

# Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων

## Διάλεξη 11

### Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων

# ➤ Μέθοδοι Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων

❑ Οι βασικές μέθοδοι επεξεργασίας στερεών αποβλήτων είναι:

1. Υγειονομική Ταφή (Χ.Υ.Τ.Α) – Land-filling
2. Κομποστοποίηση – Composting
3. Αναερόβια χώνευση – Anaerobic Digestion
4. Αποσύνθεση από σκώληκες - Vermicomposting
5. Θερμική Επεξεργασία



# ***Υγειονομική Ταφή Στερεών Αποβλήτων***

# ➤ Υγειονομική Ταφή Στερεών Αποβλήτων

- ❑ *Η παλαιότερη μέθοδος επεξεργασίας στερεών αποβλήτων που ακόμη και σήμερα αποτελεί τη βασικότερη μέθοδο*
- Τα παλαιότερα χρόνια η υγειονομική ταφή γινόταν χωρίς κάλυψη των αποβλήτων με αποτέλεσμα την εμφάνιση σημαντικών προβλημάτων ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων
- Σήμερα νέες πρακτικές εφαρμόζονται ώστε να μειώσουν τον κίνδυνο έκπλυσης και ρύπανσης των υπογείων νερών αλλά και να βελτιώσουν αισθητικά την εικόνα τέτοιων περιοχών
- Βασικό πρόβλημα είναι ο εντοπισμός κατάλληλων περιοχών, από άποψη γεωλογικής, για την μετατροπή τους σε χώρους απόρριψης στερεών αποβλήτων

## ➤ Προϋποθέσεις για την επιλογή χώρου

1. Φυσικές κοιλότητες στην επιφάνεια του εδάφους
2. Ύπαρξη φυσικού μη-πορώδους στρώματος (αργίλου) ώστε να περιορίζεται η διαφυγή υγρών προς τα υπόγεια υδροφόρα
3. Ύπαρξη πλήρους γεωλογικής και γεωτεχνικής μελέτης της περιοχής για προστασία των υπόγειων υδροφόρων
4. Τοποθεσίες μακριά από κατοικημένες περιοχές για την αποφυγή προβλημάτων με την οσμή από τα αέρια που παράγονται κατά την αναεροβική αποσύνθεση

❑ *Περιοχές υποβαθμισμένες με χαμηλό κόστος ή πρώην ορυχεία εξόρυξης μεταλλευμάτων αποτελούν ιδανικές περιοχές για την μετατροπή τους σε ΧΥΤΑ*

## ➤ ΧΥΤΑ vs. ΧΩΜΑΤΕΡΗ

- ❑ Οι διαφορές ανάμεσα στο ΧΥΤΑ και στο χώρο ανεξέλεγκτης απόθεσης απορριμμάτων (χωματερή) μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:
  - Η χωροθέτηση ΧΥΤΑ γίνεται μετά από μελέτη η οποία λαμβάνει υπόψη της κριτήρια τεχνικά, χωροταξικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικής αποδοχής
  - Σε ένα ΧΥΤΑ υπάρχει μέριμνα ώστε τα διασταλάζοντα υγρά, τα οποία περιέχουν σημαντικό ρυπαντικό φορτίο, να μη ρυπαίνουν τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα
  - Το βιοαέριο που παράγεται σε ένα ΧΥΤΑ συλλέγεται και αξιοποιείται, ενώ σε μια ανεξέλεγκτη χωματερή η παραγωγή βιοαερίου γίνεται αιτία για την πρόκληση πυρκαϊών
  - Στο ΧΥΤΑ γίνεται καθημερινή επικάλυψη των απορριμμάτων με χώματα
  - Αφού χρησιμοποιηθεί ο ΧΥΤΑ για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα γίνεται περιβαλλοντική αποκατάσταση του χώρου

# ➤ Νομοθετικές Ρυθμίσεις για ΧΥΤΑ

1. Η **Ευρωπαϊκή Οδηγία Landfill** 1998 οδήγησε σε σημαντικές αλλαγές στην επεξεργασία των στερεών αποβλήτων με την επιβολή σταδιακής μείωσης των ποσοτήτων απορριμμάτων που μεταφέρονται σε ΧΥΤΑ και μέχρι το 2020 η μείωση αυτή να είναι της τάξης του 65% σε σχέση με τις τιμές του 1995
2. Το 1996 -1998 διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες επέβαλαν φόρο για την επεξεργασία αποβλήτων με αυτόν τον τρόπο και έτσι παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου από το 1998 και μετά στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες



Country	Landfill (%)	Incineration (%)	Recycled (%)
Austria	65	11	24
Belgium	43	54	3
Canada	67	4	29
Denmark	20	55	25
Finland	66	4	30
France	59	33	8
Germany	46	36	18
Netherlands	30	42	28
Japan	21	74	5
Norway	68	18	14
Sweden	34	47	19
Switzerland	11	47	42
UK	85	9	6
USA	61	15	24

Παλαιότερα αποτελούσε την μοναδική μέθοδο επεξεργασίας στερεών αποβλήτων αλλά η χρήση της έχει περιορισθεί στις αναπτυγμένες χώρες ύστερα από νομοθετήματα για τον περιορισμό των ΧΥΤΑ και την εναλλακτική εφαρμογή μεθόδων περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον (π.χ. ανακύκλωση)



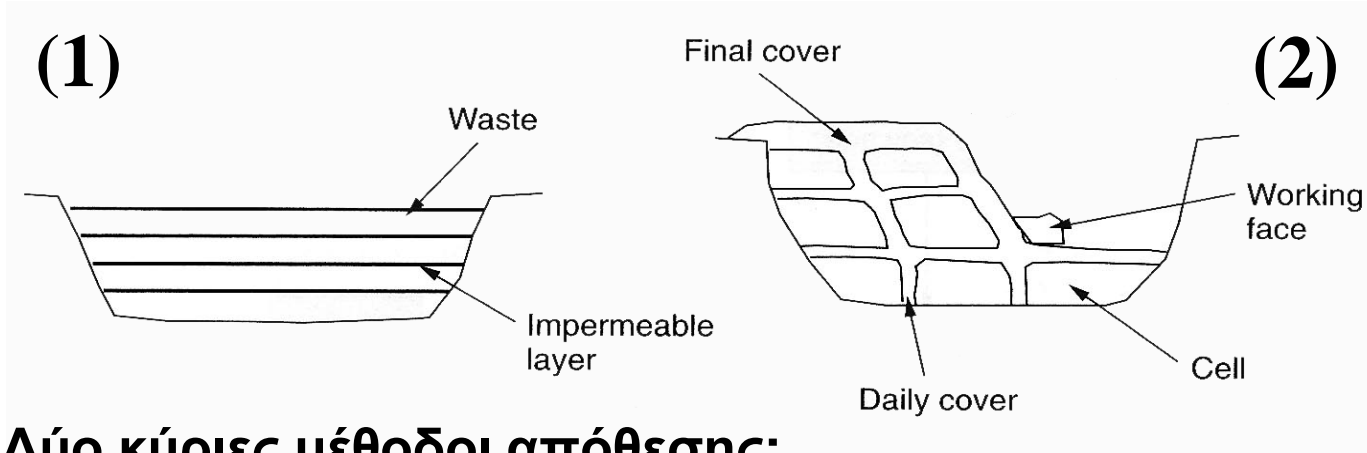
Country	Landfill (%)	Incineration (%)	Recycled (%)
---------	--------------	------------------	--------------

- ❑ Η καύση ενέχει πολλούς περιβαλλοντικούς κινδύνους κι έτσι η χρήση της απαιτεί προσοχή
- ❑ Ενδεχόμενη ρύπανση του περιβάλλοντος λόγω της δημιουργίας:
  - Οξειδία του N
  - Διοξείδιο του θείου
  - Μονοοξείδιο του άνθρακα
  - HCl
  - Αιωρούμενα σωματίδια
  - Οσμές
  - Διοξίνες και φουράνια (καύση πλαστικών που περιέχουν χλώριο π.χ. πολυβινυλοχλωρίδιο)

- Με την ανακύκλωση περιορίζεται ο όγκος της συλλογής των απορριμμάτων που πρέπει να μεταφερθούν στο ΧΥΤΑ
- Περιορίζεται ο όγκος της κατόρυξης κι έτσι χρειάζεται λιγότερη γη για υγειονομική ταφή
- Εξοικονομούνται πολύτιμες πρώτες ύλες (π.χ. χαρτί)
- Υπάρχει κάποιο κέρδος από την πώληση των ανακυκλούμενων υλικών

Παλαιότερα αποτελούσε την μοναδική μέθοδο επεξεργασίας στερεών αποβλήτων αλλά η χρήση της έχει περιορισθεί στις αναπτυγμένες χώρες ύστερα από νομοθετήματα για τον περιορισμό των ΧΥΤΑ και την εναλλακτική εφαρμογή μεθόδων περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον (π.χ. ανακύκλωση)

# ➤ Λειτουργικές – Κατασκευαστικές Αρχές



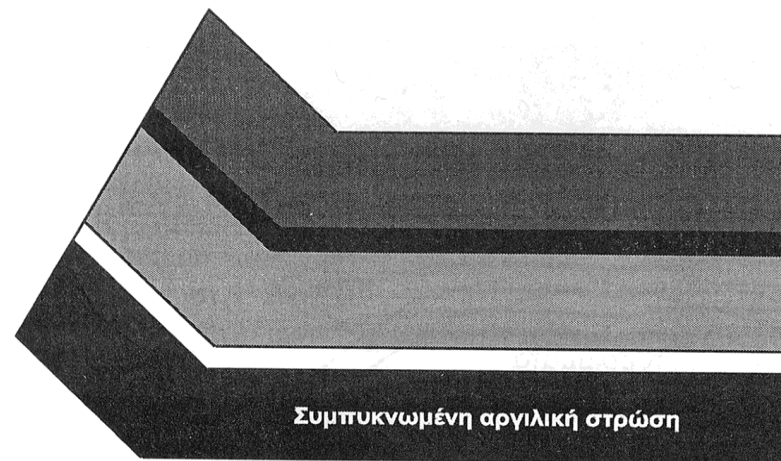
## □ Δύο κύριες μέθοδοι απόθεσης:

1. Απόθεση απορριμμάτων σε λεπτά στρώματα (2-3 m) τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με στρώματα εδάφους (0,6 cm)
2. Απόθεση απορριμμάτων κάθε μέρας σε κύβους που στο τέλος της ημέρας καλύπτονται με λεπτό στρώμα εδάφους και συμπιέζονται => εύκολη μεταφορά – τοποθέτηση; οικονομία χώρου; δυσκολότερη διήθηση των νερών της βροχής

□ ***Και στις δύο μεθόδους στον πυθμένα τοποθετείται αδιαπέραστο στρώμα (πλαστικό, άργιλος, γεωμεμβράνες) για περιορισμό της ρύπανσης των νερών***

# ➤ Αδιαπέραστες ζώνες στην κατασκευή των ΧΥΤΑ

- Στην κατασκευή των ΧΥΤΑ η πιο σοβαρή κατασκευαστική λεπτομέρεια είναι η κατασκευή αδιαπέραστων φυσικών και τεχνικών ζωνών που να περιορίζουν την έκπλυση των υγρών που παράγονται κατά την αποσύνθεση των απορριμμάτων αλλά και ταυτόχρονα στραγγιστικές ζώνες όπου θα συλλέγονται τα εκπλυνόμενα υγρά



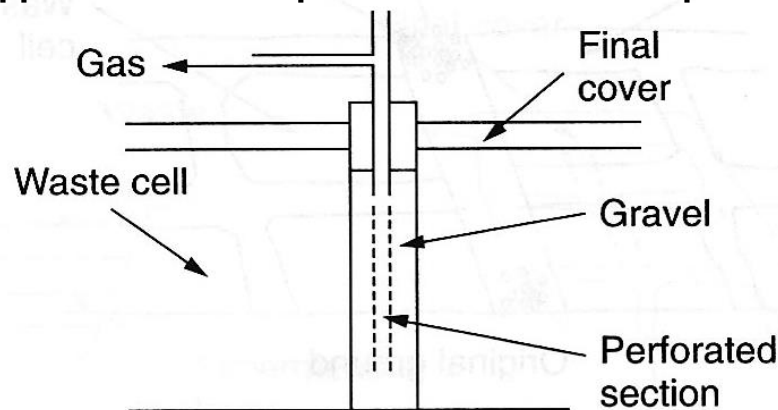
- Σύνθετος δευτερεύων προστατευτικός φραγμός
- Δευτερεύουσα αδιαπέρατη γεωμεμβράνη
- Αρχική αδιαπέρατη γεωμεμβράνη
- Αρχικό σύστημα συλλογής και απομάκρυνσης υγρών προϊόντων διήθησης
- Σύστημα ανίχνευσης διαρροών και απομάκρυνση τους

## ➤ Στρώσεις σε ΧΥΤΑ

- ❑ **Αργιλική στρώση:** συνήθως από μοντμοριλονίτη ή κάποιο άλλο φυσικό αργιλικό υλικό με συμπυκνωμένες στρώσεις του υλικού πάχους ως και 1 m για τοξικά απόβλητα
- ❑ **Αρχική μη διαπερατή στρώση:** συνήθως συνθετικό υλικό όπως γεωμεμβράνες για την τοποθέτηση των οποίων απαιτείται σχετικά υψηλό κόστος και δοκιμές για την κατάλληλη τοποθέτηση και ανθεκτικότητα τους
- ❑ **Αποστραγγιστική στρώση:** επιτρέπει την συλλογή και απομάκρυνση υγρών διήθησης από το σώμα των αποβλήτων. Αποτελείται συνήθως από 1) αρχικό σύστημα συγκέντρωσης και απομάκρυνσης υγρών διήθησης 2) δευτερεύων σύστημα συλλογής υγρών διήθησης
- ❑ **Ειδική στρώση δέσμευσης παραγόμενων αερίων**

## ➤ Λειτουργικές – Κατασκευαστικές Αρχές

- ❑ Κατά τη διάρκεια της δημιουργίας των στρώσεων ή των κύβων με τα απόβλητα είναι δυνατή η τοποθέτηση σωλήνων που θα συλλέγουν τα εκπλυνόμενα υγρά αλλά και τα αέρια που παράγονται κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης των απορριμμάτων
- ❑ Συνήθως όμως οι σωλήνες αυτοί τοποθετούνται 1-2 χρόνια μετά την κατασκευή των χωματερών διότι η αναερόβια χώνευση των απορριμμάτων είναι αργή διαδικασία και δεν παράγονται σημαντικές ποσότητες υγρών και αερίων κατά τα πρώτα έτη λειτουργίας



## ➤ Χ.Υ.Τ.Α. Λευκίμμης



## ➤ Χ.Υ.Τ.Α. Λάρισας



- Περιοχή Βροντερό- Κοινότητα Παραποτάμου
- Έκταση 560 στρέμ. - ~200στρεμ. για ΥΤΑ
- Διαθέτει στεγανοποίηση από μεμβράνη πολυαιθυλενίου και εγκατάσταση προεπεξεργασίας διασταλάζοντων που αποτελείται από 4 αεριζόμενες δεξαμενές σε σειρά.
- Μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες ισοδύναμου πληθυσμού 160.00 κατοίκων για περίπου 30 έτη.

- Δεν εξυπηρετεί όλο το νομό – εξυπηρετεί κυρίως την πόλη και την επαρχία της Λάρισας καθώς και την επαρχία Τυρνάβου

## ➤ Λειτουργικές – Κατασκευαστικές Αρχές

- ❑ Όταν οι ΧΥΤΑ έχουν πληρωθεί τότε καλύπτονται με στρώμα αργίλου, ένα στρώμα πλαστικού και από επάνω τοποθετείται στρώση από έδαφος
- ❑ Η κάλυψη προστατεύει από εισροή βρόχινου νερού και έτσι περιορίζει την πιθανότητα έκπλυσης
- ❑ Από την στιγμή της κάλυψης η οργανική ουσία των απορριμμάτων θα διασπασθεί **υπό αναερόβιες συνθήκες** και θα οδηγήσει στην παραγωγή αερίων που αποτελούνται κυρίως από **μεθάνιο αλλά και υγρών αποβλήτων**

## ➤ ΧΥΤΑ – Υγρά απόβλητα

Parameter	Recent waste	Old waste
COD	23,800	1160
BOD	11,900	260
TOC	8000	465
Fatty acids	5688	5
Ammoniacal-N	790	370
Oxidised-N	3	1
Chloride	1315	2080
Sodium	960	1300
Magnesium	252	185
Potassium	780	590
Calcium	1820	250
Manganese	27	2
Iron	540	23
Nickel	0.6	0.1
Copper	0.12	0.3
Zinc	21.5	0.4
Lead	8.4	0.14

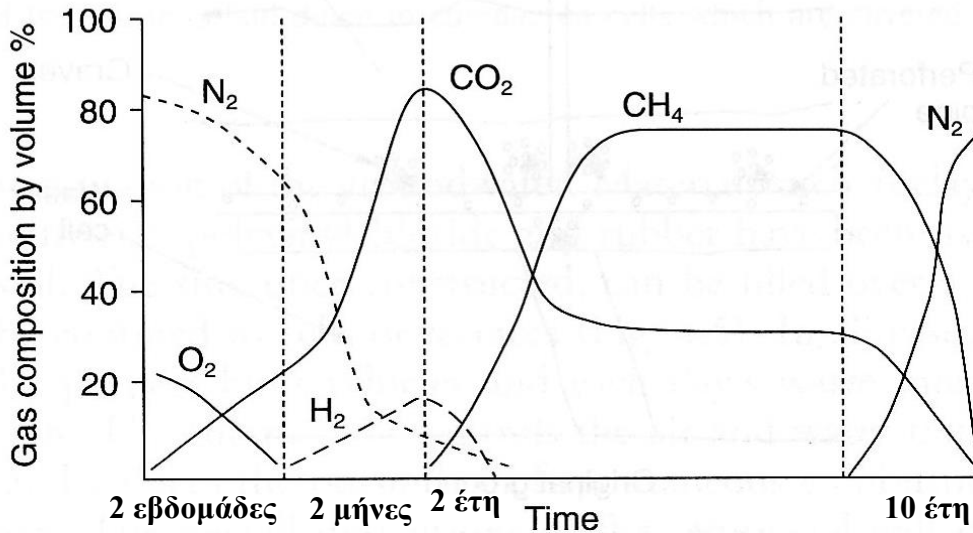
❑ Τα υγρά απόβλητα που παράγονται τα πρώτα έτη εγκατάστασης του ΧΥΤΑ έχουν πολύ υψηλότερο οργανικό φορτίο από τα υγρά που παράγονται αργότερα

❑ Τα υγρά απόβλητα των ΧΥΤΑ γενικά έχουν ιδιαίτερα υψηλό οργανικό φορτίο, περιέχουν μέταλλα και άλλες τοξικές ουσίες και θα πρέπει να επεξεργασθούν παραπέρα



## ➤ ΧΥΤΑ – Παραγόμενα αέρια

- ❑ Τα αέρια που παράγονται στους ΧΥΤΑ αποτελούνται κυρίως από **μεθάνιο** αλλά και μικρές ποσότητες **CO<sub>2</sub>**, **H<sub>2</sub>**, **N<sub>2</sub>** και **H<sub>2</sub>S**



- ❑ Το μεθάνιο που παράγεται έχει ενεργειακή αξία **50% του φυσικού αερίου** και η συλλογή του ξεκινά 1-2 χρόνια μετά την κάλυψη του ΧΥΤΑ ώστε να σταθεροποιηθεί η παραγωγή CH<sub>4</sub>

- ❑ Το μεθάνιο που συλλέγεται χρησιμοποιείται ως φυσικό καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας

## ➤ ΧΥΤΑ – Προβλήματα λειτουργίας

- ❑ Οι ΧΥΤΑ παραμένουν **ενεργοί για τουλάχιστον 100 χρόνια** πριν χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς και να πάρουν πιστοποιητικό ολοκλήρωσης των εργασιών

Για να γίνει αυτό θα πρέπει να είναι εξακριβωμένο ότι:

1. Το οργανικό φορτίο να έχει σταθεροποιηθεί σε χαμηλά επίπεδα
2. Τοξικές ουσίες και βαρέα μέταλλα έχουν απομακρυνθεί οριστικά

- ❑ Το βασικό πρόβλημα των ΧΥΤΑ είναι ότι οι διεργασίες γίνονται με αργούς ρυθμούς λόγω της απουσίας νερού και **θρεπτικών ουσιών**. Η συλλογή και ανακύκλωση των υγρών που παράγονται ίσως να επιταχύνουν τη διαδικασία εμπλουτίζοντας το σύστημα με θρεπτικά υλικά

## ➤ Πλεονεκτήματα ΧΥΤΑ

- ❑ Οικονομικά συμφέρουσα μέθοδος εάν βρεθεί κατάλληλος χώρος
- ❑ Απαιτείται χαμηλότερο κεφάλαιο επενδύσεων για έργα υποδομής και μηχανικό εξοπλισμό συγκριτικά με άλλες μεθόδους
- ❑ Σχετικά ευέλικτη μέθοδος στην εφαρμογή της
- ❑ Οδηγεί στην παραγωγή  $\text{CH}_4$  που αν συλλεχθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας σε παρακείμενες βιομηχανίες

## ➤ Μειονεκτήματα ΧΥΤΑ

- ❑ Δύσκολη ανεύρεση χώρου κατάλληλου για την υγειονομική ταφή των αστικών στερεών αποβλήτων σε πυκνοκατοικημένες περιοχές ώστε να περιορίζεται το κόστος μεταφοράς των αποβλήτων
- ❑ Απαιτείται ημερήσια ταφή των αποβλήτων
- ❑ Αντίθετη η κοινή γνώμη στην εγκατάσταση ΧΥΤΑ
- ❑ Πιθανή διαρροή υγρών από τα ΧΥΤΑ μπορούν να ρυπάνουν τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα
- ❑ Παραγωγή δύσσομων αερίων όπως  $\text{CH}_4$  ή  $\text{H}_2\text{S}$  που προκαλούν προβλήματα σε γειτονικές κατοικημένες περιοχές
- ❑ Χώροι εγκαταλειμμένων ΧΥΤΑ παρουσιάζουν προβλήματα επαναστικοποίησης (αυξημένος κίνδυνος καθίζησης)



# ***Κομποστοποίηση***

# ➤ Κομποστοποίηση (Composting)

- ❑ *Η αερόβια αποσύνθεση αποβλήτων βιολογικής προέλευσης*
  - Χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αστικών απορριμμάτων και αγροτικών αποβλήτων
  - Στην **κομποστοποίηση** τα οργανικά συστατικά των απορριμμάτων αποσυντίθενται από μικτούς πληθυσμούς μικροοργανισμών (βακτήρια, ακτινομύκητες, μύκητες) **υπό υγρές, θερμές και αερόβιες συνθήκες**
  - Σε αντίθεση με την αναερόβια αποσύνθεση των απορριμμάτων που είναι αργή διαδικασία και συνοδεύεται από παραγωγή μεθανίου, η αερόβια αποσύνθεση είναι ταχύτερη διαδικασία που πραγματοποιείται παρουσία οξυγόνου

# ➤ Κομποστοποίηση

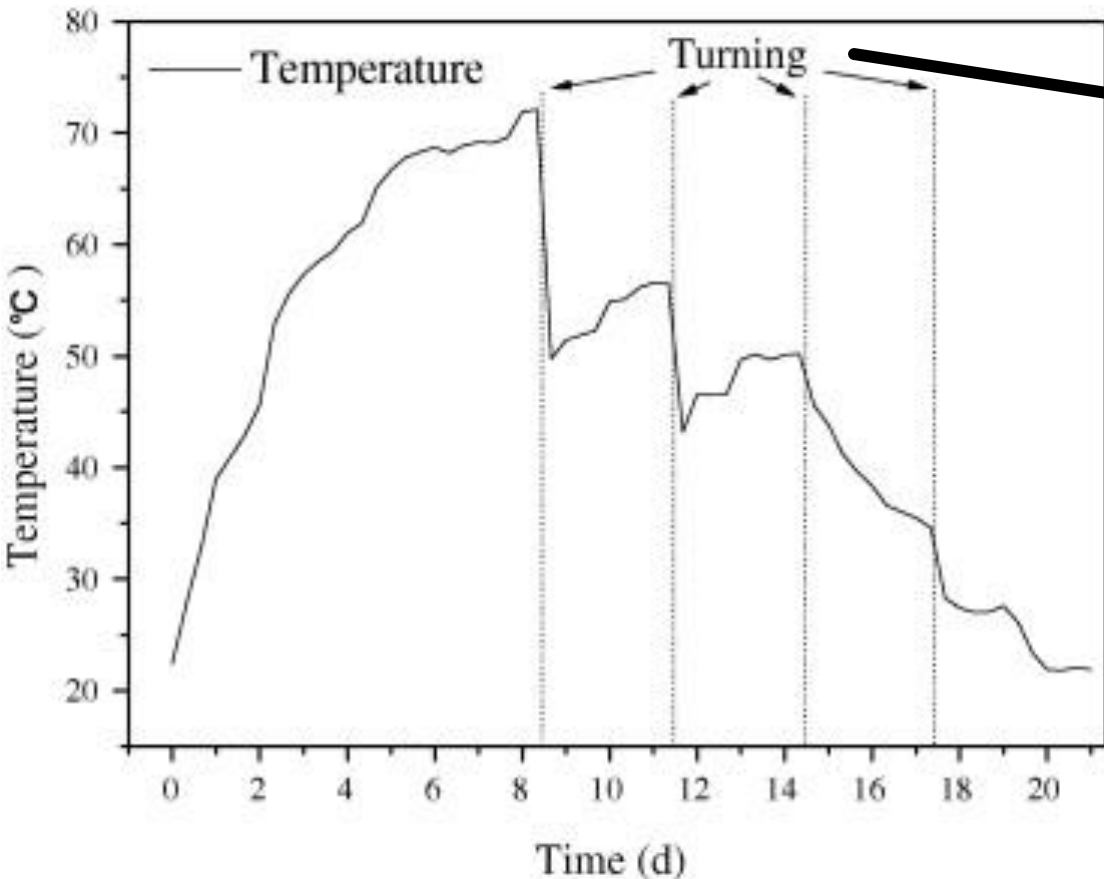
- ❑ Αποτελεί την βασικότερη εναλλακτική λύση για αντικατάσταση των ΧΥΤ. Χώρες όπως η Ολλανδία και η Γερμανία έχουν απαγορεύσει την ταφή των σκουπιδιών
- Στην Ολλανδία τα βιο-διασπώμενα αστικά απορρίμματα κομποστοποιούνται κατά 90% με παραγωγή 1.4 εκατ. τόνων κομπόστας κάθε χρόνο
- Στην Γερμανία παράγονται περίπου 6.3 εκατ. τόνων compost κάθε χρόνο

## ➤ Στάδια στην κομποστοποίηση

- ❑ **Στάδιο Ανάπτυξης ή Μεσόφιλο:** Επικρατούν **μεσόφιλοι μικροοργανισμοί** που αρχίζουν την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας των απορριμμάτων με παράλληλη παραγωγή CO<sub>2</sub> μέχρι η θερμοκρασία να φθάσει τους **40°C**
- ❑ **Θερμόφιλο Στάδιο:** Η παραγωγή CO<sub>2</sub> προσωρινά διακόπτεται και ξεκινά ξανά με την επικράτηση των **θερμόφιλων μικροοργανισμών** μέχρι η θερμοκρασία να φτάσει τους **70-75 °C** οπότε και πεθαίνουν
- ❑ **Στάδιο Ωρίμανσης:** Με την πτώση της θερμοκρασίας επικρατούν **μεσόφιλα βακτήρια** αλλά κυρίως **ακτινοβακτήρια και νιτροποιητικά βακτήρια**. Τα ακτινοβακτήρια αποσυνθέτουν κυτταρίνη και ημικυτταρίνη ενώ τα νιτροποιητικά βακτήρια ***Nitrosomonas, Nitrobacter*** που χρειάζονται χρόνο για να αναπτυχθούν μετατρέπουν τα αμμωνιακά ιόντα σε νιτρικά

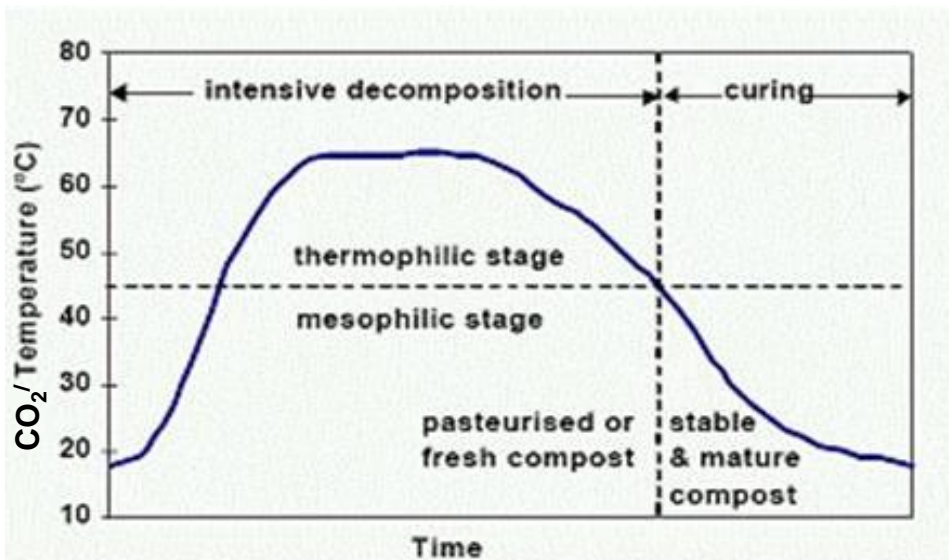


# ➤ Στάδια στην κομποστοποίηση



- Οι δύο μικροβιακές φάσεις που προηγήθηκαν οδήγησαν σε κατανάλωση του οξυγόνου καθιστώντας το μέσο αναερόβιο
- Στη φάση αυτή πρέπει να αποκαθίσταται η αερόβια λειτουργία με γύρισμα της σωρού

# ➤ Στάδια στην κομποστοποίηση

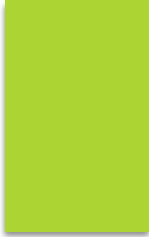


- Στο αρχικό μεσόφιλο στάδιο η θερμοκρασία του κόμποστ αυξάνεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε περίπου 40°C (εμφάνιση μυκήτων και βακτηρίων που παράγουν οξέα)
- Καθώς αυξάνει η θερμοκρασία στη μάζα του κόμποστ στο θερμόφιλο εύρος 40-70 °C, αυτοί οι μικροοργανισμοί αντικαθίστανται από θερμόφιλα βακτήρια, ακτινομύκητες και θερμόφιλους μύκητες

- Η μέγιστη αποδόμηση και σταθεροποίηση του οργανικού υλικού συμβαίνει στο θερμόφιλο εύρος θερμοκρασιών
- Το στάδιο της ωρίμανσης χαρακτηρίζεται από τη μείωση της μικροβιακής δραστηριότητας και την αντικατάσταση των θερμόφιλων οργανισμών από μεσόφιλα βακτήρια και μύκητες
- Κατά τη διάρκεια του σταδίου ωρίμανσης συμβαίνει περαιτέρω απελευθέρωση υδρατμών νερού από το υλικό που έχει υποστεί κομποστοποίηση, σταθεροποίηση του pH και ολοκλήρωση του σχηματισμού του χουμικού οξέος

# ➤ Μεγιστοποίηση Αποτελεσματικότητας Κομποστοποίησης

- ❑ Προσθήκη θρεπτικών ουσιών όπως N, P για επιτάχυνση της ανάπτυξης των μικροοργανισμών
- ❑ Προετοιμασία των απορριμμάτων ώστε να είναι σε κατάσταση ιδανική για αποσύνθεση δηλαδή ανάμιξη ώστε να πάρουμε απόβλητα με C:N 20-25 ή άλεση σε υλικά κατάλληλου διαμετρήματος που θα προσδώσουν μεγαλύτερη επιφάνεια για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και καλό αερισμό



Material	C:N
Food wastes	15:1
Sewage sludge (digested)	16:1
Grass clippings	19:1
Cow manure	20:1
Horse manure	25:1
Leaves and foliage	60:1
Bark	120:1
Paper	170:1
Wood and sawdust	500:1

- Ο λόγος **C:N** θεωρείται ως μέτρο καταλληλότητας των αποβλήτων για κομποστοποίηση. **Τιμές > 30** πιθανότατα αναστέλλουν την διαδικασία λόγω έλλειψης N για τους μικροοργανισμούς (=> ανάγκη προσθήκης N) ενώ **τιμές < 15** οδηγούν σε παραγωγή  $\text{NH}_4$ , άσχημης οσμής και αναστολή της διαδικασίας

# ➤ Κομποστοποιημένα Υλικά – Κριτήρια Καταλληλότητας

□ *Η ολοκλήρωση της κομποστοποίησης και η ποιότητα της παραγόμενης κομπόστας εκτιμάται με τη χρήση διαφόρων παραμέτρων όπως:*

- 1. Λόγος C/N:** όταν η τιμή του λόγου είναι περίπου 15 τότε η κομπόστα είναι καλής ποιότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενσωμάτωση σε αγροτικά εδάφη
- 2. N-P-K:** για να διαπιστωθεί η καταλληλότητα της κομπόστας ως οργανικό λίπασμα
- 3. Μικροβιολογικές μετρήσεις:** Εκτίμηση των πληθυσμών των κύριων ομάδων μικροοργανισμών στην κομπόστα

# ➤ Συστήματα Κομποστοποίησης I

## ❑ Σύστημα Ατομικής Κομποστοποίησης (Home composting)

- Σε κήπους κατοικιών σε μεταλλικά ή πλαστικά δοχεία που παραδίδονται από τις τοπικές αρχές. Το **βασικό πλεονέκτημα** τους είναι ότι ο κάτοχος γνωρίζει τι εναποθέτει στο σύστημα και επίσης έχει άμεσο έλεγχο της διεργασίας. Το **βασικό μειονέκτημα** είναι ότι η καλή λειτουργία του εναποτίθεται στην καλή διάθεση του κάθε κατοίκου



# ➤ Συστήματα Κομποστοποίησης II

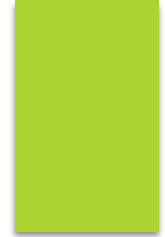
## ❑ Σύστημα Κεντρικής Κομποστοποίησης (Centralized composting)

- Οι βασικές αρχές είναι ταυτόσημες με το προηγούμενο σύστημα αλλά ο όγκος των αποβλήτων που πρέπει να επεξεργασθούν καθιστά απαραίτητη την δημιουργία πιο εξελιγμένων κατασκευών όπου η ανάμιξη και ο καλός αερισμός είναι απαραίτητος για την επιτυχία της μεθόδου



- **Μειονέκτημα:** η αδυναμία ελέγχου του περιεχομένου των αποβλήτων με αποτέλεσμα την εισροή και υλικών που δεν βιο-διασπώνται όπως πλαστικά

# ➤ Κεντρική Κομποστοποίηση

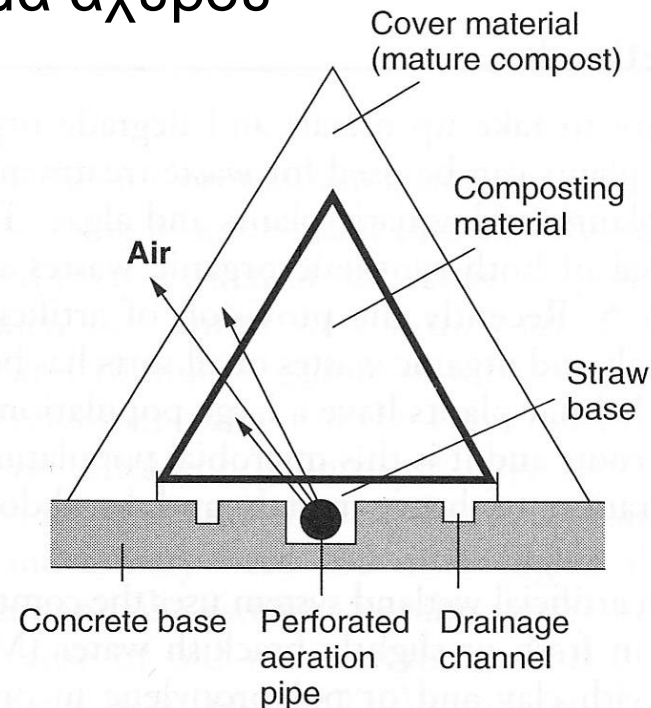


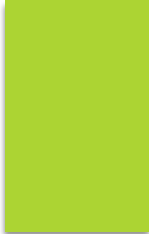
- ❑ Οι κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την κομποστοποίηση στερεών αποβλήτων είναι:
- Μέθοδος Αναδευομένων Σωρών (Windrow)
  - Μέθοδος Στατικών Σωρών (Static Pile)
  - Μέθοδος Tunnel
  - Μέθοδος Περιστρεφόμενου Τυμπάνου (Rotary Drum)
  - Μέθοδος Κλειστού Αντιδραστήρα (In-Vessel)



# ➤ Μέθοδος αναδευομένων σωρών (Windrow)

- ❑ Το απλούστερο και πιο σύνηθες ανοιχτό σύστημα κομποστοποίησης
- ❑ Τα απορρίμματα αποτίθενται σε μακρύς (2-3 m) σωρούς σε και συνήθως καλύπτονται από στρώμα άχυρου





## ➤ Μέθοδος αναδευομένων σωρών (Windrow)

- ❑ Ο αερισμός και ανάμιξη του συστήματος επιτυγχάνεται με γύρισμα ανά τακτά χρονικά διαστήματα (με την ολοκλήρωση κάθε θερμοφιλου σταδίου)
- ❑ Εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα χωρίς κάλυψη από καιρικά φαινόμενα καθώς δε δημιουργούν προβλήματα έκπλυσης καθώς τοποθετούνται επάνω σε τσιμεντένιες βάσεις όπου η έκπλυση μπορεί να ελεγχθεί

## ➤ Μέθοδος Στατικών Σωρών

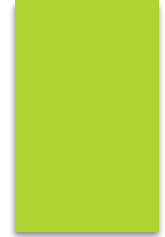


- ❑ Δεν πραγματοποιείται 'γύρισμα' του κόμποστ και ο αερισμός παρέχεται με σωληνώσεις από τον πυθμένα των σωρών

## ➤ Σύστημα Τούνελ (Tunnel Composting)

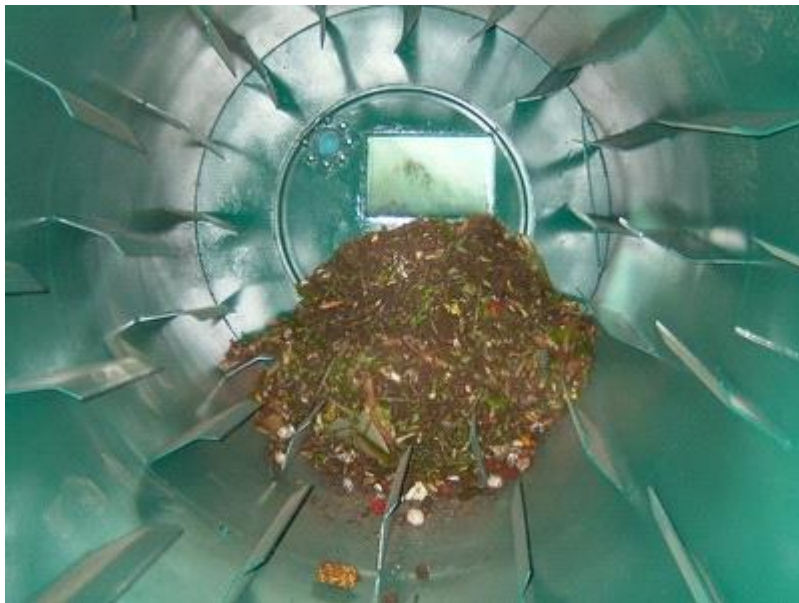
- ❑ Χρησιμοποιούνται κυρίως για την παρασκευή compost - υπόστρωμα για την καλλιέργεια μανιταριών
- ❑ Αποτελούνται από **τούνελ διαστάσεων 33 x 3 x 3 m** το οποίο γεμίζεται με **μίγμα άχυρου, κοπριά από άλογα και πτηνά, βλαστούς καλαμποκιού και αλεσμένους σπόρους βαμβακιού σε ύψος 2.5 m**. Το σύστημα αερίζεται από αεραγωγούς που βρίσκονται κατά μήκος του πατώματος του τούνελ εξασφαλίζοντας τον απαραίτητο αερισμό για τη μικροβιακή δράση
- ❑ Ο αέρας ανακυκλώνεται συνεχώς και η κατάσταση στο εσωτερικό του συστήματος ελέγχεται με ηλεκτρονικά μέσα ώστε να υπάρχει η δυνατότητα επέμβασης στην περίπτωση προβλήματος

# ➤ Σύστημα Περιστρεφόμενου Τύμπανου (Rotary Drum System)



- ❑ Χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία μιγμάτων όπως ενεργοποιημένη βιομάζα με ινώδη υλικά όπως άχυρο, φυτικά υπολείμματα ή απορρίμματα κηπουρικής
- ❑ Τα στερεά απόβλητα τοποθετούνται στο εσωτερικό δοχείου από ασάλι το οποίο είναι μονωμένο για τον περιορισμό απωλειών θερμοκρασίας και το οποίο περιστρέφεται αργά. Η περιστροφή βοηθά στο αερισμό του υλικού αλλά και στην ομογενοποίηση

# ➤ Σύστημα Περιστρεφόμενου Τύμπανου (Rotary Drum System)



# ➤ Μέθοδος Κλειστού Αντιδραστήρα (In-Vessel)

- ❑ Ονομάζονται και closed reactors διότι τα απόβλητα διασπώνται στο εσωτερικό κλειστών δοχείων όπου οι συνθήκες ελέγχονται με ακρίβεια
- ❑ Είναι συνήθως η καλύτερη λύση όταν δεν υπάρχει επάρκεια χώρου αλλά η χρήση μηχανικών μέσων για τον αερισμό αυξάνει το κόστος χρήσης αυτού του συστήματος
- ❑ Δεν χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου πρέπει να επεξεργασθούν σημαντικές ποσότητες αποβλήτων λόγω των μικρών διαστάσεων του







# ➤ Πως επιλέγουμε την μέθοδο κομποστοποίησης;

❑ Κανένα από συστήματα κεντρικής κομποστοποίησης δεν είναι το ιδανικό για όλες τις περιπτώσεις και η επιλογή κάθε φορά εξαρτάται από:

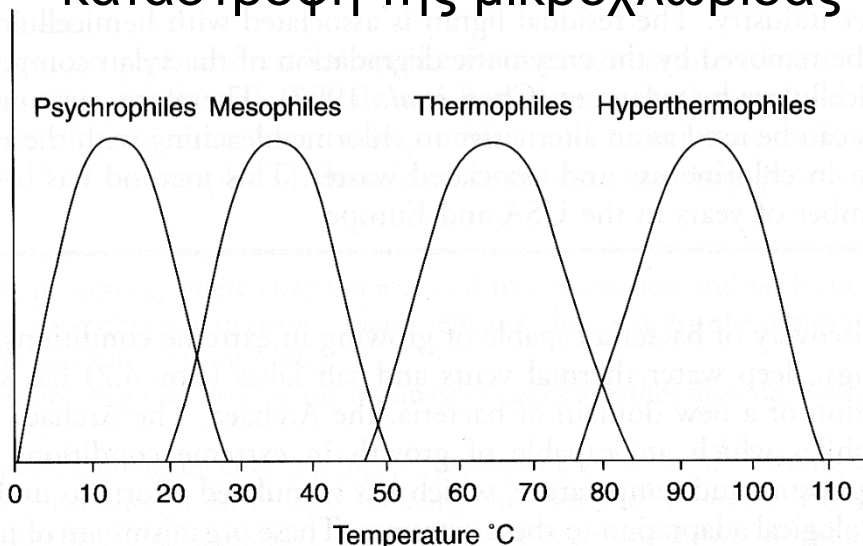
1. την φύση και την ποιότητα των αποβλήτων
2. την απαιτούμενη ποιότητα των προϊόντων
3. το διαθέσιμο χρόνο για την ολοκλήρωση της διαδικασίας
4. διαθεσιμότητα χώρου και εργασίας
5. κόστος

# ➤ Παράμετροι που επηρεάζουν την Κομποστοποίηση

1. Θερμοκρασία
2. Υγρασία
3. pH
4. Διαμερισμός στερεών αποβλήτων
5. Φυσική κατάσταση αποβλήτων
6. Χρόνος Διάρκειας Διεργασίας

# ➤ Θερμοκρασία

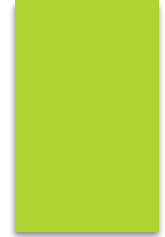
- ❑ Η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά την διάρκεια των διαφόρων σταδίων της κομποστοποίησης και έτσι καθορίζεται το είδος των μικροοργανισμών που συμμετέχουν
- ❑ Η θερμοκρασία πρέπει να **φθάσει τουλάχιστον τους 60°C** ώστε να θανατωθούν παθογόνοι οργανισμοί όπως *Salmonella*, *Escherichia coli* και το σύνολο των σπόρων των ζιζανίων **αλλά δεν πρέπει να υπερβεί τους 75°C** ώστε να μην προκληθεί μη-αντιστρεπτή καταστροφή της μικροχλωρίδας του συστήματος



**Η U.S. EPA απαιτεί ότι η κομπόστα πρέπει να διατηρηθεί σε θερμοκρασία 55 °C για τουλάχιστον 14 ημέρες σε σύστημα Windrow**

## ➤ Υγρασία

- ❑ Η optimum υγρασία για να επιτυχή κομποστοποίηση είναι γύρω στο 60% αλλά υγρασία μεταξύ 40-70% είναι ικανοποιητική για την πορεία της διεργασίας
- ❑ **Υγρασία 25-30% είναι χαμηλή** και η διαδικασία επιβραδύνεται σταδιακά μέχρι την οριστική αναστολή της. **Υγρασία > 75% ίσως να δημιουργήσει προβλήματα αερισμού και αναεροβικές συνθήκες** στο εσωτερικό του συστήματος
- ❑ Η υγρασία στο εσωτερικό του συστήματος θα πρέπει να ελέγχεται διότι αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την απώλεια υγρασίας και την ξήρανση του συστήματος



□ **Το pH μεταβάλλεται στα διάφορα στάδια κομποστοποίησης**

- Στα αρχικά στάδια το pH κυμαίνεται από 5-7
- Στο στάδιο ανάπτυξης, όταν και αυξάνονται οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, παρατηρείται μείωση του  $pH < 5$  λόγω διάσπασης της οργανικής ύλης προς απλά οργανικά οξέα
- Στο θερμοφιλικό στάδιο παρατηρείται αύξηση του  $pH = 8-8.5$
- Στο στάδιο ωρίμανσης παρατηρείται ελαφρά μείωση του pH σε τιμές 7-8

## ➤ Φύση και Ανάμιξη Αποβλήτων

- ❑ Η **ανάμιξη** είναι μια συνηθισμένη πρακτική ώστε να δημιουργήσουμε ένα ισορροπημένο μίγμα στερεών αποβλήτων (με επιθυμητές τιμές C/N και υγρασίας) που μπορεί να διασπασθεί αποτελεσματικότερα από ότι το κάθε συστατικό ξεχωριστά
- ❑ Βεβαίως θα πρέπει να εξετασθεί το ενδεχόμενο η ανάμιξη αποβλήτων διαφορετικής φύσης και ποιότητας να δημιουργήσει προβλήματα όπως παραγωγή τοξικών ουσιών ή αερίων

# ➤ Χρόνος Διάρκειας Επεξεργασίας

- ❑ Ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διεργασίας εξαρτάται από όλους τους προηγούμενους παράγοντες
- **Π.χ.** Η επεξεργασία απορριμμάτων τροφών ή κηπουρικής μπορεί να επιτευχθεί σε 3 μήνες σε συστήματα **in-vessel** ή **windrow** αλλά μπορεί να χρειασθούν ακόμη και 12 μήνες για την επεξεργασία του ίδιου υποστρώματος σε **static pile system**



## ➤ Διάθεση Κομποστοποιημένων Υλικών

- ❑ Χρησιμοποιούνται ως προσθετικά εδάφους για να βελτιώσουν την στράγγιση, υδατοχωρητικότητα, θρεπτική κατάσταση των εδαφών
- ❑ Έλεγχος της σύστασης της κομπόστας πριν την εφαρμογή της στον αγρό είναι απαραίτητη διότι πολλές φορές η διαδικασία ίσως να μην ήταν αποτελεσματική με συνέπεια την παραγωγή compost που περιέχει παθογόνα, υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων ή τοξικών ουσιών

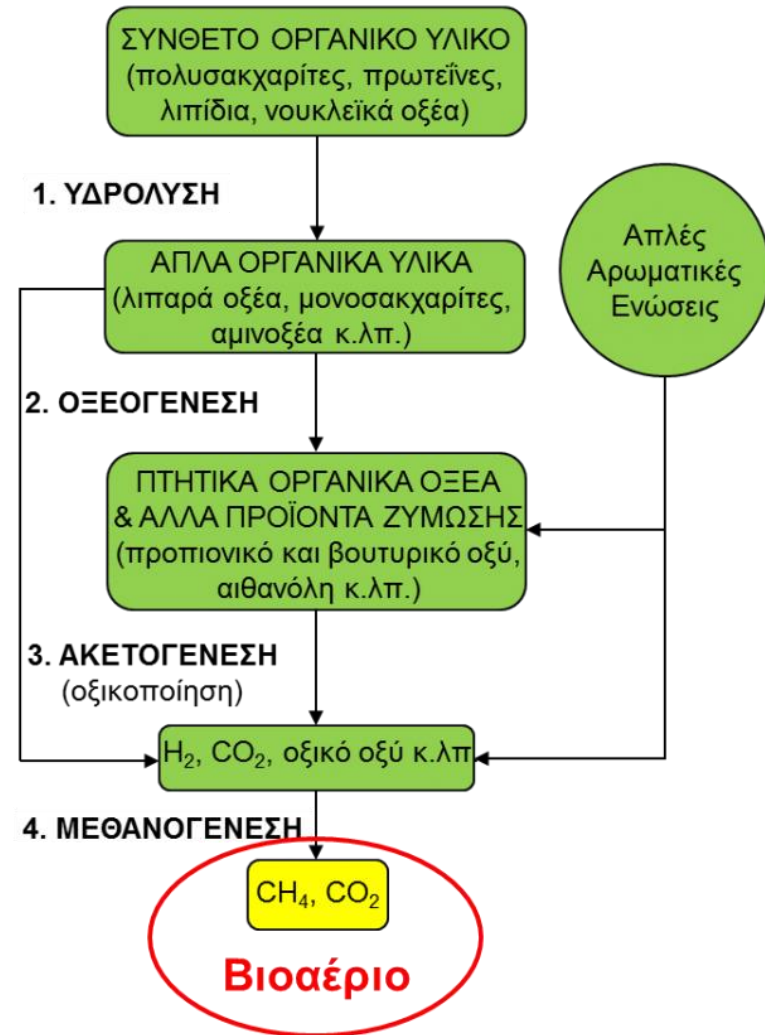
# Ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά compost

Παράμετρος	Τιμή
Cd	10 mg/kg ξ.β.
Cu	500
Ni	200
Pb	500
Cr <sup>+3</sup>	500
Cr <sup>+6</sup>	10
Zn	2000
As	15
pH	5
Εντεροβακτήρια	6-8
Πλαστικό	<0.3% ξ.β.
Γυαλί	<0.5% ξ.β.
Υγρασία	<40%
Κοκκομετρική διαβάθμιση	Για το 90% κ.β. μέγεθος <10 mm

# ➤ Αναερόβια χώνευση



☐ Χρησιμοποιείται κυρίως για την επεξεργασία της λυματολάσπης (υπόλοιπο ενεργοποιημένης λάσπης που δεν επαναχρησιμοποιείται) .....



# ➤ Αποσύνθεση από Σκώληκες (Annelidic conversion ή Vermicomposting)



# ➤ Αποσύνθεση από Σκώληκες

□ Διαφορά με κομποστοποίηση: Οι σκώληκες είναι κυρίως υπεύθυνοι για την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας των απορριμμάτων ενώ οι μικροοργανισμοί συμμετέχουν αλλά σε δεύτερο ρόλο

□ Στο συγκεκριμένο σύστημα τα απορρίμματα απλώνονται σε λεπτά στρώματα ώστε να εξασφαλίζονται ιδανικές συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας για τους σκώληκες



## ➤ Αποσύνθεση από Σκώληκες

- ❑ Βασική προϋπόθεση για να λειτουργήσει το σύστημα είναι η εξασφάλιση ιδανικών συνθηκών για την ανάπτυξη των σκωλήκων
  - **Θερμοκρασία:** βέλτιστη 18-25°C
  - **Υγρασία:** Υπερβολική υγρασία προκαλεί προβλήματα αερισμού και οι σκώληκες πιθανότατα θα εγκαταλείψουν το σύστημα για ξηρότερες συνθήκες
  - **Αερισμός:** Καλός αερισμός εξασφαλίζεται καθώς τα απορρίμματα τοποθετούνται σε λεπτά στρώματα οπότε ο αερισμός με διάχυση είναι ικανοποιητικός

# ➤ Αποσύνθεση από Σκώληκες



## ➤ Είδη σκωλήκων που χρησιμοποιούνται

- Δύο ειδών σκώληκες έχουν χρησιμοποιηθεί στην πράξη:
  - Κόκκινοι σκώληκες (*Eisenia fetida*)
  - ENCs (European Nightcrawlers) (*Eisenia hortensis*)





## ➤ **Είδη σκωλήκων και χρήσεις**

- ❑ **Κόκκινοι σκώληκες:** πιο παραδοσιακό είδος γιατί αντέχει σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (0-35°C), πολλαπλασιάζεται ταχύτατα και μπορεί να διατραφεί σε μεγάλο εύρος οργανικών υλικών
- ❑ **ECNs:** μεγαλύτερο σε μέγεθος, πολλαπλασιάζεται πιο αργά και διατρέφεται σε λιγότερα οργανικά υλικά

# ➤ Πλεονεκτήματα Επεξεργασίας από Σκώληκες

- ❑ Παραγωγή ενός σταθερού, ωφέλιμου προϊόντος που περιέχει Κ, Ν, Ρ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα
- ❑ Μείωση του όγκου των απορριμμάτων κατά περίπου 70%
- ❑ Υπάρχει ήδη αγορά παγκοσμίως για την πώληση του παραγόμενου υλικού
- ❑ Η υψηλή ποσότητα βιομάζας από την αύξηση του πληθυσμού των σκωλήκων μπορούν να συγκομισθούν και να χρησιμοποιηθούν σε εναλλακτικές βιομηχανικές μονάδες





# ***Θερμική Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων***

# ➤ Θερμική Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων

- ❑ Οι βασικές μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας, κατηγοριοποιημένες βάσει των απαιτήσεων τους σε αέρα, είναι οι εξής:
  - *Καύση με στοιχειομετρική ποσότητα ή με περίσσεια οξυγόνου (αποτέφρωση ή πλήρης καύση)*
  - *Πυρόλυση*
  - *Αεριοποίηση*

# ➤ Θερμική Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων

- ❑ Η **αποτέφρωση** (πλήρης καύση), περιλαμβάνει τη μετατροπή της οργανικής ύλης των στερεών απορριμμάτων, υπό συνθήκες περίσσειας οξυγόνου, σε οξειδωμένα τελικά προϊόντα, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και νερό
- ❑ Τα ανόργανα συστατικά των απορριμμάτων παραμένουν στο παραγόμενο στερεό υπόλειμμα (τέφρα)
- ❑ **Τα βασικά πλεονεκτήματα της αποτέφρωσης είναι:**
  - Η μείωση του όγκου των απορριμμάτων και συνεπώς η μείωση των απαιτήσεων διάθεσης
  - Η καταστροφή των παθογόνων και τοξικών ενώσεων
  - Η δυναμική ανάκτησης ενέργειας (ανάκτηση της ελευθερούμενης θερμότητας για παραγωγή θερμού νερού ή ατμού χαμηλής πίεσης)

# ➤ Θερμική Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων



## □ Τα μειονεκτήματα της αποτέφρωσης περιλαμβάνουν:

- Απαίτηση προεπεξεργασίας (ομογενοποίηση, αφαίρεση σιδήρου, απομάκρυνση πλαστικών: καύση PVC και παραγωγή διοξινών)
- Υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας
- Απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού για τη λειτουργία και συντήρηση
- Τα υπολείμματα που παράγονται (αέριες εκπομπές και τέφρα) μπορεί να έχουν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις

# ➤ Θερμική Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων



- ❑ Πυρόλυση, ορίζεται ως η αποδόμηση των οργανικών ουσιών των στερεών απορριμμάτων, απουσία οξυγόνου (ή παρουσία ελαχίστων ποσοτήτων)
- ❑ Βασίζεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι θερμικά ασταθείς και κατά τη θέρμανση τους απουσία οξυγόνου μέσω συνδυασμού θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης μετατρέπονται σε αέρια, στερεά και υγρά κλάσματα
- ❑ Διαφοροποιείται από την καύση αποβλήτων σε δύο παράγοντες:
  1. Τη θερμοκρασία λειτουργίας, όπου στην πυρόλυση είναι χαμηλότερη
  2. Την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου, όπου για την πυρόλυση είναι κατά πολύ μικρότερη απ' ότι για την καύση

# ➤ Θερμική Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων

- ❑ Η πυρολυτική διεργασία (σε αντίθεση με την καύση) είναι ισχυρά ενδόθερμη και για τη διεξαγωγή της απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας
- ❑ Τα προϊόντα πυρόλυσης είναι στερεά, υγρά και αέρια και η σύστασή τους εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονάδας, όπως τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής των απορριμμάτων στον πυρολυτικό θάλαμο
- **Αέρια:** Αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο, μεθάνιο, CO, CO<sub>2</sub> και διάφορα άλλα αέρια ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων
- **Υγρά:** Το υγρό κλάσμα είναι ελαιώδες, με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες και περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα, κετόνες, αλκοόλες και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Με παιρετέρω επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο
- **Στερεά:** Το στερεό υπόλειμμα περιέχει σχεδόν καθαρό άνθρακα και τυχόν αδρανή υλικά που περιέχονται στα στερεά απόβλητα



# ➤ Θερμική Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων

- ❑ Αεριοποίηση, ορίζεται ως η μερική οξείδωση (με αέρα ή οξυγόνο) της οργανικής ύλης των στερεών αποβλήτων, η οποία μετατρέπεται σε μίγμα αερίων (π.χ. μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μεθάνιο)
- ❑ Ενδόθερμη θερμική διεργασία κατά την οποία τα στερεά απορρίμματα μετατρέπονται σε καύσιμο αέριο που μπορεί να αξιοποιηθεί κατά διάφορους τρόπους, όπως για:
  - Τροφοδοσία μηχανής εσωτερικής καύσης, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
  - Τροφοδοσία του δικτύου αερίου πόλης
  - Τροφοδοσία σε βιομηχανία