</sup>

Οι μύκητες ξεκινούν την δράση τους πάνω σε εύκολα διασπώμενα συστατικά όπως σάκχαρα, άμυλο και πρωτεΐνες που έχουν επιδράσει τα βακτήρια και στο υπόστρωμα κυριαρχεί η κυτταρίνη και η λιγνίνη κατά τα τελευταία στάδια της διεργασίας. (*Bertoldi et al., 1983; Golueke, 1992; Tiquia et al., 2002b*). Οι περισσότεροι μύκητες δρουν κάτω από υψηλές θερμοκρασίες (*Epstein, 1997*.)

Οι ακτινομύκητες συμπεριφέρονται όπως και οι μύκητες. Αναπτύσσονται κατά τα τελευταία στάδια της διεργασίας και δρουν πάνω σε πολυμερή όπως η κυτταρίνη και η λιγνίνη. (*Bertoldi et al., 1983; Epstein 1997*).<sup>[1]</sup>

Τέλος, όσο αφορά τη βέλτιστη μικροβιακή δραστηριότητα εντοπίζεται στα τελευταία στάδια της διεργασίας όπου τα οργανικά οξέα γίνονται εύκολα βιοδιασπώμενα και μπορούν να καταναλωθούν από τους μικροοργανισμούς (*Briton, 1998; Sundberg and Jonsson, 2005*). Αντίθετα χαμηλή μικροβιακή δράση εντοπίζεται σε συνθήκες με χαμηλό pH και θερμοκρασία κατά από 40 °C.<sup>[17]</sup>

4.7 Η αναγκαιότητα προσθήκης πρόσθετων, ο ρόλος τους και οι εφαρμογές τους.

#### 4.7.1 Η αναγκαιότητα χρήσης προσθέτων στην κομποστοποίηση.

Σκοπός της αερόβιας κομποστοποίησης είναι η διάσπαση του οργανικού υποστρώματος παρουσία οξυγόνου. (*Haug, 1993*). Η διεργασία αυτή, έχει αποδειχθεί ότι ενισχύεται ακόμα περισσότερο όταν η αναλογία αζώτου – άνθρακα (C/N) είναι μεταξύ 30 – 40 και η υγρασία μεταξύ 50% - 65% (*Agnew and Leonard, 2003*). Πρόσφατα, διάφορες μελέτες (*Huang et al 2004, Zhu, 2007, Kumar et al 2010*) που πραγματοποιήθηκαν ανακαλύφθηκε ότι και σε αναλογία άνθρακα – αζώτου (C/N) κάτω από 20 μπορεί να πραγματοποιηθεί επιτυχημένη διεργασία.

Για μια αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη διεργασία αναρίθμητα πρόσθετα όπως πριονίδι, σκόνη σιταριού, λυματολάσπη, ρύζι, σανό, φυστίκια, και διάφορα άλλα έχουν αναμιχθεί με στερεά απόβλητα για να ρυθμίσουν την περιεκτικότητα σε υγρασία, την περιεκτικότητα σε άζωτο, την αναλογία C/N, ( *Haug, 1993; Gea et al 2007; Kim et al 2008; Adhikari et al 2009; Iqbal et al 2010*) αφού τα περισσότερα από τα στερεά απόβλητα όπως η λυματολάσπη, τα οικιακά απορρίμματα και τα ζωικά απορρίμματα έχουν πολύ υψηλή υγρασία και πολύ χαμηλό C/N.<sup>[15]</sup> Για παράδειγμα τα υπολείμματα φαγητών περιέχουν αναλογία C/N κάτω από 2/1 και επίπεδα υγρασίας που φτάνουν το 90%. (*Adhikari et al.,2008*). Οι τιμές αυτές εμποδίζουν τον αερισμό, και την ανάπτυξη μικροβιακής δραστηριότητας για την έναρξη της κομποστοποίησης.<sup>[16]</sup>

Ανάμεσα στα πρόσθετα συγκαταλέγονται και η χρήση φυσικών αδρανών πρόσθετων όπως ο ζεόλιθος, ο περλίτης και ο βερμικουλίτης. Ο ρόλος των προσθέτων είναι όχι μόνο να διαφοροποιούν τις φυσικές ιδιότητες του compost αλλά επίσης να επηρεάζουν τις κινητικές της βιοδιάσπασης και τις συνθήκες κομποστοποίησης. (*Haug,1993; Barrington et al 2002;, Das et al 2003; Kulcu and Yaldiz,2007; Adhikari et al 2008; Kim et al 2008; Yanez et al 2009;*). Παρόλο αυτά μαθηματικά μοντέλα που να συνδέουν τις φυσικές παραμέτρους του υποστρώματος με τις βασικές παραμέτρους της διεργασίας δεν έχουν ακόμα αναπτυχθεί.<sup>[15]</sup>

#### 4.7.2 Ο Ζεόλιθος

Ο ζεόλιθος είτε ο φυσικός είτε ο συνθετικός έχει την ικανότητα για τέλεια ανταλλαγή ιόντων, και χάρη της δομής του έχει την ικανότητα να απορροφά την αμμωνία. Ο ζεόλιθος έχει την δυνατότητα να συγκρατεί τα βαρέα μέταλλα του compost (*Constantopoulou et al 1994, Wong et al 1995, Zorpas et al. 1999*)<sup>[21]</sup> και να χρησιμοποιείται ως εδαφιοβελτιωτικό, στον εμπλουτισμό του αέρα, και στην κατεργασία και των υγρών αποβλήτων.<sup>[3]</sup>

##### 4.7.2.1 Η εφαρμογή του ζεόλιθου ως πρόσθετο για την απορρόφηση της αμμωνίας σε δημοτική στερεά απόβλητα

Σκοπός μίας έρευνας που πραγματοποιήθηκε σε μια κεντρική πόλη της Τουρκίας στο Samsun ήταν η μελέτη της εφαρμογής του ζεόλιθου ως πρόσθετο για την απορρόφηση της αμμωνίας σε δημοτικά στερεά απόβλητα. Το 75 - 80% των αποβλήτων αυτών αποτελούν οργανικά απόβλητα, ικανά για κομποστοποίηση. Ωστόσο η μέχρι πρόσφατα κατάληξη αυτών των στερών αποβλήτων που περιλάμβαναν και οικιακά απορρίμματα, ήταν η υγειονομική ταφή. Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν προστέθηκε 5 – 10% ζεόλιθος στα οργανικά κλάσματα των δημοτικών αποβλήτων και πραγματοποιήθηκαν περιοδικές μετρήσεις ενώ στα δείγματα που συλλέχθηκαν έγινε διαχωρισμός σε ανόργανα και σε οργανικά απορρίμματα.

Για πιο επιταχυνόμενη διεργασία τα οργανικά υλικά κόπηκαν σε πολύ μικρά κομμάτια σε μέγεθος μικρότερα των 20 mm. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε εργαστήρια και τοποθετήθηκαν σε αντιδραστήρες 125 L. Ο εξοπλισμός αερισμού τοποθετήθηκε στον πυθμένα του αντιδραστήρα και συνδέθηκαν με αντλίες αέρα. Όλοι οι αντιδραστήρες αερίζονταν με 0.8 m<sup>3</sup>/min/m<sup>3</sup> ενώ το compost αναδεύονταν για 7 ημέρες στο αντιδραστήρα. Επιπρόσθετα τοποθετήθηκε και αντιδραστήρας με οργανική ύλη χωρίς καθόλου ζεόλιθο. Παρακάτω παρατίθεται η χημική ανάλυση του ζεόλιθου που χρησιμοποιήθηκε:

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

Πίνακας 2 Η χημική ανάλυση του Cankin- Corun Basin ζεόλιθου

Συστατικά	Ζεόλιθος
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	5.6
<i>MgO</i>	1.0
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	13.7
<i>SiO<sub>2</sub></i>	65.0
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0.1
<i>CaO</i>	3.1
<i>TiO<sub>2</sub></i>	0.3
<i>MnO</i>	0.03
<i>K<sub>2</sub>O</i>	1.0
<i>ΣFeo + F<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<0.1

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν pH, θερμοκρασία, υγρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα, ολικό άζωτο (*Kjeldahl*), αμμωνία, νιτρικά, ολικός

άνθρακας, ολικός φώσφορος, αναλογία C/N , και C/P , καθώς και μερικά μέταλλα. (K, Na , Ca, Mg , Fe , Mn). Το οργανικό υπόστρωμα μελετήθηκε σύμφωνα με το FCQAO ενώ μία φορά την βδομάδα συλλεγόταν 50 g δείγματος από όλους τους αντιδραστήρες για 100 ημέρες. Όλες οι αναλύσεις έγιναν από τρία διαφορετικά σημεία του αντιδραστήρα και τα αποτελέσματα είναι οι μέσοι όροι με τις καθορισμένες αποκλίσεις.

#### *pH*

Το pH μεταβάλλεται κατά την διεργασία. Γενικά το pH πέφτει στην αρχή λόγω του σχηματισμού οργανικών οξέων και μετά ανεβαίνει πάνω από το ουδέτερο επειδή τα οξέα καταναλώνονται. Η σύγκριση με ζεόλιθο και χωρίς έδειξε το pH να μειώνεται τις 3 βδομάδες με τον ζεόλιθο. Στο τελικό compost χωρίς τον ζεόλιθο το pH ήταν υψηλότερο από 8 στις 100 ημέρες. Η εκπομπή αμμωνίας ήταν το πρόβλημα που δημιουργήθηκε εξαιτίας του υψηλού pH. Ωστόσο στα τελικά compost με 5% και 10 % ζεόλιθο αντίστοιχα το pH κυμάνθηκε στο 5.44 και 6.16 αντίστοιχα.

#### *Υγρασία*

Παρατηρήθηκε ότι η υγρασία στο τελικό compost χωρίς ζεόλιθο ήταν 60%. Ωστόσο η υγρασία του τελικού κόμποστ έπρεπε να κυμαίνεται μεταξύ 45 – 50 %. Σε χαμηλές θερμοκρασίες δημιουργείται υψηλή υγρασία ενώ δεν σημειώθηκαν θερμοφιλικές θερμοκρασίες στον αντιδραστήρα χωρίς ζεόλιθο. Τέλος τα επίπεδα υγρασίας μειώνονταν κατά την διεργασία και έφτασαν στις σε αποδεκτές τιμές στους αντιδραστήρες με ζεόλιθο.

#### *Ηλεκτρική αγωγιμότητα*

Η τελική ηλεκτρική αγωγιμότητα του compost χωρίς ζεόλιθο ήταν 2,66 ms cm<sup>-1</sup>. Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας μειώνονταν με την προσθήκη ζεόλιθου. Στα compost με προσθήκη 5% και 10% ζεόλιθου η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ήταν 0,78 ms cm<sup>-1</sup> και 1,04 ms cm<sup>-1</sup> αντίστοιχα. Το ιδανικό compost πρέπει να έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα όχι μεγαλύτερη από 2 ms cm<sup>-1</sup>. (Petrik 32). Αν το compost έχει μεγαλύτερη από 2 ms cm<sup>-1</sup> ηλεκτρική αγωγιμότητα τότε χαρακτηρίζεται έντονο σε άλατα και αυτό έχει σαν συνέπεια την παρεμπόδιση ανάπτυξης των φυτών.

### *Αζωτο*

Στην έναρξη της διεργασίας το ποσοστό του ολικού αζώτου ήταν 1,90% στο οργανικό κλάσμα των στερών αποβλήτων. Επειδή το άζωτο επηρεάζεται από την δράση των πρωτεϊνικών βακτηρίων κατά το πρώτο στάδιο της διεργασίας οι τιμές  $\text{NH}_3\text{-N}$  και  $\text{NO}_3^-$  αυξάνονται και μετά μειώνονται ταυτόχρονα στο compost με ζεόλιθο. Οι τελικές τιμές του ολικού αζώτου ήταν 0.97%, 1,50%, 1,33% στα compost χωρίς ζεόλιθο, με προσθήκη 5% και με προσθήκη 10% ζεόλιθου.

### *$\text{NH}_3\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$*

Ταυτόχρονα οι τιμές  $\text{NH}_3\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  αρχικά αυξάνονται και μετά μειώνονται στους αντιδραστήρες με ζεόλιθο. Ωστόσο η τιμή  $\text{NH}_3\text{-N}$  στο αντιδραστήρα χωρίς πρόσθετο αυξήθηκε εξαιτίας των αναερόβιων συνθηκών και των υψηλών τιμών pH. Οι τελικές τιμές  $\text{NH}_3\text{-N}$  ήταν  $3145 \text{ mg kg}^{-1}$  χωρίς ζεόλιθο,  $1532 \text{ mg kg}^{-1}$  και  $812 \text{ mg kg}^{-1}$  για 5% και 10% ζεόλιθο αντίστοιχα. Γενικά η προσθήκη 5% και 10% ζεόλιθου μείωσε τις τιμές  $\text{NH}_3\text{-N}$  στο τελικό compost κατά 74,94 και 87,98% αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τους εγχειρίδιο ωρίμανσης compost εάν οι τιμές  $\text{NH}_3\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  είναι υψηλότερα από 3 και η συγκέντρωση του  $\text{NH}_3\text{-N}$  μεγαλύτερη από  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  τότε το τελικό compost χαρακτηρίζεται ως μη ώριμο. Τα τελικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το compost χωρίς ζεόλιθο ήταν μη ώριμο ενώ τα compost με ζεόλιθο ώριμα.

### *Άνθρακας*

Ο ολικός άνθρακας κατά την διεργασία μειώνεται λόγω των μεταβολικών δράσεων και λόγω της μείωσης της οργανικής ύλης και της εκπομπής  $\text{CO}_2$ . Στο ιδανικό compost η τιμή του ολικού άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 8- 35 %.[31]. Ο άνθρακας στο τελικό compost ήταν σ' αυτό το προτεινόμενο εύρος. Η μέτρηση της αναλογίας C/N χρησιμοποιήθηκε για να δείξει την σταθερότητα του compost. Στο ώριμο compost η αναλογία C/N πρέπει περίπου να είναι στο 10. Τέλος το compost χωρίς ζεόλιθο είχε το υψηλότερη τιμή C/N .

### *Ολικά Μέταλλα.*

Η χημική σύσταση του ζεόλιθου παίζει καθοριστικό ρόλο για τις συγκεντρώσεις των ολικών μετάλλων.( K ,Na , Cu , Zn , Fe, Mn ). Στο συγκεκριμένο πείραμα οι συγκεντρώσεις των ολικών μετάλλων αυξήθηκαν στο τελικό compost. Επιπρόσθετα οι τιμές των ολικών μετάλλων Mg , Na , K , Fe κυμαίνονταν ήταν σε υψηλά επίπεδα στο τελικό compost λόγω της σύστασης του από απορρίμματα φαγητών. Παρατηρήθηκε ότι με την προσθήκη 5% με 10% ζεόλιθου στο τελικό compost οι συγκεντρώσεις των ολικών μετάλλων δεν υπέρβαιναν τα επιθυμητά επιτρεπτά όρια.

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

#### Συγκεντρωτικά συμπεράσματα

Η μελέτη έδειξε ότι με την προσθήκη ζεόλιθου μειώθηκε αισθητά το ποσοστό αμμωνίας. Τα ποσοστά υγρασίας παρέμειναν σε υψηλότερα επίπεδα στο compost χωρίς ζεόλιθο για αυτό και χαρακτηρίστηκε και ως μη ώριμο εξαιτίας της υψηλής υγρασίας. Επιπρόσθετα το compost με 10 % ζεόλιθο ήταν πιο ώριμο σε σχέση από αυτό με 5%. Τέλος οι χαμηλότερες απώλειες αζώτου παρατηρήθηκαν στο compost με 10 % ζεόλιθο.<sup>[3]</sup>

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

#### 4.7.2 Περλίτης

Μορφοποιήθηκε: Γραμματοσειρά: Όχι Πλάγια, Ελληνικά

Ο Περλίτης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα φυσικά υλικά της τελευταίας δεκαετίας. Εξαιτίας των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του έχει πολλές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται στην κατασκευαστική βιομηχανία, στην κηπουρική, στην υφαντουργία, στην χημική βιομηχανία, σαν βοηθητικό στις διεργασίες διήθησης, και σαν ενδιάμεσο προϊόν σε διεργασίες ανάμειξης. ( [Τορτσι & Isikdag 2007](#) )<sup>[21]</sup>

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

4.7.2.1 Η εφαρμογή του περλίτη και του ζεόλιθου σαν πρόσθετα για την βελτίωση της ποιότητας των δημοτικών στερών αποβλήτων.

Σύμφωνα με [Eurostat Yearbook,\(2004\)](#) πάνω από 500 kg από MSW ανά κάτοικο, κάθε χρόνο δημιουργούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η παγκόσμια εκπομπή αποβλήτων έχει αυξηθεί τα τελευταία 30 χρόνια έχοντας όχι μόνο

μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά κυρίως μη έχοντας σωστό σχεδιασμό για αξιοποίηση της ενέργειας και επαναχρησιμοποίηση των υλικών των στερεών αποβλήτων. Αναρίθμητες μελέτες έχουν τονίσει την χρήση του compost στην ανάπτυξη των φυτών και έχουν αναλύσει διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους (*Sanderson 1980, Shiralipour et al 1992; Inbar et al 1993, Fitzpatrick and McConnell, 1998; Fitzpatrick 2001; Sterrett, 2001*). Πιο συγκεκριμένα έχει διαπιστωθεί ότι η ανάμειξη του compost με περλίτη (20-50% οργανικό κλάσμα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υπόστρωμα χωρίς την απαίτηση επιπλέον πρόσθετων για το λίπασμα. (*Bugbee, 1996; Chong and Cline, 1996; Kostov et al 1996; Pinamonti et al 1997; Castilo et al 2004*)

Σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Cankiri-Corum της Τουρκίας που βρίσκεται στα παράλια της Μαύρης Θάλασσας μελετήθηκε η επίδραση στου περλίτη και του ζεόλιθου καθώς και η ανάμειξη αυτών των δύο σε 7 αντιδραστήρες όπως παρουσιάζεται στο πίνακα 1.

Ο φυσικός ζεόλιθος συλλέχθηκε από το Cankiri-Corum της Τουρκίας. Η χημική σύσταση του δίνεται στο πίνακα 1. Η ιοντική ανταλλαγή του είναι  $1.45 \text{ meq g}^{-1}$ . Τα δείγματα κονιοποιήθηκαν και κοσκινίστηκαν σε μικρότερα κομμάτια. Τέλος εκπλύθηκαν με απιονισμένο νερό και υπέστησαν θερμική επεξεργασία στους  $103 - 105 \text{ C}$ .

Ο περλίτης συλλέχθηκε από το Izmir-Bergama της Τουρκίας. Η υγρασία υπολογίστηκε στο  $0.11 \%$  σε υγρή βάση. Το pH του κυμαίνεται από  $5 - 9$ . Τα δείγματα περλίτη κονιοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν σε συγκεκριμένο μέγεθος στο πείραμα από  $16 - 20 \text{ mesh}$ .

Πίνακας . Συγκεντρωτική απεικόνιση όλων των αντιδραστήρων με την αντίστοιχη σύσταση τους.

<b>ΔΕΙΓΜΑΤΑ</b>	<b>Σύσταση %</b>
S0	100 % οργανικό κλάσμα
S1	5% περλίτη + 95% οργανικό κλάσμα
S2	5% ζεόλιθος + 95% οργανικό κλάσμα
S3	10% περλίτη +90% οργανικό κλάσμα
S4	10% ζεόλιθος + 90% οργανικό κλάσμα
S5	5% περλίτης + 5% ζεόλιθος + οργανικό κλάσμα
S6	10% περλίτης + 10 ζεόλιθος + οργανικό κλάσμα

Πίνακας Η σύσταση του περλίτη.

<b>Συστατικά</b>	<b>Περλίτης</b>
Na <sub>2</sub> O	3.29
MgO	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11.9
SiO <sub>2</sub>	72.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02
CaO	0.79
TiO <sub>2</sub>	-
MnO	0.05
K <sub>2</sub> O	4.47
ΣFeo + F <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.53

Ένα υγρό υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της υγρασίας των δειγμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν 7 αντιδραστήρες χωρητικότητας 125 L. Τα θερμόμετρα είχαν τοποθετηθεί στο κέντρο του αντιδραστήρα ενώ ο ρυθμός



αερισμού ήταν  $0.8 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$ . Όλοι οι αντιδραστήρες καλύφθηκαν με μονωτικό υλικό για να μειωθούν στο ελάχιστο οι απώλειες ενέργειας.[19 ,20]

Πειράματα διεξάγονταν για 100 ημέρες και τα δείγματα αποτελούνταν από τρία διαφορετικά σημεία του αντιδραστήρα και ζύγιζαν 50 g.

Στο παρακάτω πίνακα παρατίθενται όλες οι τιμές των παραμέτρων που αναλύθηκαν.

Πίνακας Συγκεντρωτικός πίνακας όλων των πειραματικών αποτελεσμάτων

Παράμετροι	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Ph	8.11	5.84	5.44	6.54	6.16	7.14	7.33
Moisture (%)	59.1	47.2	55.0	48.9	49.7	47.3	46.6
E.Conductivity (mS/cm)	2.66	0.74	0.78	0.92	1.04	1.01	1.12
TKN (%)	0.97	1.42	1.5	1.31	1.33	1.38	1.05
NH <sub>3</sub> - N (mg/L)	519.54	183.08	130.21	158.72	62.44	55.31	51.28
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	157.46	105.83	90.42	141.71	76.15	128.63	113.96
Total Carbon (%)	22.81	17.76	18.96	14.44	14.3	12.88	9.65
C/N	23.51	12.51	12.64	11.02	10.75	9.33	9.19
C/P	71.28	52.58	52.83	41.30	35.33	34.45	22.33
P	0.32	0.33	0.36	0.35	0.41	0.37	0.43
S	0.31	0.4	1.74	0.65	2.85	3.01	3.51
K	4.05	4.51	3.95	4.75	3.79	5.68	7.41

#### Θερμοκρασία

Σε όλους τους αντιδραστήρες η θερμοκρασία τις πρώτες βδομάδες αυξήθηκε και έπειτα μειώθηκε. Γενικά η θερμοκρασία διατηρήθηκε στους 55 C ή και σε υψηλότερα επίπεδα για τρεις ημέρες. [21] Οι υψηλότερες θερμοκρασίες σημειώθηκαν στους S5 και S6. Σε αυτούς η θερμοκρασία έφτασε στους 60 C. Στους αντιδραστήρες με περλίτη και ζεόλιθο κυμάνθηκε μεταξύ 50 – 58 C. Στο S0 η ανώτατη θερμοκρασία ήταν 34 C. Αυτό συνέβη εξαιτίας της υψηλής υγρασίας που έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία αναερόβιων συνθήκων που δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη αερόβιων θερμοφιλικών μικροοργανισμών.

#### pH

Το pH κατά την διάρκεια του αρχικού σταδίου της κομποστοποίησης επηρεάζεται από τις υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών οξέων. Το βέλτιστο pH κυμαίνεται από 5.5 – 8.0 (*Bertoldi et al*). Το pH στο τελικό προϊόν του S0 ήταν υψηλότερο από το κυμαινόμενο ενώ στους αντιδραστήρες με ζεόλιθο και περλίτη η τιμή του pH επηρεάστηκε σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα το pH μειώθηκε προς το τέλος της διεργασίας. Το pH παρουσίαζε διαφορετικές τιμές ανάμεσα στους αντιδραστήρες μόνο με ζεόλιθο, μόνο με περλίτη και με ανάμειξη αυτών των δύο.

#### *Υγρασία*

Η υγρασία των οργανικών απορριμμάτων ήταν πολύ υψηλή στην αρχή της διεργασίας για να την έναρξη της διεργασίας. Η υψηλή υγρασία 78% είχε σαν αποτέλεσμα χαμηλές θερμοκρασίες. Για αυτό το λόγο το compost χωρίς πρόσθετο χαρακτηρίστηκε μη ώριμο. Η προσθήκη των πρόσθετων ζεόλιθο και περλίτη έριξε την υγρασία στο 50- 60%. Τα επίπεδα υγρασίας επηρεάστηκαν από την ικανότητα των πρόσθετων να συγκρατούν το νερό.

#### *Ηλεκτρική αγωγιμότητα*

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του τελικού κόμποστ χωρίς πρόσθετα S0 ήταν 2.66. Η ιδανική ηλεκτρική αγωγιμότητα σε ένα compost πρέπει να είναι όχι υψηλότερη από 2 mS/cm [26]. Η αγωγιμότητα στον S0 χωρίς κανένα πρόσθετο χαρακτηρίστηκε σαν έντονη από “ ιόντα ” ενώ στους αντιδραστήρες με πρόσθετα ήταν κάτω από 2 mS/cm.

#### *TKN*

Η συγκέντρωση TKN ήταν 1.90%. Στο τέλος της διεργασίας το TKN μειώθηκε στο 0.97% και περίπου 50% νιτρικά. Η απώλεια των νιτρικών μειώνει την χρησιμότητα του compost σαν λίπασμα. Στα πειράματα, οι απώλειες αζώτου μειώθηκαν με την χρήση ζεόλιθου και περλίτη. Αυξάνοντας την αναλογία από 5 σε 10% μειώθηκε σημαντικά το TKN. Μία μεγαλύτερη αναλογία θα είχε σαν αποτέλεσμα καλύτερες αερόβιες συνθήκες εξαιτίας του πορώδους. Στα συστήματα με 5% και 10% περλίτη S1 και S3 οι απώλειες TKN υπολογίστηκαν σε 20% και 17%. Στα συστήματα με 5% και 10% ζεόλιθο S2 και S4 οι απώλειες TKN ήταν 11% και 9%. Παρατηρήθηκε ότι ο ζεόλιθος είχε χαμηλότερες απώλειες από το περλίτη.

### *NH<sub>3</sub>- N (mg/L) - NO<sub>3</sub>-N (mg/L)*

Οι συγκεντρώσεις των NH<sub>3</sub>- N (mg/L) - NO<sub>3</sub>-N (mg/L) αυξάνονται αρχικά και έπειτα μειώνεται σαν αποτέλεσμα της αύξησης των βακτηρίων. Επιπρόσθετα η περιεκτικότητα αμμωνίας στο τελικό compost μειώθηκε καθώς αυξήθηκε το ποσοστό του ζεόλιθου. Η αναλογία NH<sub>4</sub><sup>-</sup>N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N και το ολικό NH<sub>4</sub><sup>-</sup>N αποτελούν δείκτες για την ωρίμανση του compost. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο της Ωρίμανσης compost εάν η αναλογία NH<sub>4</sub><sup>-</sup>N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N είναι μεγαλύτερη από 3 και η τιμή NH<sub>4</sub><sup>-</sup>N είναι μεγαλύτερη από 500 mg L<sup>-1</sup> τα τελικά compost χαρακτηρίζονται ως “ μη ώριμα ”. Όπως σημειώνεται στο πίνακα οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλότερες στους αντιδραστήρες με ζεόλιθο και περλίτη.

### *CO<sub>2</sub>*

Το διοξείδιο του άνθρακα φτάνει στην μέγιστη τιμή του μέσα σε δύο με τρεις βδομάδες, όπου παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας και η έναρξη της θερμοφιλικής φάσης. Η προσθήκη ζεόλιθου και περλίτη επέφερε μείωση της μέγιστης εκπομπής CO<sub>2</sub>. Το υπολογισμένο ποσοστό CO<sub>2</sub> μετά από 100 ημέρες κυμάνθηκε από 516 μέχρι 107 mg g<sup>-1</sup> με σειρά από την μεγαλύτερη ελάττωση στην μικρότερη S1>S2>S3>S4>S5>S6. Τις πρώτες έξι βδομάδες όπου η διάσπαση της βιοδιασπώμενης ύλης ήταν πιο έντονη το ποσοστό CO<sub>2</sub> που υπολογίστηκε ήταν 60 – 70 % του ολικού ποσοστού.

### *C/N*

Η αναλογία C/N είναι μια βασική παράμετρος που χρησιμοποιείται για την διαπίστωση της ωριμότητας του compost. Σε αυτή την μελέτη η αναλογία C/N με ζεόλιθο, περλίτη καθώς και η ανάμειξη αυτών των δύο ήταν κάτω από 20 οπότε και χαρακτηρίζει το compost ως ώριμο (S.Goyal et al 2005). Ωστόσο μόνο στο αντιδραστήρα S0 εντοπίστηκε πάνω από 20.

### *Βαρέα μέταλλα*

Παρατηρήθηκε ότι οι ολικές συγκεντρώσεις Na και K στα τελικά compost με ζεόλιθο και περλίτη αυξάνονται εξαιτίας του ότι ο ζεόλιθος έχει την ικανότητα να ανταλλάσει ιόντα K και Na. Το ποσοστό του ολικού P αυξάνεται στο τέλος της διεργασίας. Η αύξηση αυτή εξαρτάται από την χημική σύσταση του ζεόλιθου και του περλίτη.

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

### Συμπεράσματα

Γενικά η προσθήκη περλίτη και ζεόλιθου έχει θετική επίδραση στη διεργασία της κομποστοποίησης. Η κομποστοποίηση χωρίς καμία προσθήκη δεν έφτασε στη θερμοφιλική φάση επειδή η υγρασία ήταν 78%. Η θερμοκρασία παρέμεινε στους 55 C ή και υψηλότερα για τις τρεις πρώτες ημέρες στους αντιδραστήρες με 5% και 10% ζεόλιθο και περλίτη αντίστοιχα. Οι χαμηλότερες απώλειες αζώτου παρατηρήθηκαν στους αντιδραστήρες με 10% ζεόλιθο και 10% περλίτη. Το pH και τα άλατα για το compost χωρίς πρόσθετα ήταν μεγαλύτερα από τα επιτρεπτά. Και ο ζεόλιθος και ο περλίτης μείωσαν το pH και τα άλατα. Τελικό συμπέρασμα είναι ότι η κομποστοποίηση οργανικών απορριμμάτων ενισχύεται και βελτιώνεται με την χρήση προσθέτων.<sup>[7]</sup>

#### 4.7.3 Βερμικουλίτης

Ο Βερμικουλίτης είναι ένα τυπικό αργιλώδης υλικό το οποίο έχει την μεγαλύτερη ιονταλλαγή από τα περισσότερα αργιλώδης υλικά. Έχει χαμηλό βάρος, μεγάλη απορροφητικότητα, ανθεκτικότητα στην καύση και αποτελεί έναν τέλειο μονωτή θερμότητας. Χαρακτηρίζεται σαν ένα καλό ανόργανο πρόσθετο. (*Kanget et al., 1993; Haung 1980*). Η χρήση του έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμη σε πολλές περιβαλλοντικές μελέτες (*Malandrio et al 2006*).<sup>[21]</sup>

##### 4.7.3.1 Η επίδραση του Βερμικουλίτη σε υπολείμματα φαγητών στην Κορέα.

Ο Βερμικουλίτης σαν πρόσθετο στην κομποστοποίηση μελετήθηκε σε μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε κομποστοποίηση υπολειμμάτων φαγητού στη Κορέα. Παρατηρήθηκε ότι τα Κορεάτικα υπολείμματα φαγητού είχαν μεγάλη παρουσία αλάτων και πολύ χαμηλό pH. (*Kwon and Lee 2004a.b*). Στην συγκεκριμένη μελέτη η επίδραση του βερμικουλίτη εκτιμήθηκε από την διάσπαση του υγρού υποστρώματος. Η διάσπαση των υπολειμμάτων φαγητού μετά από 30 ημέρες ήταν 35.8% στον αντιδραστήρα με τον βερμικουλίτη ενώ 29.4% σ' αυτόν χωρίς βερμικουλίτη. Η προσθήκη βερμικουλίτη δεν βελτίωσε σημαντικά την καθημερινή απώλεια βάρους αλλά μετά από τρεις ημέρες η απώλεια μάζας

υπολογίστηκε στο 71.5% με βερμικουλίτη και 70.7% χωρίς βερμικουλίτη. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκε υγρή βάση σαν σημείο αναφοράς απώλειας μάζας στην κομποστοποίηση των υπολειμμάτων φαγητών.<sup>[9]</sup>

#### 4.7.3.2 Ο έλεγχος διαθεσιμότητας αζώτου σε κομποστοποιημένα υπολείμματα πουλερικών με χρήση φυσικών προσθέτων.

Η κομποστοποίηση αποτελεί μια προτεινόμενη λύση ανακύκλωσης των οργανικών αποβλήτων που γνωρίζει ταχεία ανάπτυξη στον κόσμο σαν μία μέθοδος διαχείρισης των υπολειμμάτων πουλερικών. Η κομποστοποίηση πουλερικών υπολειμμάτων επειδή έχει την δυνατότητα να ρυθμίζει τα επίπεδα αζώτου και να μειώνει τα επίπεδα μόλυνσης (*Preush et al. 2002*). Μελέτες έχουν δείξει ότι η διεργασία της κομποστοποίησης ρυθμίζει το N στο υπόστρωμα και δημιουργεί χώμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια πηγή οργανικών υλικών και σιγά να απελευθερώσει θρεπτικά συστατικά (*Paul & Clark 1996*).

Η υγρασία και η αναλογία C/N παίζουν καθοριστικό ρόλο για μια επιτυχημένη κομποστοποίηση. Μια χαμηλή αναλογία C/N συμβάλλει σε μεγάλες απώλειες αμμωνίας. Πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι τα υψηλά ποσοστά αμμωνίας προκαλούν μεγάλες απώλειες αζώτου (*Epstein 1997, Hong & Park 2005*). Παρόλο που η αμμωνία είναι η πηγή αζώτου για τα φυτά, σε μεγάλες συγκεντρώσεις κρίνεται φυτοτοξική (*Schmidt 2000, Jeong & Kim 2001*). Οι απώλειες αζώτου μειώνουν την ικανότητα του compost σαν εδαφιοβελτιστικό. (*Epstein 1997*). Επιπρόσθετα είναι σημαντικό να παραμένουν οι αερόβιες συνθήκες προκειμένου να συγκεντρώνουν το άζωτο στο compost (*Henry et al. 1999*).

Η διαθεσιμότητα του αζώτου σε κομποστοποιημένα υπολείμματα πουλερικών έχει γίνει αντικείμενο πολλών μελετών. Στην συγκεκριμένη έρευνα σκοπός είναι η εξακρίβωση και η σύγκριση των ποσοστών αζώτου με και χωρίς την χρήση προσθέτων. Τα πρόσθετα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν φυσικός ζεόλιθος, περλίτης και βερμικουλίτης. Η αναλογία ήταν 1/10. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αντιδραστήρες ο καθένας για κάθε πρόσθετο και ένας χωρίς καθόλου

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

πρόσθετο. Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας όλων των τελικών παραμέτρων που εξετάστηκαν στην διεργασία.

Πίνακας Συγκεντρωτικών Αποτελεσμάτων

Παράμετροι	Αντιδραστήρας με Ζεόλιθο	Αντιδραστήρας με Περλίτη	Αντιδραστήρας με Βερμικουλίτη	Τυφλό
<i>pH</i>	6,6	7,6	7,1	9,7
Υγρασία( %)	54,1	52,5	56,4	65,5
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	1,74	9,56	8,48	15,71
Ολικό N (%)	2,65	1,49	1,83	0,87
$NH_4^+ - N$ (mg $L^{-1}$ )	40,1	241,5	89,7	525,9
$NO_3^- - N$ (mg $L^{-1}$ )	22,8	137,2	108,9	127,6
Ολικός Άνθρακας(%)	19,54	25,14	23,4	29,1
C/N	7,37	16,87	12,79	33,45

#### Θερμοκρασία

Η μέγιστες θερμοκρασίες που σημειώθηκαν ήταν 43 °C για το περλίτη, 50 °C για το βερμικουλίτη, και 55 °C για το ζεόλιθο. Όλοι οι αντιδραστήρες με τα φυσικά πρόσθετα ανέπτυξαν θερμοφιλικές συνθήκες. Από αυτούς όλοι εκτός από το περλίτη ανέπτυξαν θερμοφιλικές συνθήκες πάνω από 50 °C μετά από 2- 3 εβδομάδες διεργασίας. Το τυφλό έφτασε μέχρι 34, °C εξαιτίας της υψηλής υγρασίας.

#### *pH*

Το pH των υπολειμμάτων των πουλερικών έχει την τιμή 8,4. Κατά την αρχική φάση της κομποστοποίησης μπορεί να εμφανιστεί μια μείωση του pH λόγω της ύπαρξης των οργανικών οξέων. Ωστόσο κάτι τέτοιο δεν παρατηρήθηκε στην έναρξη αυτής της διεργασίας. Στα συγκεκριμένα πειράματα το pH μειώνεται για πάνω από 3 βδομάδες στο compost με τα πρόσθετα κατά την θεμόφιλη φάση αλλά μετά αυξάνεται και πάλι κατά την διάρκεια της αποσύνθεσης. Το pH δεν αυξήθηκε πάνω από 8 κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης το οποίο μπορούσε να έχει συμβεί εξαιτίας της αύξησης της συγκέντρωσης των μετάλλων.

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

Αυτό μπορούσε να συμβεί από την συνεχή απώλεια του οργανικού άνθρακα και επιπρόσθετα από την συνεχή τροφοδοσία του compost. Γενικά η βέλτιστη τιμή του pH κυμαίνεται μεταξύ 5,5 – 8,0 (*Bertoldi et al. 1983*). Οι τελικές τιμές των compost με πρόσθετα ήταν μεταξύ αυτού του εύρους.

#### Ολικός C

Ο αρχικός οργανικός άνθρακας των compost κυμάνθηκε μεταξύ 40,2 – 47,3%. Όπως αναμενόταν η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα μειώθηκε στην φάση της αποσύνθεσης. Στο τέλος των πειραμάτων το χαμηλότερο οργανικό άνθρακα το είχε ο ζεόλιθος ο οποίος είχε και το μεγαλύτερο βαθμό διάσπασης. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση οργανικού άνθρακα παρατηρήθηκε στο περλίτη.

#### $NH_4^+$ - N - $NO_3^-$ -N

Οι συγκεντρώσεις  $NH_4^+$  - N και  $NO_3^-$  -N σε όλα τα compost εκτός από το περλίτη είχαν μια γρήγορη αύξηση  $NO_3^-$  -N κατά τις πρώτες 30 ημέρες και συνδυάστηκε με μια πτώση της συγκέντρωσης  $NH_4^+$  - N. Αργότερα παρατηρήθηκε αύξηση. Μετά από 100 ημέρες διεργασίας οι τιμές της συγκέντρωσης  $NH_4^+$  - N κυμαίνονταν μεταξύ 40,1 – 241,5 mg L<sup>-1</sup> με το χαμηλότερο ποσοστό στο ζεόλιθο και το υψηλότερο στο περλίτη. Η τελική τιμή του βερμικουλίτη ήταν 77,5 mg L<sup>-1</sup>. Στην διεργασία η συγκέντρωση  $NH_4^+$  - N αυξάνεται πιθανώς εξαιτίας των μερικώς αερόβιων ή αναερόβιων συνθηκών και των υψηλών τιμών pH (*Sawyer et al 1994*). Η αναλογία μεταξύ ανόργανων μορφών αζώτου χρησιμοποιείται σαν κριτήριο της ωριμότητας του compost.

Στο τέλος της διεργασίας η συγκέντρωση σε  $NO_3^-$  -N πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την συγκέντρωση σε  $NH_4^+$  - N επιβεβαιώνοντας ότι η διεργασία πραγματοποιήθηκε κάτω από αρκετά αερόβιες συνθήκες. (*Finstain & Miller 1985, Sanchez- Monedero et al 2001*). Μια υψηλή συγκέντρωση σε  $NH_4^+$  - N δείχνει μη σταθερότητα compost και σύμφωνα με το Εγχειρίδια *Ωρίμανσης Compost* δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 500mg L<sup>-1</sup> ώριμο compost. (*WERL 2000*). Στα συγκεκριμένα πειράματα οι τιμές των τελικών συγκεντρώσεων  $NH_4^+$  - N ήταν κάτω από αυτή την τιμή.

#### Ολικό N

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

Στην έναρξη της διεργασίας το ολικό N κυμαινόταν μεταξύ 2,74 – 3,14% και αυτά τα ποσοστά μειώνονταν με την μείωση της αμμωνίας. (Goyal et al 2005). Στο τέλος της διεργασίας το compost χωρίς καθόλου πρόσθετα είχε την υψηλότερη απώλεια N (72%), ενώ του περλίτη 53%, του βερμικουλίτη 42,26%, και του ζεόλιθου 16%

#### C/N

Η αρχική αναλογία C/N στο αρχικό compost κυμαινόταν μεταξύ 15,8 – 27,3. Καθώς η αποσύνθεση διεξαγόταν η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα προκάλεσε μείωση της περιεκτικότητας του άνθρακα του υποστρώματος με το χρόνο ενώ η περιεκτικότητα σε N αυξανόταν πράγμα που είχε σαν αποτέλεσμα της μείωση της αναλογίας C/N (Goyal et al.2005). Η αναλογία C/N αυξήθηκε στο compost χωρίς πρόσθετα. Η αύξηση της αναλογίας προήλθε από τις απώλειες σε άζωτο. Η αναλογία C/N αυξανόταν για 30 ημέρες στο compost με πρόσθετα αλλά μετά μειώθηκε λόγω της αποσύνθεσης. Μετά από 100 ημέρες οι τελικές τιμές της αναλογίας C/N κυμαίνονταν μεταξύ 7,37 – 16,87. Τη χαμηλότερη τιμή είχε ο ζεόλιθος και την υψηλότερη ο περλίτης. Η ενδεικνυόμενη τιμή για το ώριμο compost πρέπει να είναι περίπου 10. (Mathur 1991). Σ' αυτά τα πειράματα οι τιμές της αναλογίας C/N ήταν κάτω από 20 σ' όλα τα compost, που αποτελεί ενδεικνυόμενη τιμή για ώριμο compost (Goyal et al. 2005). Ωστόσο η τιμή για το compost χωρίς καθόλου πρόσθετα ήταν πάνω από 20.

#### Συμπεράσματα

Η κομποστοποίηση πουλερικών υπολειμμάτων με χρήση προσθέτων είχε σαν αποτέλεσμα υψηλότερες τελικές συγκεντρώσεις αζώτου και χαμηλότερες εκπομπές αζώτου. Πάνω από το 72% του αρχικού αζώτου χάθηκε στο compost χωρίς καθόλου πρόσθετα, ενώ στο compost με πρόσθετα οι απώλειες αζώτου κυμαίνονταν περίπου από 16-53% της αρχικής ποσότητας. Πιο συγκεκριμένα ο αντιδραστήρας χωρίς πρόσθετα είχε το χαμηλότερο ποσοστό αζώτου, στον αντιδραστήρα με περλίτη ήταν 53%, στον αντιδραστήρα με βερμικουλίτη 42% και στο αντιδραστήρα με ζεόλιθο 16%. Τέλος εκτός του ότι τα φυσικά πρόσθετα μείωσαν σημαντικά την εκπομπή NH<sub>3</sub> συνέβαλλαν στην αύξηση της

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά



απορροφητικότητας του υποστρώματος, στην βελτίωση των συνθηκών της διεργασίας καθώς και στις αντιδράσεις βιοδιάσπασης του υποστρώματος.

## 4.8 Επίλογος

### 4.8.1 Ο τρόπος εφαρμογής της κομποστοποίησης διεθνώς.

Η κομποστοποίηση σήμερα διαφέρει από κάθε χώρα και πραγματοποιείται ανάλογα με το κίνητρο αξιοποίησης των αποβλήτων τους τα οποία διαφέρουν σημαντικά από είδος σε είδος. Κομποστοποίηση επιδέχονται διάφορα είδη στερεών αποβλήτων και ο τρόπος που διεξάγεται έχει σαν κοινό σκοπό την μεγαλύτερη εκμετάλλευση τους σε όλους τους τομείς της κοινωνίας θέτοντας πάντα ως βάση το περιβάλλον.<sup>[1]</sup>

Στα δημοτικά απόβλητα (MSW) για παράδειγμα η οργανική ύλη που περιέχεται στο MSW περιλαμβάνει υλικά τροφοδοσίας που προέρχονται από αυλές και υπολείμματα φαγητών ανακατεμένα με οικιακά απορρίμματα βιοδιασπώμενο ποσοστό ποικίλει από 50% μέχρι 90% σε κάθε χώρα. (*Deportes et al 1995*). Πιο συγκεκριμένα MSW περιγράφει την ποσότητα των στερεών αποβλήτων που προέρχονται από νοικοκυριά, εμπορικά μαγαζιά κτλ. Επίσης περιλαμβάνει ρούχα , υπολείμματα φαγητού, γυαλί, χαρτί κτλ.

Ενδεικτικά στην Αμερική, μόνο το 33% των MSW κομποστοποιούνται ή ανακυκλώνονται ενώ το 54% πάει σε χωματερές ενώ το 13% για ενεργειακή αξιοποίηση. (EPA 2008)

Το UK (Μ.Βρετανία) έχει εκτιμηθεί ότι η βιοδιασπώμενη ύλη είναι 68% αλλά πρόκειται να πέσει στο 54% μέχρι το 2020 λόγω της αύξησης της συλλογής και διαχωρισμού από την πηγή (*SU 2002*).

Ο συνεχής προβληματισμός για το σχεδιασμό της βέλτιστης διεργασίας της κομποστοποίησης καθώς και ο πλήρης έλεγχος όλων των παραγόντων που την επηρεάζουν οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων πειραμάτων και μελετών.<sup>[2]</sup>

Στην Σκανδιναβία, οι έρευνες πάνω σε κομποστοποιημένα σχέδια επικεντρώθηκαν στην μείωση της όξινης φάσης (διεργασίας) και στις αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ της διάσπασης, της θερμοκρασίας, του αερισμού, της

εξάτμισης και συγκέντρωσης O<sub>2</sub>. Στην επιταχυνόμενη διεργασία παρατηρείται θερμοκρασία πάνω από 40 °C. και pH κάτω από 6. Τα πειράματα σ' ένα μεγάλο εύρος κομποστοποίησης έδειξαν ότι είναι δυνατόν να αυξηθεί η διεργασία και να μειωθεί η όξινη φάση, αυξάνοντας τον αερισμό ακόμα και αν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 40 °C.

Τέλος ένα άλλο σύστημα διαχείρισης το Σουηδικό βασίζεται στην ανάλυση ροής ουσίας και στον κύκλο ζωής προσδιοριστικών μεθόδων κατηγοριοποιεί την διαδικασία της κομποστοποίησης ως την λιγότερη αγαπητή επιλογή από την αποτέφρωση και την αναερόβια διεργασία για την κατεργασία του βιοδιασπώμενου οικιακού απορρίμματος και στηρίζεται αυτό κυρίως στο γεγονός ότι δεν υπάρχει ανάκτηση ενέργειας αλλά αντιθέτως πολλές εκπομπές. Αντίθετα στο γερμανικό μοντέλο η οικιακή κομποστοποίηση ενδείκνυται σαν την καλύτερη διαχείριση των οικιακών απορριμμάτων από οποιοδήποτε άλλη αναερόβια διεργασία.<sup>[6]</sup>

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Eurostat waste generated treated in Europe (data 1995 -2003).
- [2] Official Journal of the European Communities L 242/17 Commission Decision of 28 August 2001 establishing ecological criteria for the award of the Community eco-label to soil improvers and growing media (Text with EEA relevance) (notified under document number C(2001) 2597) (2001/688/EC).
- [3] Official Journal of the European Communities L 182/1 COUNCIL DIRECTIVE 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.
- [4] Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων L 257/26 ΟΔΗΓΙΑ 96/61/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 24<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1996 σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης.
- [5] Φραγγελάκης Εμμανουήλ, «Κομποστοποίηση Οργανικού Κλάσματος Οικιακών Απορριμμάτων», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.
- [6] Official Journal of the European Communities L 181/6 COUNCIL DIRECTIVE of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86/278/EEC).
- [7] Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων L 194 ΟΔΗΓΙΑ 75/442/ΕΟΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 15<sup>ης</sup> Ιουλίου 1975 περί των στερεών αποβλήτων.
- [8] Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης L 114/9 ΟΔΗΓΙΑ 2006/12/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2006 περί των στερεών αποβλήτων.

**[9]** Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης L 312/3 ΟΔΗΓΙΑ 2008/98/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 19<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών.

**[10]** Wrap. «Comparison Of Compost Standards Within the EU, North America and Australasia» Written by: Dominic Hogg, Josef Barth, Enzo Favoino, Massimo Centemero, Valentina Caimi, Florian Amlinger, Ward Devliegher, Will Brinton and Susan Antler. Published by: The Waste and Resources Action Programme. June 2002.

**[11]** Ειδική μόνιμη επιτροπή προστασίας περιβάλλοντος της Βουλής, «Συμπεράσματα και προτάσεις για τη βιώσιμη διαχείριση των στερεών απορριμμάτων στην Αττική». Αθήνα Μάιος 2009.

**[12]** Παναρέτου Βασιλική, «Χρήση πρότυπου οικιακού κομποστοποιητή για τη διαχείριση οργανικού κλάσματος απορριμμάτων», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2008.

**[11]** Α. Ανδρεαδάκης «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» σημειώσεις για το μάθημα Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων και Ιλύος Αρχές και Μέθοδοι Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων.

**[12]** Μαρία Λοϊζίδου, σημειώσεις για το μάθημα: «Στερεά απόβλητα», ΕΜΠ, Αθήνα 2006.

**[13]** Δ. Λάλας, Ε. Γεωργοπούλου, Ε. Γιδαράκος, Ρ. Γκέκας, Α. Λαζαρίδη, Α. Μαυρόπουλος, Σ. Μοιρασγεντής, Ν. Σελλάς, Σχέδιο τελικής έκθεσης προς το ινστιτούτο τοπικής αυτοδιοίκησης για την μελέτη «Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων», Αθήνα Απρίλιος 2007.

**[14]** Ευάγγελος Γιδαράκος, «Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων», Σημειώσεις Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων, Απρίλιος 2007.

**[15]** Αντώνης Α. Ζορπάς, «Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Κομποστοποίηση της Ιλύος με Χρήση Ζεόλιθων», Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1999

**[16]** British Columbia, Ministry of Agriculture and Food, «The Composting process», Order No. 382.500-2, Agdex: 537/727, September, 1996

**[17]** Κρομμυδάς Δημήτριος, “Βιολογική απομάκρυνση του αζώτου από υγρά απόβλητα με παράκαμψη της παραγωγής νιτρικών”, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2005.

**[18]** Α. Κασίρη, «Λιπασματοποίηση απορριμμάτων» , Σημειώσεις για το μάθημα: Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και ιλύος, ΕΜΠ, Α΄ Τετράμηνο 2003-2004.

**[19]** The Royal Veterinary and Agricultural University, «On-Farm Composting of Deep Litter as an Alternative to Liquid Manure Management to Meet the Organic Principles Without Compromising N-Balance, Focusing on Danish Situations», The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark, 2005

**[20]** Washington State University Whatcom Country Extension, Publications and Fact Sheets «Fundamentals of Composting».,.

**[21]** Βογιατζιδάκη Ευγενία Ελένη «Παραγωγή Εδαφοβελτιωτικού με Χρήση Οικιακού Κομποστοποιητή», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.

**[22]** «The Decomposition Process» Chapter 1 (1999), Aggie Horticulture Network, Texas Cooperative Extension, Texas A&M University System.

**[23]** Robert J. Holmer «Basic Principles for Composting of Biodegradable Household Wastes»

**[24]** «The Art and Science of Composting A resource for farmers and compost producers» Leslie Cooperband University of Wisconsin-Madison Center for Integrated Agricultural Systems March 29, 2002

**[25]** Μαργαρίτης Μάρκος, «Ανάπτυξη συστημάτων δέσμευσης βαρέων μετάλλων από σταθεροποιημένα οργανικά στερεά απόβλητα», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.

**[26]** Κάτια Λαζαρίδη, «Βιολογικές Επεξεργασίες Στερεών Αποβλήτων», Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

**[27]** COMWASTE, LIFE03 ENV/GR/205, «Πρώθηση και εφαρμογή συστήματος για την παραγωγή υψηλής ποιότητας compost από βιοαποδομήσιμο οργανικό υλικό διαχωρισμένο στην πηγή», 2006.

**[28]** Κ. Λαζαρίδη, Π. Κουλουμπής, Σ. Σκουλάξινου, Δ. Κανακόπουλος και Γ. Λώλος, «Προδιαγραφές Ποιότητας και Διάθεση Κόμποστ: Η Ελληνική και Διεθνής Εμπειρία».

**[29]** Tsitsishvili, G.V., Andronikashvili, T.G. and Kirov, G.V., Filizova, L.D. 1992. Natural zeolites. England

**[30]** Ronald M. Atlas, Richard Barham “Microbial Ecology: Fundamentals and Applications”, Benjamin Cummings Pub. Co, Menlo Park, CA., 4<sup>th</sup> edition, Dec 11 1997.

[31] Καπετάνιος Ε. Γ. «Παραγωγή Εδαφοβελτιωτικών Υλικών και Δέσμευση Βαρέων Μετάλλων του με τη Χρήση Κλινοππιλόλιθου», Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π. Αθήνα 1990

[32] Kapetanios, E.G., Loizidou, M., Valkanas, G., Compost production from Greek Domestic Refuse. *Bioresource Technology* 43, 13–16. 1993.

[33] HARGREAVES, J.C., ADL, M.S. and WARMAN, P.R., A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **123**(1-3), pp. 1-14.] 2008.

[34] Zucconi, F., & De Bertoldi, M. (1987). Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. *Compost: Production, Quality and use*, , 30-50.

[35] De Bertoldi, M., et al (1983) The principles of composting International Symposium on biological reclamation and land utilization of urban wastes. Naples October 1983.

[36] Dipl.-Biol. S.Hams and Dr.-Ing.G.Becker, 1999. “State of the Art of Source Separation, Collection and Treatment of Organic Waste in Germany”, (INFA), Germany.

[37] Kim H. Tan, “Soil Sampling, Preparation, and Analysis”, The University of Georgia Athens, Georgia, Marcel Dekker Inc.,Ed. USA, 1996.

[38] Washington State Department of Ecology, 1994. “Interim Guidelines for Compost Quality”, Solid Waste Services Program, USA

[39] komilis,D.P., Tziouvaras, I. S. (2009) “A statistical analysis to assess the maturity and stability of six composts”. *Waste Management* (29) 5, 1504 – 1513.

#### ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

- [1] S. Gajalakshmi, S.A. Abbasi., (2008): Solid Waste Management by Composting: State of the Art. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 311-400.
- [2] M. Farrell, D.L. Jones., (2009).Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. Bioresource Technology 100, 4301-4310.
- [3] N. Gamze Turan and Osman Nuri Ergun., (2007). Ammonia Uptake by Natural Zeolite in Municipal Solid Waste Compost. Wiley InterScience, 149-156.
- [4] Sneh Goyal, S.K. Dhull, K.K. Kapoor., (2005).Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. Bioresource Technology 96, 1584-1591.
- [5] Chiu-Chung Young, P.D. Rekha, A.B. Arun (2004) What happens during composting
- [7] N.Gamze Turan, Osman Nuri Ergun., (2008).Improving the Quality of Municipal Solid Waste Compost by Using Expanded Perlite and Natural Zeolite. Clean 2008, 36, 330-334
- [8] Antonis A. Zorpas, Maria Loizidou., (2008). Sawdust and natural zeolite as a bulking agent for improving quality of a composting product from anaerobically stabilized sewage sludge. Bioresource Technology 99, 7545-7552
- [9] J.Y. Seo, J.S. Heo, T.H. Kim, W.H. Joo, D.M. Crohn., (2004).Effect of vermiculate addition on compost produced from Korean food wastes. Waste Management 24 981-987
- [10] F. Herrera, J.E Castillo, A.F. Chica, L. Lopez Bellido., (2008).Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. Bioresource Technology 99, 287-296
- [11] L.F.Al- Jabi, M.M. Halalsheh, D.M. Badameh., (2008) CONSERVATION OF AMMONIA DURING FOOD WASTE COMPOSTING, Environmental Technology,29 1067-1073.
- [13] Hui Yu, Guo H. Huang., (2009).Effects of sodium acetate as a pH control amendment on the composting of food waste. Bioresource Technology 100, 2005-2011.



- [14] Bijaya K. Adhikari, Suzelle Barrington, Jose Martinez, Susan King., **2008**. Characterization of food waste and agents for composting. *Waste Management* 795-804
- [15] James I. Chang, Y.J. Chen., **2010**. Effects of bulking agents on food waste composting. *Bioresource Technology* 101. 5917-5924.
- [16] M. Farrell, D.L. Jones., **2010** Food Waste composting: Its use as a peat replacement. *Waste Management* 1495-1501.
- [17] H.N.B Cheung, G.H. Huang, H. Yu., **2010** Microbial-growth inhibition during composting of food waste: Effects of organic acids. *Bioresource Technology* 101 5925-5934.
- [18] Pagans, E. L., Font, X., & Sánchez, A. (**2005**). Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases. *Chemical Engineering Journal*, 113(2-3), 105-110].
- [19] Mena, E., Garrido, A., Hernández, T., & García, C. (**2003**). Bioremediation of sewage sludge by composting. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34(7-8), 957-971.
- [21] N. Gamze Turan ., **2009** Nitrogen availability in composted poultry litter using natural amendments. *Waste Management & Research* 27:19-24
- [22] N. G. Turan, A. Akdemir, O.N. Ergun., **2007**. Emission of Volatile Organic Compounds during Composting of Poultry Litter, *Water, Air, Soil Pollut.*, 184, 177.
- [23] Bijaya K, Suzelle Barrington, Jose Martinez, Susan King., **2009**. Effectiveness of three bulking agent for food waste composting. *Waste Management* 197- 203.
- [24] Jeremy Doublet, Cedric Francou, Maelenn Poitrenaud, Sabine Houot., **2010**. Sewage sludge composting: Influence of initial mixtures on organic matter evolution and N availability in the final composts. *Waste Management* xxx-xxx.



