



**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

# Χημική και Περιβαλλοντική Τεχνολογία

## Διάλεξη 8η: Επεξεργασία Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ)

**Νικόλαος Γ. Σαββάκης**

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΕΛΜΕΠΑ

Ακαδημαϊκό Έτος 2024-2025

# Διαχείριση στερεών απορριμμάτων



# Εισαγωγή

---

Η οικονομική ανάπτυξη είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση του μέσου βιοτικού επιπέδου στις κοινωνίες του ανεπτυγμένου κόσμου.

---

→ Αλλαγή των προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης και συνέβαλε σημαντικά στην ραγδαία αύξηση των ποσοτήτων των παραγόμενων αστικών και μη αποβλήτων.

---

→ Τα προβλήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση των αποβλήτων έχουν λάβει μεγάλη έκταση σε παγκόσμια κλίμακα.

# Εισαγωγή

- Παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο μία σημαντική αύξηση στην παραγωγή Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ).
- Υπάρχει απαιτητική περιβαλλοντική νομοθεσία, **αλλά...**
  - Παρατηρείται συστηματικά πλημμελής εφαρμογή (στην καλύτερη περίπτωση...).
  - Περιορισμένη κοινωνική ευαισθητοποίηση ή/και έλλειψη σωστής ενημέρωσης
  - Πρόσφατη νομοθεσία για Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων ΦοΔιΣΑ.
  - Απουσία ορθολογικής τιμολογιακής πολιτικής για διαχείριση ΑΣΑ.
  - Έλλειψη εξειδικευμένου εργατικού και επιστημονικού δυναμικού.

# Παρούσα κατάσταση

## → Διάθεση αποβλήτων σε ΧΥΤΑ

- Λιγότερη γη για τις μελλοντικές γενεές,
- Υποβάθμιση περιοχών,
- Υποβάθμιση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων,
- Ρύπανση αέρα,
- πυρκαγιές δασών,
- χρηματικά πρόστιμα,
- πρόβλημα στον τουρισμό, κλπ.



# Στερεά απόβλητα



- (Ορισμός:) **Στερεά υλικά ή υλικά με ελάχιστο υγρό περιεχόμενο**, τα οποία **δεν έχουν** κάποια **χρησιμότητα** και ως εκ τούτου ο κάτοχός τους **τα απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να τα απορρίψει**.
- **Διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ):** Το σύνολο των δραστηριοτήτων από τη φάση της παραγωγής τους ως και τη φάση της τελικής διάθεσής τους στο περιβάλλον, με ή χωρίς προηγούμενη βιομηχανική επεξεργασία.

# Στερεά απόβλητα



Τα αυξημένα στερεά απόβλητα σήμερα οφείλονται:

1. Η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου άλλαξε τις καταναλωτικές και διατροφικές συνήθειες.
2. Χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα υλικά συσκευασίας τα οποία τελικά απορρίπτονται.
3. Είναι φθηνότερη η αγορά νέου προϊόντος παρά η επισκευή του.
4. Απομάκρυνση του ανθρώπου από το φυσικό περιβάλλον, όπου υπήρχαν απλές λύσεις για τη διάθεση πολλών ΑΣΑ.
5. Η βιομηχανοποίηση αύξησε σημαντικά τα ΑΣΑ.
6. Η αύξηση του πληθυσμού και η συνεχής αστικοποίηση οξύνουν το πρόβλημα.

# Γενική ταξινόμηση – προέλευση απορριμμάτων

## 1) Αστικά απορρίμματα

- Οικιακά, από σχολεία, γήπεδα κτλ.
- Από εμπορικές δραστηριότητες
- Από μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, νερού κτλ.
- Σε ανοικτούς χώρους (δρόμους, πλατείες κτλ.), βασικά μη καύσιμα υλικά
- Ογκώδη αντικείμενα

## 2) Βιομηχανικά απορρίμματα

- άχρηστα υλικά από τις παραγωγικές διεργασίες
- Από μεταλλευτική δραστηριότητα
- Από κατεδαφίσεις
- Από κατασκευές
- Τέφρες κ.ά.
- ΣΚΡΑΠ

## 3) Γεωργικά απορρίμματα

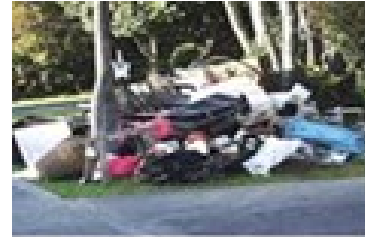
- Απορρίμματα από κήπους και διάφορες άλλες αγροτικές χρήσεις, όπως: θερμοκήπια, κτηνοτροφικές μονάδες κτλ.

## 4) Τοξικά – Επικίνδυνα

- Απόβλητα επικίνδυνα για τον άνθρωπο, τα ζώα, τα φυτά
- Εύφλεκτα (υγρά)
- Ραδιενεργά
- Χημικά (διαβρωτικά ή τοξικά όπως PCB, HCB, οξέα κ.ά.)
- Βιολογικά ή ιατρικά (από νοσοκομεία και ερευνητικά εργαστήρια).

# Τύποι αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ)

- **Χαρτιά και χαρτόνια**
- **Πλαστικά:** κάθε είδους πλαστικά αντικείμενα. Να αποφεύγεται ή καύση τους λόγω δυσοσμίας και των τοξικών (διοξίνες) που παράγονται.
- **Υπολείμματα τροφών:** ζωικά ή φυτικά υπολείμματα από το καθάρισμα, προετοιμασία και κατανάλωση της τροφής (αποσυντίθενται εύκολα).
- **Λοιπά απορρίμματα νοικοκυριού:** υφάσματα, λάστιχα, δέρματα, ξύλα, καθώς και τα από τον καθαρισμό των κήπων.
- **Γυαλιά και κομμάτια γυαλικών:** απορρίμματα που δεν καίγονται.



# Τύποι αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ)



- **Λοιπά απορρίμματα μη καύσιμα:**  
κουτιά από κονσέρβες, άλλα μεταλλικά αντικείμενα, πορσελάνες, σκόνες και υλικά κατεδάφισης.
- **Στάχτες και υπολείμματα καύσης:**  
υλικά που παραμένουν από την καύση ξύλου, κάρβουνου και άλλων καυσίμων
- **Ογκώδη απορρίμματα:** ποικίλα αντικείμενα όπως παλιές οικιακές συσκευές, παλιά έπιπλα κτλ.

# Σύνθεση Στερεών Αποβλήτων

Συστατικά Υλικά στα Οικιακά Στερεά Απόβλητα	Χώρες Χαμηλού Εισοδήματος	Χώρες Μεσαίου Εισοδήματος	Χώρες Υψηλού Εισοδήματος
<b>Οργανικά Συστατικά</b>			
Τροφικά Υπολείμματα	40-85%	20-65%	6-30%
Χαρτί Χαρτόνι	1-10%	8-30%	20-45%
Πλαστικά	1-5%	2-6%	2-8%
Υφάσματα	1-5%	2-10%	2-6%
Λάστιχα-Δέρματα	1-5%	1-4%	0-2%
Απορρίμματα Κήπων	1-5%	1-10%	10-20%
Ξύλα	1-5%	1-10%	1-4%
<b>Ανόργανα Συστατικά</b>			
Γυαλί	1-10%	1-10%	4-12%
Κουτιά Κασσιτέρου - Αλουμινίου	1-5%	1-5%	2-8%
Άλλα Μέταλλα			
Αδρανή (χώμα - τέφρα)	1-40%	1-30%	0-10%

# Ποιοτικά χαρακτηριστικά απορριμμάτων: Υγρασία

Περιεχόμενη υγρασία (%) =

$$[(A-B)/A]*100$$

A: το αρχικό βάρος του δείγματος

B: το βάρος του δείγματος κατά την ξήρανση

Για τα περισσότερα βιομηχανικά απορρίμματα κυμαίνεται μεταξύ 15 και 40%

## Τυπικές τιμές υγρασίας απορριμμάτων

Συστατικά Υλικά στα Οικιακά Στερεά Απόβλητα	Ποσοστό Υγρασίας	
	Διακύμανση Τιμών	Τυπική Τιμή
Οργανικά Συστατικά		
Τροφικά Υπολείμματα	50-80%	70%
Χαρτί	4-10%	6%
Χαρτόνι	4-8%	5%
Πλαστικά	1-4%	2%
Υφάσματα	6-12%	10%
Λάστιχα-Δέρματα	1-5%	2%
Απορρίμματα Κήπων	30-80%	60%
Ανόργανα Συστατικά		
Γυαλί	1-4%	2%
Κουτιά Κασσιτέρου - Αλουμινίου	2-6%	2,5%
Άλλα Μέταλλα		
Αδρανή (χώμα - τέφρα)	6-12%	7%

# Ποιοτικά χαρακτηριστικά απορριμμάτων

**Θερμογόνος Δύναμη (ΘΔ):** είναι η θερμότητα (θερμική ενέργεια) που εκλύεται όταν αυτό καίγεται πλήρως.

- Εκφράζεται σε **MJ/kg** ή **kcal/kg** απορριμμάτων
- Τυπικές τιμές: **1200 έως 2000 kcal/kg**
- Εάν η ΘΔ δεν είναι γνωστή, γίνεται χρήση της τροποποιημένης σχέσης Dulong:  **$\Theta\Delta \text{ (kJ/kg)} = 337C + 1428 \text{ (H-O/8)} + 9S$**   
όπου **C** το περιεχόμενο άνθρακα, **H** το περιεχόμενο υδρογόνου, **O** το περιεχόμενο οξυγόνου και **S** το περιεχόμενο θείου
- **Χημική σύσταση απορριμμάτων:** σκοπός είναι να εκτιμηθούν οι εναλλακτικοί τρόποι διάθεσης.

**Προσεγγιστική ανάλυση καταλληλότητας για καύση**

(α) Υγρασία (απώλεια στους 105°C σε μια ώρα)

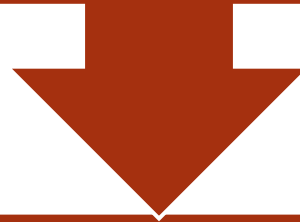
(β) Πτητικές ουσίες (πρόσθετη απώλεια στους 950°C)

(γ) Τέφρα (υπόλειμμα μετά την καύση) [ $\sim 20\%$ ] (δ) Μόνιμος άνθρακας

- Σημείο τήξης της τέφρας.
- Χημική ανάλυση των καυσίμων συστατικών δηλαδή των ποσοστών C, N, S, και τέφρας.
- Θερμογόνος δύναμη.

# Αποκομιδή Απορριμμάτων

Ο ορθή διαχείριση των παραγόμενων σε μια πόλη απορριμμάτων αποτελεί μια από τις πλέον βασικές παραμέτρους καθορισμού της ποιότητας της ζωής των κατοίκων της, η οποία ουσιαστικά ξεκινά από την αποκομιδή αυτών.



Η αποκομιδή των απορριμμάτων αποτελείται από **4 βασικά στάδια**, τα οποία επηρεάζονται άμεσα από την εκάστοτε παραγωγή απορριμμάτων (ποιότητας-ποσότητα)

Παραγωγή  
απορριμμάτων

Προσωρινή  
αποθήκευση  
απορριμμάτω.

Συλλογή

Μεταφορά και  
μεταφόρτωση προς  
επεξεργασία/διάθεση



# Μοναδιαία Παραγωγή Αποβλήτων (Μ.Π.Α.) στην Ελλάδα

- 1995: 302 κιλά/άτομο · έτος
- 2000: 408 κιλά/άτομο · έτος
- 2005: 437 κιλά/άτομο · έτος
- 2010: 475 κιλά/άτομο · έτος
- 2015: 510 κιλά/άτομο · έτος
- 2020: 575 κιλά/άτομο · έτος



# Προσωρινή αποθήκευση

- Τα απορρίμματα συλλέγονται και αποθηκεύονται προσωρινά σε υποδοχείς απορριμμάτων, των οποίων ο τύπος και η χωρητικότητα συνήθως επιλέγονται από τις δημοτικές υπηρεσίες.
- Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα οι εν λόγω υποδοχείς συνήθως επιλέγονται, τοποθετούνται και συντηρούνται από τη δημοτική υπηρεσία καθαριότητας του εκάστοτε δήμου



# Συλλογή απορριμμάτων



## Από τον καταναλωτή στο απορριμματοφόρο

- Απλές σακούλες ή ειδικές μαύρες σακούλες αγορασμένες για αυτό το σκοπό.
- Κλειστά δοχεία, μεταλλικά ή πλαστικά.
- Κυλιόμενοι κάδοι, οι οποίοι προσαρμόζονται στο μηχανισμό ανύψωσης των απορριμματοφόρων.
- Κοντέινερ μεγάλων διαστάσεων που χρησιμοποιούνται για ειδικά κτίρια (π.χ. εμπορικά κέντρα κτλ.).

## Διάκριση της συλλογής σε σχέση με το απορριμματοφόρο

- Χειρωνακτική συλλογή για την οποία είναι απαραίτητοι και οι εργάτες αποκομιδής. Το απορριμματοφόρο μπορεί να είναι με ή χωρίς μηχανισμό ανύψωσης.
- Ημιαυτόματη συλλογή από απορριμματοφόρο με μηχανισμό πλευρικής φόρτωσης.
- Αυτόματη συλλογή με απορριμματοφόρο εμπρόσθιας φόρτωσης (μόνο από τον οδηγό του).

# Βελτιστοποίηση διαδρομών απορριμματοφόρων

- Η συλλογή και μεταφορά των απορριμμάτων αποτελούν το μεγαλύτερο κόστος της διαδικασίας συλλογή-μεταφορά-διάθεση. Κατά συνέπεια για την ελαχιστοποίηση του κόστους απαιτείται βελτιστοποίηση της διαδρομής που ακολουθεί το απορριμματοφόρο. Η βελτιστοποίηση αυτή γίνεται...

## **...με στόχο τη:**

1. μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
2. μείωση της όχλησης στην κυκλοφορία
3. την οικονομία στα καύσιμα και στα ημερομίσθια.

## **Και επιτυγχάνεται με:**

1. χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή
2. τη βοήθεια της μεθόδου των περιττών κόμβων

# Βελτιστοποίηση διαδρομών απορριμματοφόρων

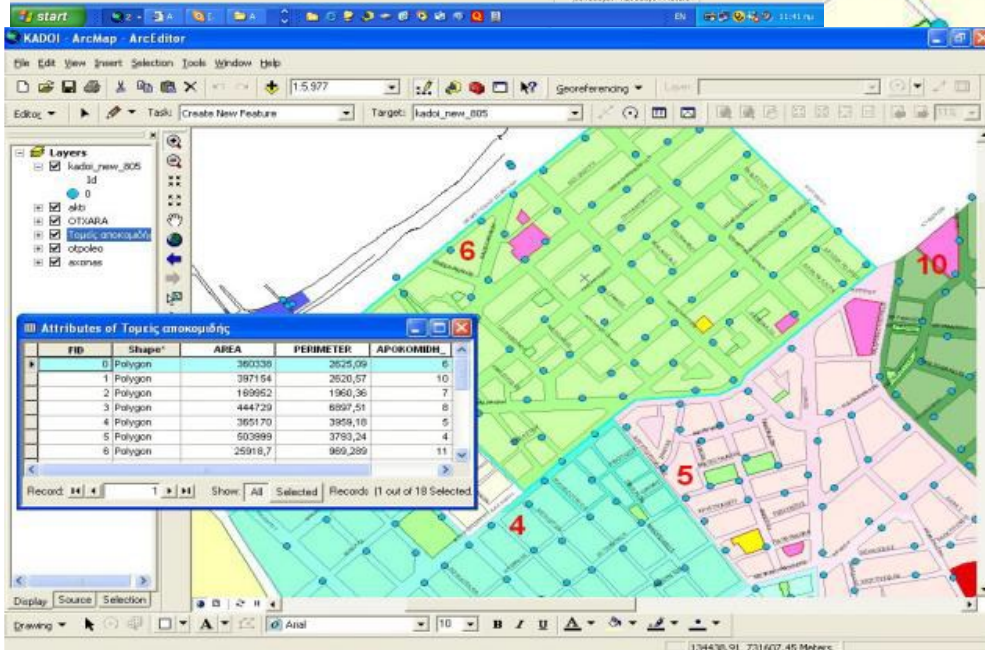
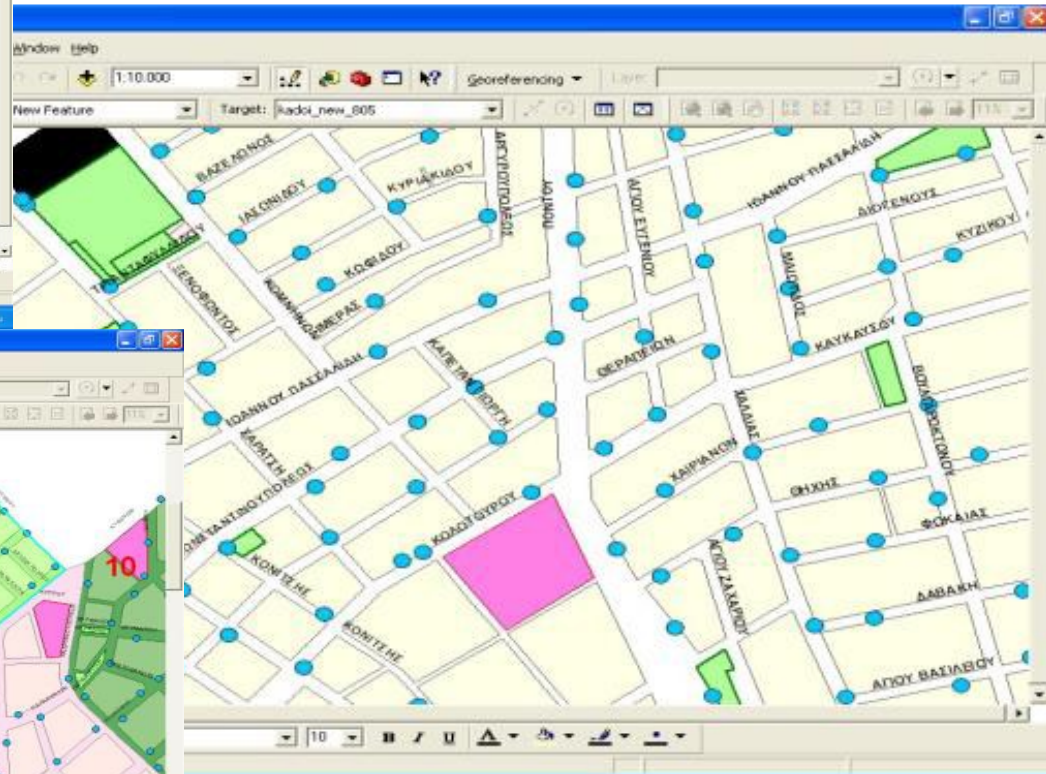
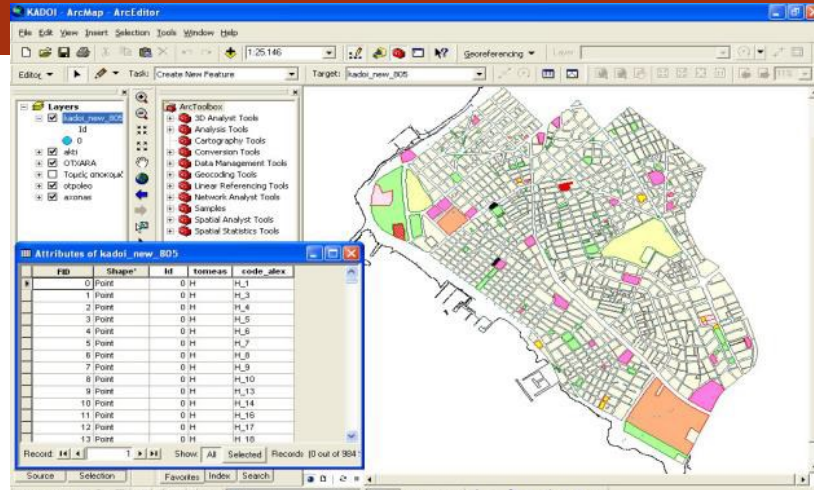
## Σταθμοί μεταφόρτωσης απορριμμάτων

Η συλλογή γίνεται πιο οικονομική με τη δημιουργία σταθμών μεταφόρτωσης απορριμμάτων, που είναι αποδοτικοί οικονομικά όταν:

- Μεγάλες ποσότητες πρέπει να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις.
- Χρησιμοποιούνται μικρά απορριμματοφόρα σε αστικές περιοχές.
- Ένας σταθμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλά απορριμματοφόρα



# Σχεδιασμός δρομολογίων (Συστήματα GIS)



# Ασκήσεις

**ΑΣΚΗΣΗ 1:** Να υπολογιστεί ο ημερήσιος ρυθμός παραγωγής οικιακών στερεών αποβλήτων σε μια περιοχή, που αποτελείται από 1200 σπίτια. Τα απόβλητα μεταφέρονται με οχήματα απ' ευθείας σε ΧΥΤΑ, χωρίς να προηγηθεί κάποια επεξεργασία. Για περίοδο μιας εβδομάδας έγινε καταμέτρηση του αριθμού και τους είδους των οχημάτων, που έκαναν τη μεταφορά και παρήχθησαν τα εξής στοιχεία:

- Αριθμός απορριμματοφόρων (Α/Φ) με συμπίεση = 9, με μέση χωρητικότητα =  $15.3 \text{ m}^3$  ανά Α/Φ
- Αριθμός μικρών φορτηγών χωρίς συμπίεση = 7, με μέση χωρητικότητα =  $1.5 \text{ m}^3$  ανά όχημα
- Αριθμός άλλων οχημάτων = 20, με μέση χωρητικότητα =  $0.23 \text{ m}^3$  ανά όχημα.

Στα εν λόγω οχήματα, τα απόβλητα βρίσκονται σε πολύ χαλαρή κατάσταση. Να θεωρηθεί ότι κάθε νοικοκυριό αποτελείται από 3.5 άτομα κατά μέσο όρο.

**ΑΣΚΗΣΗ 2:** Σε μια πόλη δεν υπάρχει δημοτική υπηρεσία συλλογής και μεταφοράς αστικών απορριμμάτων. Στην περιοχή λειτουργεί μια χωματερή του δήμου, όπου μεταφέρονται τα αστικά απορρίμματα από μια ιδιωτική εταιρία. Συλλογή και μεταφορά γίνεται από Δευτέρα έως Παρασκευή, με διαφορετική συχνότητα στις διάφορες γειτονιές (όχι καθημερινή συλλογή). Επίσης, είναι δυνατόν ο κάθε πολίτης να μεταφέρει ο ίδιος με το αυτοκίνητό του τα απορρίμματά του στη χωματερή, κάθε μέρα πλην της Κυριακής. Τα στοιχεία που προκύπτουν συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

- 1) Να υπολογιστεί ο ημερήσιος ρυθμός παραγωγής αστικών απορριμμάτων ( $\text{kg}/\text{κάτοικο}$  ανά ημέρα) για τον πληθυσμό των 15000 κατοίκων.
- 2) Υποθέτοντας ένα μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης του πληθυσμού (π.χ. 0.5% ή 1%) και έναν ετήσιο ρυθμό αύξησης της κατ' άτομο παραγόμενης ποσότητας, να γίνει εκτίμηση της συνολικής ποσότητας αστικών απορριμμάτων, που θα συσσωρευτεί μέσα στα επόμενα 25 χρόνια.

# Ασκήσεις

**ΑΣΚΗΣΗ 3:** Να υπολογιστεί η θερμογόνος δύναμη των αστικών απορριμμάτων του παρακάτω πίνακα σε υγρή βάση:

(1) χωρίς διαχωρισμό στην πηγή

(2) αν το 60% του χαρτιού και 90% του χαρτονιού διαχωρίζονται στην πηγή και απομακρύνονται από τα αστικά απορρίμματα.

**ΑΣΚΗΣΗ 4:** Μια πόλη σχεδιάζει να εφαρμόσει ένα πρόγραμμα διαχωρισμού αστικών απορριμμάτων στην πηγή και καλείστε να αξιολογήσετε τα εξής δυο συστήματα:

- Το σύστημα 1 χρησιμοποιεί τρία είδη κάδων. Ο πρώτος χρησιμοποιείται για εφημερίδες, ο δεύτερος για αλουμίνιο, γυαλί και πλαστικά και ο τρίτος για όλα τα υπόλοιπα.
- Το σύστημα 2 χρησιμοποιεί 4 είδη κάδων. Ο πρώτος χρησιμοποιείται για χαρτί και χαρτόνι, γενικά. Ο δεύτερος χρησιμοποιείται για πλαστικά, γυαλί, αλουμίνιο, κασσίτερο και άλλα μέταλλα. Απόβλητα κήπων αποθηκεύονται στον τρίτο κάδο και όλα τα υπόλοιπα στον τέταρτο κάδο.

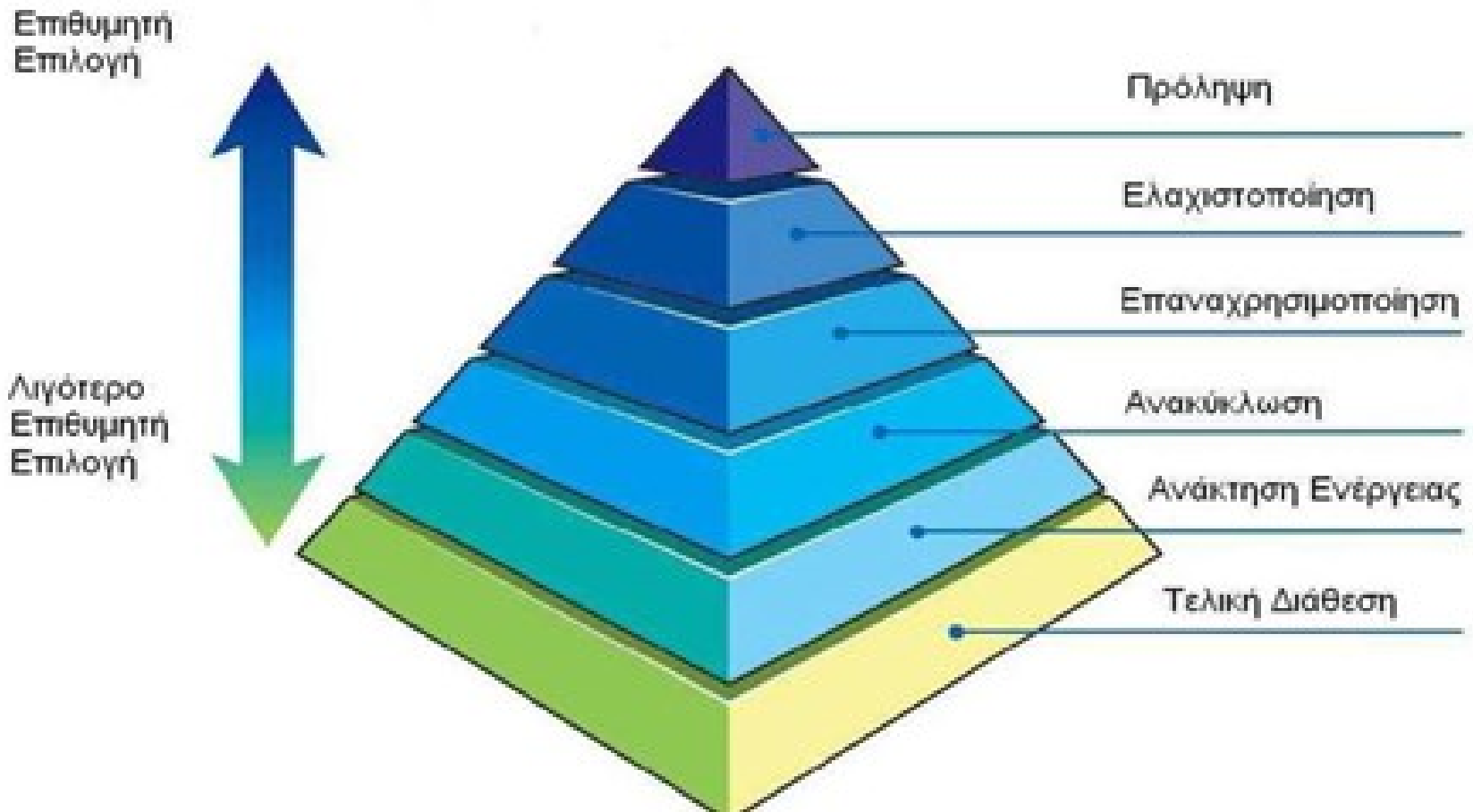
Οι εφημερίδες αποτελούν το 25% του χαρτιού. Μόνο το 80% του διαθέσιμου υλικού διαχωρίζεται. Να συγκριθούν τα 2 συστήματα για 100% και 50% συμμετοχής των κατοίκων. Για τη σύσταση των απορριμμάτων να χρησιμοποιηθεί ο Πίνακας 1.

# Το πρόβλημα στην Ελλάδα

- Στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ υπάρχουν πολλά προβλήματα.
- Ο σχεδιασμός διαχείρισης ΣΑ στην Ελλάδα είναι ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο.
- **Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ≠ χωματερή**
- Σήμερα ελάχιστοι είναι οι ΧΥΤΑ που πληρούν όλες τις νόμιμες προδιαγραφές.
- **Η αντίδραση για τους ΧΥΤΑ οφείλεται σε:**
  - κακή ενημέρωση σχετικά με τις εξελίξεις της τεχνολογίας στο θέμα της διαχείρισης των ΣΑ
  - έλλειψη εμπιστοσύνης των πολιτών προς τις αρχές
  - η πιθανή εγκατάσταση δραστηριότητας διάθεσης ή επεξεργασίας απορριμμάτων δημιουργεί μείωση της τιμής αγοράς της παρακείμενης γης
  - καθένας θεωρεί ότι η επίλυση του προβλήματος είναι υπόθεση των άλλων και όχι δικιά του (NIMBY).



# Ιεραρχία διαχείρισης απορριμμάτων



# Τα θετικά των προγραμμάτων διαλογής στην πηγή (ΔσΠ)

1. Διευκολύνουν το διαχωρισμό των υλικών.

2. Προσφέρουν προς αξιοποίηση καθαρά υλικά με μεγαλύτερη εμπορική αξία.



ΔσΠ



# Ολοκληρωμένη διαχείριση απορριμμάτων



# Στρατηγικές βέλτιστης διαχείρισης

## Μείωση απορριμμάτων

- καταγραφή απορριμμάτων
- αναμόρφωση προϊόντος
- υποκατάσταση
- περισσότερο αποδοτικές συσκευές
- επανασχεδιασμός διεργασιών
- έλεγχος και ρύθμιση διεργασιών
- συγκέντρωση-συμπύκνωση απορριμμάτων

## Διάθεση

- ΧΥΤΑ
- Καύση
- .....

## Επεξεργασία

- Θερμική
- Βιολογική.....



## Ανάκτηση

- Ανακύκλωση
- Επιλεκτικός διαχωρισμός
- Ενδοβιομηχανική ανταλλαγή
- Συνδυασμός ειδικών ρευμάτων αποβλήτων



# Ανακύκλωση

**Ανακύκλωση: η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υλικού από τα στερεά απορρίμματα που σε άλλη περίπτωση θα κατέληγε στον χώρο ταφής ή στον καυστήρα.**

Περιλαμβάνει χαρτικά, μέταλλα, πλαστικά και γυαλί και επομένως μπορεί, μαζί με την κομποστοποίηση, να καταλήξει σε μείωση του όγκου των απορριμμάτων **κατά 75%**.

Τα απαραίτητα βήματα για τον σχεδιασμό ενός προγράμματος ανακύκλωσης είναι:

- **Ακριβής ανάλυση των πηγών και του περιεχομένου** των στερεών απορριμμάτων.
- **Εξέταση υφιστάμενων προγραμμάτων.**
- Προσδιορισμός της **συμπεριφοράς του κοινού.**
- **Ανάλυση της αγοράς** για τα ανακυκλώσιμα υλικά

Ένα πρόγραμμα ανακύκλωσης μπορεί να είναι **προαιρετικό** ή **υποχρεωτικό** για το κοινό.

Έχει παρατηρηθεί ότι προαιρετικά προγράμματα έχουν συνήθως μια αρχική συμμετοχή 25%, η οποία με κατάλληλη διαφήμιση και εκπαίδευση του κοινού μπορεί να φθάσει το 60%. Αντίθετα, υποχρεωτικά προγράμματα φθάνουν σε συμμετοχή μέχρι και 95%.



# Ανακύκλωση – Τεχνική περιγραφή

## 1. Ανακύκλωση σε Μονάδα Μηχανικής Διαλογής και Ανάκτησης Υλικών

- Υψηλότερο κόστος επεξεργασίας.
- Περιορισμένη καθαρότητα υλικών στην εκροή → προβλήματα διάθεσης.

## 2. Ανακύκλωση στην Πηγή και Ανάκτηση σε Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών

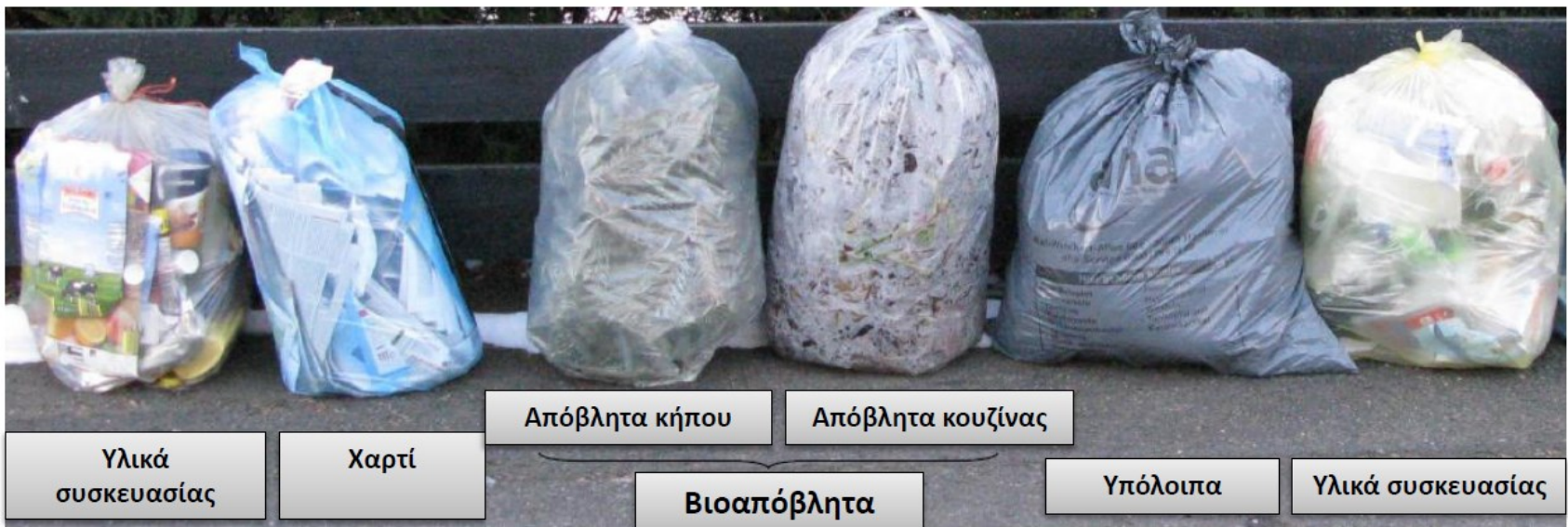
- Κοινωνική συμμετοχή.
- Συλλογή ενός αριθμού υλικών σε ένα μοναδικό ρεύμα και σχεδιασμός του ΚΔΑΥ για να επεξεργαστεί αυτό το σύνθετο ρεύμα → Υφιστάμενη κατάσταση
- Ξεχωριστά ρεύματα υλικών (πλαστικά, χαρτί/χαρτόνι, μέταλλα και γυαλί) και κάδοι (νέα Οδηγία Πλαίσιο).
- Δημιουργία Οικολογικών Πάρκων Ανακύκλωσης (Eco-Points/Parks)
- Δημιουργία δευτερογενούς αγοράς αξιοποίησης (έπιπλα, ενδύματα, κλπ.).
- Άλλες δράσεις...

# Ανακύκλωση – Τάσεις

- Συνεχής ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού (από την προσχολική ηλικία).
- Υψηλότερα επίπεδα ανακύκλωσης υλικών.
- Εφαρμογή φόρου διάθεσης σε ΧΥΤ (landfill tax) και φόρου καύσης (incineration tax).
- Περισσότερη αυτοματοποίηση της διαδικασίας.
- Βελτιστοποίηση εξοπλισμού: οπτικοί διαχωριστές για γυαλί και πλαστικό, διάφορα είδη κόσκινων για διαχωρισμό του χαρτιού, κλπ.



# Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας ΑΣΑ



# Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας ΑΣΑ

- Οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας, μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε απόβλητα που επιδέχονται τέτοιας μορφής επεξεργασία, δηλαδή σε βιοαποδομήσιμα ή ζυμώσιμα ή οργανικά απόβλητα.
- Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται:
  - **αγροτικών αποβλήτων και υπολειμμάτων** (*κοπριές, φυτικά υπολείμματα καλλιεργειών, φύλλα ελιάς, απόβλητα εκκοκκιστηρίων βάμβακος, ελαιοπυρήνας, κλπ.*),
  - πολλά **στερεά απόβλητα και ιλύς** από *βιομηχανίες τροφίμων ή από βιολογικούς καθαρισμούς αστικών λυμάτων* καθώς και το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών αποβλήτων.



# Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας ΑΣΑ

Οι μονάδες βιολογικής επεξεργασίας μπορούν να δεχθούν:

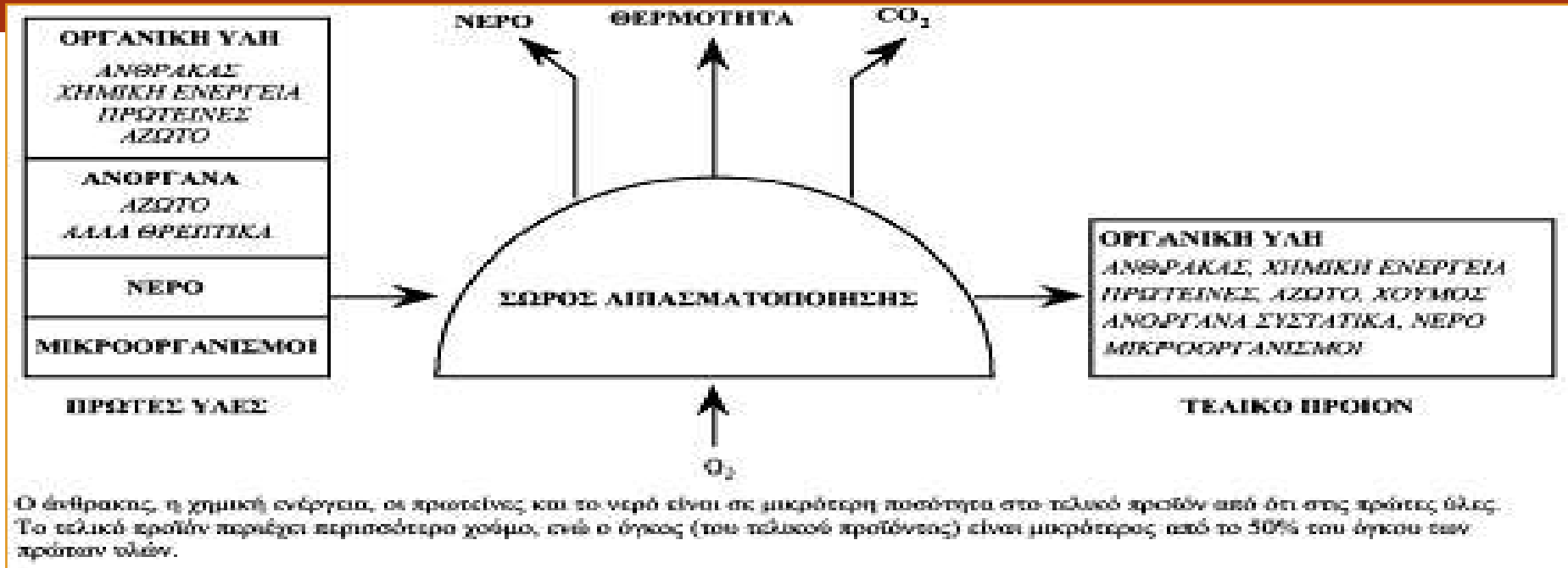
- Το **βιοαποδομήσιμο κλάσμα** μετά από **διαλογή στην πηγή (δσΠ)**, το οποίο **μεσα από μια αερόβια φάση βιοσταθεροποίησης** μπορεί να μετατραπεί σε «κομπόστ» και χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα, χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων και πολλές διεξόδους αξιοποίησης (π.χ. ως εδαφοβελτιωτικό)
- Ένα **εμπλουτισμένο σε βιοαποδομήσιμα υλικά κλάσμα**, που προέρχεται από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής.
  - Δεδομένου ότι η **μηχανική διαλογή** (: δηλαδή οι μηχανικοί διαχωρισμοί με χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού όπως κόσκινα, μαγνήτες, κλπ), **εφαρμόζεται σε σύμμεικτα απορρίμματα** → η **ποιότητα** εμπλουτισμένου αυτού **κλάσματος** και κατ' επέκταση του προϊόντος μετά τη βιολογική επεξεργασία, **εξαρτάται από τις επιμέρους διεργασίες** της μηχανικής διαλογής.
  - Σε κάθε περίπτωση όμως η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του κομπόστ που περιγράφηκε παραπάνω, γι' αυτό και συνήθως αναφέρεται ως υλικό «τύπου κομπόστ».

# Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας (Βασικές μορφές)

- Κομποστοποίηση (αερόβια, θερμοφιλή βιο-οξειδωση): Οι ανθρωπογενείς ενέργειες που έχουν ως σκοπό να επιταχύνουν και να καθοδηγήσουν τις φυσικές διεργασίες βιοαποδόμησης των οργανικών υπολειμμάτων.
  - Αερόβια: οδηγεί στην παραγωγή ενός σταθεροποιημένου υλικού (κομπόστ) υψηλής ποιότητας ή υλικό τύπου κομπόστ),
  - Βιολογική ξήρανση: οδηγεί στην παραγωγή δευτερογενούς καυσίμου εμπλουτισμένου σε βιοαποδομήσιμα υλικά και υψηλής θερμογόνου δύναμης,
- Αναερόβια χώνευση: η ελεγχόμενη βιολογική διεργασία κατά την οποία το οργανικό υλικό, απουσία  $O_2$  (: αναερόβιες συνθήκες), μετατρέπεται σε βιοαέριο (: ένα μίγμα  $CH_4$  και  $CO_2$  το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας), ενώ παράγεται και ενός είδους, σχετικά σταθεροποιημένου, υδαρές υπόλειμμα.



# Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία - Κομποστοποίηση



- Η κομποστοποίηση βασίζεται στη δράση μικροοργανισμών, οι οποίοι διασπούν τις οργανικές ενώσεις που περιέχονται στο υλικό εισόδου (:οργανικό ή ζυμώσιμο κλάσμα των στερεών απορριμμάτων).

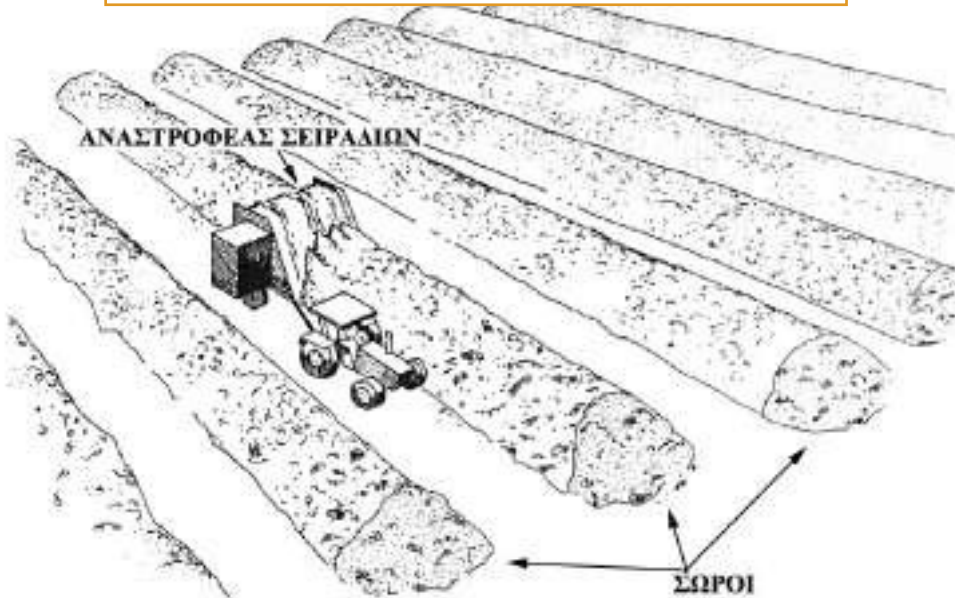


# Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία - Κομποστοποίηση

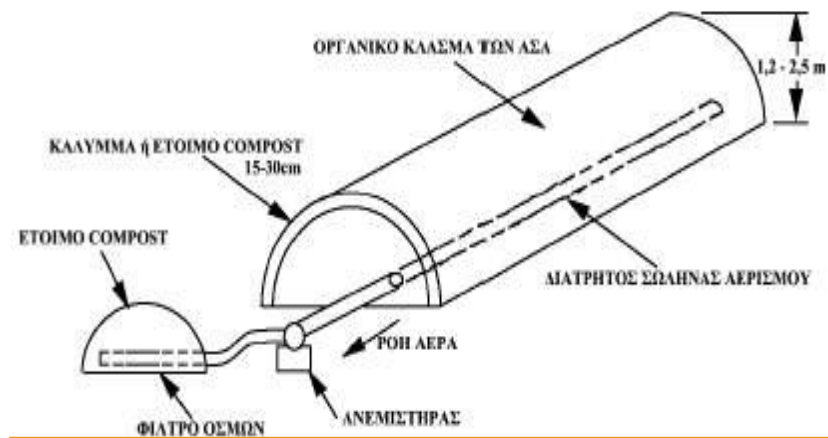
- Σωρός Λιπασματοποίησης-Κομποστοποίησης: Περιλαμβάνει κυρίως τα συστατικά των στερεών απορριμμάτων από την αυλή και τον κήπο (**οργανική ύλη**).
- (2<sup>ος</sup> συμπληρωματικός ορισμός) Κομποστοποίηση: Είναι η **αερόβια διάσπαση** αυτής της **οργανικής ύλης με την βοήθεια βακτηρίων και μυκήτων** για την παραγωγή ενός τελικού προϊόντος. Η διαδικασία **διάσπασης διαρκεί συνήθως 20-30 ημέρες**.
- Το τελικό προϊόν είναι ένα **σταθεροποιημένο στερεό υλικό**, το οποίο ονομάζεται **κομπόστ**, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί:
  - στην τελική επικάλυψη χώρων ταφής απορριμμάτων,
  - ως εδαφοβελτιωτικό στη γεωργία ή
  - για άλλες χρήσεις (σε πάρκα, παρτέρια, κήπους, κλπ).
- Παράλληλα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παράγεται  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  και θερμότητα.

# Είδη Κομποστοποίησης

Μέθοδος αναδευόμενων σωρών



Μέθοδος Βιοαντιδραστήρων

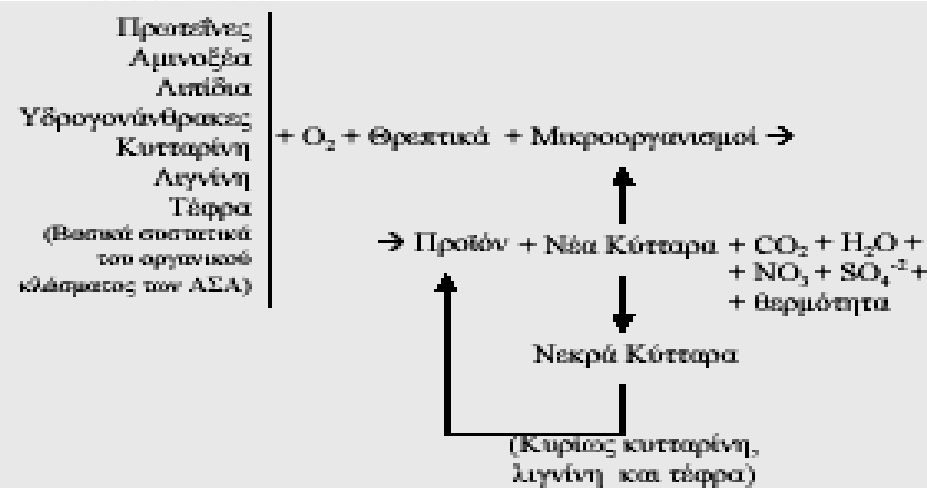


Μέθοδος δυναμικά αεριζόμενων σωρών

# Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία - Κομποστοποίηση

Οι βιολογικές διεργασίες μπορούν να χωριστούν σε δύο στάδια:

- Στο πρώτο στάδιο της βιοαποδόμησης λαμβάνουν χώρα οι μικροβιολογικές δραστηριότητες που έχουν σαν αποτέλεσμα την αποδόμηση και την σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών και **διαρκεί 2-8 εβδομάδες** ανάλογα με τα τεχνικά μέσα που χρησιμοποιούνται προς υποστήριξη των βιολογικών διεργασιών.
- Στο στάδιο της ωρίμανσης, το υλικό που παράγεται στο πρώτο στάδιο **αφήνεται να ωριμάσει** για μεγάλο χρονικό διάστημα που ανέρχεται σε **4-12 εβδομάδες** με τελικό προϊόν το ώριμο κομπόστ.
- Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης παρατηρείται περαιτέρω σταθεροποίηση του αρχικού κομπόστ.



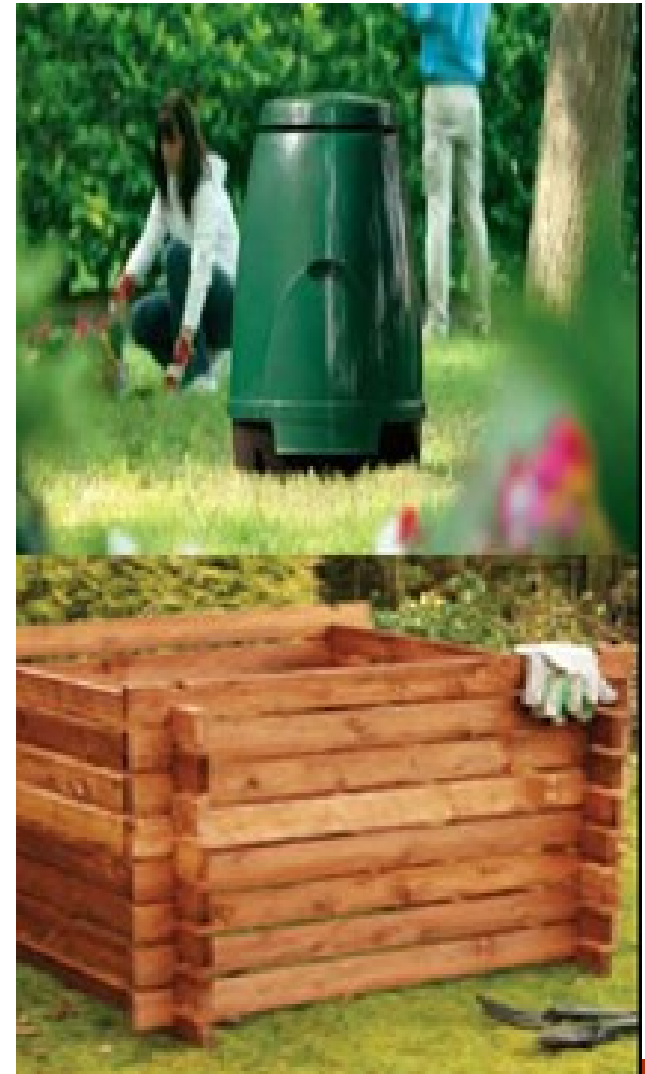
# Χημικοί και Φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης.

Παράγοντες	Βέλτιστες τιμές
<b>Χημικοί</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Υγρασία</li><li>• Λόγος C/N</li><li>• pH</li><li>• Οξυγόνο (O<sub>2</sub>)</li></ul>	40-60% 30/1 6-8 10-15%
<b>Φυσικοί</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Μέγεθος των τεμαχιδίων</li><li>• Θερμοκρασία</li></ul>	- 32-60 °C

# Κομποστοποίηση

## Κομποστοποίηση – Τάσεις

- Απαιτήσεις για υψηλή-καλή ποιότητα κομπόστ → Εφικτό μόνο με διαλογή στην πηγή.
- Πιστοποίηση προϊόντος – εύρεση αγοράς & βιωσιμότητα.
- Σταδιακή μαζική εφαρμογή.
- Τεχνολογίες σε συγκεντρωτικές εγκαταστάσεις (στατικοί σωροί, αεριζόμενοι στατικοί σωροί, βαρυμετρική τράπεζα, κόσκινο, κλειστοί αντιδραστήρες) βελτιστοποιούν κάποιες λειτουργικές παραμέτρους της διαδικασίας.
- Αναερόβιες διαδικασίες με ανάκτηση ενέργειας.



# Κομποστοποίηση

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Φυσική βιολογική διεργασία (δεν βλάπτει το περιβάλλον).
- Συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγής και στη μείωση κατανάλωσης λιπασμάτων.
- Δίνει περιθώρια εφαρμογής στην ανακύκλωση.
- Απαιτεί μικρό χώρο.
- Είναι μια σχετικά αποδεκτή μονάδα όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Αργός ρυθμός της διαδικασίας
- Πλήθος απροβλέπτων παραμέτρων που δυσχεραίνουν τον έλεγχο της διαδικασίας
- Απαραίτητη η διάθεση του προϊόντος

# Αναερόβια βιολογική επεξεργασία – Αναερόβια ζύμωση ή χώνευση

→ Κατά την αναερόβια βιολογική επεξεργασία (αναερόβια ζύμωση-χώνευση), πραγματοποιείται **ελεγχόμενη αποδόμηση των οργανικών ουσιών με τη βοήθεια μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου.**

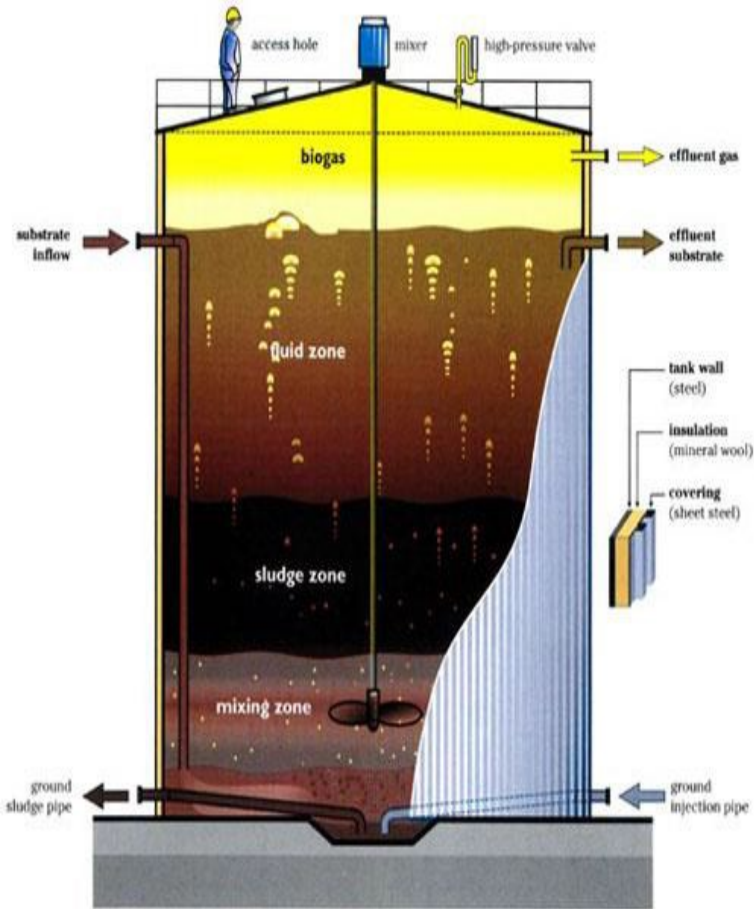
- **Αποτέλεσμα της διεργασίας:** Η παραγωγή **σταθεροποιημένου οργανικού υλικού** (υδαρούς υπολείμματος) και **αερίου (βιοαέριο)** υψηλής περιεκτικότητας σε μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας π.χ. σε συστήματα θερμικής επεξεργασίας στερεών αποβλήτων.
- Η αναερόβια επεξεργασία γίνεται σε κλειστούς αντιδραστήρες υπό ελεγχόμενες συνθήκες, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, τη μείωση του όγκου των ΑΣΑ και τη βιολογική σταθεροποίησή τους.

# Αναερόβια βιολογική επεξεργασία – Αναερόβια ζύμωση ή χώνευση

- Η τεχνολογία της αναερόβιας ζύμωσης αναπτύχθηκε αρχικά για την επεξεργασία ρευστών κτηνοτροφικών και αγροτικών αποβλήτων και της ιλύος των βιολογικών καθαρισμών.
- Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση των εγκαταστάσεων που επεξεργάζονται το οργανικό κλάσμα των βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ



# Αναερόβια βιολογική επεξεργασία – Αναερόβια ζύμωση ή χώνευση



Η επεξεργασία σε μονάδες αναερόβιας ζύμωσης περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στάδια, τα οποία είναι:

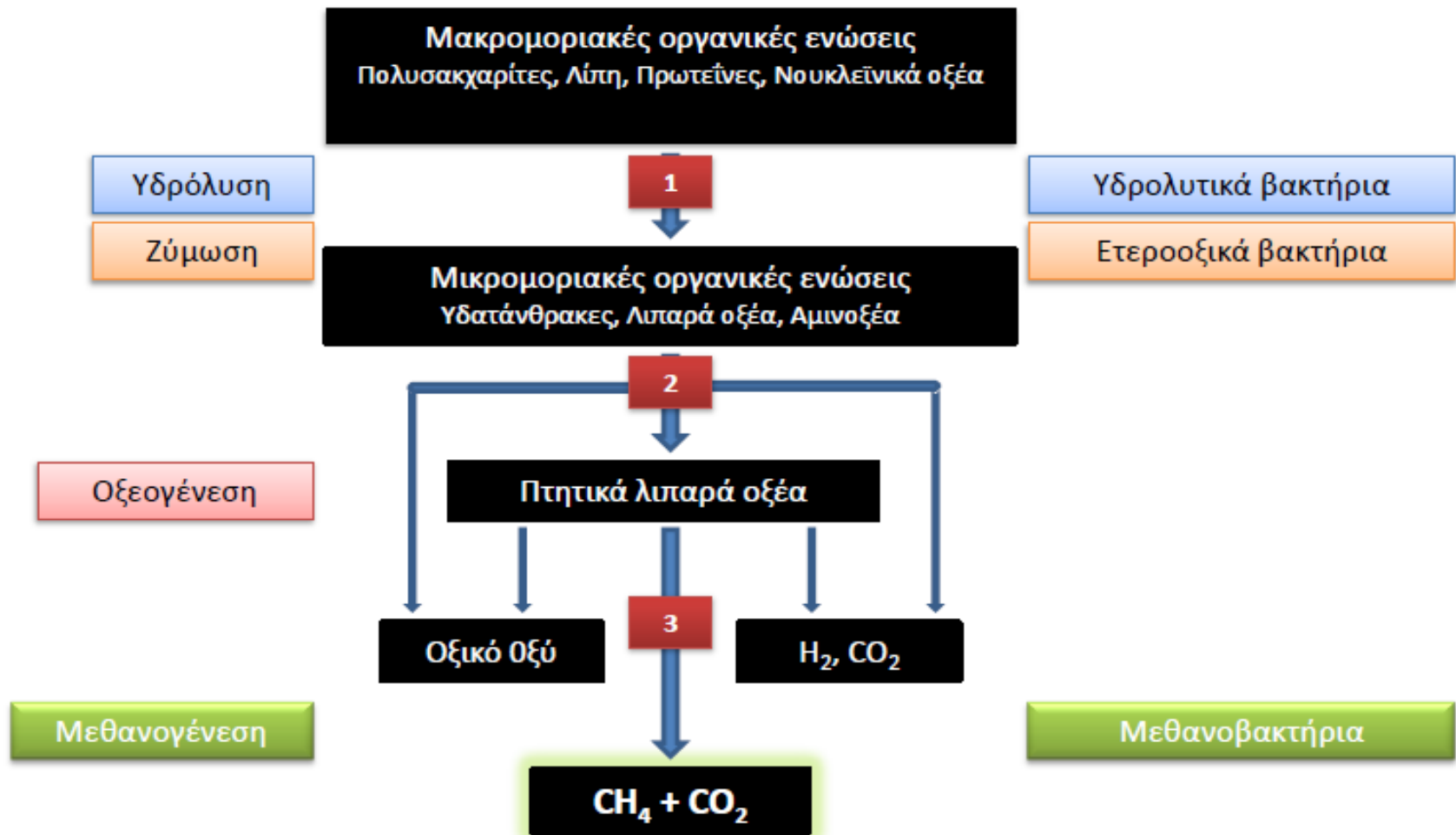
- Η προεπεξεργασία του ρεύματος των αποβλήτων,
- Η αναερόβια χώνευση στον αντιδραστήρα,
- Η ανάκτηση του βιοαερίου,
- Η επεξεργασία των υπολειμμάτων της ζύμωσης

# Αναερόβια βιολογική επεξεργασία – Αναερόβια ζύμωση ή χώνευση

Οι βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις διακριτές φάσεις

1. **Υδρόλυση** των πολυμερών οργανικών ενώσεων (λίπη, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες) με τη βοήθεια ενζύμων που εκλύονται από υδρολυτικά βακτήρια και μετατροπή τους σε υδατοδιαλυτά προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους (μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, κλπ).
2. **Ζύμωση** των παραπάνω διαλυτών προϊόντων και μετατροπή τους σε μια ποικιλία ενδιάμεσων προϊόντων (όπως μικρού μήκους οργανικά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία).
3. **Οξεογένεση** , δηλαδή παραγωγή οξικού οξέος, διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου από τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου με τη βοήθεια υποχρεωτικά οξεογενών βακτηρίων. Στη φάση αυτή το διοξείδιο του άνθρακα είναι το κύριο συστατικό του βιοαερίου.
4. **Μεθανογένεση**, κατά την οποία τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από τα μεθανογενή βακτήρια.

# Αναερόβια βιολογική επεξεργασία – Αναερόβια ζύμωση ή χώνευση



Υδατάνθρακες  
 $C_6H_{12}O_6$

Υδρόλυση

Οργανικά οξέα  
 $CH_3COOH$   
 $CH_3CH_2COOH$   
 $CH_3CH_2CH_2COOH$   
Αλκοόλες,  
Κετόνες,  
Αέρια ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ )  
Ένζυμα, Βιταμίνες, κ.λ.π.

Οι αντιδράσεις αυτές γίνονται από υδρολυτικά βακτήρια παράλληλα με τις αλκαλικές αντιδράσεις που αναφέρονται πάρα κάτω και μάλιστα κατά τρόπο ώστε να μην μεταβάλλεται το pH και το οξειδοαναγωγικό δυναμικό στο εσωτερικό των δεξαμενών που θα είχε σαν αποτέλεσμα να καταστραφούν οι μικροοργανισμοί και συνεπώς να τεθούν εκτός λειτουργίας οι δεξαμενές σήψης.

$CH_3CH_2COOH$   
 $CH_3CH_2CH_2COOH$

Οξεογένεση

$CH_3COOH$

$CO_2$   
 $H_2$

Μεθανογένεση

Μεθάνιο  
( $CH_4$ )



Χημειοαυτότροφα βακτήρια μετατρέπουν το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα σε μεθάνιο.



Μια δεύτερη ομάδα μεθανοβακτηρίων μετατρέπουν το οξικό και μυρμηκικό οξύ σε μεθάνιο.

# Αναερόβια βιολογική επεξεργασία – Αναερόβια ζύμωση ή χώνευση

- Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από την καλή ισορροπία και συνύπαρξη των παραπάνω ομάδων μικροοργανισμών, καθώς καμία από τις ομάδες δεν μπορεί να λειτουργήσει μόνη της.
- Π.χ. αν εκλείψουν τα αργά αναπτυσσόμενα μεθανιογενή βακτήρια → το οξικό οξύ και τα άλλα οργανικά οξέα, που παράγονται κατά τις προηγούμενες φάσεις, δεν θα αποδομούνται → η οξύτητα του συστήματος θα αυξηθεί σταδιακά σε επίπεδα που θα παρεμποδίζουν, τόσο τη ζύμωση, όσο και την οξεογένεση.
- Λόγω αυτής της αλληλεξάρτησης, η αναερόβια χώνευση είναι αρκετά πιο ευαίσθητη και απαιτητική διεργασία σε σχέση με την κομποστοποίηση και απαιτεί ένα υψηλότερο επίπεδο ελέγχου.

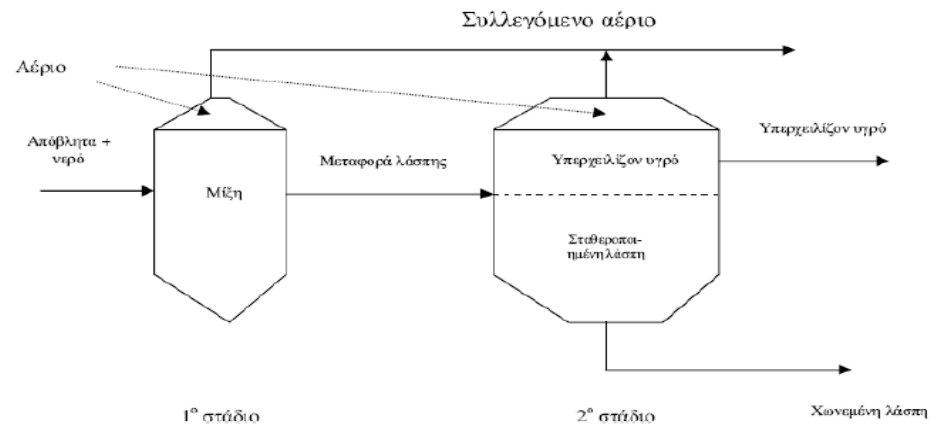
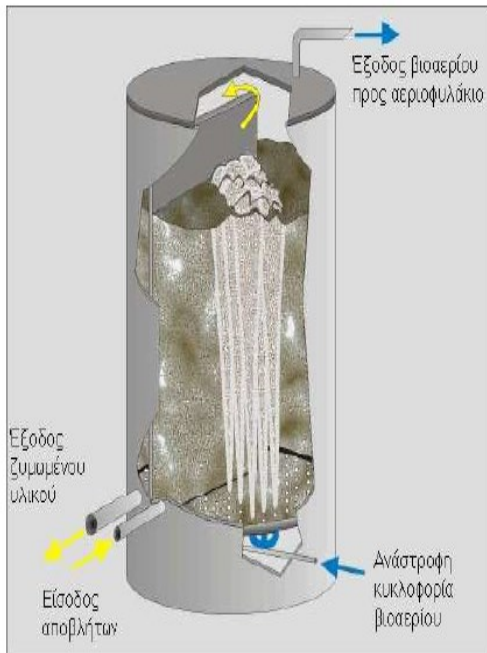
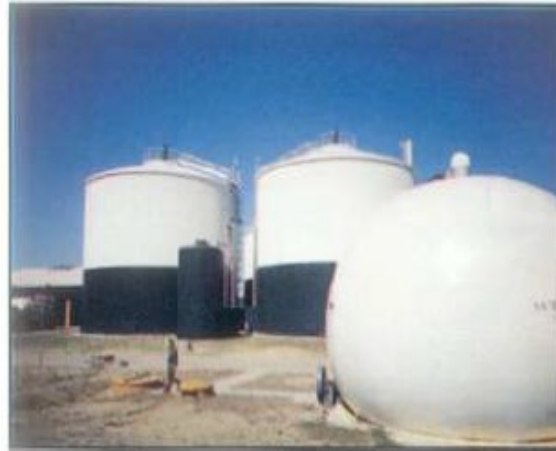
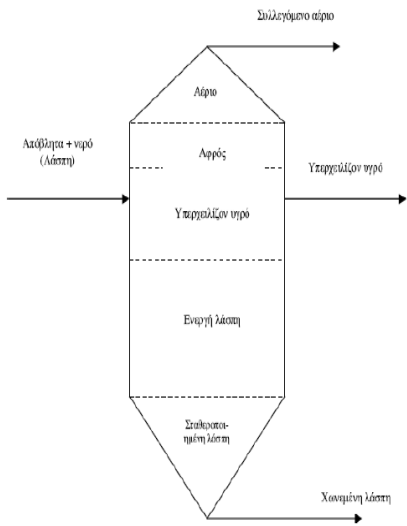
# Αναερόβια ζύμωση ή χώνευση- παράμετροι που προσδιορίζουν την απόδοση

- Οι βέλτιστες συνθήκες για την αναερόβια χώνευση αστικών απορριμμάτων είναι: Η μεσόφιλη θερμοκρασία των 30 – 40 °C και η θερμόφιλη θερμοκρασία των 50 – 65 °C
- Το βέλτιστο μέγεθος των σωματιδίων εξαρτάται από το βαθμό βιοδιασπασιμότητας του υποστρώματος.
  - Το σχετικά μικρό μέγεθος των στερεών κατάλληλο για μέτρια βιοαποδομήσιμου υποστρώματος (π.χ. χαρτί).
  - Για τα ταχέως βιοαποδομήσιμα απορρίμματα (π.χ. τροφικά υπολείμματα) το μικρό μέγεθος αποτελεί μειονέκτημα καθώς οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων οξέων, τα οποία μειώνουν το pH και ως αποτέλεσμα αναστέλλεται η ανάπτυξη συγκεκριμένων βακτηρίων, τα οποία συμβάλλουν στη μεθανογέννεση.
- Υγρασία ~95% για τα κλασικά συστήματα και ~80% για τα συστήματα με υψηλό περιεχόμενο στερεών .
- Αναλογία C/N από 25 – 30 αν πρόκειται για ταχεία ή μέτρια βιοαποδομήσιμα υλικά (π.χ. χαρτί, τροφικά υπολείμματα), ενώ αν πρόκειται για βραδέως βιοαποδομήσιμα υλικά, η αναλογία μπορεί να είναι έως 40.
- Η απουσία τοξικών ενώσεων στο υπόστρωμα.

# Αναερόβια ζύμωση ή χώνευση- παράμετροι που προσδιορίζουν την απόδοση

- Στα κλασικά συστήματα, η χώνευση λαμβάνει χώρα σε κλειστούς αντιδραστήρες. Πριν τη χώνευση, το οργανικό κλάσμα ανακατεύεται με νερό.
- Στα 'υγρά' συστήματα απαιτείται ο σχηματισμός ενός μίγματος νερού και στερεών υλικών με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΙΞΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΔΙΩΝ
Μεσόφιλο (~35 °C)	Χαμηλά στερεά (<10% ξ.ο.)	Μηχανική ανάδευση	Ενός σταδίου (ένας αντιδραστήρας)
Θερμόφιλο (~55 °C)	Μεσαία στερεά (10-25% ξ.ο.)	Ανάδευση μέσω των αερίων	Πολλαπλών σταδίων
	Υψηλά στερεά (>25% ξ.ο.)	Στρωτής ροής	
		Διακοπτόμενης τροφοδοσίας	



# Αναερόβια ζύμωση ή χώνευση

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ της αναερόβιας ζύμωσης σε μονάδες

- Η ύπαρξη ενός κλειστού συστήματος καθιστά δυνατή τη συλλογή και εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου, σε αντίθεση με τους χώρους διάθεσης, όπου συλλέγεται μόνο το 30-40% της συνολικής παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου.
- Το βιοαέριο που παράγεται σε μονάδα περιέχει περισσότερο μεθάνιο και επομένως έχει υψηλότερη θερμογόνο δύναμη.
- Καθίσταται δυνατή η ανάκτηση υλικών (κομπόστ).
- Η διαδικασία της βιοαποδόμησης είναι ταχύτερη από την αντίστοιχη των χώρων διάθεσης, όπου ορισμένα υλικά συνεχίζουν να βιοαποδομούνται μέχρι και 100 χρόνια.
- Οι μονάδες είναι ερμητικά κλεισμένες, οπότε αποφεύγεται η εκπομπή οσμών
- Οι απαιτούμενες εκτάσεις είναι πολύ μικρότερες από αυτές των χώρων διάθεσης.

## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ στις μονάδες αναερόβιας ζύμωσης είναι:

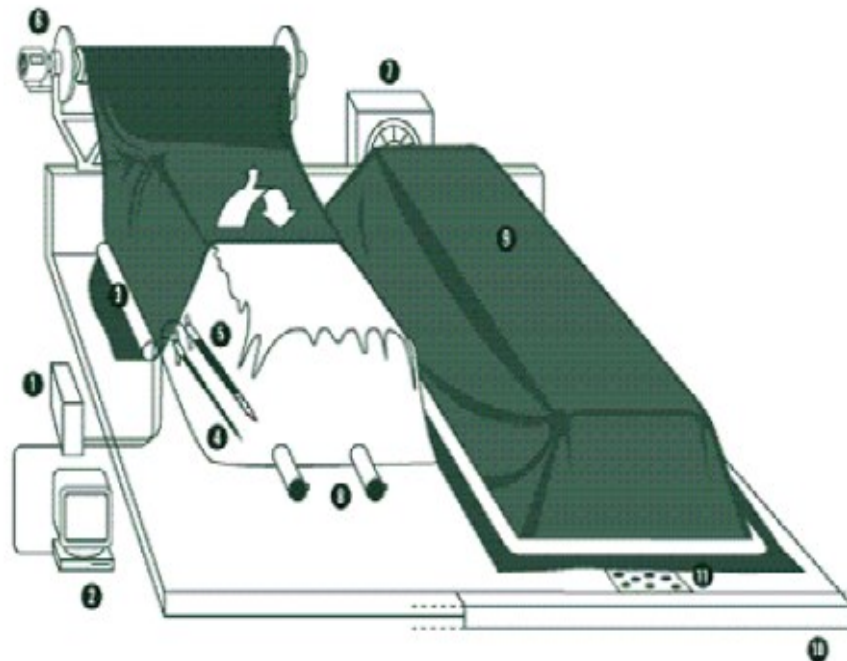
- Υψηλότερο κόστος συλλογής του βιοαερίου από το αντίστοιχο ενός χώρου διάθεσης.
- Πολύπλοκη τεχνολογία και απαίτηση συνεχούς επίβλεψης.
- Επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε μονάδα βιολογικού καθαρισμού

# Βιολογική Ξήρανση

- Αποτελεί **τεχνική προεπεξεργασίας** των ΑΣΑ με στόχο την ενεργειακή αξιοποίησή τους.
- Ειδικότερα **στοχεύει στη μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ** και κατά επέκταση **του όγκου τους**, στη **διευκόλυνση του μηχανικού διαχωρισμού** των άχρηστων υλικών και στην **παραγωγή SRF** (Specified Recovered fuel).
- Με τη μέθοδο αυτή **το νερό που βρίσκεται στα απόβλητα απομακρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας**.
- Η πιο **σημαντική παράμετρος** που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο **βαθμός ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες**.
- Οι ξηραντήρες είναι συνήθως είτε **κλειστές δεξαμενές εντός βιομηχανικών κτιρίων** είτε **κουτιά ορθογώνιου σχήματος (bio-boxes)** τα οποία είναι αεροστεγώς κλειστά ώστε να αποφεύγονται οι εκπομπές οσμών και άλλων αερίων.



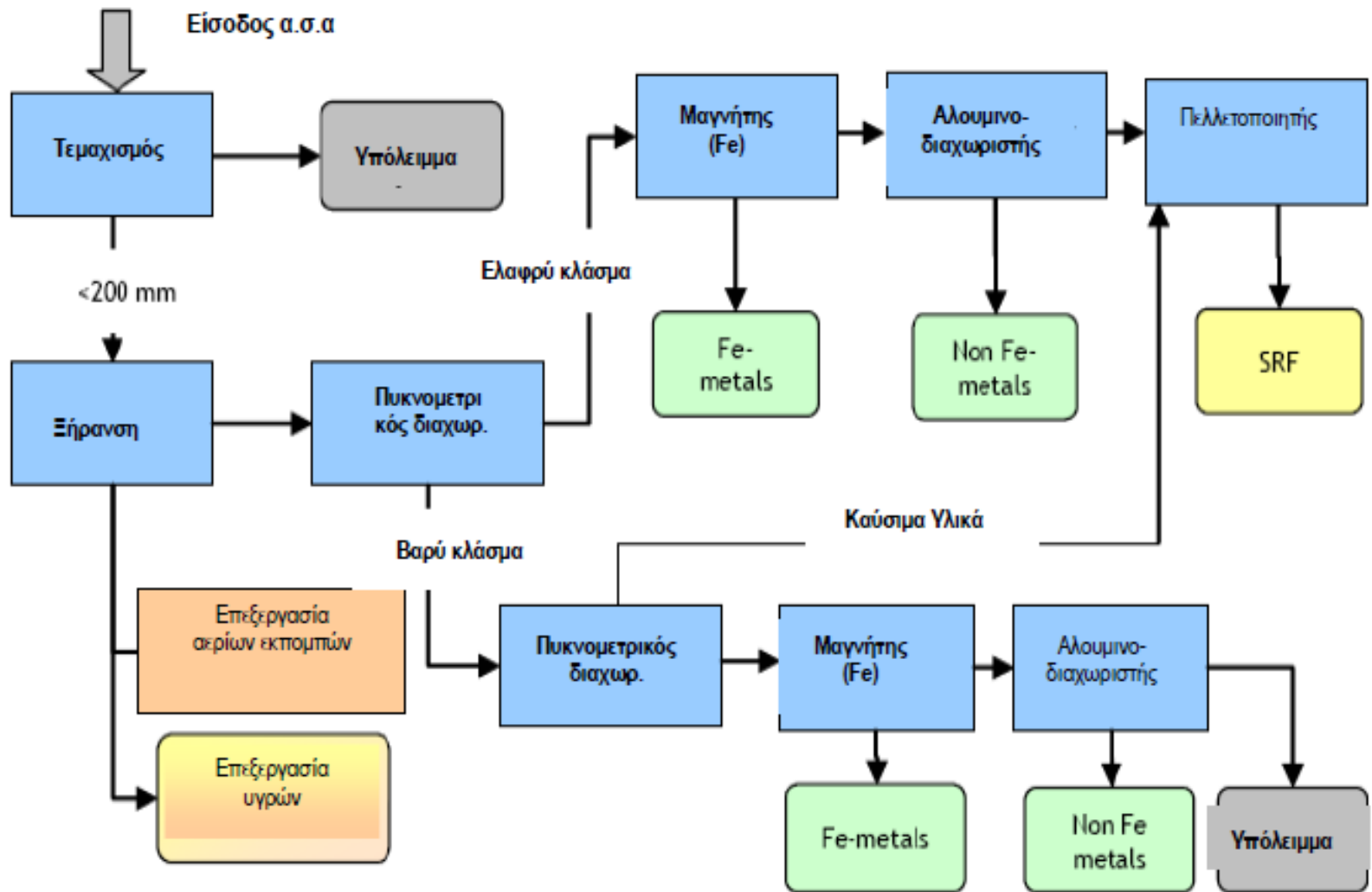
1. Σύστημα ελέγχου
2. Η/Υ
3. Συγκρότηση μεμβράνης
4. Σένσορας θερμοκρασίας
5. Σένσορας O<sub>2</sub> / θερμοκρασίας
6. Σύστημα τοποθέτησης
7. Σταθμός παραγωγής αέρα
8. Αγωγοί προσαγωγής αέρα τύπου "on floor"
9. Μεμβράνη
10. Αποχέτευση στραγγισμάτων
11. Κανάλια αερισμού τύπου "in floor"



Κλειστό bio-box

Ανοιγμένο bio-box





# Θερμική επεξεργασία αποβλήτων

# Θερμική επεξεργασία αποβλήτων

- **Σκοπός:** η ελάττωση του όγκου τους, η μετατροπή τους σε υλικά μη επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία και η κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της περιεχόμενης στα απόβλητα ενέργειας ως θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα ή καύσιμο υλικό (ΚΥΑ 114218, 1997).
- Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες μετατροπής του περιεχομένου τους σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη αποδέσμευση θερμικής ενέργειας.
- Οι τεχνικές θερμικής επεξεργασίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:
  - Αποτέφρωση – καύση (incineration - combustion)
  - Αεριοποίηση (gasification)
  - Πυρόλυση (pyrolysis)
  - Τεχνική του πλάσματος (plasma technology)

# Θερμική επεξεργασία αποβλήτων

Τα φυσικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στις θερμικές διεργασίες (: ξήρανση, πυρόλυση, αεριοποίηση και καύση) μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

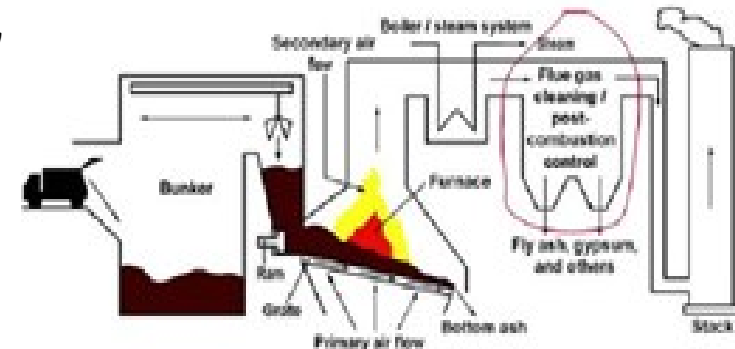
Στάδια Διεργασίας	Ξήρανση	Πυρόλυση	Αεριοποίηση	Καύση
Στάδιο 1	Ξήρανση	Ξήρανση	Ξήρανση	Ξήρανση
Στάδιο 2		Πυρόλυση (απαεριοποίηση)	Πυρόλυση (απαεριοποίηση)	Πυρόλυση (απαεριοποίηση)
Στάδιο 3			Αεριοποίηση	Αεριοποίηση
Στάδιο 4				Καύση

# Θερμική επεξεργασία αποβλήτων

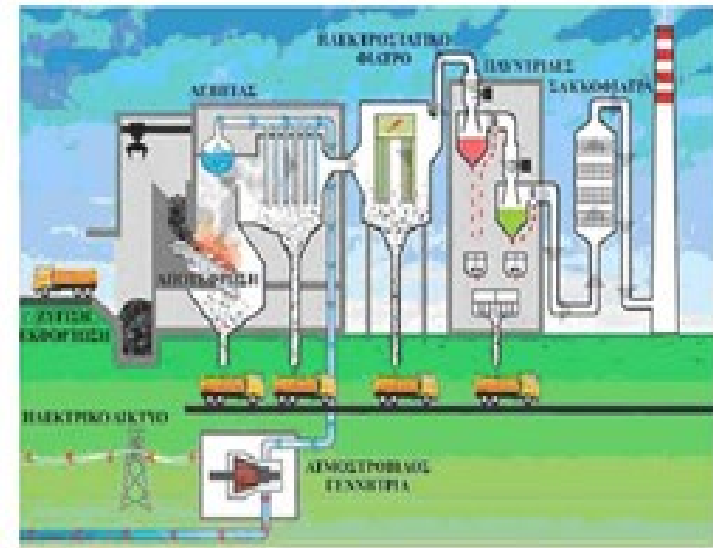
- Γενικά, τη διαδικασία της θερμικής επεξεργασίας των αποβλήτων επηρεάζουν οι εξής παράμετροι:
  - Η ομοιογένεια των αποβλήτων.
  - Το μέγεθος των κόκκων ή τεμαχίων των αποβλήτων, καθώς και η κατανομή τους.
  - Η ειδική επιφάνειά τους.
  - Η θερμική αγωγιμότητά τους.
  - Η θερμοκρασία ανάφλεξης.
  - Η δυνατότητα αποθήκευσης.
  - Το ειδικό βάρος.
  - Η θερμογόνος τιμή της καύσιμης ύλης.
  - Η ποσοτική σύνθεση της υπό καύση ύλης, στάχτη και νερό.
  - Η περιεκτικότητα σε πτητικά.
  - Η περιεκτικότητα σε βλαβερές ουσίες.
  - Η τήξη της τέφρας.

# Αποτέφρωση – καύση

- Η **αποτέφρωση (ή καύση)** των στερεών απορριμμάτων περιλαμβάνει την **ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών** (850 - 1500 °C), με παρουσία φλόγας, για την **οξειδωση** των επιμέρους στοιχείων τους, δηλαδή την ένωσή τους με το οξυγόνο.



- **Στόχος διεργασίας:** Η εξάτμιση, η αποσύνθεση και/ή η καταστροφή των οργανικών στοιχείων των απορριμμάτων, **παρουσία οξυγόνου** (είτε σε στοιχειομετρική αναλογία, είτε σε περίσσεια), καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του προς τελική διάθεση όγκου τους.

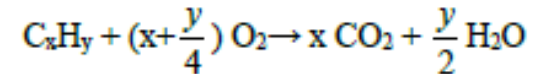
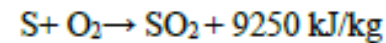
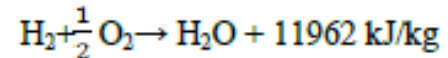
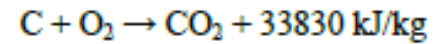


# Αποτέφρωση – Καύση

Προϋποθέσεις για την επίτευξη πλήρους καύσης (στοιχειομετρικός συντελεστής του αέρα  $n=1$ ) των αποβλήτων :

- επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου ( $O_2$ ) στην εστία καύσης.
- επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης.
- σωστή αναλογία μίγματος (καύσιμης ύλης - οξυγόνου).
- συνεχής απομάκρυνση των αερίων τα οποία παράγονται κατά την καύση.
- συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης.

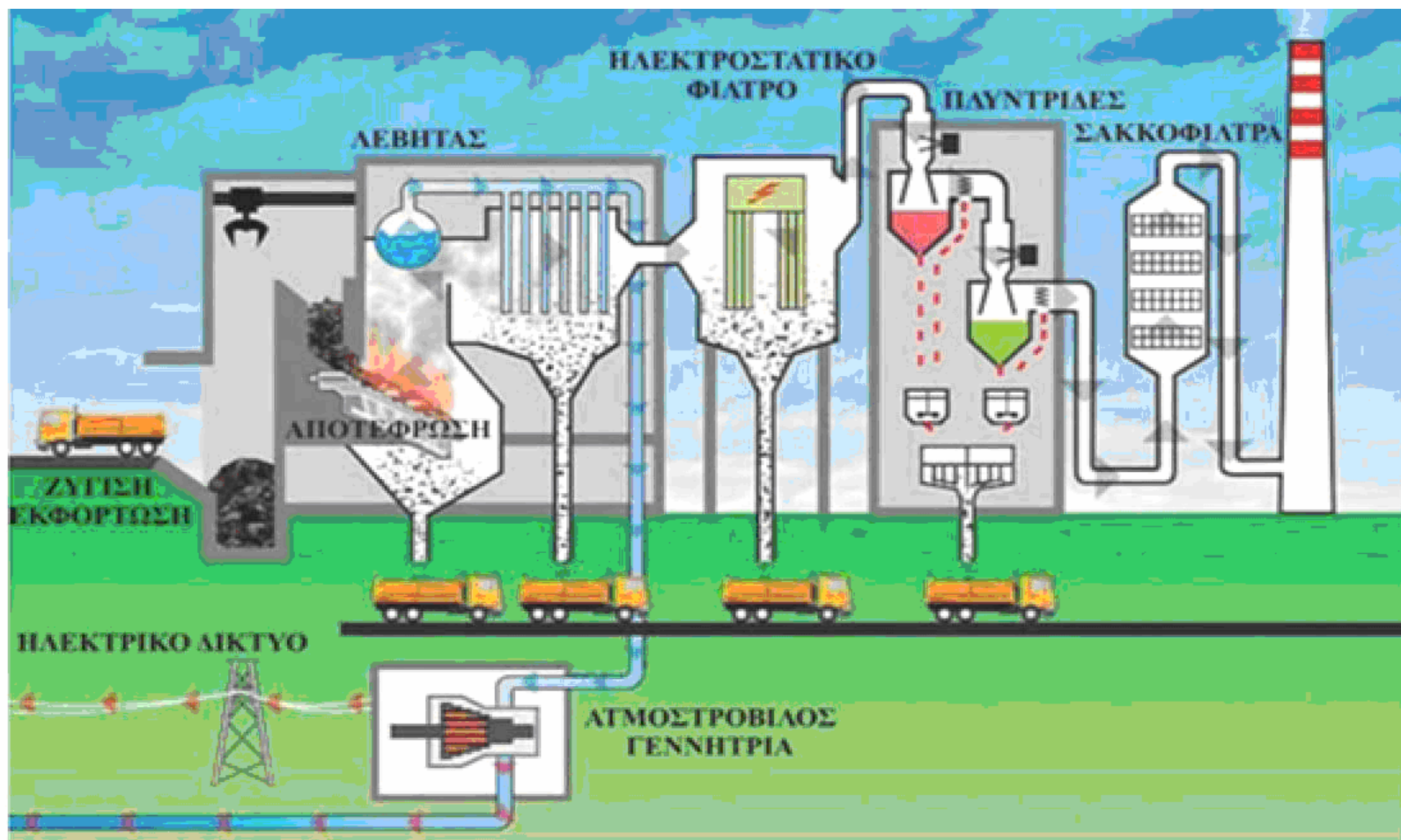
- Πλήρης καύση:



Οι μονάδες καύσης μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με τον τρόπο που κινούν τα απόβλητα μέσα στην ζώνη καύσης. Οι πιο συχνές μορφές είναι:

- **Κινούμενων εσχάρων.**
- **Περιστρεφόμενου κλιβάνου.**
- **Ρευστοποιημένης κλίνης.**

# Τυπική μονάδα καύσης-αποτέφρωσης ΑΣΑ με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας



# Αποτέφρωση – Καύση: Τελικά προϊόντα

- Από τη διαδικασία της αποτέφρωσης ΑΣΑ προκύπτουν 3 είδη αποβλήτων: αέρια, υγρά, στερεά.

## Αέρια

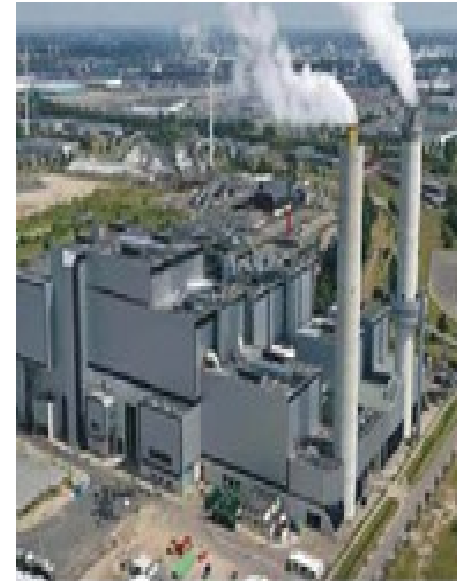
- Κατά την καύση, εκτός των τυπικών προϊόντων ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , ατμός,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ), παράγεται ανάλογα με την ποιότητα των αποβλήτων και μια σειρά άλλων ουσιών, όπως  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ , πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες (**διοξίνες, φουράνια**) κλπ.
- Πολύ σημαντική παράμετρος είναι το περιεχόμενο των αερίων σε ιπτάμενη τέφρα και αιωρούμενα στερεά.
- Κατά την αποτέφρωση προκύπτουν περίπου 4-5000 m<sup>3</sup> καυσαερίων ανά τόνο απορριμμάτων.

# Αποτέφρωση – Καύση

## Στερεά

- **τέφρα που παράγεται στο χώρο της καύσης** (απομακρύνονται μετά την εσχάρα),
- **τέφρα από τους λέβητες** (υπολείμματα τα οποία δημιουργούνται στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων και συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα),
- **ιπτάμενη τέφρα και σκόνη που κατακρατείται στα φίλτρα** (συγκεντρώνεται στις χοάνες κάτω από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα ή σακκόφιλτρα) και
- **υπολείμματα** τα οποία παράγονται από τα συστήματα καθαρισμού των αερίων.

\* Η ποσότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση των αποβλήτων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης



# Αποτέφρωση – Καύση

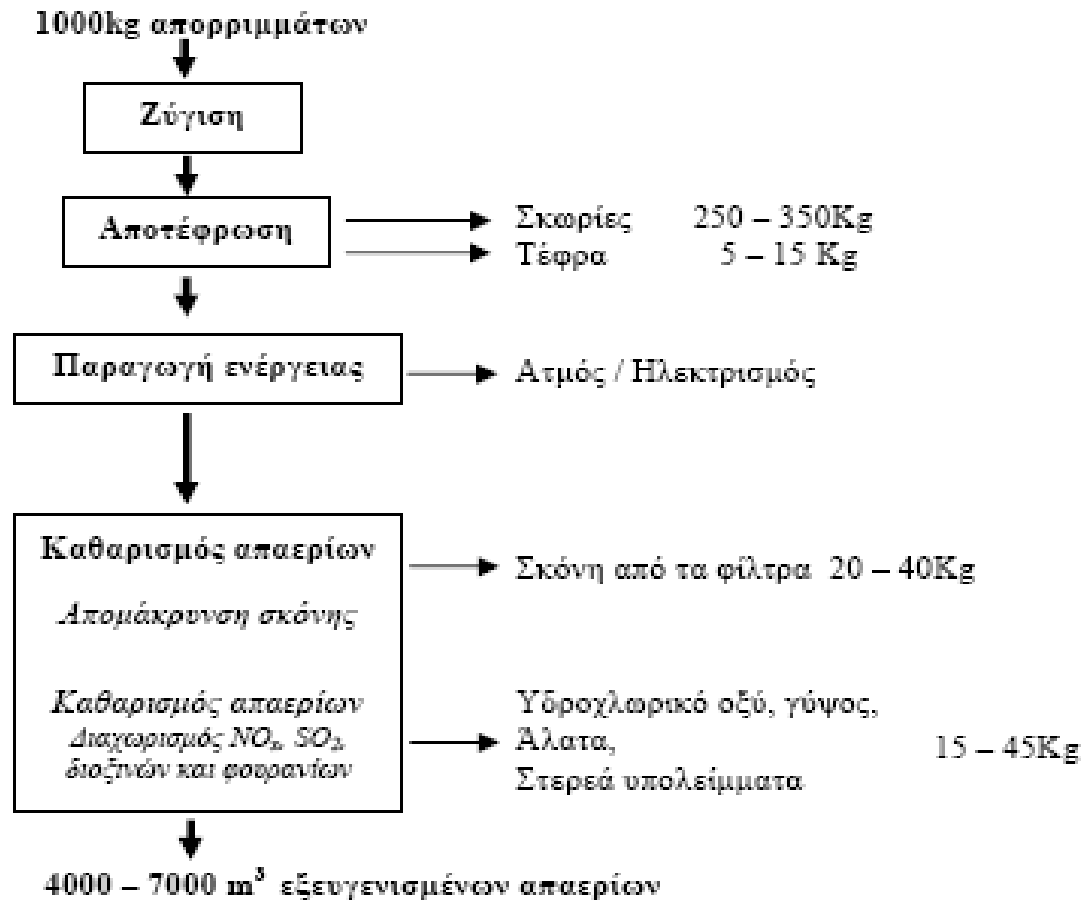
## Υγρά

Κατά την αποτέφρωση, νερό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σε τέσσερα σημεία:

- **Σβέση τέφρας** ( $0,1 \text{ m}^3$  νερού/1 tn απορριμμάτων)
- **Ψύξη αερίων** ( $2 \text{ m}^3$  νερού/1 tn απορριμμάτων)
- **Πύργοι υγρής απορρόφησης** ( $2 \text{ m}^3$  νερού/1 tn απορριμμάτων)
- Σε ηλεκτροστατικά φίλτρα

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια, καθώς και ανόργανες και οργανικές ουσίες. → Απαιτείται επεξεργασία πριν την απόρριψη

# Αποτέφρωση – Καύση



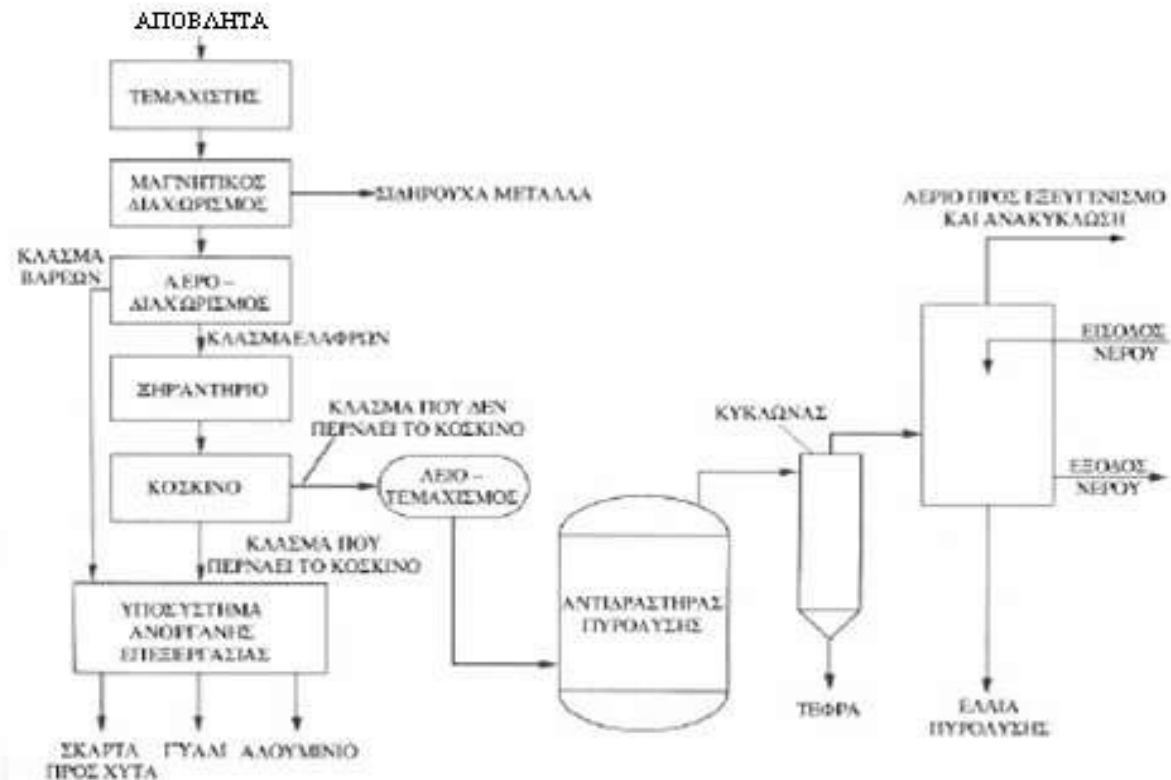
# Πυρόληση

- Ορίζεται ως η **θερμική αποσύνθεση** ενός υλικού σε συνθήκες απουσίας οξειδωτικού μέσου (π.χ. αέρα ή  $O_2$ ). Πρακτικά, η ολική εξάλειψη  $O_2$  είναι δύσκολή, γι' αυτό πάντα επικρατούν συνθήκες μερικής οξείδωσης.
- **Βασίζεται** στο γεγονός ότι οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι **θερμικά ασταθείς** και κατά τη **θέρμανσή** ( $400-800\text{ }^\circ\text{C}$ ) τους **απουσία οξυγόνου** διαχωρίζονται μέσω ενός συνδυασμού θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα.
- Η πυρολυτική διεργασία είναι **ισχυρά ενδόθερμη** και για τη διεξαγωγή της απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας.
- **Βασικές παράμετροι** για την εφαρμογή της αποτελούν: η **σύσταση** των στερεών αποβλήτων, η **θερμογόνο δύναμή** τους, η **περιεχόμενη υγρασία κ.λ.π.**

# Πυρόλυση

Τυπικά η πυρόλυση των οξυγονωμένων υδρογονανθράκων σε στερεά μορφή είναι :

**Στερεά  $\rightarrow$   $\text{CO}_2$  +  $\text{CO}$  +  $\text{H}_2\text{O}$  +  $\text{CH}_4$  +  $\text{C}_x\text{H}_y$  +  $\text{NH}_3$  + οργανικά πτητικά μη υγροποιημένα +πίσσα+κωκ**



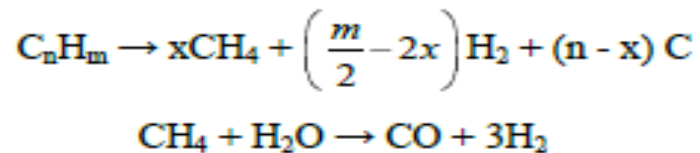
# Πυρόλυση

Με την πυρόλυση των στερεών αποβλήτων σχηματίζονται προϊόντα, όπως:

- **Αέρια:** Αποτελούνται κυρίως από **H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, σωματίδια σκόνης** και διάφορα **άλλα αέρια**, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων.  
→ Τα αέρια αυτά είναι καύσιμα και η θερμογόνο δύναμή τους κυμαίνεται μεταξύ 3.000 και 5.000 kcal/Nm<sup>3</sup>. **Δεν περιέχουν** πρακτικά **NOx**.
- **Υγρό:** Το υγρό κλάσμα είναι **ελαιώδες με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες, περιέχει** απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. **οξικό οξύ**), κετόνες (π.χ. **ακετόνη**), αλκοόλες (π.χ. **μεθανόλη**), καθώς και **σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες** → Με περαιτέρω επεξεργασία το κλάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο.
- **Στερεά:** Το στερεό υπόλειμμα **περιέχει** σχεδόν **καθαρό άνθρακα** και τυχόν **αδρανή υλικά**, που υπάρχουν στα στερεά απόβλητα και **προορίζεται για καύσιμο** ή για **να μετατραπεί σε ενεργό άνθρακα**.

# Αεριοποίηση

- Μέθοδος θερμικής επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων, η οποία **μέσω της ελεγχόμενης ατελούς καύσης** αυτών, επιτυγχάνει την **παραγωγή** καύσιμου αερίου πλούσιο σε **H<sub>2</sub>** και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως **CH<sub>4</sub>**).
- Κατά τη διάρκεια της αεριοποίησης λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες αντιδράσεις:

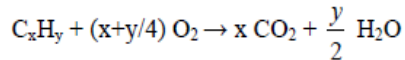
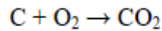


- Η διαφορά της αεριοποίησης με την πυρόλυση έγκειται στο γεγονός ότι στην **αεριοποίηση τροφοδοτείται πρόσθετο καύσιμο αέριο** για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα.

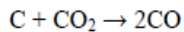
# Αεριοποίηση

## Κύριες αντιδράσεις

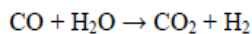
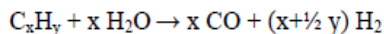
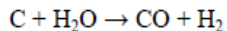
Οξειδωση (εξώθερμη)



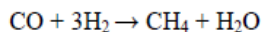
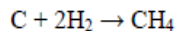
Αντίδραση Boudouard (ενδόθερμη)



Αντίδραση εξάτμισης νερού (ενδόθερμη)



Αντίδραση σχηματισμού μεθανίου (εξώθερμη)



όπου: m, n, x, y, z = συντελεστές κατανομής

Οι βασικοί τύποι εγκαταστάσεων αεριοποίησης είναι:

- Κάθετης σταθερής κλίνης
- Οριζόντιας σταθερής κλίνης
- Ρευστοποιημένης κλίνης
- Πολλαπλών εστιών
- Περιστρεφόμενου κλιβάνου

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

- **Αέριο πλούσιο** σε CO και CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως CH<sub>4</sub>), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.
- **Στερεό υπόλειμμα**, που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή.
- **Συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα**, που παρουσιάζει σύσταση παρόμοια με αυτήν του υγρού κλάσματος, που παράγεται κατά την πυρόλυση.

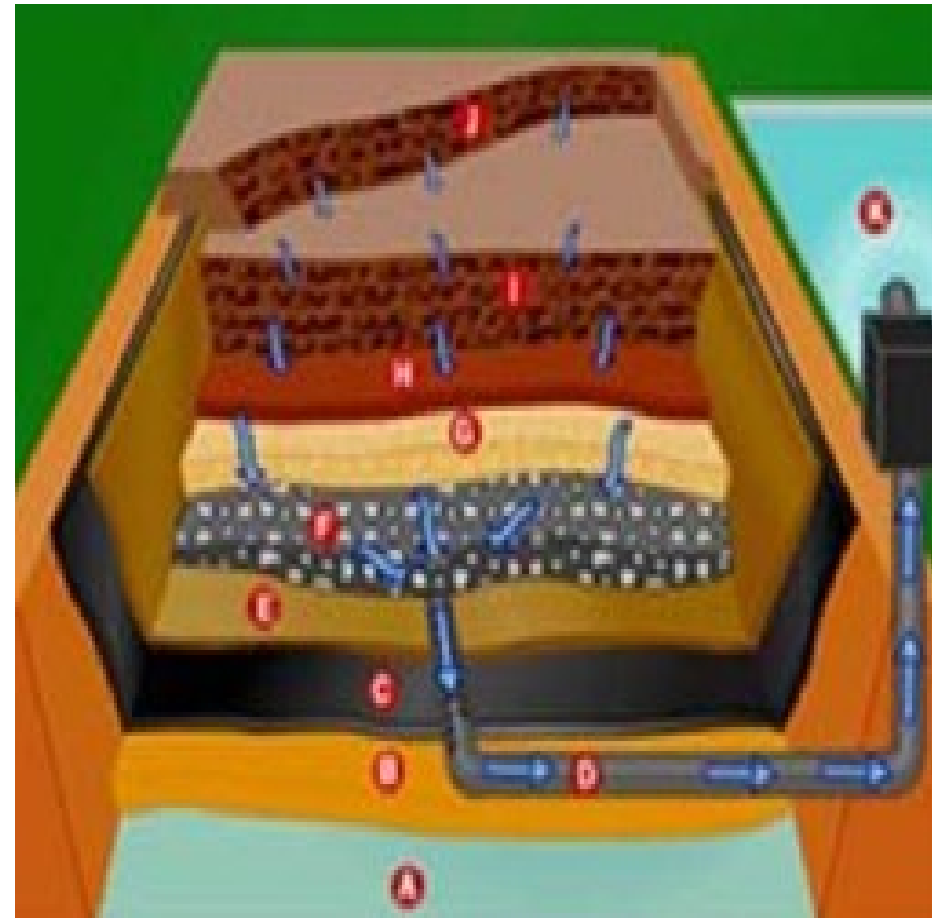
# Υγειονομική ταφή

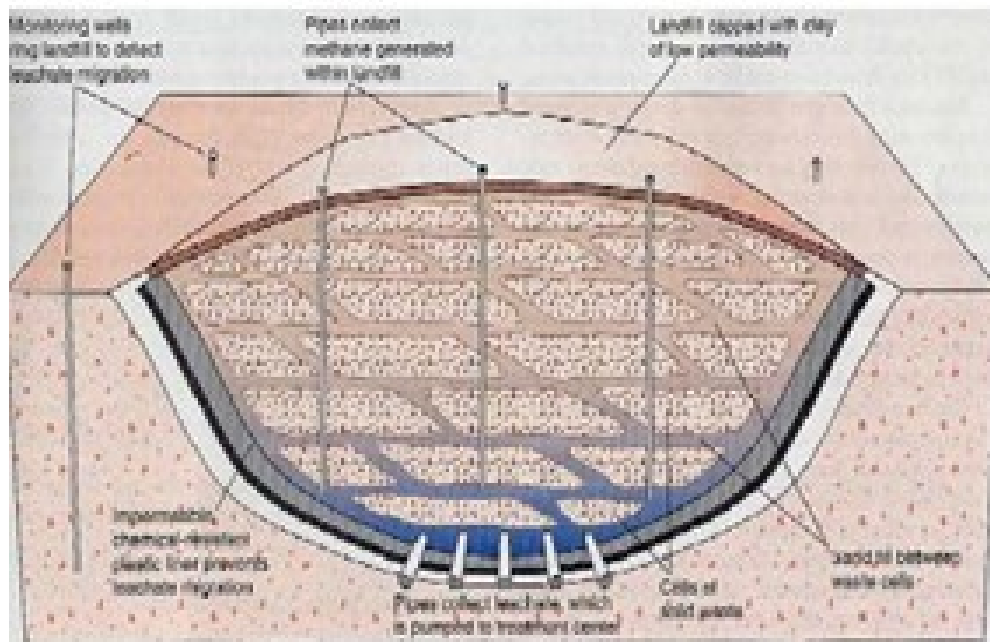
- Η κοινοτική περιβαλλοντική πολιτική εστιάζει στο σχεδιασμό, εγκατάσταση και λειτουργία **χώρων ελεγχόμενης απόθεσης των στερεών αποβλήτων και απορριμμάτων**, μέσω εφαρμογής της μεθόδου της υγειονομικής ταφής.
- Όλες οι μέθοδοι διαχείρισης των στερεών αποβλήτων (**θερμικές μέθοδοι, μηχανική διαλογή, βιολογικές μέθοδοι**) οδηγούν ανάμεσα σε άλλα, στην **παραγωγή υπολειμμάτων** για τα οποία είναι **απαραίτητη η τελική διάθεση**. → Η υγειονομική ταφή αποτελεί **αναπόσπαστο στάδιο** της συνολικής **διαχείρισής των απορριμμάτων**.
- Ένας σύγχρονος χώρος διάθεσης θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί με γνώμονα:
  - τη διασφάλιση συνθηκών **ευστάθειας**,
  - να διαθέτει σύστημα **αντιπυρικής προστασίας**,
  - **δίκτυο** απορροής **όμβριων υδάτων** και σύστημα **διαχείρισης των στραγγισμάτων**,
  - σύστημα **μόνωσης και στεγανοποίησης** για την **αποφυγή ρύπανσης των υπογείων υδάτων**,
  - σύστημα **αξιοποίησης** του παραγόμενου **βιοαερίου**
  - και σύστημα **ελέγχου και παρακολούθησης του Χ.Υ.Τ.Α.**

# Χώροι Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ)

- A. Υπόγειο νερό
- B. Άργιλος
- C. Πλαστικό κάλυμμα (διαχωρίζει τα υπόγεια νερά από τα σκουπίδια και τα διασταλάζοντα)
- D. Σωληνώσεις συλλογής διασταλαζόντων
- E. Γεωϋφασμα
- F. Χαλίκια
- G. Στρώμα διοχέτευσης
- H. Στρώμα χώματος
- I. Παλαιές «κυψέλες» (περιοχές απόθεσης συμπιεσμένων σκουπιδιών)
- J. Νέες «κυψέλες»
- K. Προς λίμνη διασταλαζόντων (επεξεργασία)

Ακόμη περιλαμβάνει σύστημα συλλογής των όμβριων νερών και σύστημα συλλογής του παραγόμενου μεθανίου.





# Βιβλιογραφία

1. Παναγιωτακόπουλος Δημήτριος, Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων ,εκδόσεις ΖΥΓΟΣ, ISBN 960-8065-31-3.
2. Γιδαράκος Ευάγγελος, Πανεπιστημιακές σημειώσεις: Στερεά απόβλητα: Διαχείριση και σχεδιασμός Συστημάτων, σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2014 .
3. Μανιός Θρασύβουλος, Σημειώσεις του μαθήματος: Διαχείριση Γεωργικών Αποβλήτων, Σχολή Τεχνολογίας & Γεωπονίας ,2013