



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΜΠ 338

Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ): Διαχείριση και Σχεδιασμός Συστημάτων

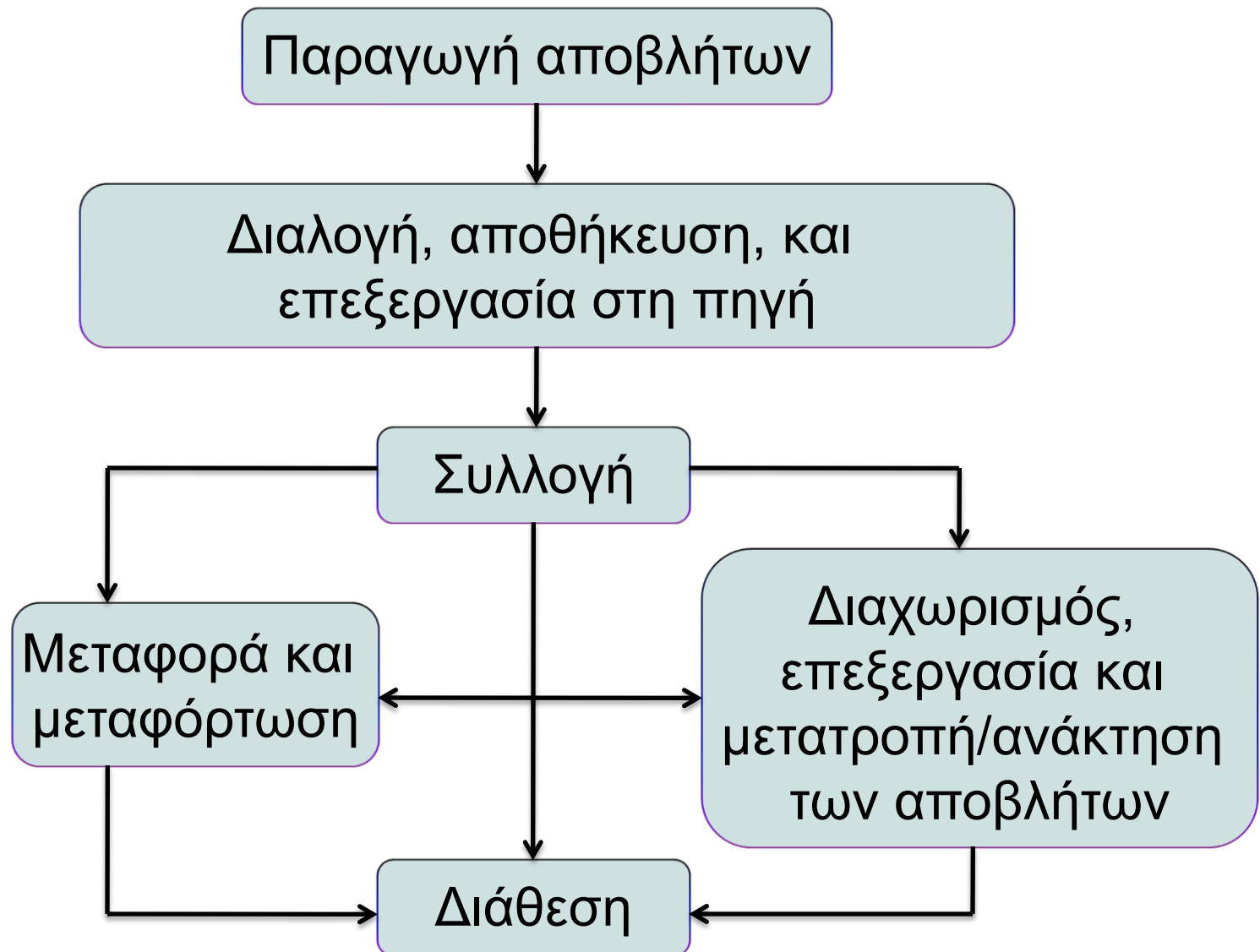
Επ. Καθηγητής Απόστολος Γιαννής

E-mail: agiannis@chenveng.tuc.gr

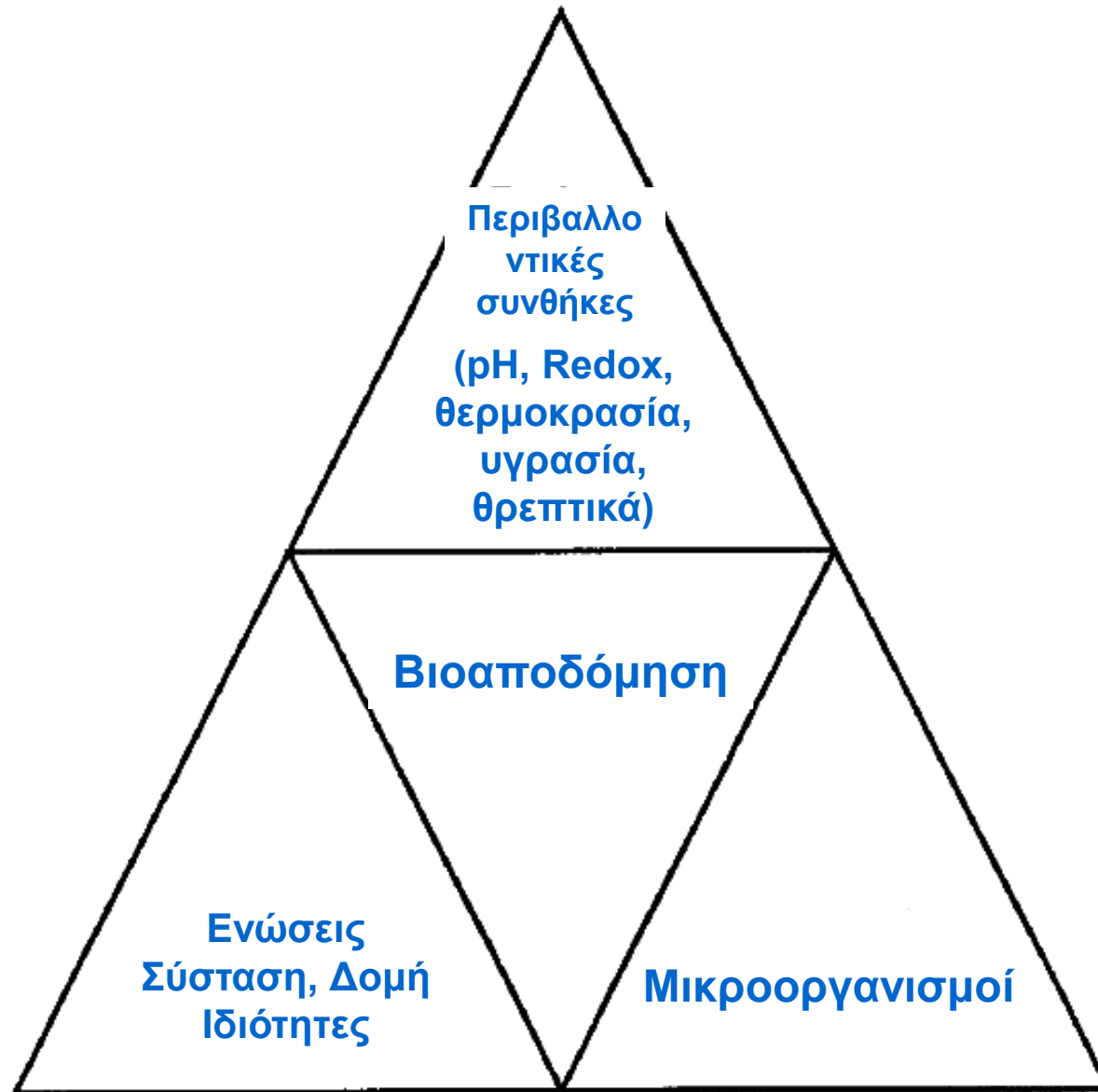
Κεφάλαιο 5

Βιολογικές Μέθοδοι Επεξεργασίας

Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Αποβλήτων

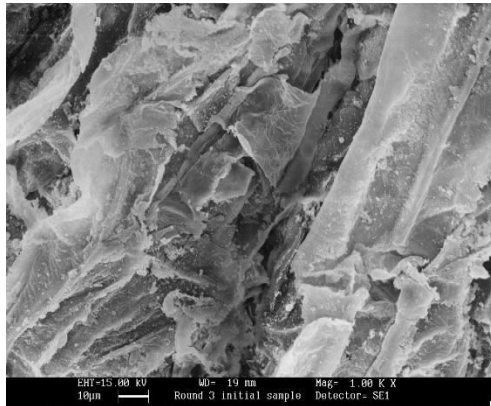


Τρίπτυχο βιοαποδόμησης

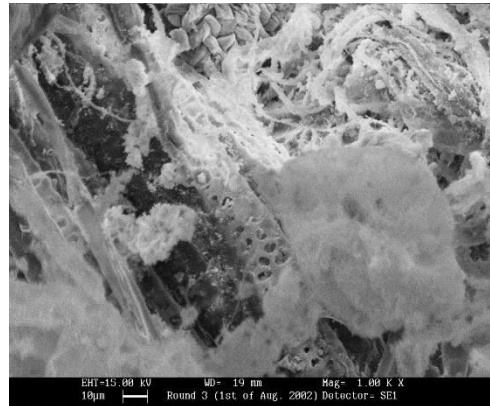


Αποδόμηση τροφικών υπολειμμάτων

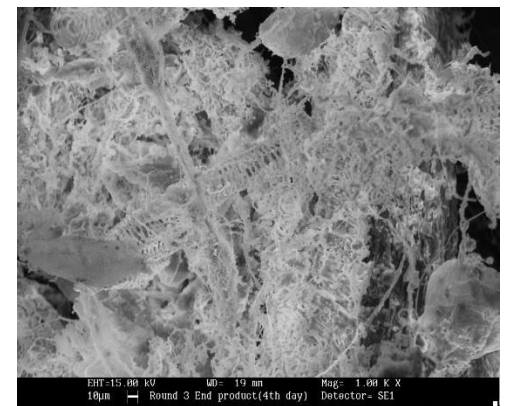
Ακατέργαστο



Μετά από 3 μέρες



Μετά από 4 μέρες



Τροφικά
υπολείμματα

Μικροβιακή Ανάπτυξη

- Πηγές Άνθρακα και Ενέργειας
 - άνθρακας: ετερότροφοι vs. αυτότροφοι
 - Οι ετερότροφοι οργανισμοί χρησιμοποιούν οργανικό υλικό ως πηγή άνθρακα για την ανάπτυξή τους
 - Οι αυτότροφοι οργανισμοί χρησιμοποιούν CO_2 σαν πηγή άνθρακα
 - ενέργεια: φωτότροφοι vs. χημειότροφοι
 - Οι φωτότροφοι οργανισμοί χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια για τις ανάγκες τους
 - Οι χημειότροφοι οργανισμοί χρησιμοποιούν ενέργεια που παράγεται μέσω αντιδράσεων οξειδοαναγωγής όπου συμμετέχει οργανικό ή ανόργανο φορτίο
- Θρεπτικά και παράγοντες ανάπτυξης

Ταξινόμηση μικροοργανισμών

Ταξινόμηση	Πηγή ενέργειας	Πηγή άνθρακα (υπόστρωμα)
Αυτότροφοι		
Φωτοαυτότροφοι	Ηλιακή ενέργεια	CO ₂
Χημειοαυτότροφοι	Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής όπου συμμετέχει το ανόργανο φορτίο	CO ₂
Ετερότροφοι		
Φωτοετερότροφοι	Ηλιακή ενέργεια	Οργανικός άνθρακας
Χημειοετερότροφοι	Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής όπου συμμετέχει το οργανικό φορτίο	Οργανικός άνθρακας

Μικροβιακός μεταβολισμός

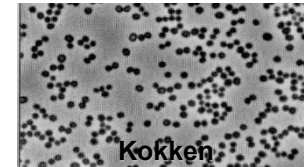
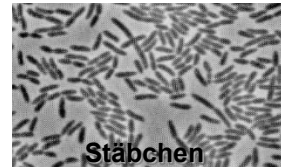
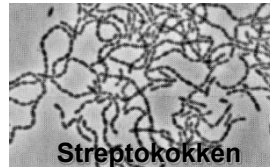
- Αεροβική αναπνοή – μεταβολισμός (Respiration metabolism)
- Αναερόβια ζύμωση – μεταβολισμός (Fermentative metabolism)
- Αερόβιοι μικροοργανισμοί
- Αναερόβιοι μικροοργανισμοί
- Επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμοί

Τύποι Μικροοργανισμών

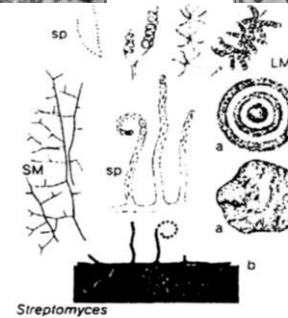
- Βακτήρια
- Αρχαιοβακτήρια
- Μύκητες
- Πρωτόζωα
- Άλγη
- Ακτινομύκητες

Βασικοί τύποι μικροοργανισμών

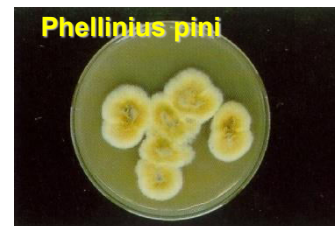
- Βακτήρια



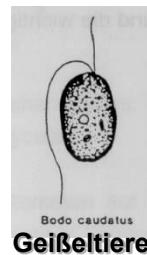
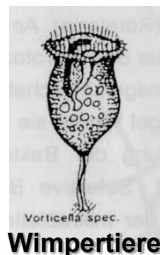
- Ακτινοβακτήρια



- Μύκητες



- (Ζώα)



Περιβαλλοντικές συνθήκες

- Θερμοκρασία
 - Ψυχρόφιλοι (-10 - 30; 15 °C)
 - Μεσόφιλοι (20 - 50; 35 °C)
 - Θερμόφιλοι (45 - 75; 55 °C)
- pH (6 to 9; 6.5 - 7.5)
- Υγρασία

Βιολογικές Μέθοδοι Επεξεργασίας

Εφαρμόζονται σε απόβλητα που επιδέχονται τέτοια επεξεργασία, δηλαδή σε βιοαποδομήσιμα ή ζυμώσιμα ή οργανικά απόβλητα. Περιλαμβάνονται:

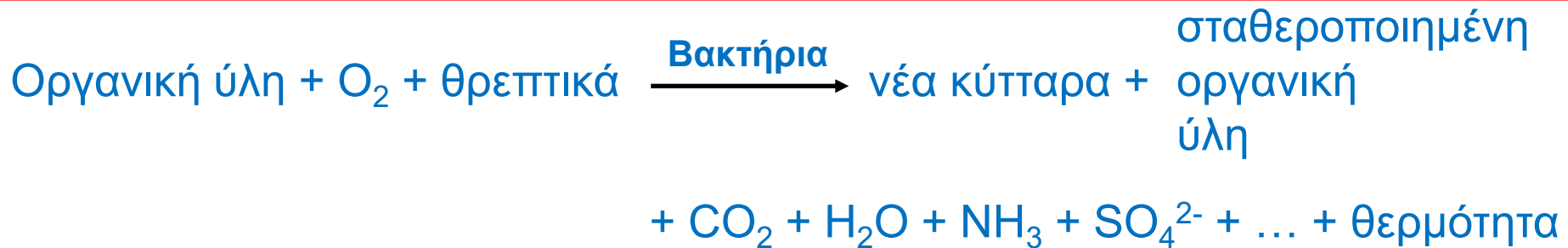
- Αγροτικά αποβλήτα και υπολείμματα
(κοπριές, φυτικά υπολείμματα, ελαιοπυρήνα, κλπ)
- Στερεά απόβλητα και ιλύες από βιομηχανίες τροφίμων
- Ιλύς βιολογικής επεξεργασίας αστικών λυμάτων
- Βιοαποδομήσιμο (οργανικό) κλάσμα των αστικών αποβλήτων (ΟΚΑΣΑ).

Βιολογικές διεργασίες των ΑΣΑ

- Το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ αποτελείται από πρωτεΐνες, λίπτοι, υδατάνθρακες, κυτταρίνη, λιγνίνη και ανόργανα συστατικά.
- Δύο βασικές βιολογικές διεργασίες υπάρχουν για τη μετατροπή των οργανικών υλικών σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα:
 - Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία (Κομποστοποίηση)
 - Αναερόβια Βιολογική Επεξεργασία (Αναερόβια χώνευση)

Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία

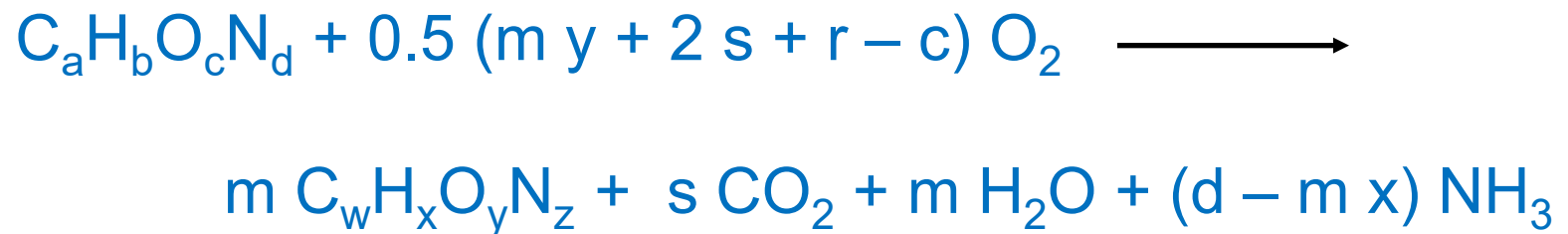
- Βασική αερόβια αντίδραση μετασχηματισμού:



Εάν ο εμπειρικός τύπος του οργανικού υλικού είναι $C_aH_bO_cN_d$ και του υλικού που παραμένει μετά την επεξεργασία είναι $C_wH_xO_yN_z$

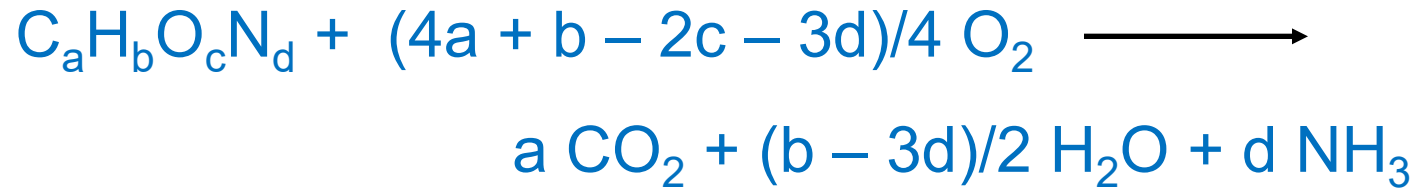


η ποσότητα του O_2 που απαιτείται για την αερόβια σταθεροποίηση του υλικού μπορεί να υπολογιστεί από την στοιχειομετρία της αντίδρασης:

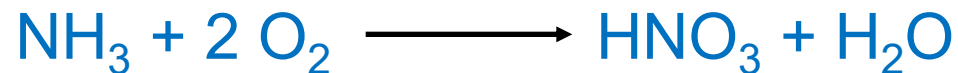
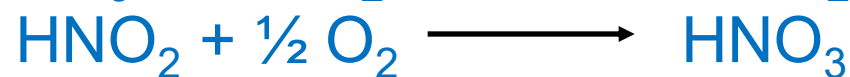
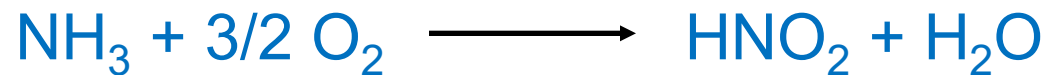


όπου: $r = 0.5 [b - m x - 3(d - m x)]$
 $s = a - m w$

Εάν λαμβάνει χώρα πλήρης μετατροπή του οργανικού φορτίου, η απαίτηση σε O_2 υπολογίζεται από την στοιχειομετρία:

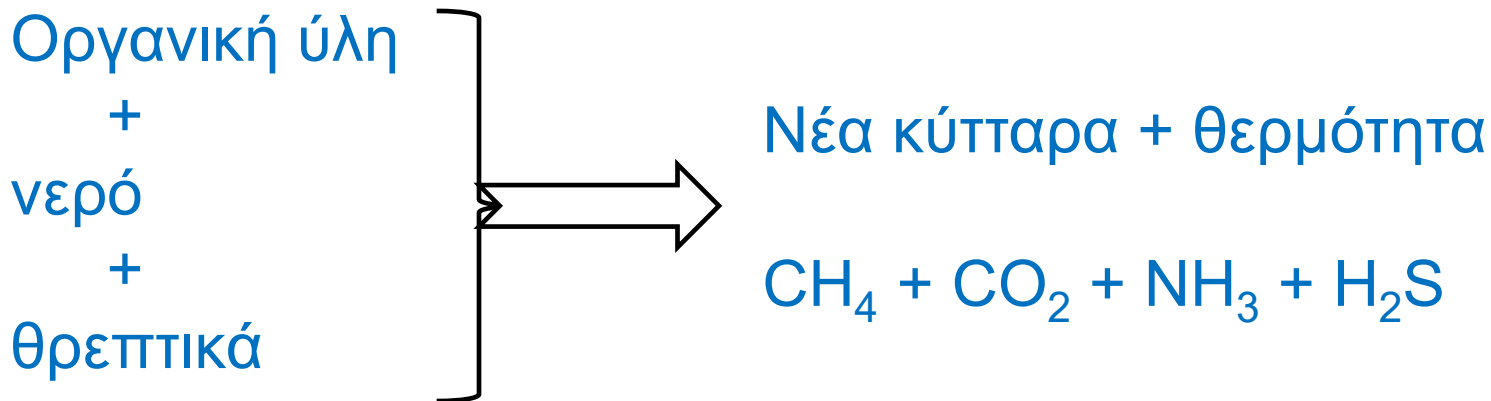


Σε πολλές περιπτώσεις, η NH_3 που παράγεται οξειδώνεται περαιτέρω σε νιτρικά (νιτροποίηση). Η απαίτηση σε O_2 υπολογίζεται:

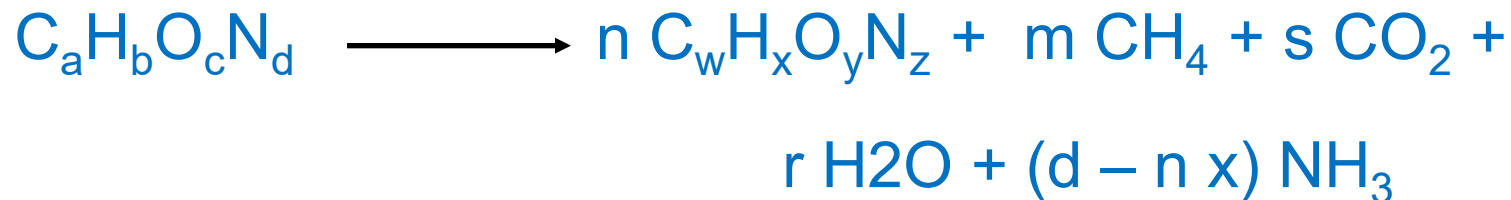


Αναερόβια Βιολογική Επεξεργασία

- ✓ Η διεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη μετατρέπεται σε βιοαέριο ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) με τη δράση μικροοργανισμών απουσία μοριακού οξυγόνου.
- ✓ Η αναερόβια επεξεργασία των ΑΣΑ μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη αντίδραση:



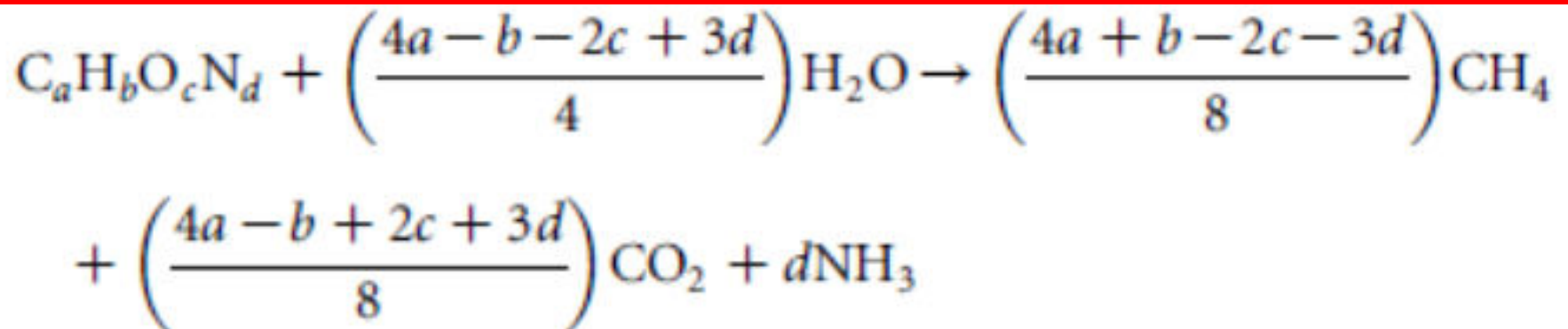
Αναερόβια Βιολογική Επεξεργασία



όπου: $s = a - n w - m$
 $r = c - n y - 2 s$

Οι εμπειρικοί τύποι $C_aH_bO_cN_d$ και $C_wH_xO_yN_z$ χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν το αρχικό και τελικό προϊόν.

Εάν τα οργανικά απόβλητα είναι πλήρως σταθεροποιημένα, τότε



Περιβαλλοντικές απαιτήσεις

- Απουσία μοριακού οξυγόνου
- Χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας, σουλφιδίων και βαρέων μετάλλων
- $\text{pH} = 6.5 \sim 7.5$ (όχι λιγότερο 6.2)
- Θερμοκρασία
 - Μεσοφιλική ($30 - 38\text{ }^{\circ}\text{C}$)
 - Θερμοφιλική ($55 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Αερόβια vs. Αναερόβια Διεργασία

Χαρακτηριστικά	Αερόβια διεργασία	Αναερόβια διεργασία
Χρήση ενέργειας	Καταναλώνει ενέργεια	Παράγει ενέργεια
Τελικά προϊόντα	Κόμποστ, CO ₂ , H ₂ O	Ιλύς, CH ₄ , CO ₂
Μείωση όγκου	Έως 70%	Έως 50%
Χρόνος επεξεργασίας	20 – 30 μέρες	20 – 40 μέρες
Κύριος στόχος	Μείωση όγκου	Παραγωγή ενέργειας
Δευτερεύον στόχος	Παραγωγή κόμποστ	Μείωση όγκου, σταθεροποίηση αποβλήτου

Οργανικά Απόβλητα για Βιολογική Επεξεργασία

Κομποστοποίηση

Χώνευση

απόβλητα κήπου

αγροτικά βιοαπόβλητα

αστικά βιοαπόβλητα

απόβλητα κουζίνας

τροφικά υπολείμματα

απόβλητα εστιατορίων

απόβλητα σφαγείων

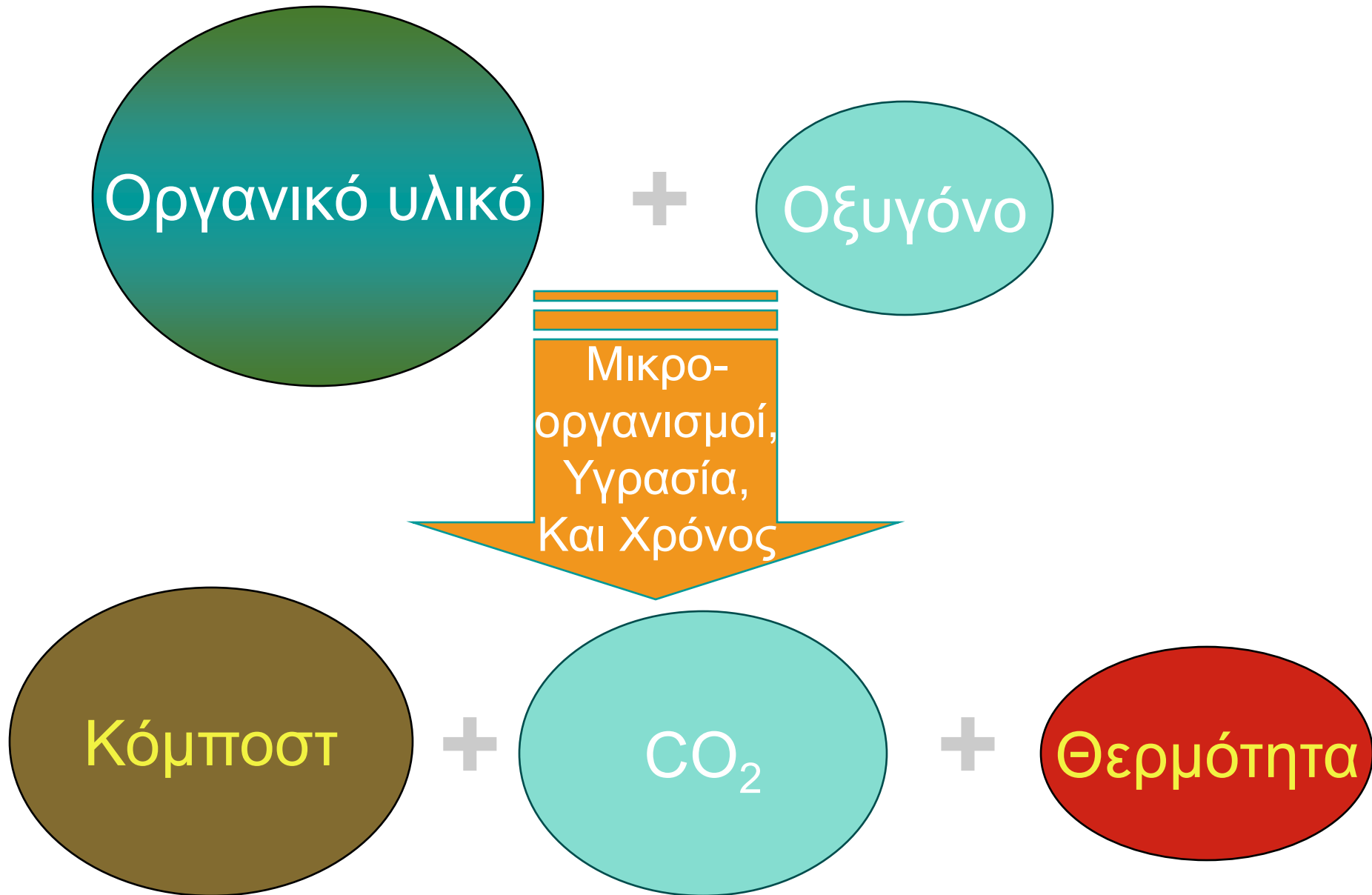
ενεργός ιλύς

υδαρή απόβλητα

Υγρασία

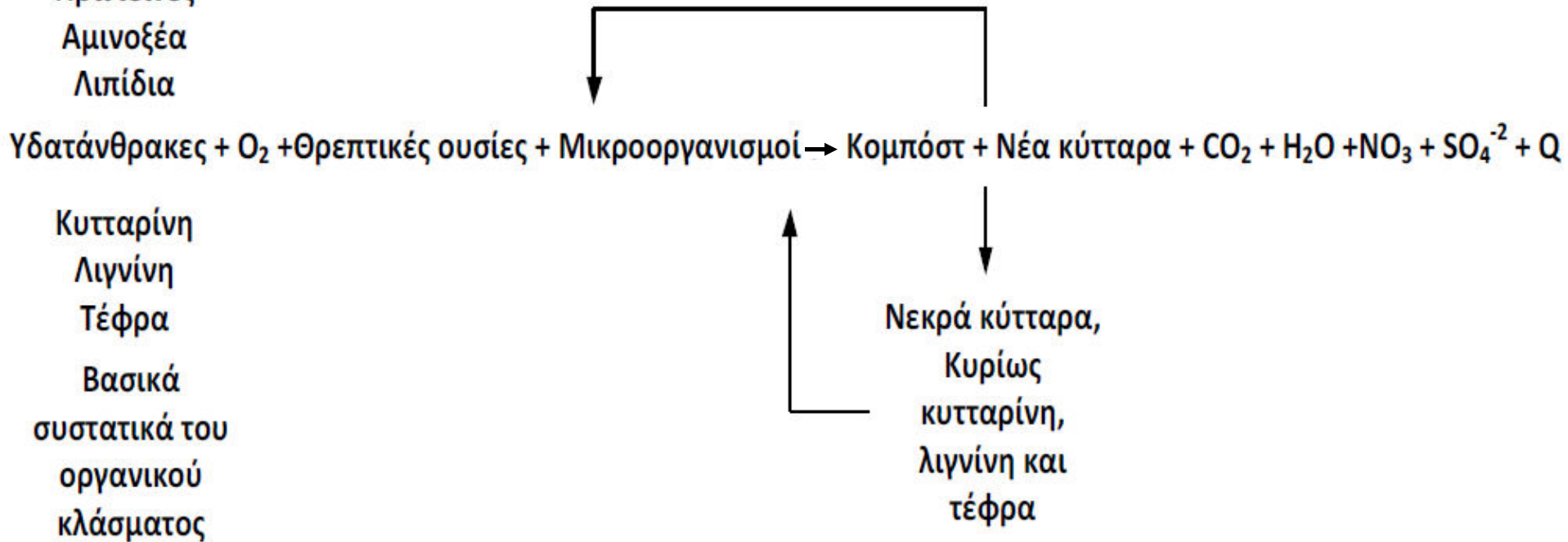
Δομή

Αερόβια Κομποστοποίηση



Αερόβια Κομποστοποίηση

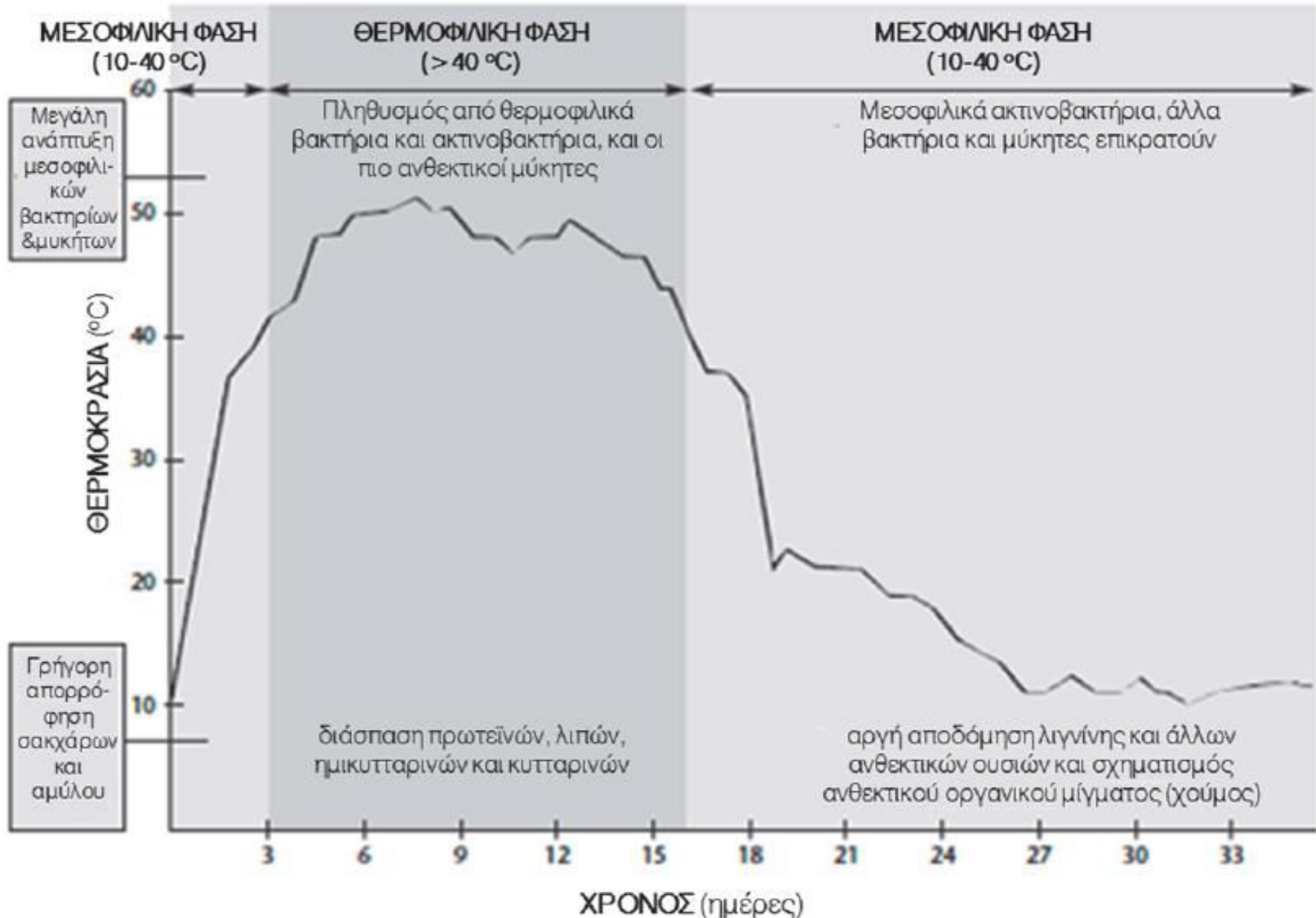
Πρωτεΐνες
Αμινοξέα
Λιπίδια



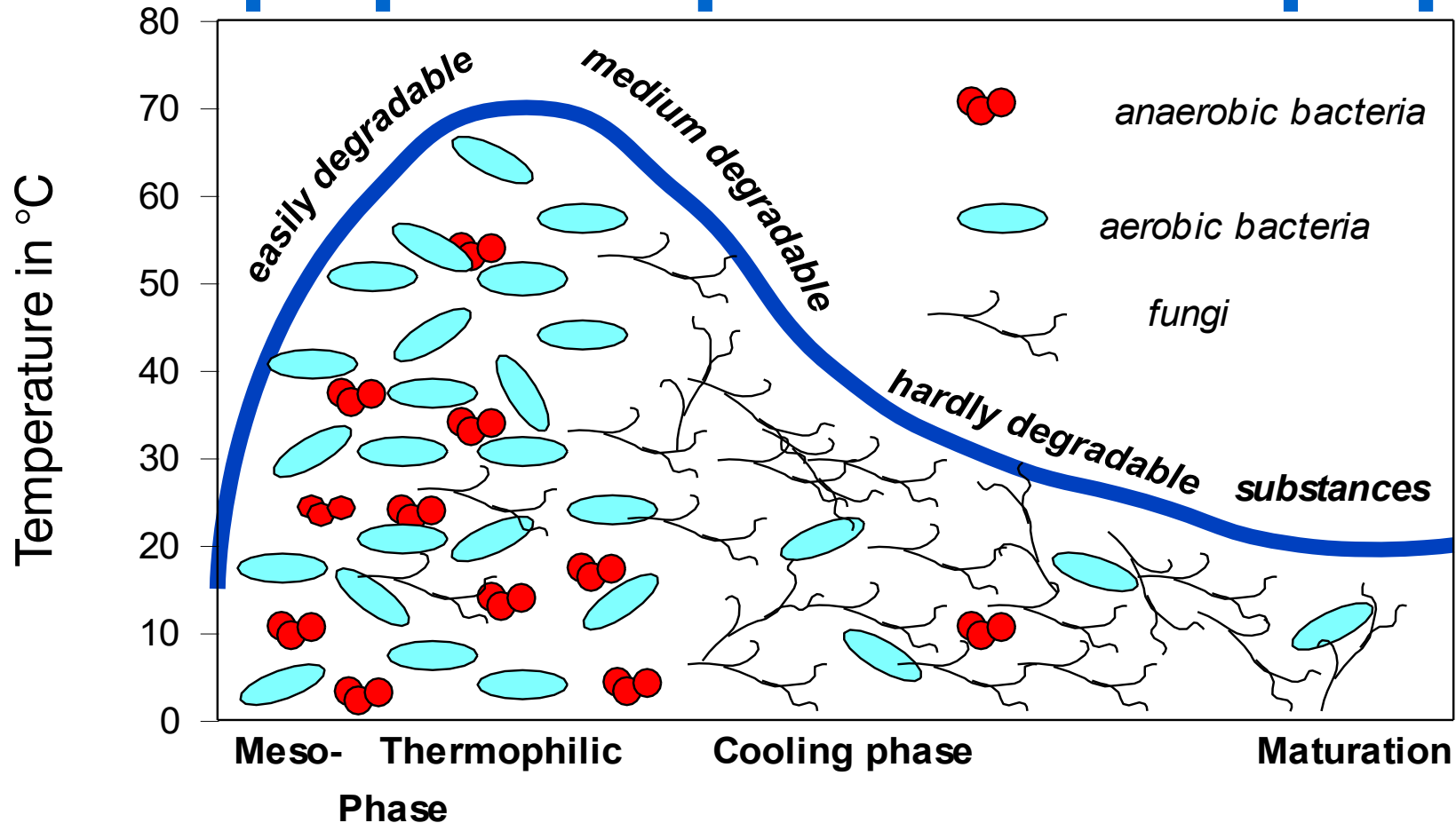
Σκοπός της κομποστοποίησης

- Μετατροπή του βιοαποδομήσιμου οργανικού υλικού σε βιολογικά σταθεροποιημένο προϊόν με ταυτόχρονη μείωση του όγκου των αποβλήτων
- Καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, αυγά εντόμων και παράσιτα φυτών που μπορεί να βρίσκονται στα ΑΣΑ
- Διατήρηση του θρεπτικού επιπέδου σε υψηλά επίπεδα (άζωτο, φώσφορος και κάλιο)
- Παραγωγή ενός προϊόντος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη φυτών και ως εδαφοβελτιωτικό

Αερόβια Κομποστοποίηση



Αερόβια Κομποστοποίηση



Τρεις φάσεις ανάλογα με τη διακύμανση της θερμοκρασίας:

- **Μεσοφιλική Φάση** (μέτριες θερμοκρασίες)
- **Θερμοφιλική Φάση** (υψηλές θερμοκρασίες)
- **Φάση Ωρίμανσης/Σταθεροποίησης** (ξανά μέτριες θερμοκρασίες)

Επιστήμη της κομποστοποίησης

➤ Μεσοφιλική Φάση (10-40 °C)

- ✓ Διαρκεί για λίγες μόνο μέρες
- ✓ Εκθετική αύξηση σε βακτήρια και μύκητες
- ✓ Ταχεία αποσύνθεση σακχάρων, άμυλων και αμινοξέων

➤ Θερμοφιλική Φάση (>40 °C)

- ✓ Διαρκεί από λίγες μέρες έως μερικούς μήνες (ανάλογα με τον όγκο των αποβλήτων)
- ✓ Η υψηλή θερμοκρασία βοηθά να διασπαστούν πρωτεΐνες, λίποι, δομικό υλικό φυτών (λιγνίνη, λιγνοκυτταρίνη)
- ✓ Η υψηλή θερμοκρασία (>55 °C) καταστρέφει παθογόνους μικροοργανισμούς και παράσητα
- ✓ Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες (>60 °C) καταστρέφονται μικροοργανισμοί που χρειάζονται για την αποσύνθεση

➤ Σταθεροποίηση (10-40 °C) “Φάση Ωρίμανσης”

- ✓ Διαρκεί έως μερικούς μήνες
- ✓ Επικρατούν βακτήρια, μύκητες και ακτινομύκητες (προσδίδουν μία ‘χωμάτινη’ μυρωδιά.
- ✓ Το εναπομείναν οργανικό υλικό βιοδιασπάται πολύ αργά.

Αερόβια Κομποστοποίηση

Παράγοντες επιρροής της αερόβιας κομποστοποίησης:

- Θερμοκρασία
- Απαίτηση σε αέρα
- Μέγεθος σωματιδίων
- Λόγος C/N
- Ανάμιξη
- Υγρασία
- pH
- Έλεγχος παθογόνων
- Βαθμός αποδόμησης
- Χωρική απαίτηση

Επιστήμη της κομποστοποίησης

Χημικοί παράγοντες επιρροής

- **Οξυγόνο**

- Χρειάζεται να οξειδώσει τον άνθρακα για παραγωγή ενέργειας
- Χωρίς οξυγόνο παράγεται μυρωδιά κλούβιου αυγού

- **pH Level**

- Παράγονται οξέα από την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων (ζύμωση) και μειώνουν το pH
- Το χαμηλό pH ευνοεί τους μύκητες να αποδομήσουν το 'δύσκολα' βιοαποδομούμενο οργανικό υλικό
- Εάν το pH μειωθεί κάτω από 4.5 περιορίζεται η δραστηριότητα των μικροοργανισμών

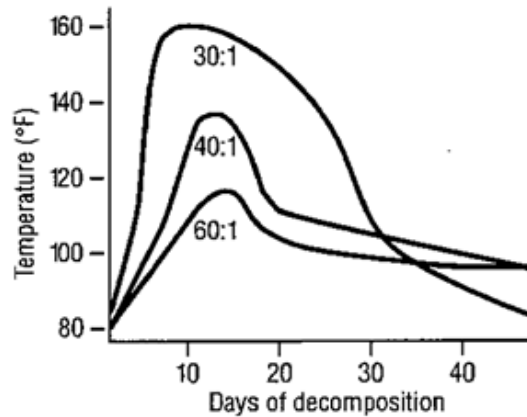
Επιστήμη της κομποστοποίησης

- **Λόγος C/N**

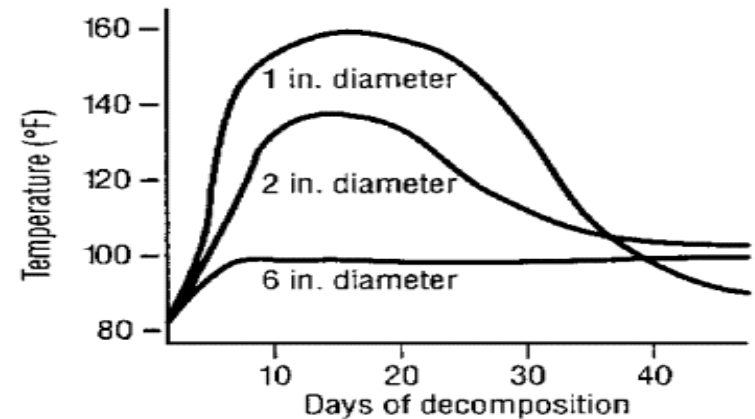
- Ο άνθρακας είναι πηγή ενέργειας και δομικού υλικού για κατασκευή του 50% των μικροβιακών κυττάρων
- Το άζωτο είναι σημαντικό στοιχείο για παραγωγή πρωτεϊνών, νουκλεϊκών οξέων, αμινοξέων, ενζύμων, κ.α. για τους μικροοργανισμούς
- 30:1 (C/N) ιδανικός λόγος (μειώνεται κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης)
- Ξυλώδη υλικά $\Rightarrow$ πλούσια σε άνθρακα
- Υδαρή και λασπώδη $\Rightarrow$ πλούσια σε άζωτο

Παράγοντες επιρροής κομποστοποίησης

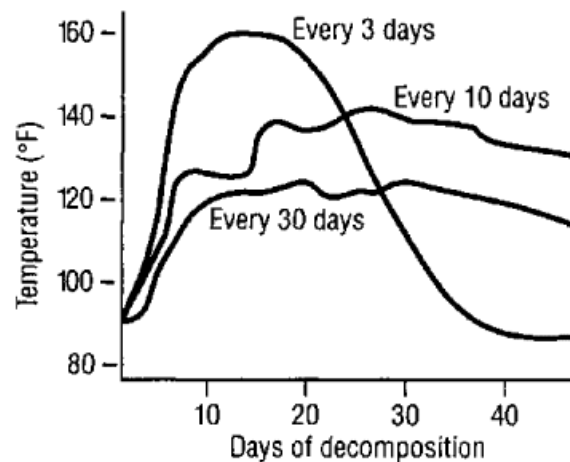
Carbon:Nitrogen Ratio Effects on Composting



Particle Size Effects on Composting



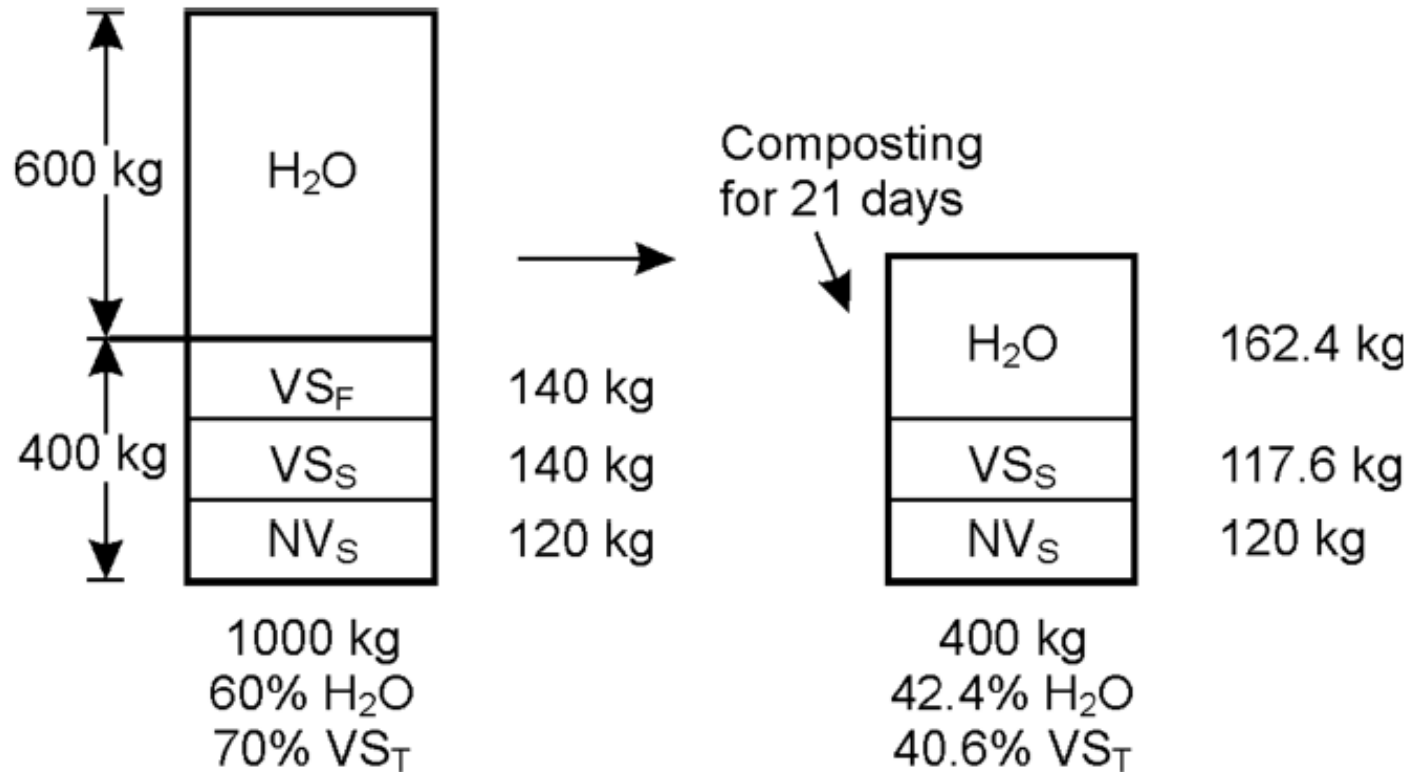
Turning Frequency Effects on Composting



Ιδανικές συνθήκες για κομποστοποίηση

Παράγοντες	Εύρος	Ιδανικό
Υγρασία	40-60%	45-60%
Λόγος C/N	20-40/1	25-35/1
Οξυγόνο	> 5%	> 10%
Θερμοκρασία	43-66 °C	54-60 °C
Ειδικό βάρος	400 – 600 Kg/m ³	550 Kg/m ³
pH	5.5-9	6.5-8

Μετατροπή μάζας στην κομποστοποίηση



VS_F = the “fast” degrading volatile solids
VS_S = the “slow” degrading volatile solids
VS_T = the total volatile solids
NV_S = non-volatile solids

Τελικό προϊόν

❑ Ιδιότητες:

- ✓ Χρώμα καφέ έως πολύ σκούρο καφέ
- ✓ Λόγος C/N ~ 15
- ✓ Συνεχώς μεταβαλλόμενο προϊόν λόγω της δραστηριότητας των μικροοργανισμών
- ✓ Υψηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και απορρόφησης νερού

- ## ❑ Όταν προστίθεται ως εδαφοβελτιωτικό, το κόμποστ ελαφρύνει τα βαριά εδάφη, βελτιώνει τη δομή των αμμωδών εδαφών και αυξάνει την ικανότητα κατακράτησης νερού.

Επίδραση κόμποστ



Πλεονεκτήματα:

- Αυξάνει τα οργανικά συστατικά
- Δρά ως λίπασμα
- Ρυθμίζει και εξισορροπεί το έδαφος
- Περιορίζει τους περιβαλλοντικούς κινδύνους

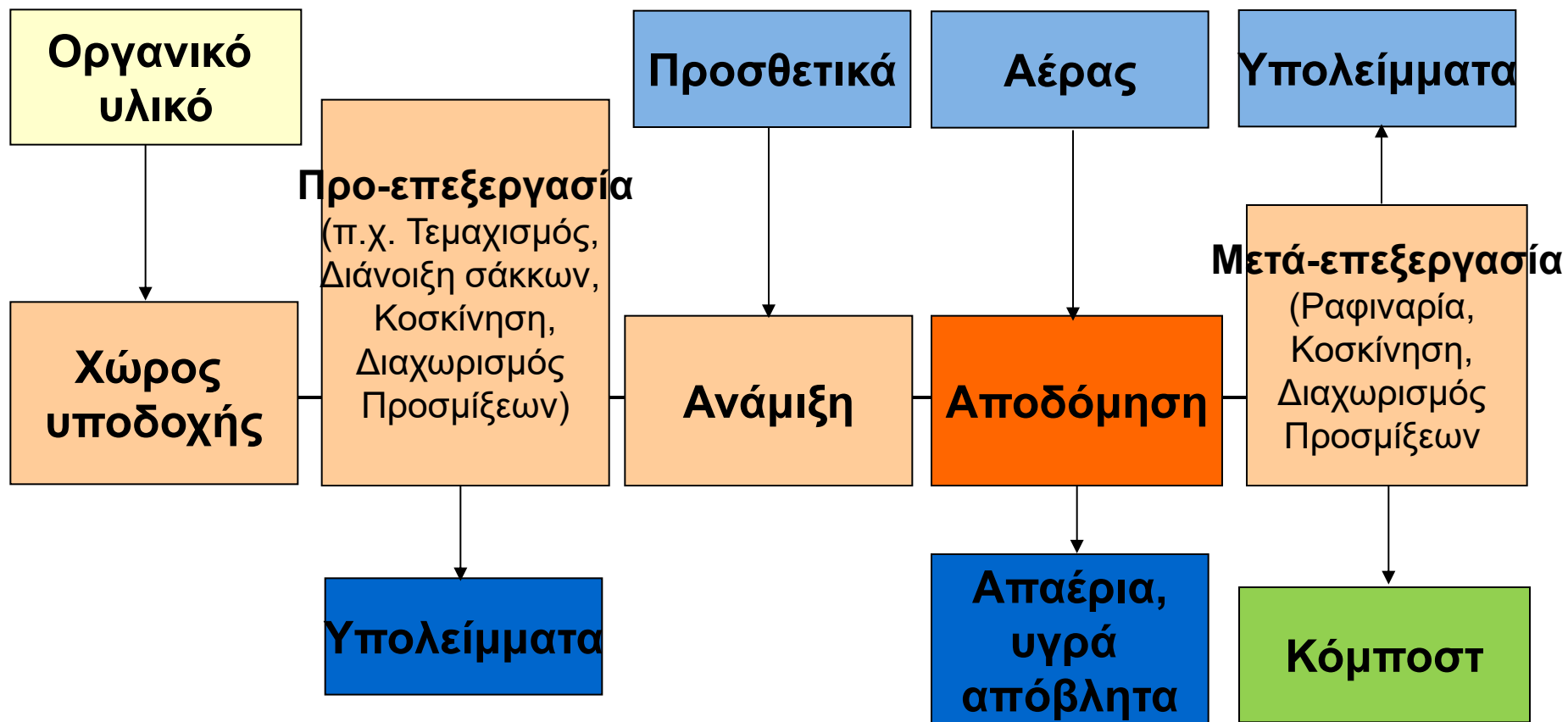
Μειονεκτήματα:

Αρνητικές επιδράσεις λόγω υψηλών συγκεντρώσεων σε:



- Άλατα
- Βαρέα μέταλλα
- Οργανικούς ρύπους
- Θρεπτικά (λόγω μη άμεσης διαθεσιμότητας)

Μονάδα κομποστοποίησης



ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΥΓΡΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΒΙΟΦΙΛΤΡΟ

02. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

01B. ΥΠΟΔΟΧΗ
ΠΡΑΣΙΝΑ

01A. ΥΠΟΔΟΧΗ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΑ

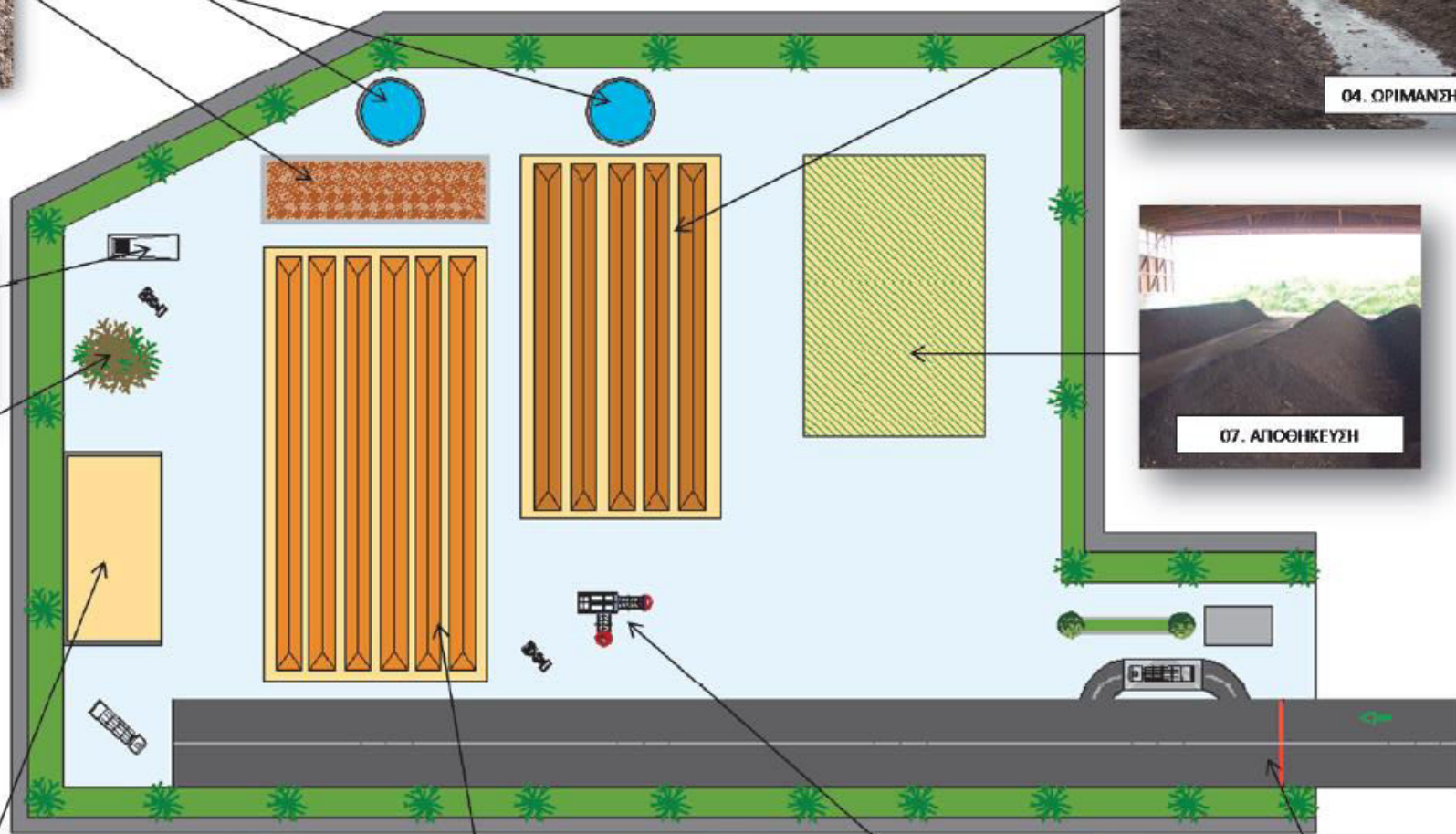
03. ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

05. ΡΑΦΙΝΑΡΙΑ

04. ΟΡΙΜΑΝΣΗ

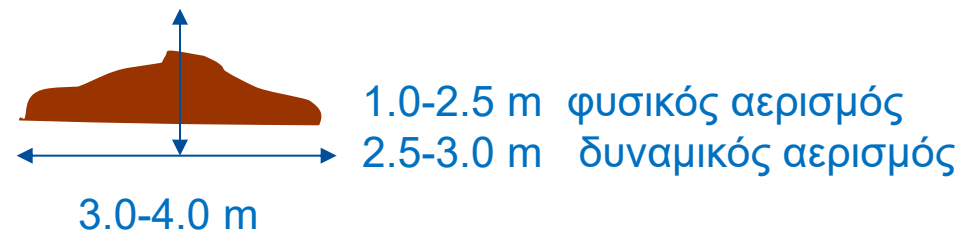
07. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

ΕΙΣΟΔΟΣ

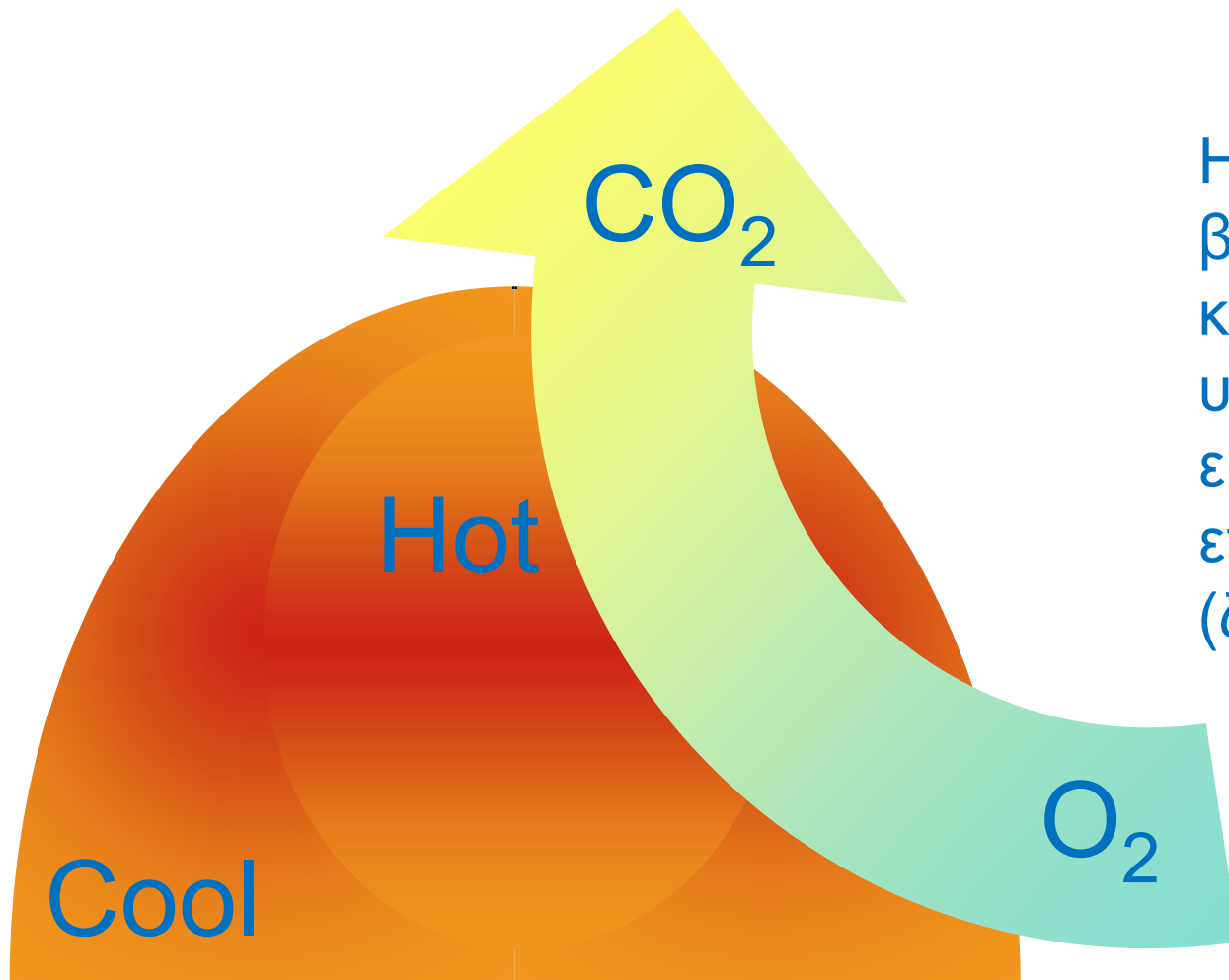


Ανοιχτά σειράδια

- Τριγωνική ή τραπεζοειδής διατομή
- Αεριζόμενα (θετική, αρνητική πίεση)
- Με / χωρίς κάλυμα
- Με / χωρίς ανάδευση



Κομποστοποίηση- σειράδια



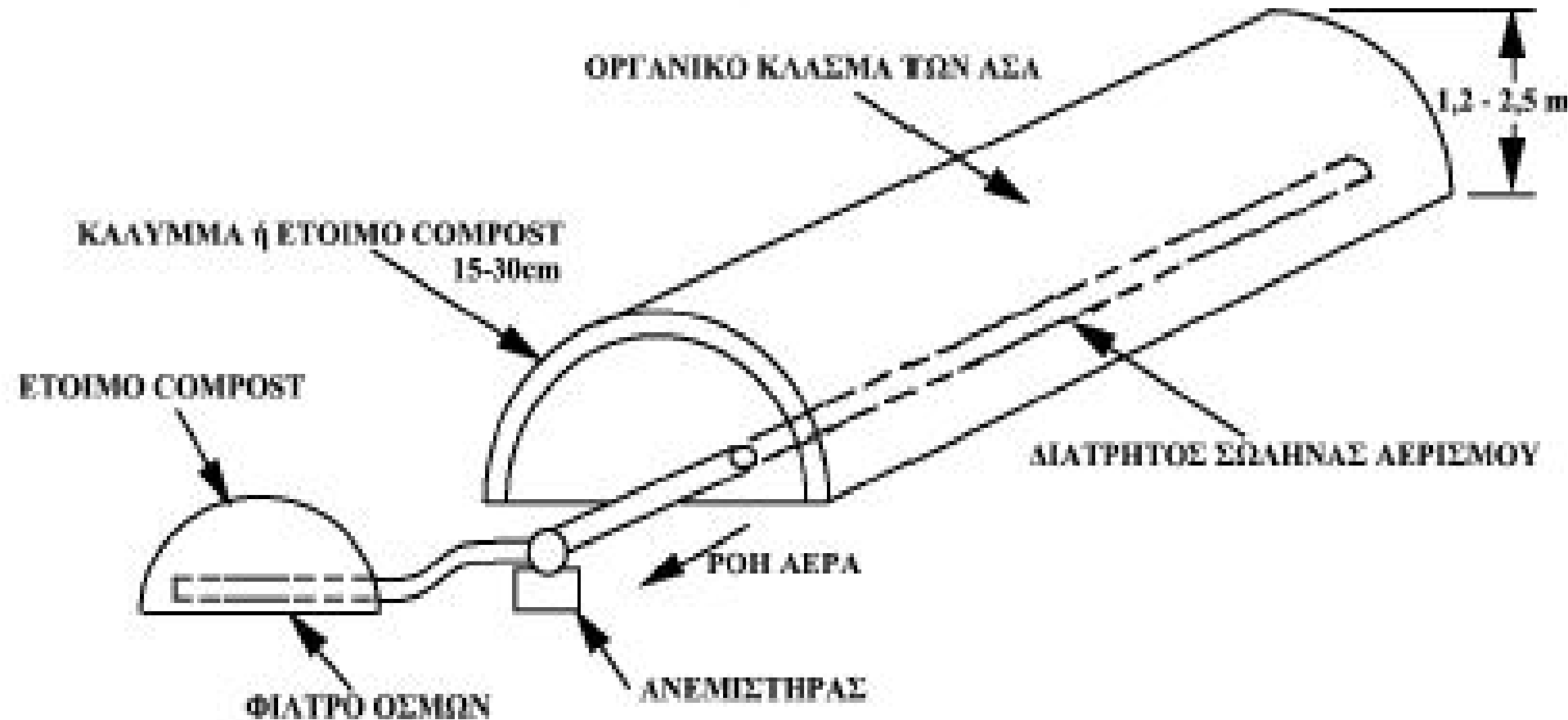
Η ανάδευση
βοηθά τον αερισμό
και μεταφέρει
υλικά από την
εξωτερική
επιφάνεια προς το
(ζεστό) κέντρο

Κλειστά συστήματα



- Ύψος: 1.8-3.3 m
Μήκος: 100 m
- Αεριζόμενα
- Συχνότητα ανάδευσης: 1/day – 1/week
- Χρόνος: 4-12 weeks (ωρίμανση στο σειράδι)

Μέθοδος δυναμικά αεριζόμενων σωρών

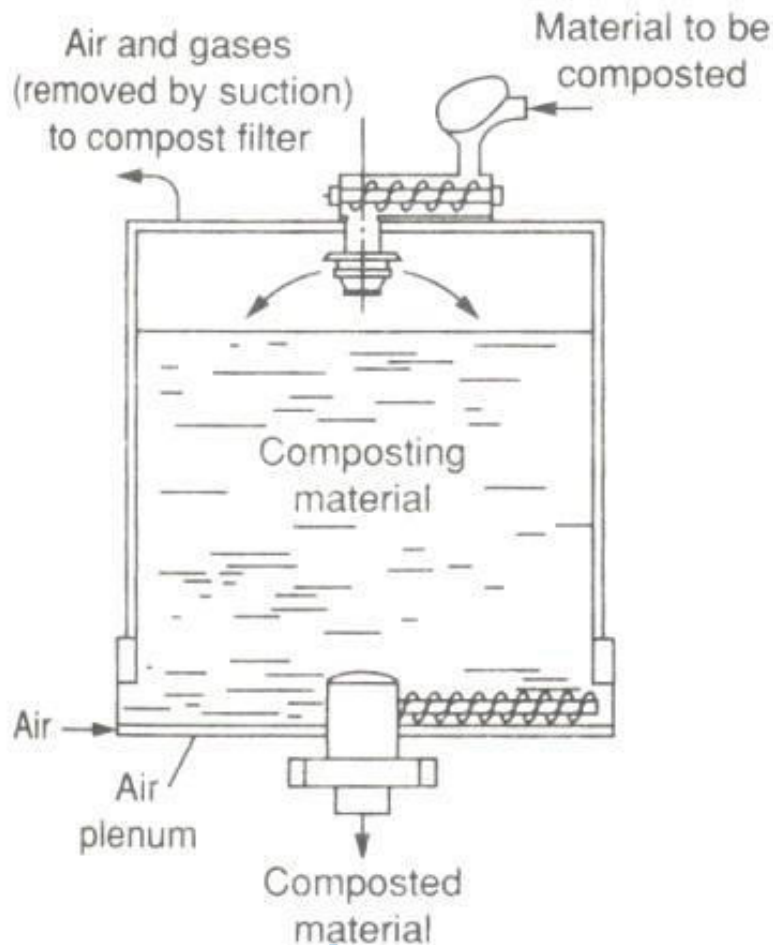


Μέθοδος βιοαντιδραστήρων (In-vessel Composting)

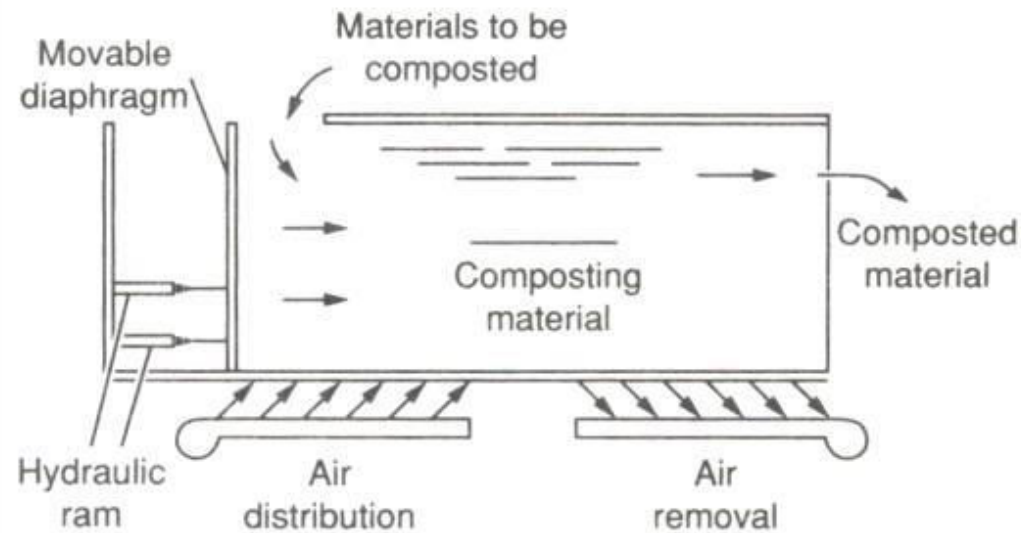


- Κλειστά συστήματα
 - Επεξεργασία των εκπομπών
 - Ελεγχόμενες συνθήκες
- ⇒ Μείωση εκπομπών, χρόνου, χώρου
- ⇒ Βελτιώνει τη ποιότητα
- ⇒ Αύξηση κόστους
- ⇒ Περίπλοκο
→ πιθανή αποτυχία

Μέθοδος βιοαντιδραστήρων (In-vessel Composting)

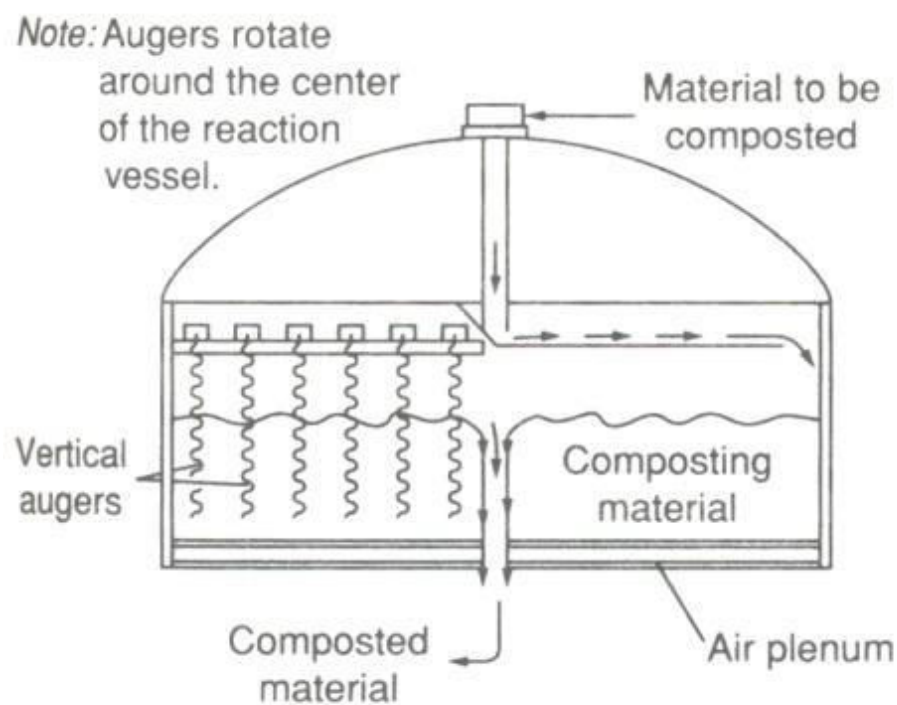


**Κατακόρυφος
αντιδραστήρας
εμβολικής ροής**

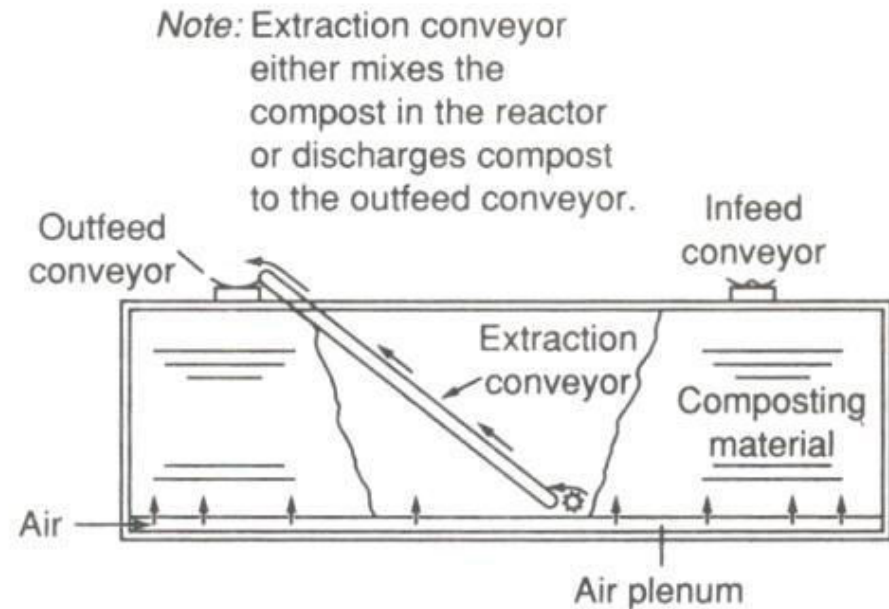


**Οριζόντιος
αντιδραστήρας
εμβολικής ροής**

Μέθοδος βιοαντιδραστήρων (In-vessel Composting)

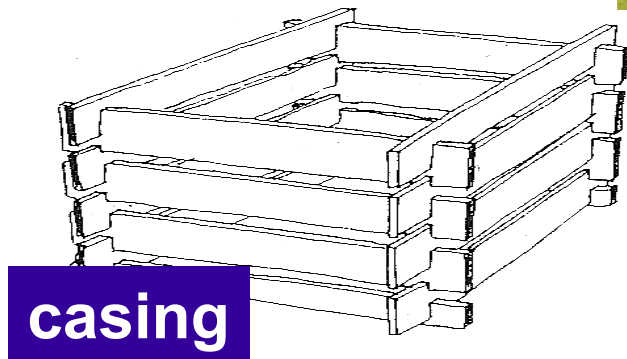
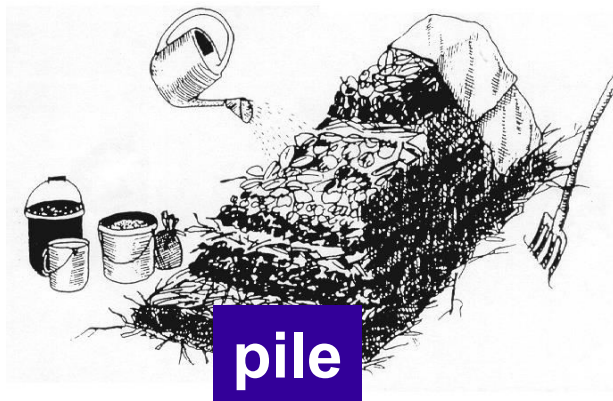


**Κατακόρυφος
αντιδραστήρας
αναμίξεως**



**Οριζόντιος
αντιδραστήρας
αναμίξεως**

Συστήματα κομποστοποίησης στο σπίτι



Μονάδα κομποστοποίησης

Απόβλητα κήπου



Τεμαχισμός



Καλυμμένα σειράδια



Περιοδική ανάδευση



Τελικό προϊόν

















堆肥造粒設備

固液分離





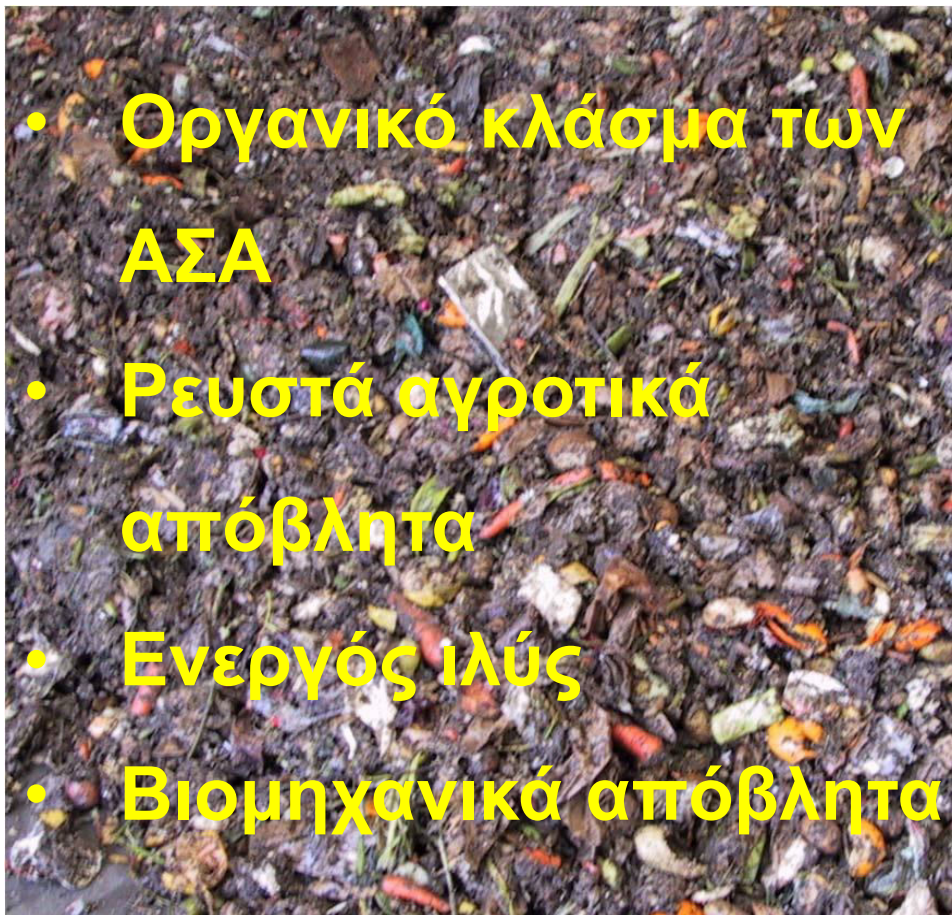




Αναερόβια Χώνευση Στερεών Αποβλήτων

Anaerobic digestion (AD)

Εισροή:



Προϊόντα:

Ενέργεια: στη μορφή βιοαερίου (μεθάνιο)

Αντικατάσταση των υπαρχόντων συστημάτων ενέργειας

Εδαφοβελτιωτικό:

Εξοικονόμηση λιπασμάτων

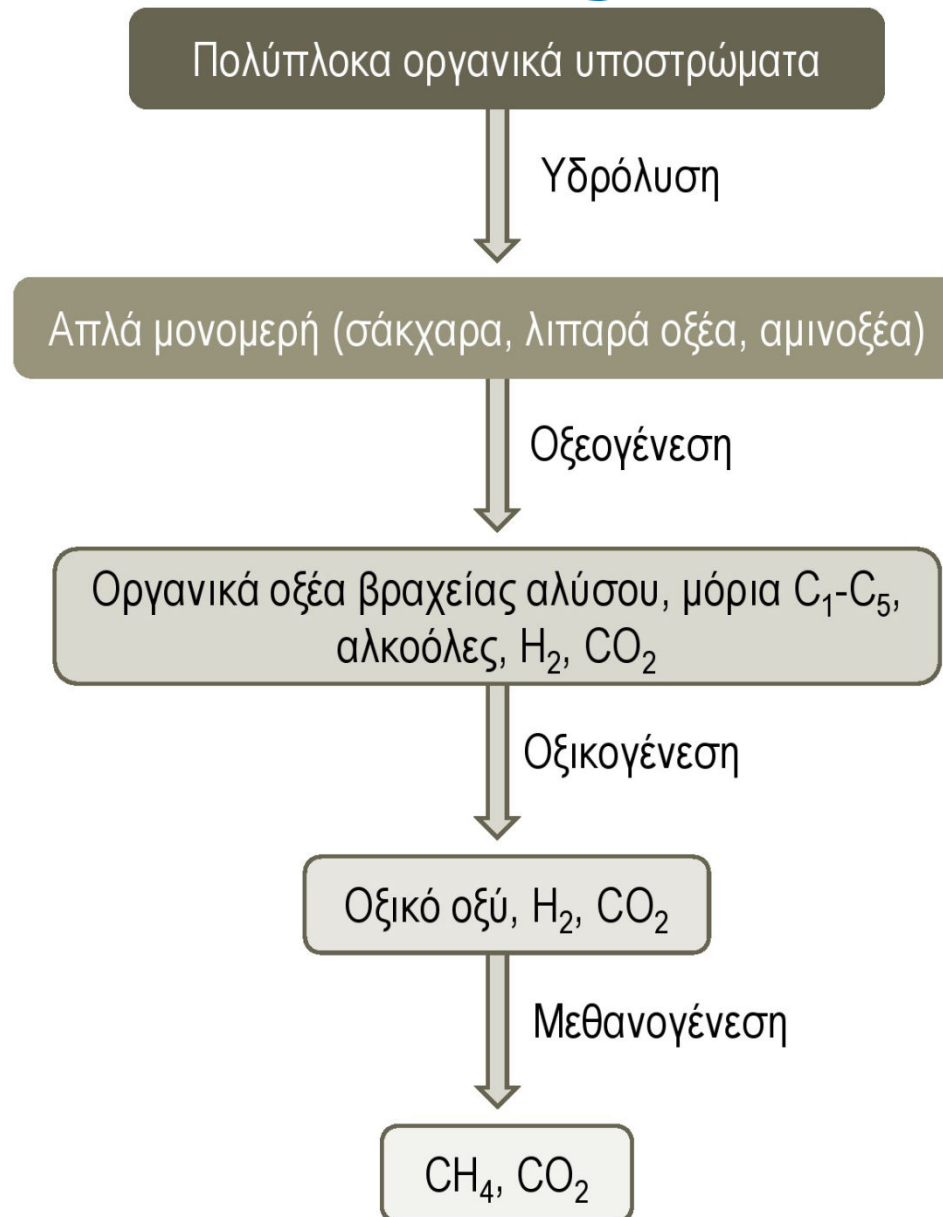
Αναερόβια επεξεργασία

- Περιεχόμενο σε στερεά
- Αριθμός σταδίων/ φάσεων
- Θερμοκρασία
- Λειτουργία (στρατηγική)

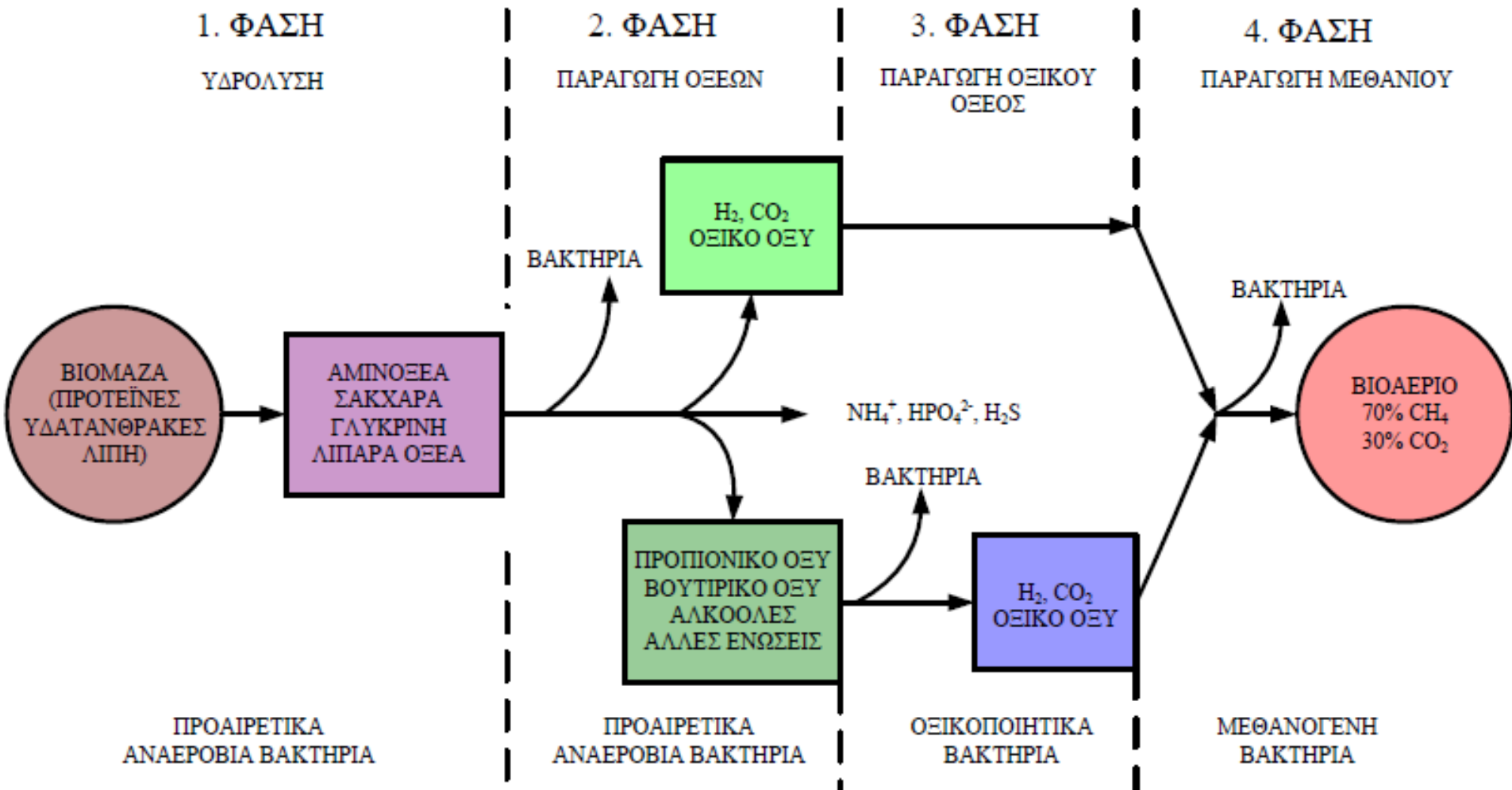
Αναερόβια στάδια

- Υδρόλυση (Hydrolysis)
- Παραγωγή οξέων (οξεογένεση) / ζύμωση (Acidogenesis / Fermentation)
- Παραγωγή οξικού οξέος (οξικογένεση) (Acetogenesis)
- Παραγωγή μεθανίου (μεθανογένεση) (Methanogenesis)

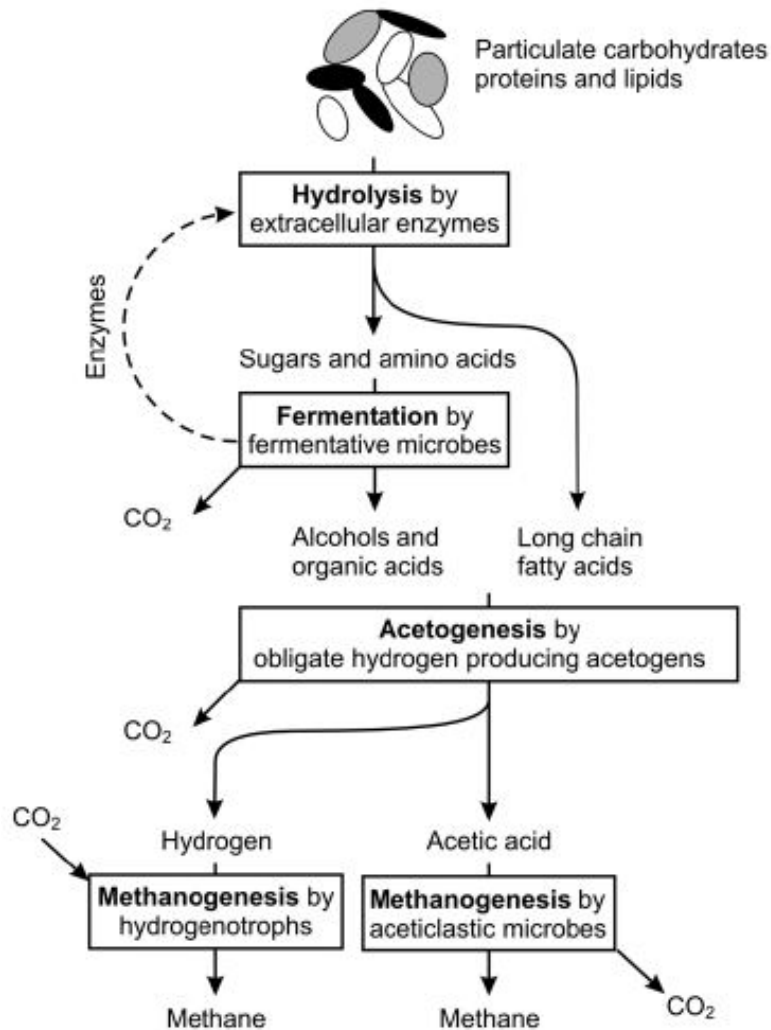
Αναερόβιες φάσεις



Αναερόβιες φάσεις



Αναερόβιες φάσεις



Μεθανογένεση

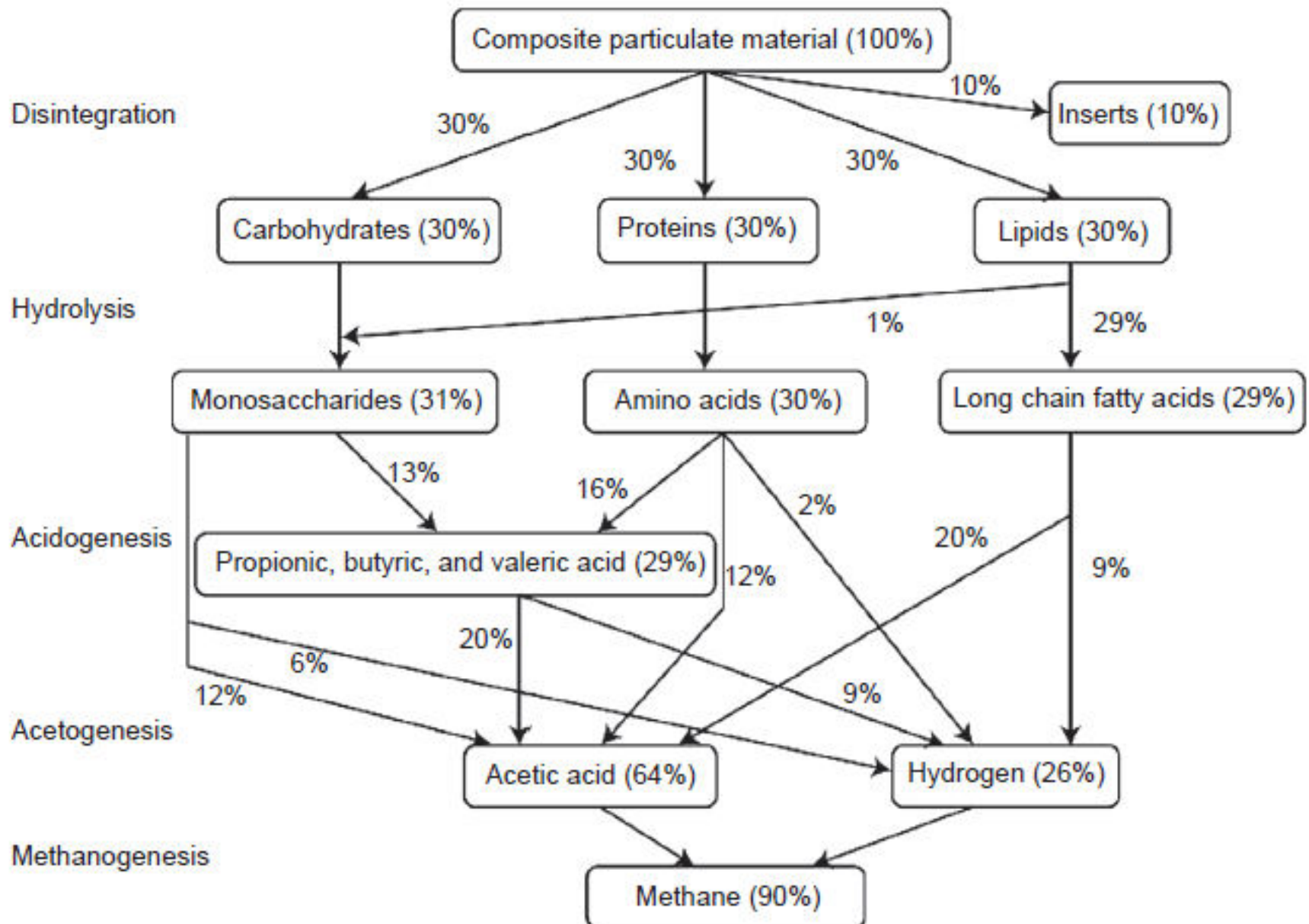
- Μεθανογενετικοί οξυκλάστες (Aceticlastic microbes)

Οξικό οξύ $\rightarrow$ $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$
(major pathway app. 70%)

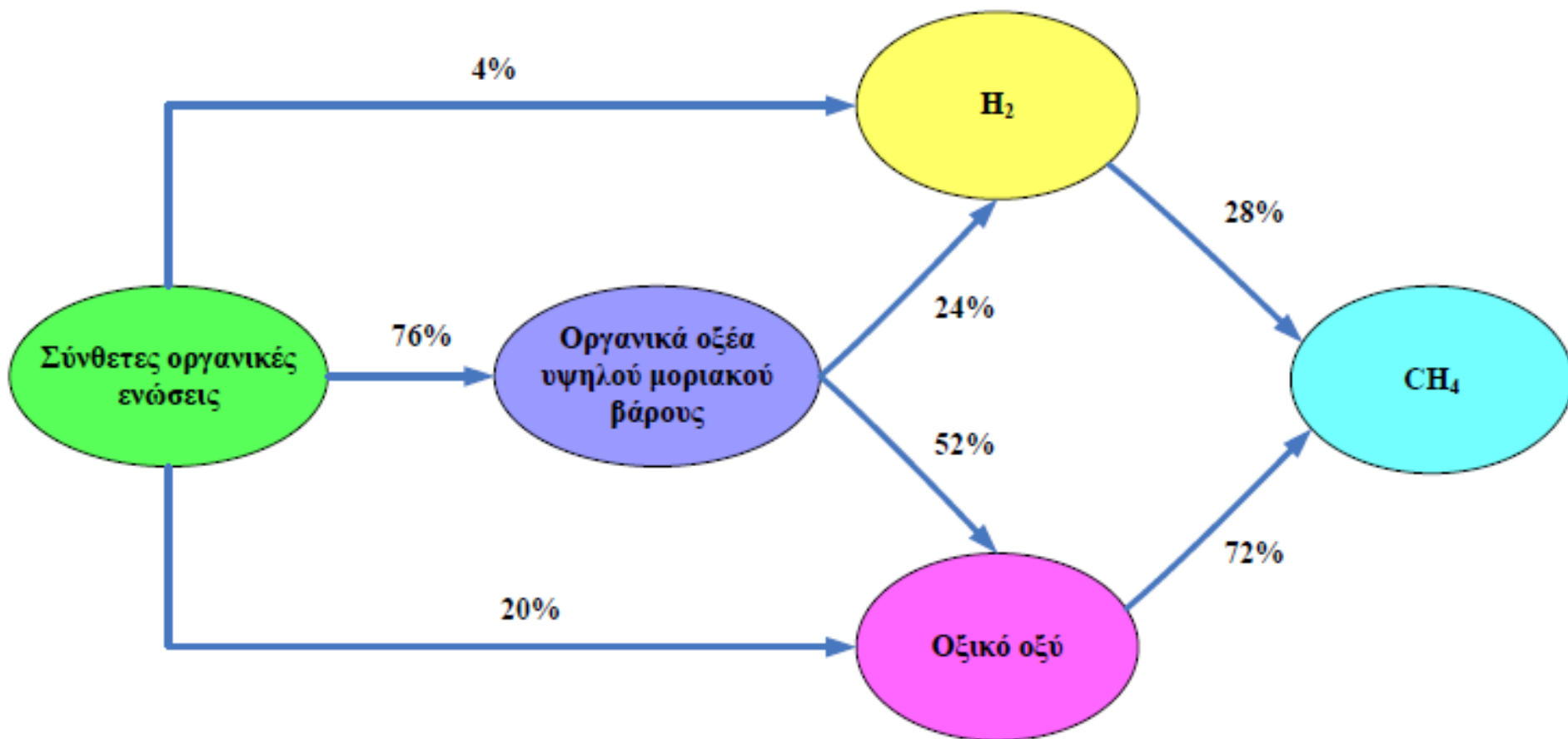
- Μεθανογενετικοί υδρογονοχρήστες (Hydrogenotrophs)



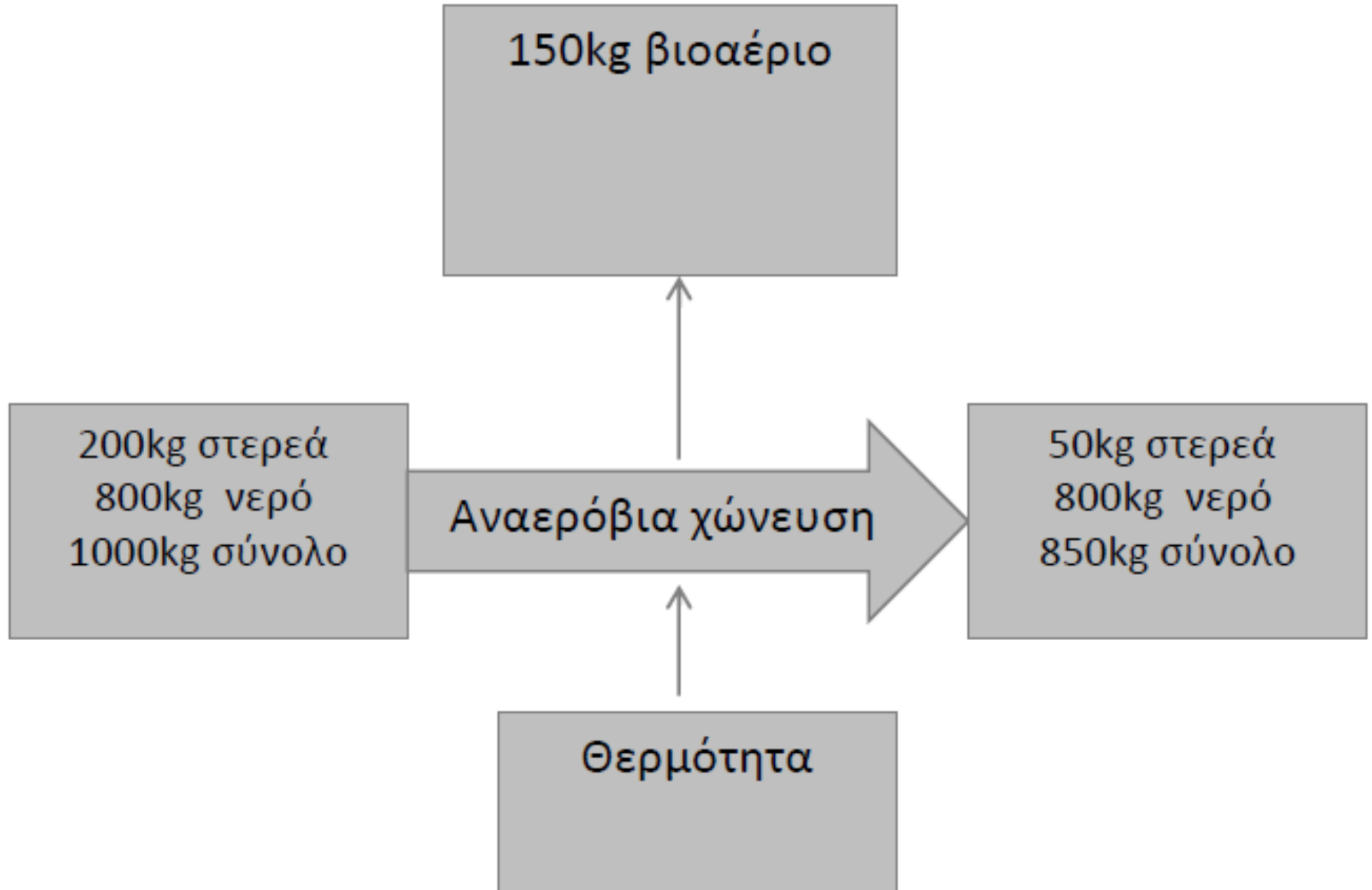
Στοιχειομετρία της Αναερόβιας Χώνευσης



Διάγραμμα ροής άνθρακα και υδρογόνου



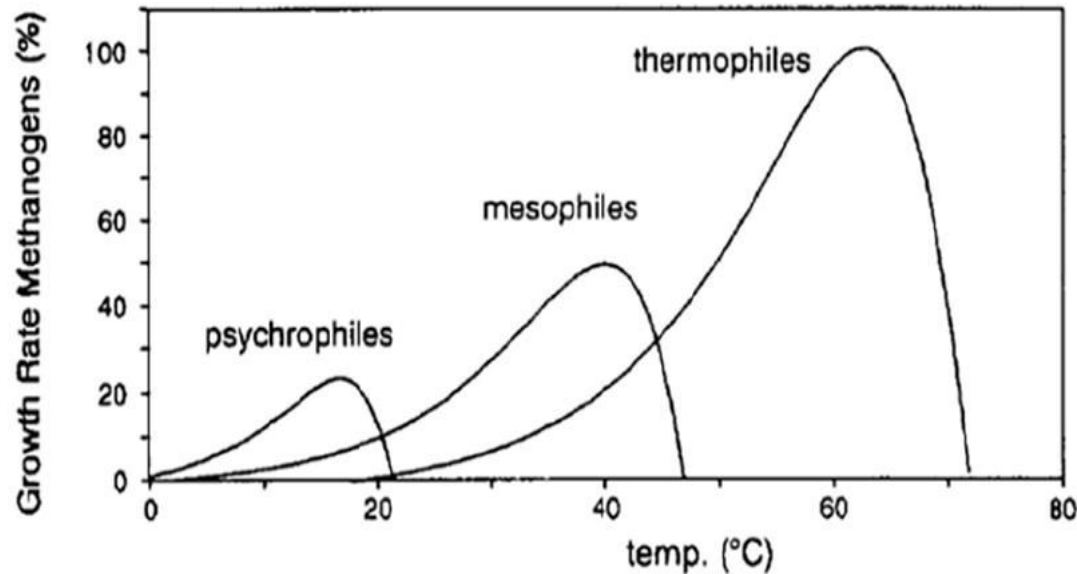
Τυπικό Ισοζύγιο Μάζας



Σύστημα δύο φάσεων

- Σε σύστημα δύο φάσεων (2-phase AD):
 - i) Υδρόλυση και οξεογένεση συμβαίνουν στη πρώτη φάση
 - ii) Οξικογένεση και μεθανογένεση συμβαίνουν στη δεύτερη φάση
 - Η πρώτη φάση είναι λιγότερο ευαίσθητη στο pH
 - Βελτιστοποίηση ανάμιξης, χρόνων παραμονής και παρακράτησης στερεών
- Καλύτερος έλεγχος της μεθανογένεσης, η οποία είναι πιο ευαίσθητη

Θερμοκρασία



- **Ψυχροφιλική 5-25 °C** (θερμοκρασία σε ψυχρά κλίματα)
- **Μεσοφιλική 30-45 °C** (33-37 °C) έχει εφαρμοστεί ευρέως για οικιακά απόβλητα, κτηνοτροφικά, ενεργού ιλύος, κ.α.
- **Θερμοφιλική 50-60 °C** χρησιμοποιείται για υψηλή απόδοση
 - Ταχύτερη
 - Χρησιμοποιεί ενέργεια από το βιοαέριο
 - Αδρανοποίηση παθογόνων μικροοργανισμών

Περιεχόμενο σε στερεά

- ❑ Υγρή αναερόβια χώνευση $< 20\%$ στερεά
 - Προσθήκη βιομάζας, υδαρών αποβλήτων ή νερού
- ❑ Ξηρή αναερόβια χώνευση $> 20\%$ στερεά
 - Ίσως χρειαστεί προσθήκη νερού (σε περίπτωση ξηρών υλικών)

Αναερόβια χώνευση με χαμηλά στερεά (υγρή)

- ❑ Παραδοσιακά συστήματα με χαμηλή συγκέντρωση στερεών (4-8%).
- ❑ Παραγωγή βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα, οργανικό κλάσμα ΑΣΑ, ενεργός ιλύς.
- ❑ Προσθήκη σημαντικής ποσότητας νερού για ρύθμιση της περιεκτικότητας στερεών στο 4-8%.
- ❑ Η προσθήκη νερού παράγει αραιωμένη λάσπη που πρέπει να αφυδατωθεί πριν τη διάθεση.





Αναερόβια χώνευση με χαμηλά στερεά





碳酸氣

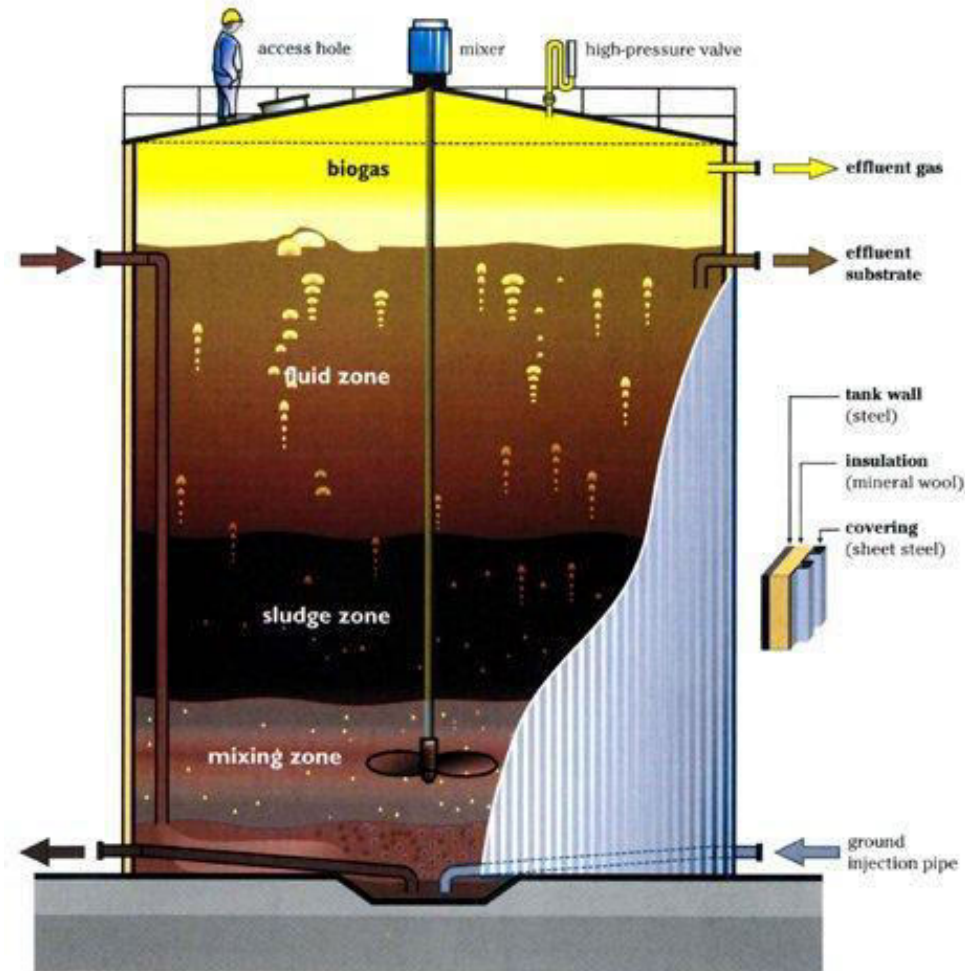
嚴禁烟火

嚴禁烟火

Αναερόβιοι χωνευτές με χαμηλά στερεά



Χωνευτές σε σχήμα αυγού
Egg-shaped digesters

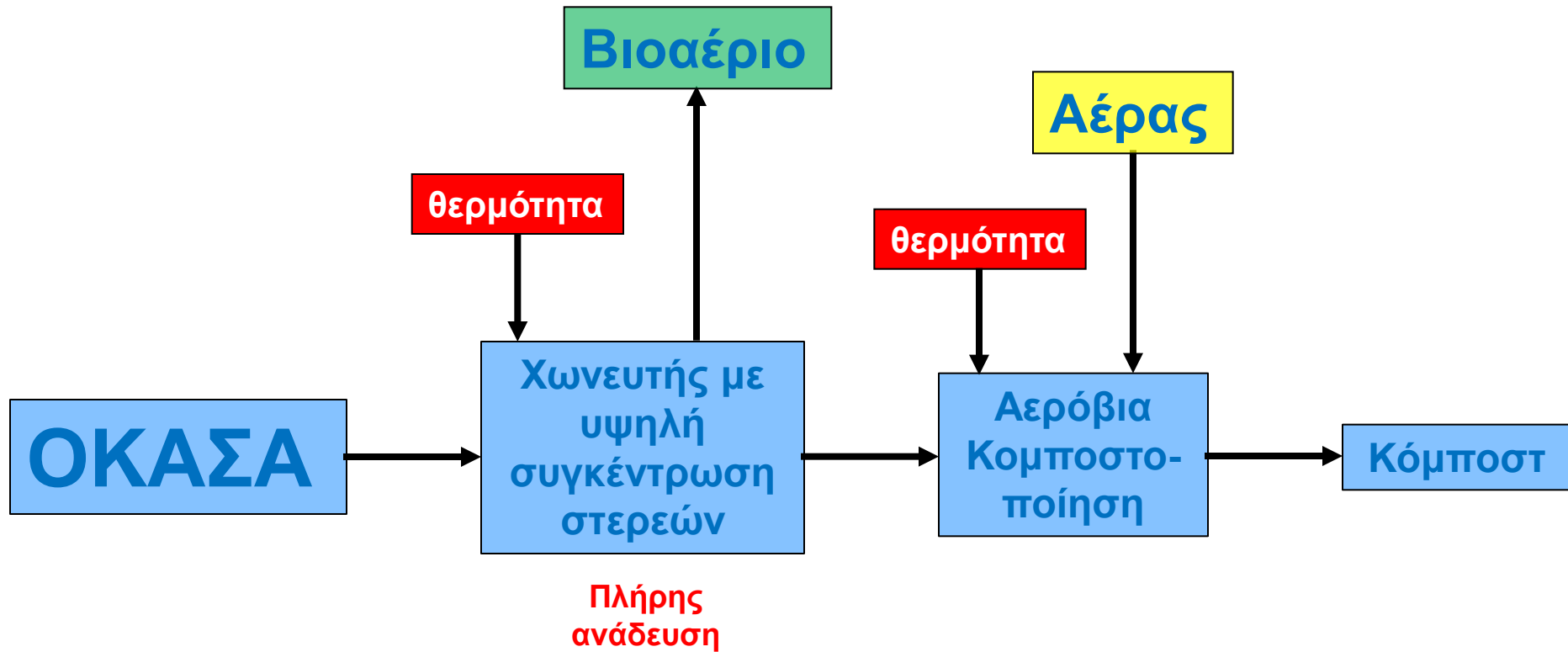


Συμβατικοί κυκλικοί χωνευτές
Conventional circular digesters

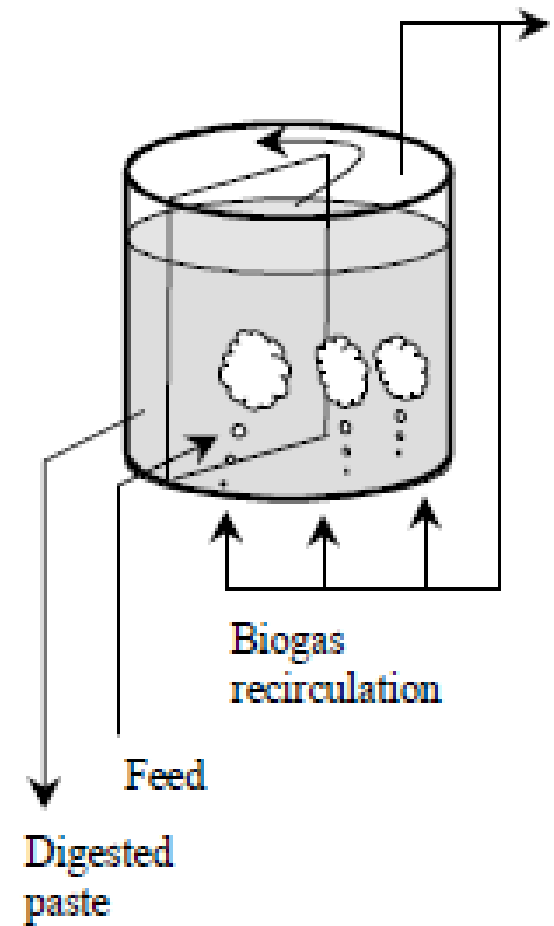
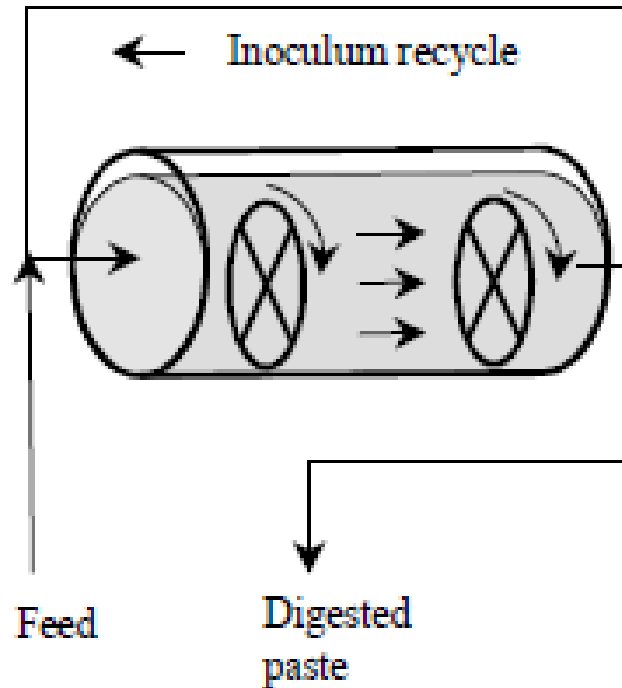
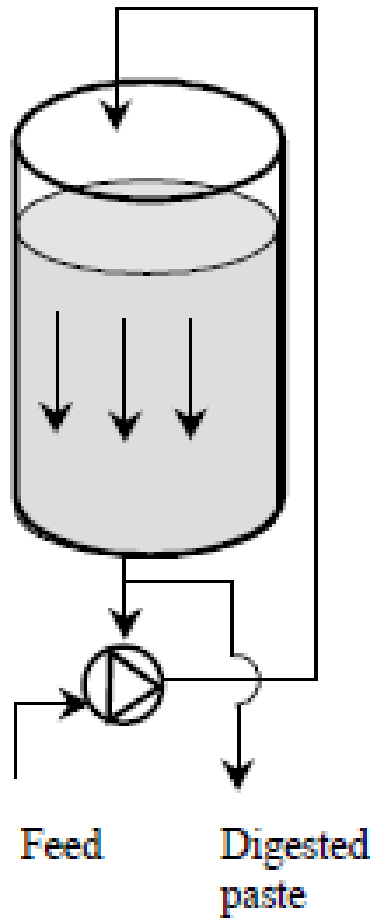
Αναερόβια χώνευση με υψηλή περιεκτικότητα στερεών

- Η αναερόβια χώνευση συμβαίνει με περιεκτικότητα σε στερεά πάνω από 20%.
- Δύο βασικά πλεονεκτήματα:
 - Χαμηλή απαίτηση σε νερό;
 - Αύξηση παραγωγής βιοαερίου ανά μονάδα όγκου του βιοαντιδρατήρα.
- Προκλήσεις: 1) διατήρηση βιολογικών διεργασιών, 2) τροφοδότηση/ άντληση των αποβλήτων, 3) ανάμιξη στερεών.

Αναερόβια χώνευση με υψηλή περιεκτικότητα στερεών



Μηχανικά σχέδια



Μονάδες αναερόβιας χώνευσης

❑ **Brecht II DRANCO (Βέλγιο)**

απόβλητα ζωικής προέλευσης, βιομηχανικών οργανικών αποβλήτων

❑ **Lemvig Biogas (Δανία)**

απόβλητα ζωικής προέλευσης και αστικών οργανικών αποβλήτων

❑ **Thorsø Biogas Plant (Δανία)**

απόβλητα βιομηχανικής προέλευσης και ζωικών οργανικών αποβλήτων

❑ **Allens Farm Anaerobic Digestion plant (Μ. Βρετανία)**

απόβλητα γεωργικών και ενεργειακών καλλιεργειών

1. Brecht II DRANCO (Μονάδα ξηρής αναερόβιας χώνευσης)



Τοποθεσία: πόλη Brecht, Βέλγιο

Έτος λειτουργίας: 2000

Η εγκατάσταση τροφοδοτείται με διαχωρισμένα στην πηγή βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα από μηχανική επεξεργασία, απορρίμματα χαρτιού (όχι ανακυκλώσιμα) και βιοδιασπώμενα βιομηχανικά απόβλητα όπως αλλαντικά.



Παράγεται:

- **Βιοαέριο** (300 εκατ. Btu / ημέρα) που χρησιμοποιείται για θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (καθαρές εξαγωγές 1,3 MW). Το 30% της παραγωγής χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της μονάδας και το 70% πωλείται σαν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με κόστος πώλησης 12.5 cents/kWh.

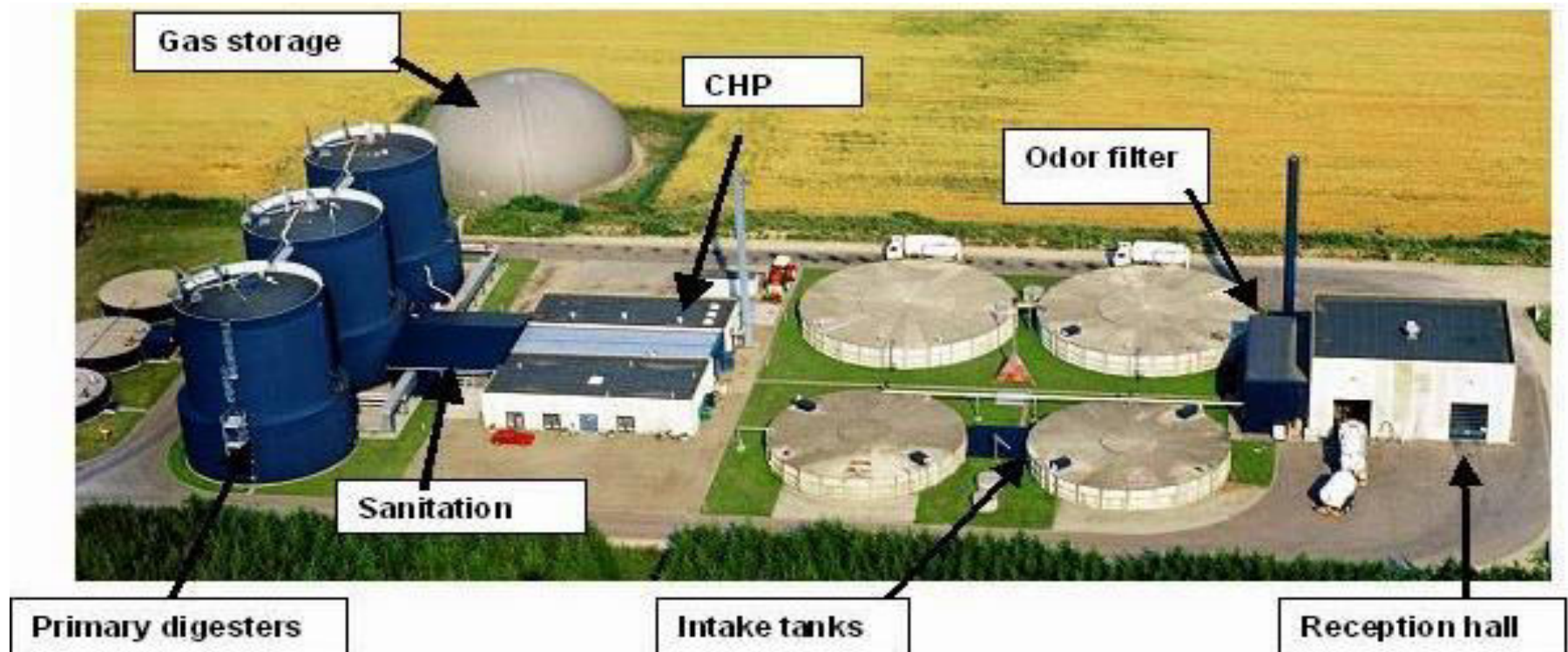
- Υψηλής ποιότητας **κόμποστ**.

2. Lemvig Biogas (Μονάδα ξηρής αναερόβιας χώνευσης)

Τοποθεσία: Η μεγαλύτερη εγκατάσταση στη Δανία στην πόλη Lemvig

Έτος λειτουργίας: 1992

Η εγκατάσταση τροφοδοτείται με οργανικά απόβλητα (120 t/ημέρα) και ζωικά (500 t/ημέρα), τα οποία επεξεργάζονται σε θερμοφίλες συνθήκες (52.5 °C).



3. Thorsø Biogas Plant, Δανία



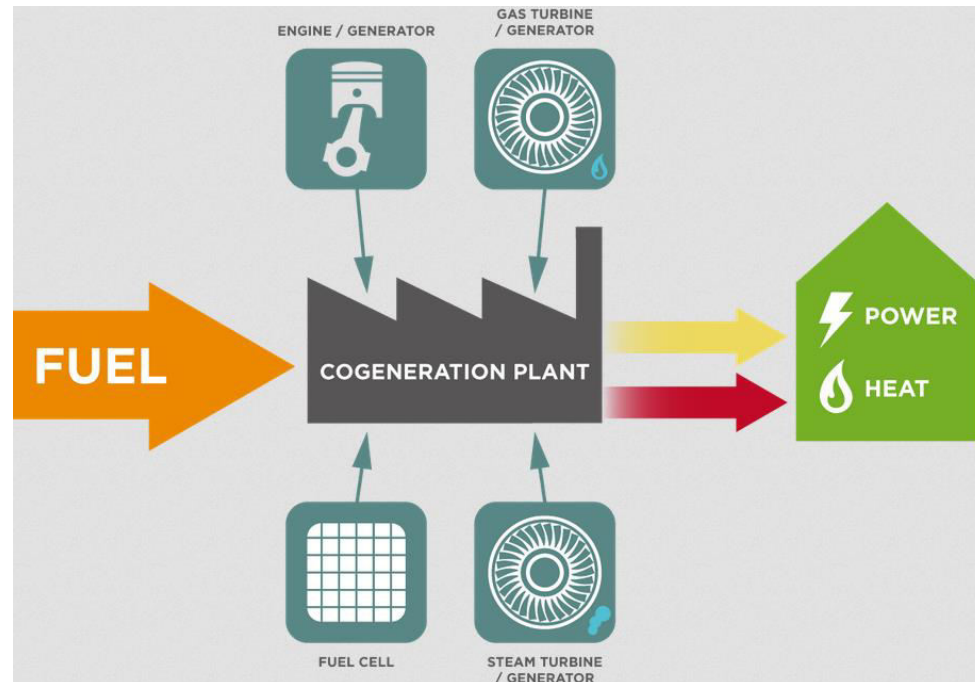
Τοποθεσία: Δανία

Η μονάδα δέχεται κοπριά από 75 φάρμες όπου αποτελείται από 40% βοειδών και 60% χοίρων και ελάχιστη ποσότητα πουλερικών.

Η κοπριά ανακατεύεται με απόβλητα από βιομηχανίες επεξεργασίας προϊόντων αλιείας και κρέατος.

Η εγκατάσταση παράγει:

- Κόμποστ που εφαρμόζεται στο έδαφος της περιοχής και το 30% πωλείται για βελτίωση της καλλιέργειας σιτηρών.
- Το βιοαέριο μεταφέρεται με σύστημα αγωγών σε εγκατάσταση συμπαραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.



4. Allens Farm Anaerobic Digestion plant

Τοποθεσία: Colchester, Μ. Βρετανία

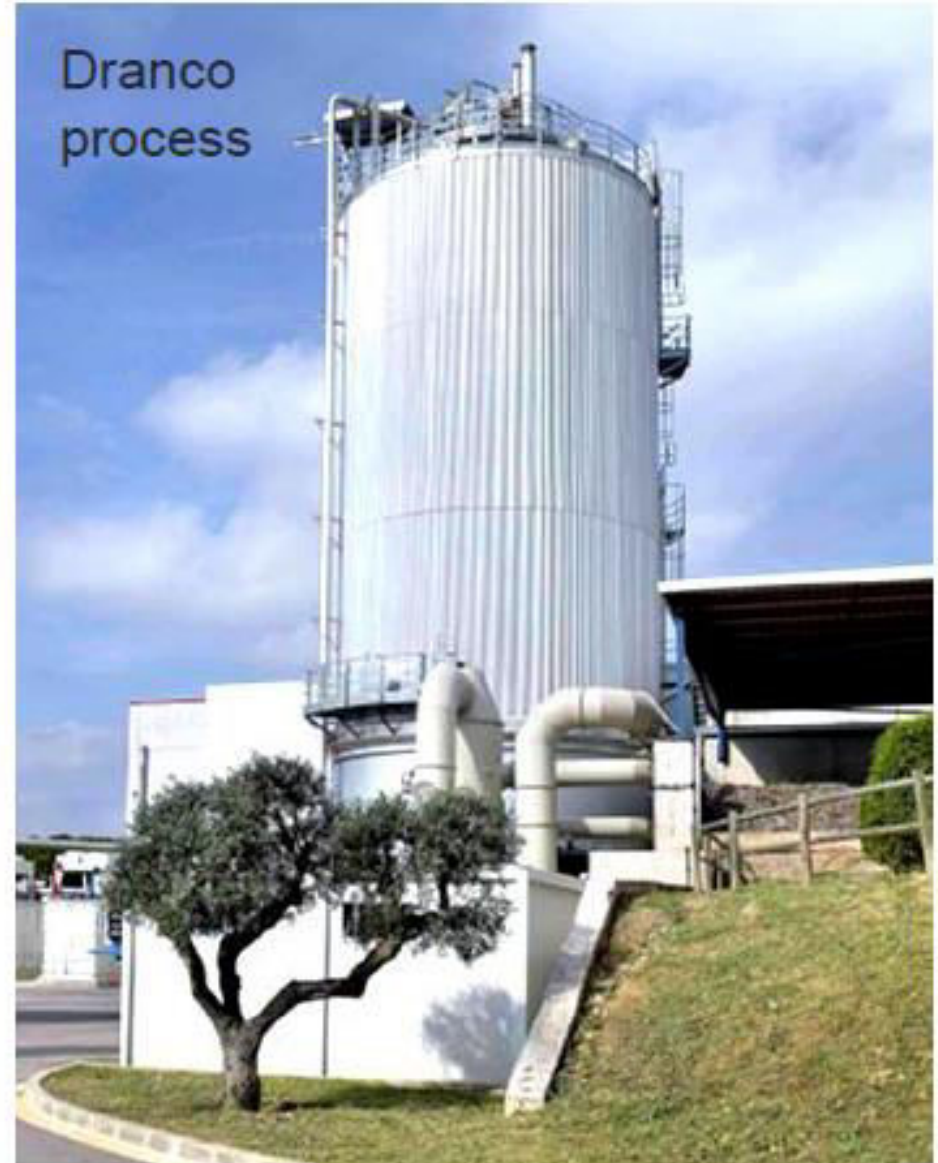
Απόβλητα γεωργικών καλλιεργειών που προέρχονται από 300 στρέμματα καλλιέργειας κρεμμυδιών, 300 στρέμματα καλλιέργειας πατάτας, και απόβλητα ενεργειακών καλλιεργειών από 1.000 στρέμματα σιτηρών και 500 στρέμματα καλαμποκιού



- Το πλεόνασμα της θερμότητας ανακτάται σε διάταξη συμπαραγωγής, διευκολύνοντας τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του χωνευτή.
- Δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 64 kW και θερμικής 101 kW.



Μονάδες αναερόβιας χώνευσης



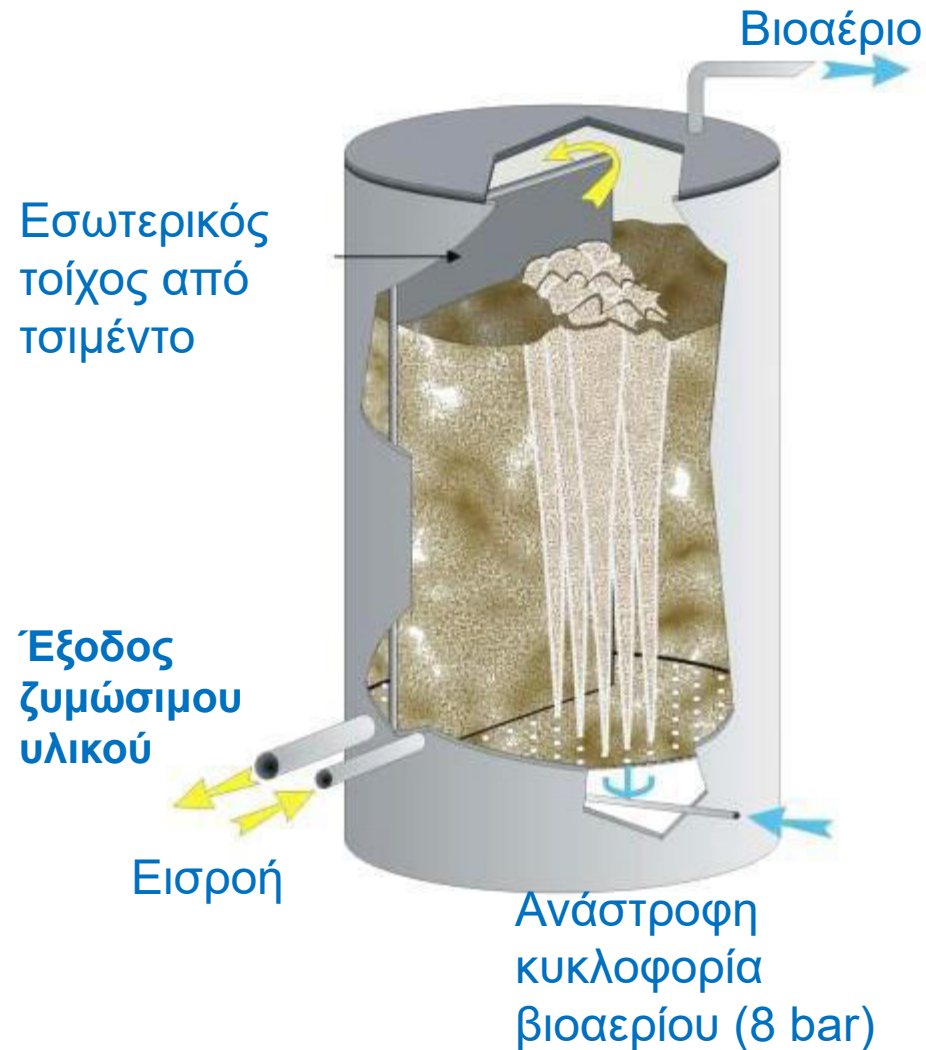
Διαδικασία Komprogas



- Αναπτύχθηκε στην Ελβετία. Ξηρά αναερόβια θερμοφιλική χώνευση $\sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sim 75\%$ υγρασία) για επεξεργασία μίγματος αποβλήτων (φρούτων, λαχανικών, κήπου).
- Οριζόντιος αναερόβιος χωνευτής με λόγες για συνεχής ανάδευση και μεταφορά.
- Αργή ανάδευση για βελτιστοποίηση του συστήματος, με ταυτόχρονη συλλογή βιοαερίου.
- Τα έμβολα ρυθμίζουν το χρόνο παραμονής του αποβλήτου στον αντιδραστήρα για συγκεκριμένο διάστημα βιοαποδόμησης και σταθεροποίησης.



Διαδικασία Valorga



- Αναπτύχθηκε στη Γαλλία. Εφαρμογή ενός σταδίου ΑΧ, κατακόρυφος χωνευτής με έμβολο και εσωτερικό τοίχο για ανάμιξη του υλικού.
- Περιεχόμενο σε στερεά ουσία 25-35% κ.β. και χρόνους παραμονής 18-25 ημέρες (θερμοφιλικές συνθήκες).
- Το βιοαέριο, περιοδικά, ανακυκλώνεται με υψηλή πίεση από τη βάση του χωνευτή για κατακόρυξη ανάμιξη.
- Η αφυδατωμένη λάσπη επεξεργάζεται αερόβια για 2 εβδομάδες για σταθεροποίηση (κομποστοποίηση).

Αννόβερο – Γερμανία (Χωνευτής Valorga)

- Χωρητικότητα μονάδας: 100,000 t/year ΑΣΑ
- Λειτουργία: 2005
- Μονάδα επεξεργασίας:
 - Μηχανικός διαχωρισμός ΑΣΑ
 - Αναερόβιος χωνευτής (Valorga)
 - Κομποστοποίηση, μηχανική ανάδευση
 - Επεξεργασία ατμαερίων
- Όγκος χωνευτών: 3 x 4,200 m³
- Συνθήκες: Μεσοφιλικές
- Απόδοση σε βιοαέριο: 130 Nm³/t αποβλήτου
- Χρήση: Παραγωγή ενέργειας



Food Waste AD Plant @ NTU



Questions & Answers

