



# Επεξεργασία και διαχείριση στερεών αποβλήτων

Ενότητα 7: Αερόβια λιπασματοποίηση.

Μουσιόπουλος Νικόλαος  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# Αερόβια λιπασματοποίηση.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Περιεχόμενα ενότητας

1. Βασικά χαρακτηριστικά αερόβιας λιπασματοποίησης.
2. Βελτιωτικό εδάφους.
3. Είδη αερόβιας κομποστοποίησης.
4. Στάδια αερόβιας λιπασματοποίησης.
5. Παράγοντες σχεδιασμού.



# Σκοποί ενότητας

- Βασικά χαρακτηριστικά αερόβιας λιπασματοποίησης.
- Εφαρμογές βελτιωτικού εδάφους.
- Στάδια αερόβιας λιπασματοποίησης.
- Παράγοντες σχεδιασμού.



# Αερόβια λιπασματοποίηση

- Ρυθμιζόμενη αερόβια διάσπαση των οργανικών ενώσεων των αστικών στερεών αποβλήτων με τη βοήθεια μικροοργανισμών που ολοκληρώνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και είναι άοσμη.
- **Οργανικό κλάσμα:** πρωτεΐνες, αμινοξέα, λιπίδια, υδατάνθρακες, κυτταρίνη, λιγνίνη και τέφρα.



# Βασικά χαρακτηριστικά

1. Μετατροπή του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού υλικού των αστικών στερεών αποβλήτων σε ένα βιολογικά σταθερό προϊόν με ταυτόχρονη μείωση του αρχικού όγκου.
2. Καταστροφή παθογόνων /μολυσματικών οργανισμών, που τυχόν υπάρχουν στα αστικά στερεά απόβλητα.
3. Διατήρηση του μέγιστου θρεπτικού περιεχομένου σε άζωτο, φώσφορο και κάλιο στο τελικό προϊόν.
4. Παραγωγή προϊόντος που χρησιμοποιείται ως κομπόστ και βοηθά στην ανάπτυξη των φυτών.





# Βελτιωτικό εδάφους (1/2)

- Απαιτείται τακτική οξυγόνωση είτε με ανάδευση είτε με εισαγωγή αέρα.
- Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται ανέρχεται σε υψηλές τιμές ( $\geq 70^{\circ}\text{C}$ ) που είναι ικανές να αφανίσουν έντομα και παθογόνους μικροοργανισμούς.
- Μείωση της υγρασίας κάτω του 40% οδηγεί σε μείωση της μικροβιακής ενεργότητας.



# Βελτιωτικό εδάφους (2/2)

- Αύξηση της υγρασίας σε επίπεδα που ο αέρας που υπάρχει μέσα στο βελτιωτικό εδάφους αντικατασταθεί με νερό, οδηγεί σε αναερόβιες συνθήκες (με δυσοσμία) και η κομποστοποίηση σταματά.
- Η αναλογία C:N είναι περίπου 20:1 στο φρέσκο οργανικό κλάσμα και σταδιακά μειώνεται σε 12:1 στο ώριμο βελτιωτικό εδάφους.
- Το κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων από το οποίο μπορεί να παραχθεί βελτιωτικό εδάφους περιέχει υπολείμματα τροφών και απόβλητα που προκύπτουν από την περιποίηση των φυτών.



# Βασικά χαρακτηριστικά και παράγοντες βελτιωτικού εδάφους

- Βασικά χαρακτηριστικά:
  - Χρώμα καφέ.
  - Συνεχώς μεταβαλλόμενη φύση, εξαιτίας της δραστηριότητας μικροοργανισμών.
  - Μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και απορρόφησης νερού.
- Παράγοντες:
  - Σύσταση του υλικού.
  - Συνθήκες κομποστοποίησης.
  - Βαθμός βιοαποικοδόμησης.



# Ιδιότητες / πλεονεκτήματα βελτιωτικού εδάφους (1/2)

- Αυξάνει τα οργανικά συστατικά του χώματος.
- Βελτιώνει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί το νερό και άλλες θρεπτικές ουσίες.
- Δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες αερισμού.
- Μειώνει την αλατότητα των εδαφών και βοηθά στην ανάπτυξη καλλιεργειών.
- Αυξάνει το πορώδες του εδάφους.
- Ρυθμίζει και εξισορροπεί το pH του εδάφους.
- Βοηθά στον έλεγχο της διάβρωσης του εδάφους.



# Ιδιότητες / πλεονεκτήματα βελτιωτικού εδάφους (2/2)

- Καθιστά το χώμα ευκολότερα καλλιεργήσιμο.
- Κάνει τα φυτά πιο ανθεκτικά στην ξηρασία και την παγωνιά.
- Βελτιώνει το περιεχόμενο των φυτών σε βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία.
- Επεκτείνει την περίοδο ανάπτυξης των φυτών.
- Περιορίζει τη χρήση πετροχημικών λιπασμάτων.
- Δεσμεύει τα βαρέα μέταλλα, με αποτέλεσμα τη μη εισχώρησή τους στη διατροφική αλυσίδα.



# Εφαρμογές βελτιωτικού εδάφους

- Γεωργία και κηπουρική.
- Αποκατάσταση καταπονημένων ή κατεστραμμένων εδαφών:
  - Πρώην υγρότοποι.
  - Αλατούχα εδάφη.
  - Υψηλής τοξικότητας εδάφη.
  - Παλιά λατομεία.
  - ΧΥΤΑ (επιφανειακή χωματοκάλυψη)
- Αναδασώσεις.
- Πάρκα και γήπεδα.

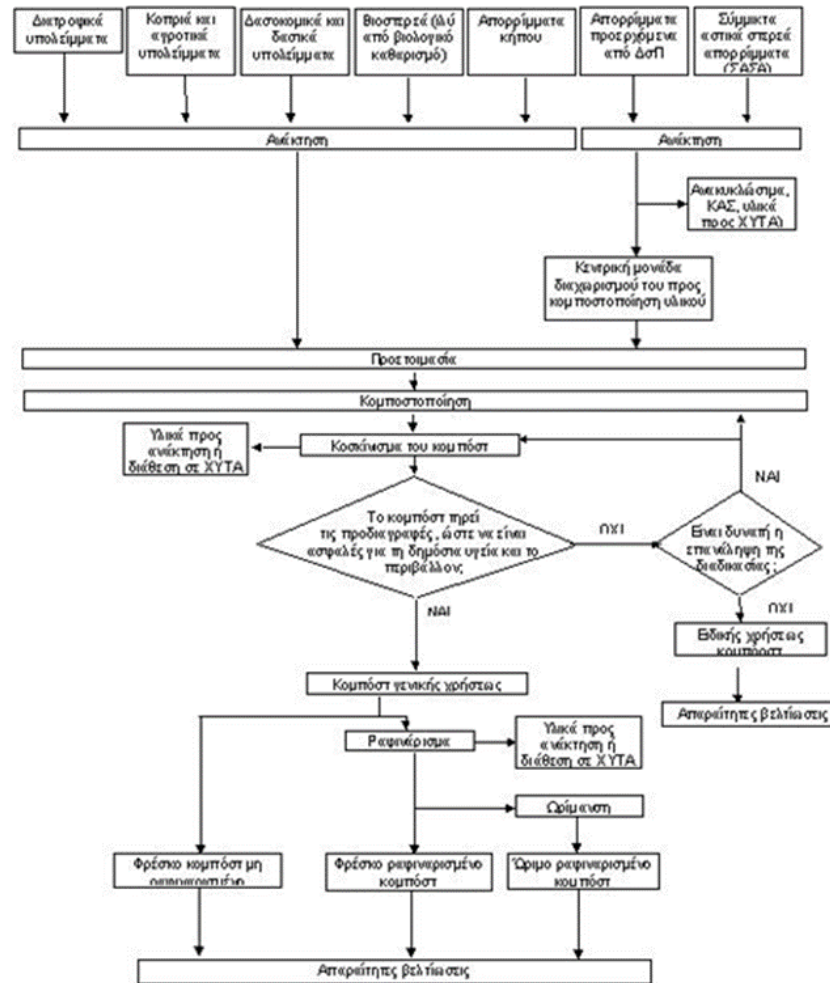


# Είδη αερόβιας κομποστοποίησης

- Απόβλητα κήπου.
- Οργανικό κλάσμα από ΔσΠ των ΑΣΑ.
- ΑΣΑ σε Μονάδα Μηχανικού Διαχωρισμού.
- ΑΣΑ με συν-διάθεση ιλύος από βιολογικό διαχωρισμό.
- Απόβλητα κουζίνας.
- Κτηνοτροφικά και αγροτικά υπολείμματα.
- Δασικά υπολείμματα.



# Διαδικασία κομποστοποίησης



Πηγή: World Wastes, 1995.



# Στάδια αερόβιας λιπασματοποίησης

1. Προ-επεξεργασία και ανάκτηση υλικών:
  - I. Μηχανικός διαχωρισμός.
  - II. Διαλογή στην πηγή.
2. Σταθεροποίηση εδαφοβελτιωτικού – Παραγωγή κομπόστ:
  - I. Ζύμωση.
  - II. Ωρίμανση.
  - III. Ραφινάρισμα.



# Προ-επεξεργασία και ανάκτηση υλικών – Μηχανικός διαχωρισμός

1. Τεμαχισμός.
2. Κοσκίνισμα.
3. Αερο-διαχωρισμός.
4. Μαγνητικός διαχωρισμός.
5. Ηλεκτρο-διαχωρισμός.



# Τεμαχισμός

- Αύξηση ολικής επιφάνειας και μερικός διαχωρισμός των ΑΣΑ.
- Χρησιμοποιούνται:
  - βαλλιστικοί μύλοι,
  - σφυρόμυλοι και
  - μύλοι-κόπτες.
- Προβλήματα δημιουργεί η ανομοιογένεια των ΑΣΑ.



# Κοσκίνισμα

- Διαχωρισμός των ΑΣΑ ανάλογα με το μέγεθος.
- Χρησιμοποιούνται:
  - κόσκινα πλάνης με διάτρητα ελάσματα,
  - δικτυωτά σύρματα,
  - ράβδοι-προφίλ και
  - κόσκινα-τύμπανα.



# Αερο-διαχωρισμός

- Ταξινόμηση των ΑΣΑ ανάλογα με το ειδικό τους βάρος.
- Ο βαθμός διαχωρισμού εξαρτάται από:
  - ταχύτητα αέρα,
  - επιφανειακή υγρασία των κόκκων,
  - βάρος και το σχήμα τους και
  - κατασκευή του αερο-διαχωριστήρα.
- Ελαφρύ κλάσμα: χαρτί και πλαστικό.
- Βαρύ κλάσμα: μέταλλα και ζυμώσιμα υλικά.
- Χρησιμοποιούνται: αερο-διαχωριστές 'ζικ-ζακ' και οριζοντίου ρεύματος αέρα.



# Μαγνητικός διαχωρισμός

- Παρεμβάλλεται σε διάφορες θέσεις του συστήματος.
- Στόχος: μεγαλύτερη δυνατή ανάκτηση Fe και απομάκρυνση των σιδηρούχων μετάλλων από άλλα προϊόντα.



# Ηλεκτρο-διαχωρισμός

- Διαχωρισμός κατά είδος των μη σιδηρούχων μετάλλων, του χαρτιού και του πλαστικού από τα ΑΣΑ με την επίδραση ηλεκτρικών πεδίων.
- Προϋπόθεση: ξήρανση μέχρι μία περιεκτικότητα σε υγρασία  $\leq 1\%$  κ.β. και ομοιογένεια στο μέγεθος των κόκκων.



# Επίδραση της διαλογής στην πηγή στο μηχανικό διαχωρισμό

- ΑΣΑ προς μονάδες μηχανικού διαχωρισμού:
  - μη ικανοποιητική ποιότητα τελικού προϊόντος εξαιτίας παρουσίας βαρέων μετάλλων και επικίνδυνων τοξικών ουσιών.
- ΑΣΑ από ΔσΠ προς μονάδες μηχανικού διαχωρισμού:
  - Παραγωγή υψηλής ποιότητας κομπόστ.
  - Απελευθέρωση της πρώτης ύλης από τις σακούλες.
  - Απομάκρυνση ανεπιθύμητων υλικών.
  - Ρύθμιση χαρακτηριστικών (μέγεθος, λόγος C/N, υγρασία, θρεπτικά συστατικά).





# Στάδια σταθεροποίησης βελτιωτικού εδάφους – Παραγωγή κομπόστ

## 1. Ζύμωση:

- Μηχανική περιοδική ανάδευση σε σειράδια.
- Εξαναγκασμένος αερισμός σε στατικούς σωρούς.
- Βιο-αντιδραστήρες.

## 2. Ωρίμανση.

## 3. Ραφινάρισμα.



# Ζύμωση

- **Μηχανική περιοδική ανάδευση ΑΣΑ σε σειράδια:**
  - Συσσώρευση ΑΣΑ σε σειράδια ύψους 2 m και πλάτους 4,5 m στη βάση και ανάδευση 1/2 φορές την εβδομάδα (4-5 εβδομάδες) με ειδικά μηχανήματα.
- **Εξαναγκασμένος αερισμός σε στατικούς σωρούς:**
  - Συσσώρευση ΑΣΑ επάνω σε αεριζόμενες επιφάνειες ή διάτρητους σωλήνες μέσω των οποίων παρέχεται αέρας. Το ύψος σωρού είναι 2 - 2,5 m. Ο αερισμός αποτρέπει την εμφάνιση οσμών. Η ζύμωση διαρκεί 4 - 5 εβδομάδες.
- **Βιοαντιδραστήρες.**
  - Μεγαλύτερος έλεγχος των επικρατουσών συνθηκών και λιγότερος χρόνος και χώρος με υψηλότερο κόστος επένδυσης και λειτουργίας. Η ζύμωση διαρκεί 1 - 2 εβδομάδες και η ποιότητα του προϊόντος είναι υψηλή.



# Φάσεις ζύμωσης

- **Λανθάνουσα φάση:**
  - Αναπτύσσονται οι αποικίες των μικροβίων.
- **Φάση αύξησης:**
  - Δράση μικροοργανισμών και απελευθέρωση ενέργειας με αποτέλεσμα άνοδο θερμοκρασίας από 20 °C σε 45 °C. Μείωση pH από 6 σε 5.
- **Θερμόφιλη φάση:**
  - Το pH γίνεται αλκαλικό (8 – 8,5). Όσο περισσότερος διαθέσιμος αέρας τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα μεταβολισμού. Στους 60-70 °C επικρατούν μόνο τα ανθεκτικά βακτήρια και οι ακτινομόκητες που συνεχίζουν την αποδόμηση.
- **Φάση ψύξης:**
  - Όσο προχωρεί η αποσύνθεση, μειώνεται η θερμοκρασία και η ταχύτητα της αντίδρασης. Επανεμφάνιση των θερμοφυλικών οργανισμών. Ολοκλήρωση της ζύμωσης (3 – 5 εβδομάδες).



# Ωρίμανση

- Το βελτιωτικό εδάφους ωριμάζει για χρονικό διάστημα από εβδομάδες μέχρι μήνες για να είναι έτοιμο προς χρήση. Στη φάση αυτή πραγματοποιείται ανάδευση του σωρού.
- Για βελτιωτικό εδάφους υψηλής ποιότητας είναι απαραίτητο τελικό κοσκίνισμα του προϊόντος για την απομάκρυνση υλικών (μικρά κομμάτια ξύλου, γυαλιού ή πλαστικού).



# Ραφινάρισμα

- Το προϊόν είναι έτοιμο και οδηγείται για ραφινάρισμα, όπου απαλλάσσεται από τα ανεπιθύμητα συστατικά που υποβιβάζουν την ποιότητά του.
- Ο τεμαχισμός και το κοσκίνισμα είναι οι κοινές μέθοδοι για την παραγωγή ενός πιο ομοιόμορφου προϊόντος.



# Παράγοντες σχεδιασμού

- Ογκομετρική παροχή ΑΣΑ.
- Ποιοτικά χαρακτηριστικά ΑΣΑ.
- Ενδεχόμενη συν-επεξεργασία ιλύος (από βιολογικούς καθαρισμούς).
- Ανάκτηση ή όχι και άλλων υλικών εκτός του βελτιωτικού.
- Διαθέσιμη έκταση εγκατάστασης της μονάδας.
- Επιθυμητή ποιότητα του παραγόμενου βελτιωτικού.
- Ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας.
- Επενδυτικό και λειτουργικό κόστος.
- Διακυμάνσεις παροχής και μελλοντικές επεκτάσεις μονάδας.



# Πιθανά εμπόδια

- Χαμηλή ποιότητα και ύπαρξη ορατών συστατικών (γυαλί, πλαστικό).
- Περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα (σε οικιακή σκόνη, συνδετήρες, καπάκια από μπουκάλια, λαμπτήρες φθορισμού και πυρακτώσεως, μπαταρίες).



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
  - Διαγράμματα:
    - World Wastes (1995), National Wastes' Management Team, April.
    - [http://eclass.auth.gr/modules/document/file.php/MEN\\_G320/Σημειώσεις20%μαθήματος/4%20ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ%200-%20ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ.pdf](http://eclass.auth.gr/modules/document/file.php/MEN_G320/Σημειώσεις20%μαθήματος/4%20ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ%200-%20ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ.pdf), 17/06/2015.





# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Μουσιόπουλος Νικόλαος. «Επεξεργασία και διαχείριση στερεών αποβλήτων. Αερόβια λιπασματοποίηση». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS392/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Περκουλίδης Γιώργος  
Θεσσαλονίκη, Εαρινό Εξάμηνο 2014-2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

