



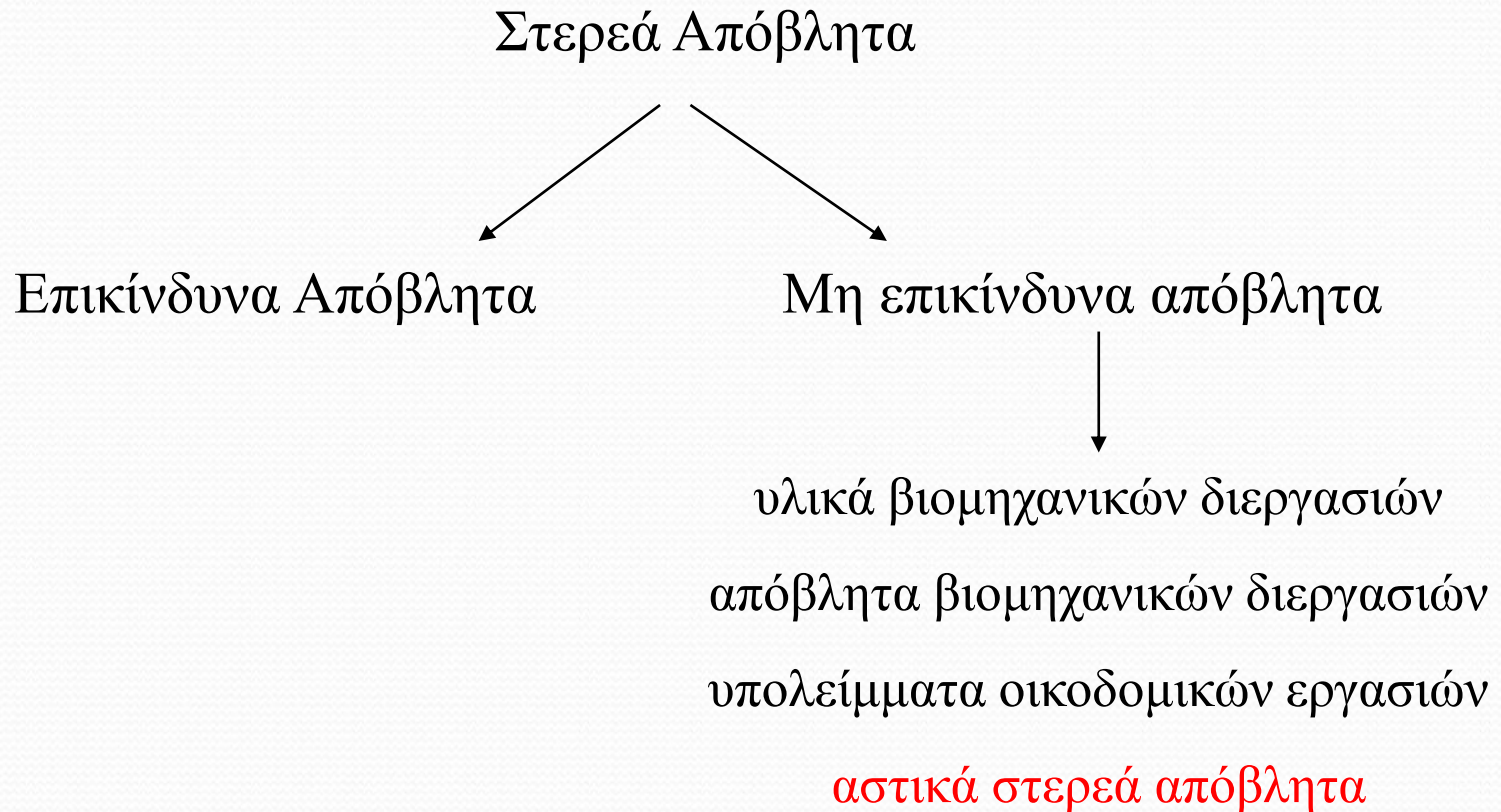
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

3^ο εξάμηνο

Διδάσκων: Δρ. Αθ. Στασινάκης

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων



Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Στερεά Αστικά Απόβλητα:

- ζωικά και φυτικά υπολείμματα από παρασκευή φαγητού
- μπουκάλια
- πλαστικά
- εφημερίδες
- κουτιά αλουμινίου
- υλικά συσκευασίας

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Παραγόμενες ποσότητες στερεών αποβλήτων διαφοροποιούνται:

- βιοτικό επίπεδο κατοίκων
- διατροφικές συνήθειες
- συχνότητα συλλογής απορριμμάτων
- χρήση σκουπιδοφάγων
- ύπαρξη προγραμμάτων ανακύκλωσης

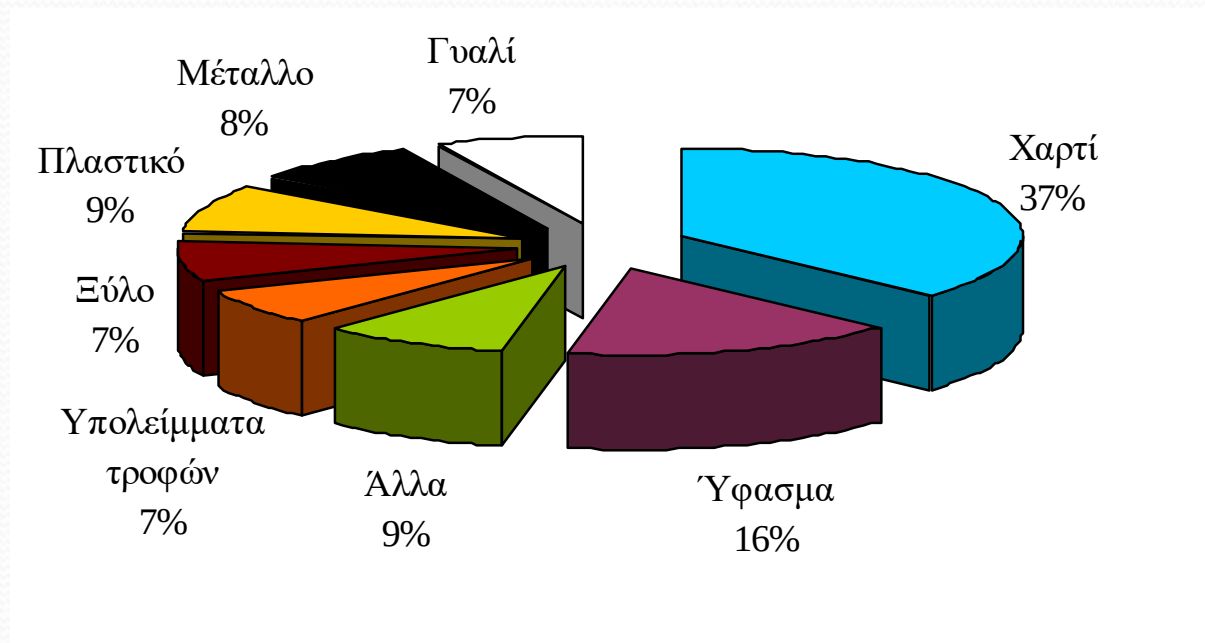
Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Παραγόμενη Ποσότητα Απορριμμάτων

Χώρα	Παραγωγή Απορριμμάτων (Kg / άτομο και ημέρα)
Αυστρία	1,56
Γαλλία	1,49
Γερμανία	1,62
Ισπανία	1,64
Μ. Βρετανία	1,61
Ιαπωνία	1,08
Καναδάς	1,71
Η.Π.Α	2,0
Ελλάδα	1,2

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

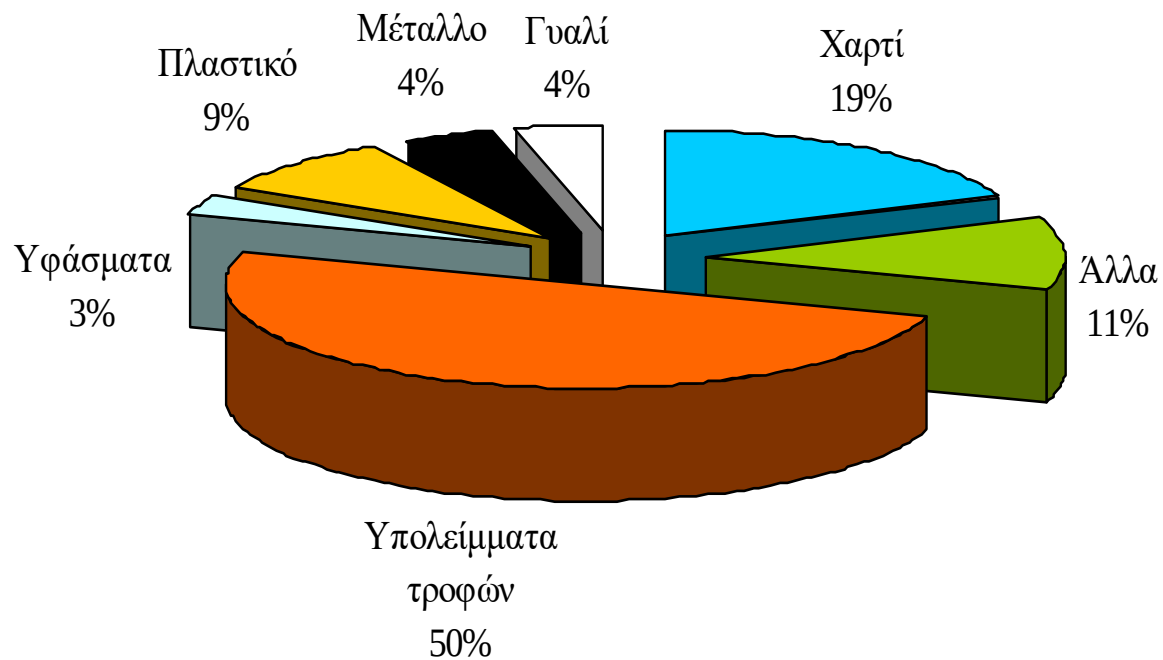
Σύσταση Απορριμμάτων



Η.Π.Α.

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Σύσταση Απορριμμάτων



Ελλάδα

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Μέθοδοι Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

Χώρα	Μ.Ε.Δ.Α (%)	Καύση (%)	Ανάκτηση Υλικών (%)
Αυστρία	35	9	56
Γαλλία	46	33	21
Γερμανία	31	24	45
Ισπανία	60	12	28
Μ. Βρετανία	81	7	12
Ιαπωνία	33	64	3
Καναδάς	84	9	7
Η.Π.Α	62	16	22
Ελλάδα	90	0	10

*Ανάκτηση: ανακύκλωση + λιπασματοποίηση

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων:

Μείωση παραγόμενων απορριμμάτων (μείωση στην πηγή)

Μείωση τοξικότητας απορριμμάτων

Επιλογή μεθόδου συλλογής και μεταφοράς

Ανακύκλωση (συλλογή, επεξεργασία, διάθεση)

Επιλογή μεθόδου τελικής διάθεσης (Χ.Υ.Τ.Α, καύση, λιπασματοποίηση)

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Αποθήκευσης Απορριμμάτων

➤Κυλιόμενοι κάδοι

Υλικό: επιψευδαργυρωμένος χάλυβας ή πλαστικό

Όγκος: 100-1000 l

Άδειασμα με μηχανικά μέσα

Μηχανική πλύση

Μείωση απαιτούμενου χρόνου συλλογής

➤Σταθεροί κάδοι

Περιοχές όπου είναι δύσκολη η προσέγγιση απορριμματοφόρου

Χειρωνακτικό άδειασμα

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Συλλογής και Μεταφοράς Απορριμμάτων

$\frac{3}{4}$ Συνολικού κόστους διαχείρισης απορριμμάτων

- Επιλογή αριθμού και μεγέθους απορριματοφόρων
- Επιλογή διαδρομής απορριματοφόρου
- Επιλογή κατασκευής ή όχι σταθμού μεταφόρτωσης
- Θέση κατασκευής σταθμού μεταφόρτωσης
- Οχήματα, διαδρομή για ανακύκλωση υλικών

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Συλλογής και Μεταφοράς Απορριμμάτων

➤ Οχήματα κλειστού τύπου

Όγκος μεταφερόμενων απορριμμάτων: 5-30 m³

Σύστημα συμπίεσης απορριμμάτων

Σύστημα ανύψωσης κάδων

Μεγάλα οχήματα: υψηλότερο κόστος αγοράς, λιγότερα δρομολόγια, αδυναμία χρήσης σε περιοχές με στενό οδικό δίκτυο

Συντελεστής συμπίεσης = 3-4 (παλιά οχήματα), 8 (νέα οχήματα)

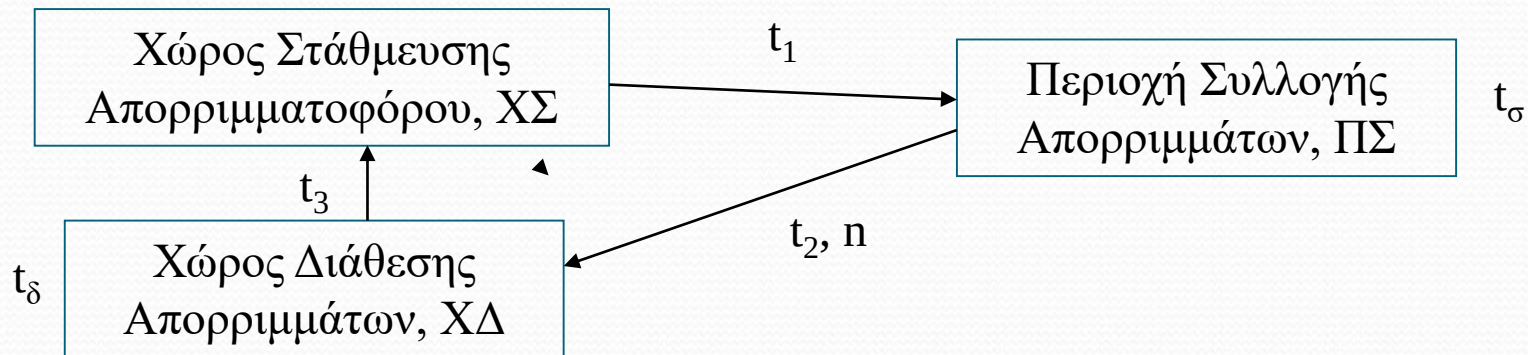
= Πυκνότητα απορριμμάτων στο όχημα / Αρχική πυκνότητα απορριμμάτων

➤ Οχήματα ανοικτού τύπου

Συλλογή ογκωδών αντικειμένων

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Συλλογής και Μεταφοράς Απορριμμάτων



$$T_t = t_1 + t_\sigma + [(2n-1) \times t_2] + (n \times t_\delta) + t_3 + t_\xi$$

T_t = συνολικός χρόνος εργασίας απορριμματοφόρου

t_1 = χρόνος για μετακίνηση οχήματος από ΧΣ σε ΠΣ

t_2 = χρόνος για μετακίνηση οχήματος από ΠΣ σε ΧΔ

t_3 = χρόνος για μετακίνηση οχήματος από ΧΔ σε ΧΣ

t_σ = συνολικός καθαρός χρόνος συλλογής απορριμμάτων στην ΠΣ

t_δ = χρόνος για άδειασμα απορριμματοφόρου στο ΧΔ

t_ξ = συνολικός χρόνος λοιπών καθυστερήσεων (διάλειμμα προσωπικού, κ.α)

n = αριθμός διαδρομών απορριμματοφόρου από ΠΣ σε ΧΔ

Παράδειγμα 4.1

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Συλλογής και Μεταφοράς Απορριμμάτων

Χρόνος που δαπανάται σε κάθε στάση στην Περιοχή Συλλογής:

$$t_{\sigma\tau\alpha\sigma\eta\varsigma} = \left(\frac{s}{u} \right) + (t_a \times n_k)$$

Όπου:

s = απόσταση που διανύει το όχημα μεταξύ δύο στάσεων (m)

u = ταχύτητα οχήματος (m/s)

t_a = χρόνος για το άδειασμα ενός κάδου

n_k = αριθμός κάδων που πρέπει να αδειάσουν σε κάθε στάση

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Συλλογής και Μεταφοράς Απορριμμάτων

Απαιτούμενος όγκος απορριματοφόρου:

$$V_a = \frac{V_k \times N}{r}$$

Όπου:

V_a = όγκος απορριματοφόρου (m^3)

V_k = μέσος όγκος απορριμμάτων σε κάθε στάση (m^3)

N = αριθμός στάσεων

r = συντελεστής συμπίεσης απορριμμάτων στο απορριματοφόρο

Παραδείγματα 4.2 και 4.3

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Συλλογής και Μεταφοράς Απορριμμάτων

Σταθμοί Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜ)

Μεγάλη απόσταση Χώρου Διάθεσης από Χώρο Συλλογής

Προσωρινή αποθήκευση απορριμμάτων

Συμπύεση για αύξηση πυκνότητάς τους

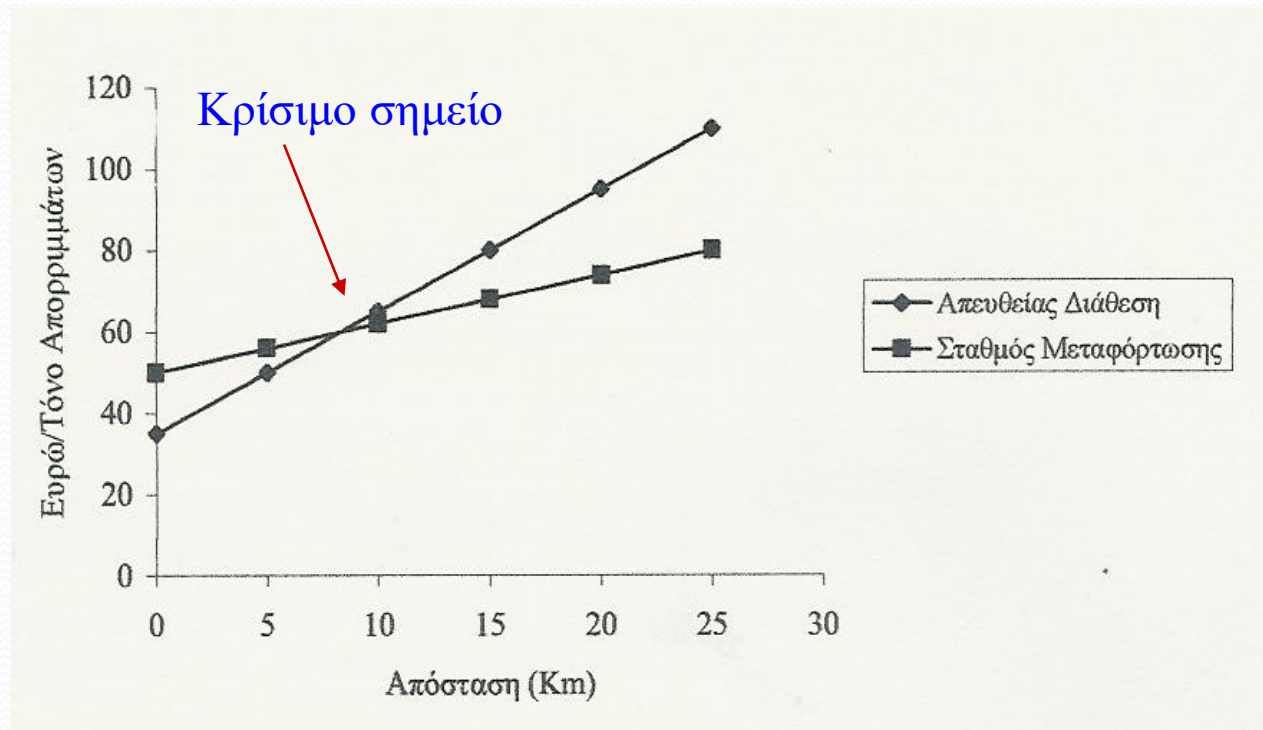
Διαλογή υλικών

Μεταφορά από ΣΜ σε ΧΔ με ρυμουλκούμενα οχήματα

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Συλλογής και Μεταφοράς Απορριμμάτων

Σταθμοί Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜ)



Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Ανακύκλωσης

Ολοκληρωμένο Σύστημα Ανακύκλωσης περιλαμβάνει:

- Συλλογή ανακυκλώσιμων υλικών
- Διαχωρισμό υλικών κατά είδος
- Πώληση ανακυκλώσιμων υλικών στη βιομηχανία
- Παραγωγή νέων ειδών που διατίθενται στην αγορά

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Ανακύκλωσης

Συστήματα διαλογής υλικών

Διαλογή στην πηγή

Συλλογή ανακυκλώσιμων υλικών από πόρτα σε πόρτα

Συλλογή υλικών σε ειδικούς κάδους που διαφοροποιούνται με το είδος του υλικού

Μεταφορά των υλικών από τους κατοίκους σε συγκεκριμένους χώρους (κέντρα συλλογής)

Σημαντικός ο ρόλος της συμμετοχής των πολιτών

Πυκνότητα κάδων σε μία περιοχή

Συχνότητα συλλογής κάδων

Επιλογή μορφής κάδων



Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Ανακύκλωσης

Συστήματα διαλογής υλικών

Μηχανική διαλογή

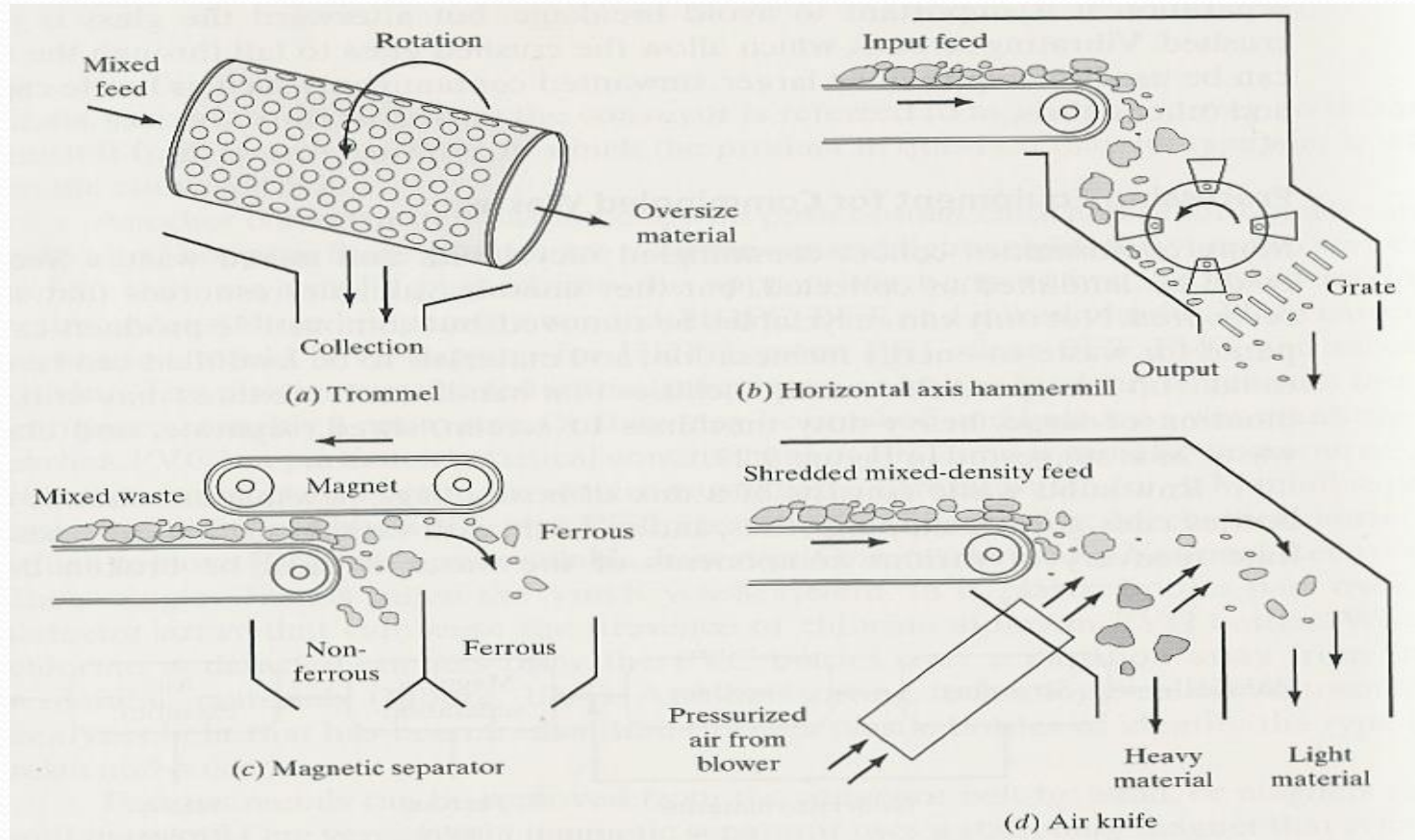
Μηχανικά μέσα για:

- Κατάτμηση (θραυστήρες, τεμαχιστές...)
- Διαχωρισμό (δονούμενα κόσκινα, αεροδιαχωριστήρες, μαγν. διαχωριστήρες)
- Συμπίεση υλικών (πρέσες.....)

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Ανακύκλωσης

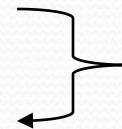
Μηχανική διαλογή



Κόστος Συλλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών
υψηλότερο από
Κόστος Συλλογής Απορριμμάτων

Μικρή ή μηδενική συμπίεση => Λιγότεροι τόνοι υλικών σε κάθε όχημα

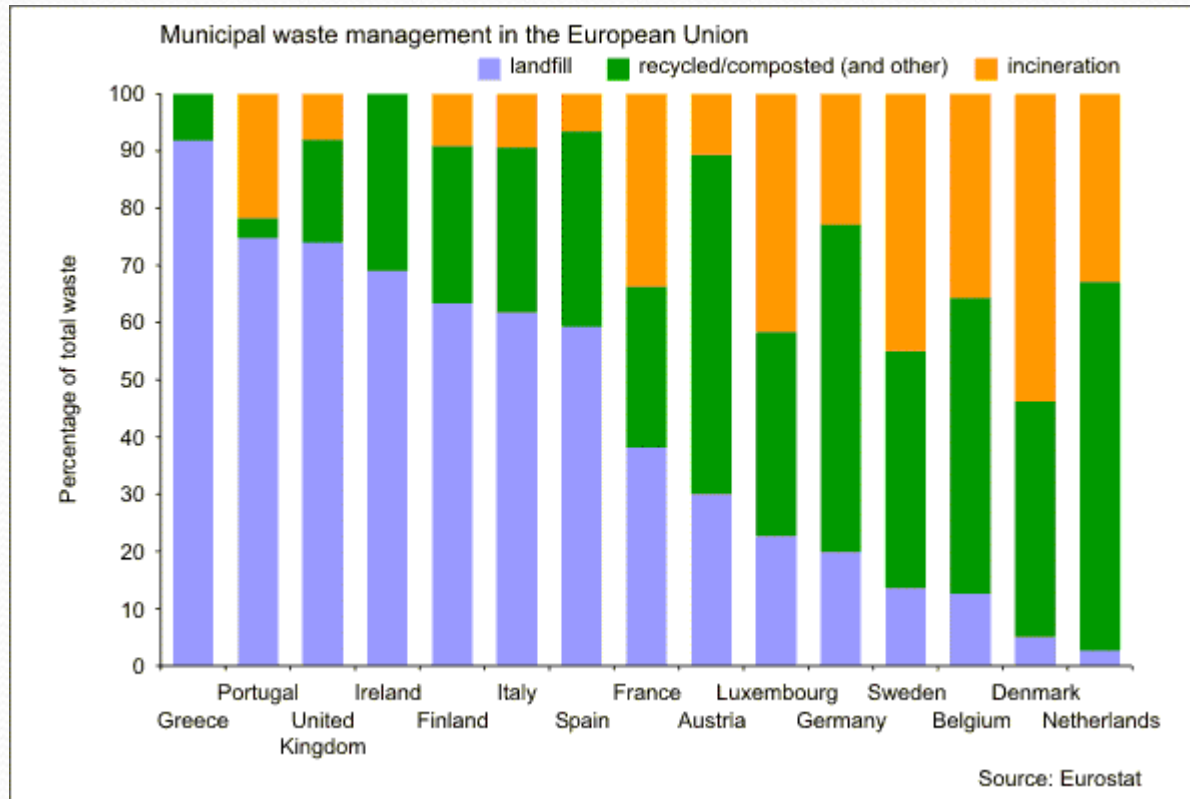
Συλλογή μικρότερων ποσοτήτων σε κάθε στάση
Μεγαλύτερη απόσταση στάσεων



Περισσότερος χρόνος για
κάθε τόνο που συλλέγεται

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας



Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Λιπασματοποίηση

Λιπασματοποίηση: αερόβια αποδόμηση οργανικών υλών για παραγωγή εδαφοβελτιωτικού (compost)

Χαμηλή συγκέντρωση N, P για να ανταγωνιστεί χημικά λιπάσματα

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Λιπασματοποίηση

Πραγματοποίηση σε Ανοικτούς Χώρους ή Βιοαντιδραστήρες

Διάταξη υλικού σε μορφή σωρών ή σειραδίων (ύψος 2m, πλάτος 3-4 m)

Στραγγιστικό σύστημα για συλλογή και απομάκρυνση νερών βροχής

Περιοδική αναμόχλευση υλικού για διατήρηση αερόβιων συνθηκών (1 φορά ημερησίως τις πρώτες 30 μέρες) ή παροχή αέρα με μηχανικά μέσα



Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Λιπασματοποίηση

Ρόλος μικροοργανισμών:

Τροχόζωα, νηματώδεις, σκουλήκια => διάσπαση υλικού σε μικρότερα μέρη

Βακτήρια, μύκητες => αποδόμηση υλικού

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Λιπασματοποίηση

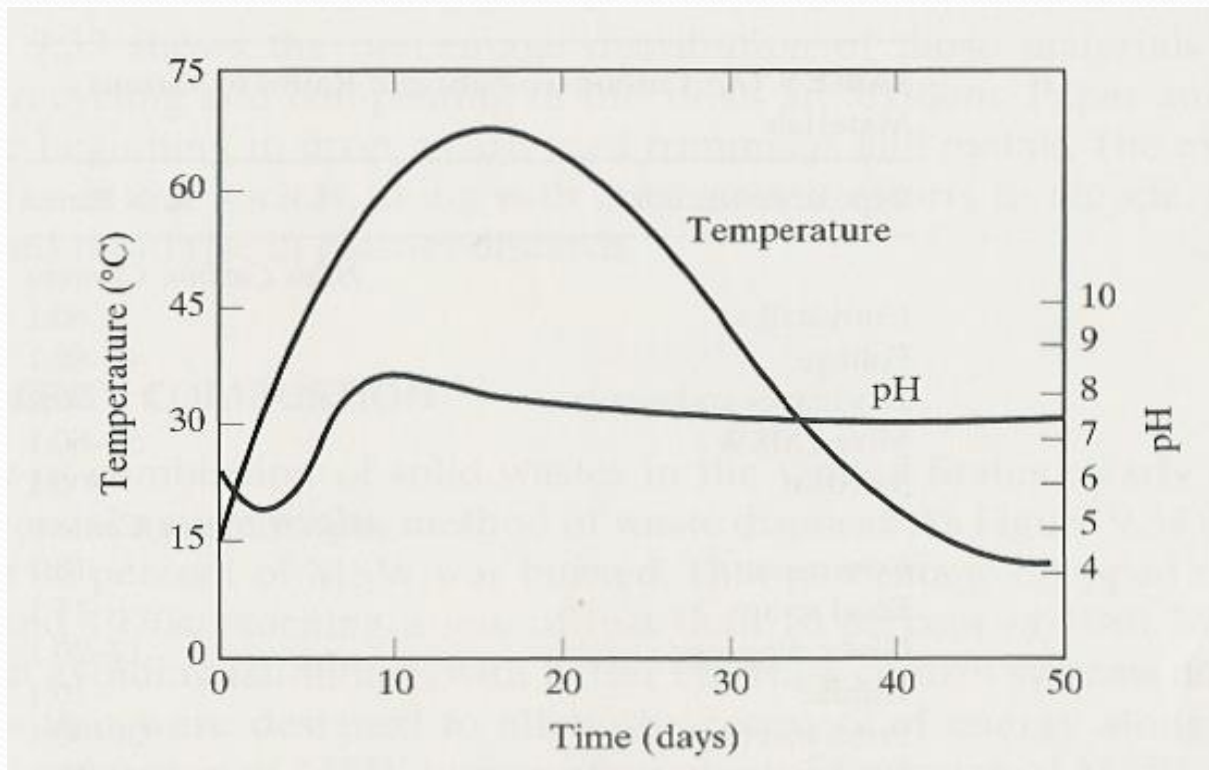
Ρόλος μικροοργανισμών:

1. Αρχικά ανάπτυξη μεσόφιλων μικροοργανισμών (25-45 °C)
2. Παραγωγή θερμότητας και οργανικών οξέων
3. Αύξηση θερμοκρασίας σωρών και μείωση pH σε τιμή 5
4. Επικράτηση θεرمόφιλων μικροοργανισμών (45-70 °C)
5. Μείωση συγκέντρωσης θρεπτικών => θανάτωση θεرمόφιλων
6. Μείωση θερμοκρασίας και επικράτηση μεσόφιλων μικροοργανισμών

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Λιπασματοποίηση



Διατήρηση $\theta > 55^{\circ}\text{C}$ για περισσότερο από 72 ώρες $\Rightarrow$ θανάτωση παθογόνων

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Λιπασματοποίηση

Ρόλος θρεπτικών:

$C/N = 25-35/1$

Υψηλότεροι λόγοι C/N : αναχαιτίζουν την αύξηση μικροοργανισμών και επιβραδύνουν την αποδόμηση οργανικών ενώσεων

Χαμηλότεροι λόγοι C/N : επιταχύνουν αρχικά την αποδόμηση, αλλά γρήγορη κατανάλωση οξυγόνου (οσμές)

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Καύση

Πλεονεκτήματα:

Μείωση όγκου απορριμμάτων

Άμεση επεξεργασία

Μικρότερη έκταση γης

Δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας

Μειονεκτήματα:

Απελευθέρωση τοξικών ουσιών στην ατμόσφαιρα

Διάθεση τέφρας (επικίνδυνο υλικό)

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Καύση

Υλικό	Θερμογόνο Δύναμη (KJ/Kg)
Μίγμα χαρτιών	15.800
Μίγμα υπολειμμάτων τροφής	5.500
Μίγμα πλαστικών	32.800
Ελαστικά	26.100
Υπολείμματα ξύλων	16.000
Δέρματα	18.500
Υφάσματα	18.700
Πετρέλαιο Νο 6	42.500
Φυσικό αέριο	55.000
Κάρβουνο	28.500

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Καύση

Διαφοροποίηση ενεργειακού περιεχομένου από χώρα σε χώρα

Πίνακας 4.3 Παραγόμενη ενέργεια από την καύση 100 Kg απορριμμάτων στις Η.Π.Α. και στην Ελλάδα.

Υλικό	Θερμογόνος Δύναμη (KJ/Kg)	ΗΠΑ		Ελλάδα	
		Βάρος Υλικού (Kg)	Παραγόμενη Ενέργεια (KJ)	Βάρος Υλικού (Kg)	Παραγόμενη Ενέργεια (KJ)
Χαρτί	15.800	37	584.600	22	347.600
Πλαστικό	32.800	9	295.200	7	229.600
Υπολ. Τροφής	5.500	7	38.500	57	313.500
Ξύλο	16.000	7	112.000	1,5	24.000
Ύφασμα	18.700	16	299.200	1,5	28.050
Μέταλλο	0	8	0	4	0
Γυαλί	0	7	0	3	0
Άλλα	0	9	0	4	0
Σύνολο	-	100	1.329.500	100	942.750

Παράδειγμα 4.4

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Καύση

Είδος καυσίμου

Άμεση μεταφορά απορριμμάτων σε αποτεφρωτήρες (8.000 - 15.000 KJ/Kg)

Προεπεξεργασία, παραγωγή RDF (refuse-derived fuel) (14.000 - 18.000 KJ/Kg)

Περιβαλλοντική επιβάρυνση

Κατακρημνιζόμενη Τέφρα —————> Διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Α

Ιπτάμενη Τέφρα: συγκρατείται με χρήση συστημάτων ελέγχου αιωρούμενων στερεών και διάθεση ως επικίνδυνο υλικό

Αέριοι Ρύποι (NO_x, SO_x, CO, αέρια οξέα HCl, HF, διοξίνες, φουράνια, PCBs, PAHs, μέταλλα)

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Καύση

Διοξίνες, φουράνια:

Χλωριωμένες ενώσεις, πιθανά καρκινογόνες, ορμονικές διαταραχές

Περιορισμός παραγωγής τους με καύση στους 900 °C

Ύπαρξη πρόδρομων ενώσεων (HCl, φαινόλες, PAHs)



Σχηματισμός νέων διοξινών

Μέταλλα (Pb, Zn, Cd, As, Hg)

Ψύξη αερίων => συμπύκνωση και προσρόφηση σε τέφρα και συγκράτηση σε συστήματα ελέγχου αιωρούμενων σωματιδίων

Εξαίρεση Hg (χαμηλό σημείο ζέσεως)

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Υγειονομική Ταφή: η πιο διαδεδομένη μέθοδος διάθεσης απορριμμάτων

Απαίτηση διάθεσης υπολειμμάτων σε περίπτωση υιοθέτησης εναλλακτικών μεθόδων διάθεσης (λιπασματοποίηση, αποτέφρωση)

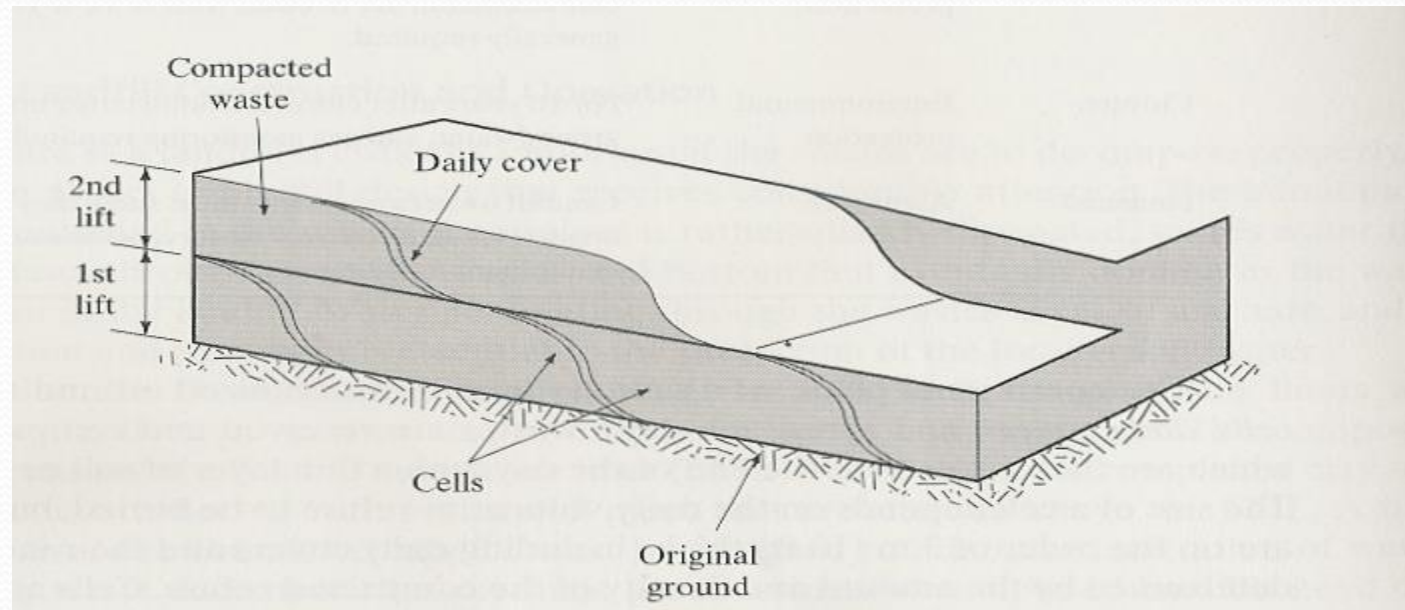
Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Απόθεση και συμπίεση απορριμμάτων σε κυψέλες (cells) πάχους 3 m

Καθημερινή κάλυψη κυψελών με χώμα πάχους 0,15-0,3 m



Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

➤ Κάλυψη κυψελών με χώμα

Αποφυγή διασκορπισμού απορριμμάτων από αέρα

Αποφυγή επαφής τρωκτικών, πουλιών με απορρίμματα

Αποφυγή εισροής νερού από κατακρημνίσματα

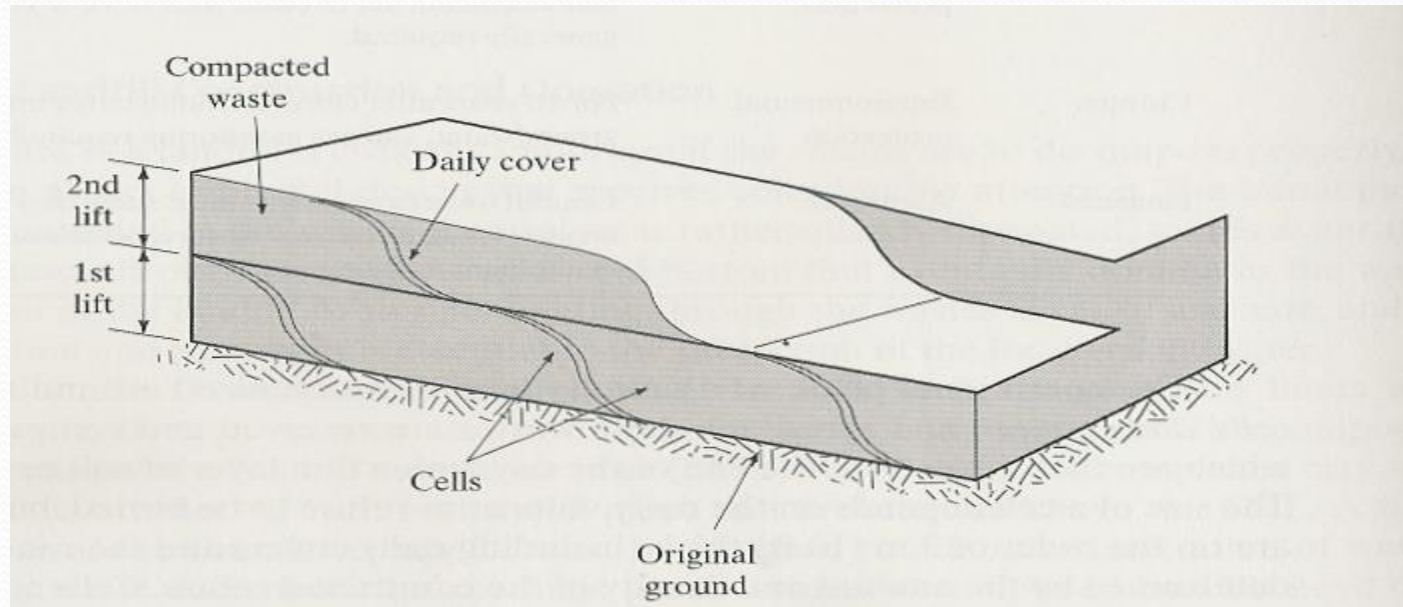
Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Ολοκλήρωση ενός επιπέδου με κυψέλες

Προσθήκη νέου επιπέδου (ταμπάνι ή lift)



Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Τελική κάλυψη με διαδοχικά στρώματα εδάφους, γεωμεμβράνη



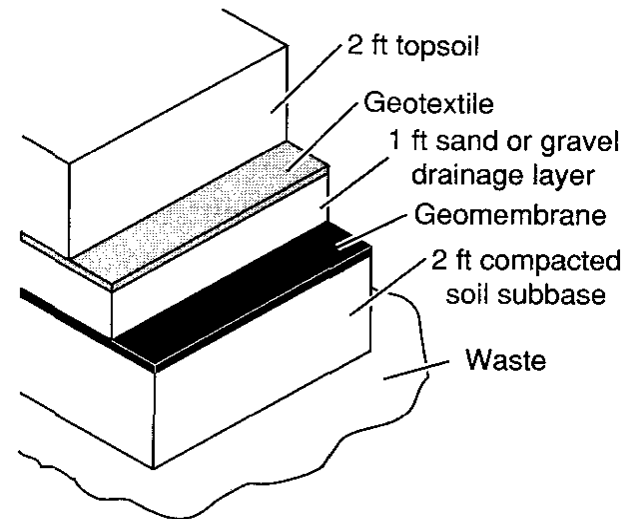
Απορροή υδάτων

Παραμπόδιση εισροής νερού

Παραμπόδιση διαφυγής οσμών

Αποφυγή πυρκαγιών

Υποστήριξη φυσικής βλάστησης



Παράδειγμα 4.5

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Παραγωγή εκχυλισμάτων

Όμβρια ύδατα

Απορροή λοιπών υδάτων

Υγρασία απορριμμάτων

Στεγάνωση πυθμένα (συμπυκνωμένος άργιλος, συνθετικές μεμβράνες)

Συλλογή στραγγιδίων για αποφυγή:

Επιβάρυνσης υπόγειων και επιφανειακών υδάτων

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Σύσταση εκχυλισμάτων

	Ηλικία <2 έτη	Ηλικία >10 έτη
BOD (mg/l)	10000	100-200
COD (mg/l)	18000	100-500
TSS (mg/l)	500	100-400
Οργανικό N (mg/l)	200	80-120
NH ₃ (mg/l)	200	20-40
Ολικός P (mg/l)	30	5-10
pH (mg/l)	6	6,6-7,5

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Παραγωγή βιοαερίου (CH_4 , CO_2 , λοιπές οργανικές ενώσεις)

Προιόντα αναερόβιας αποδόμησης οργανικών ενώσεων

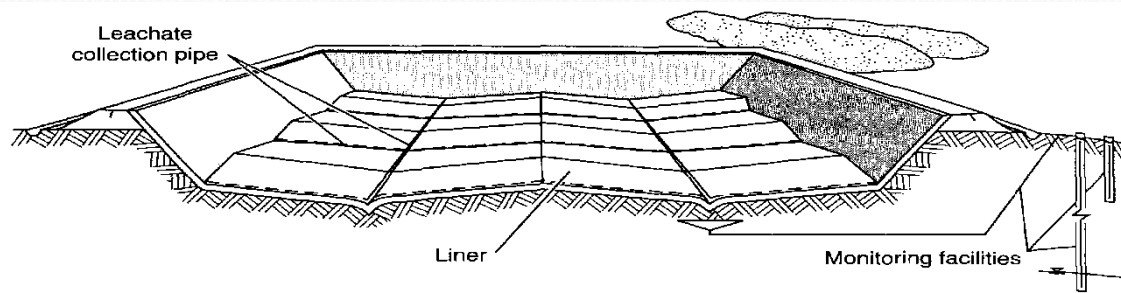
Συλλογή βιοαερίου για αποφυγή:

- Ρωγμών
- Καθιζήσεων
- Εκρήξεων
- Συμβολή σε φαινόμενο θερμοκηπίου
- Απελευθέρωση άλλων επικίνδυνων ρύπων

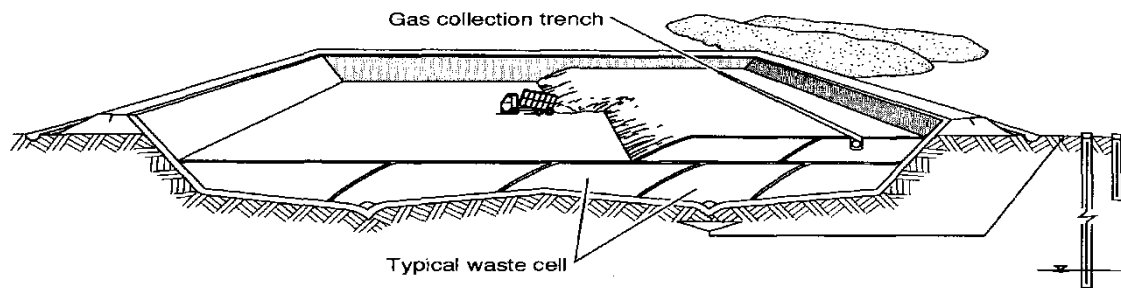
Καύση ή Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

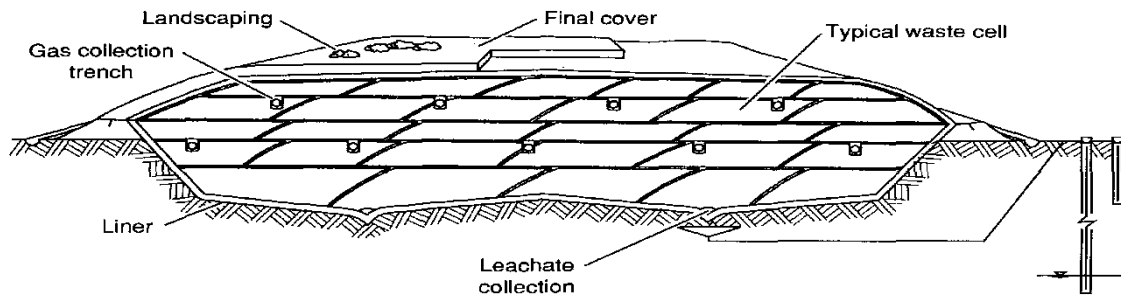
Φάσεις Κατασκευής Χ.Υ.Τ.Α



(a)



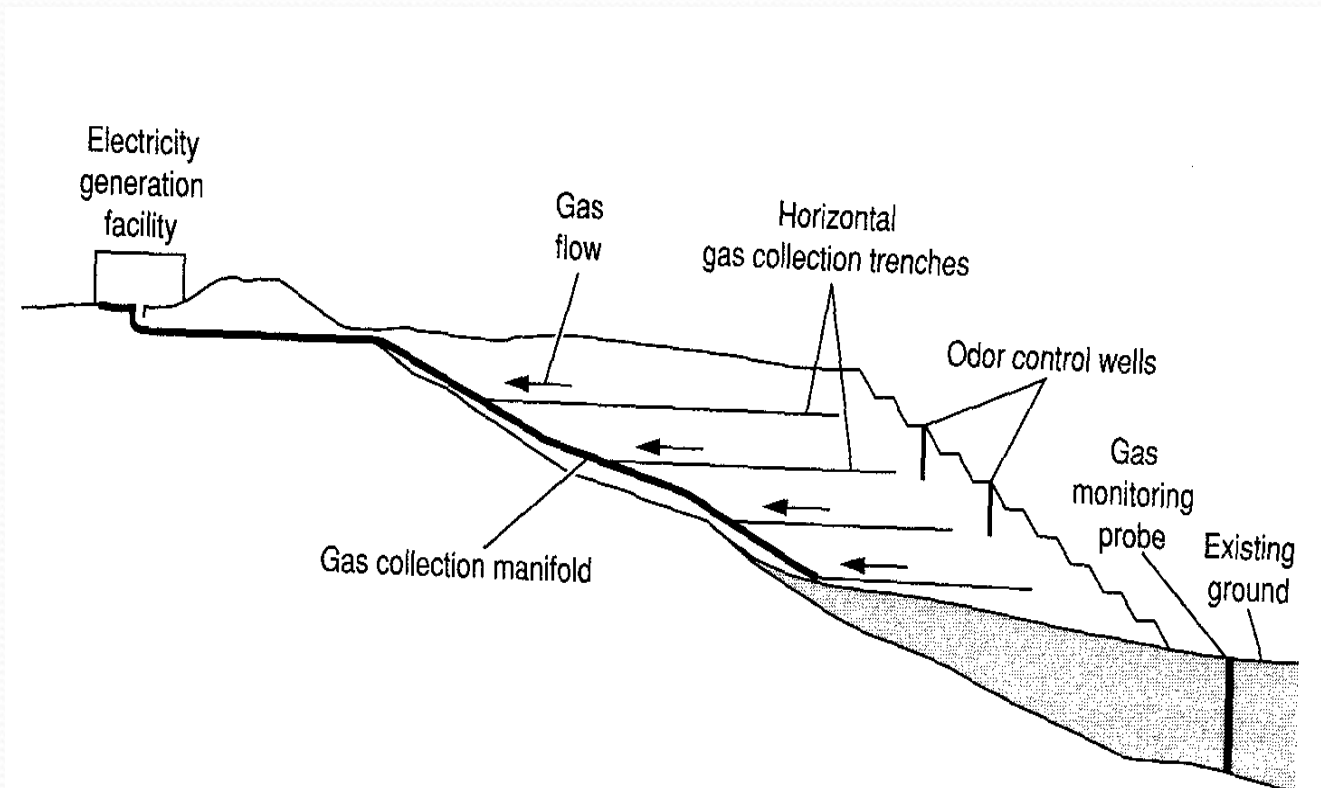
(b)



(c)

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Φάσεις Κατασκευής Χ.Υ.Τ.Α



Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Στάδια αποδόμησης απορριμμάτων σε Χ.Υ.Τ.Α

Φάση I: Αερόβια Φάση (λίγες μέρες)

Φάση II: Μεταβατική Φάση (δέκτες e^- νιτρικά, θειικά)

Φάση III: Οξική Φάση, διάσπαση σύνθετων ενώσεων σε απλούστερες και παραγωγή οργανικών οξέων, CO_2 , H_2

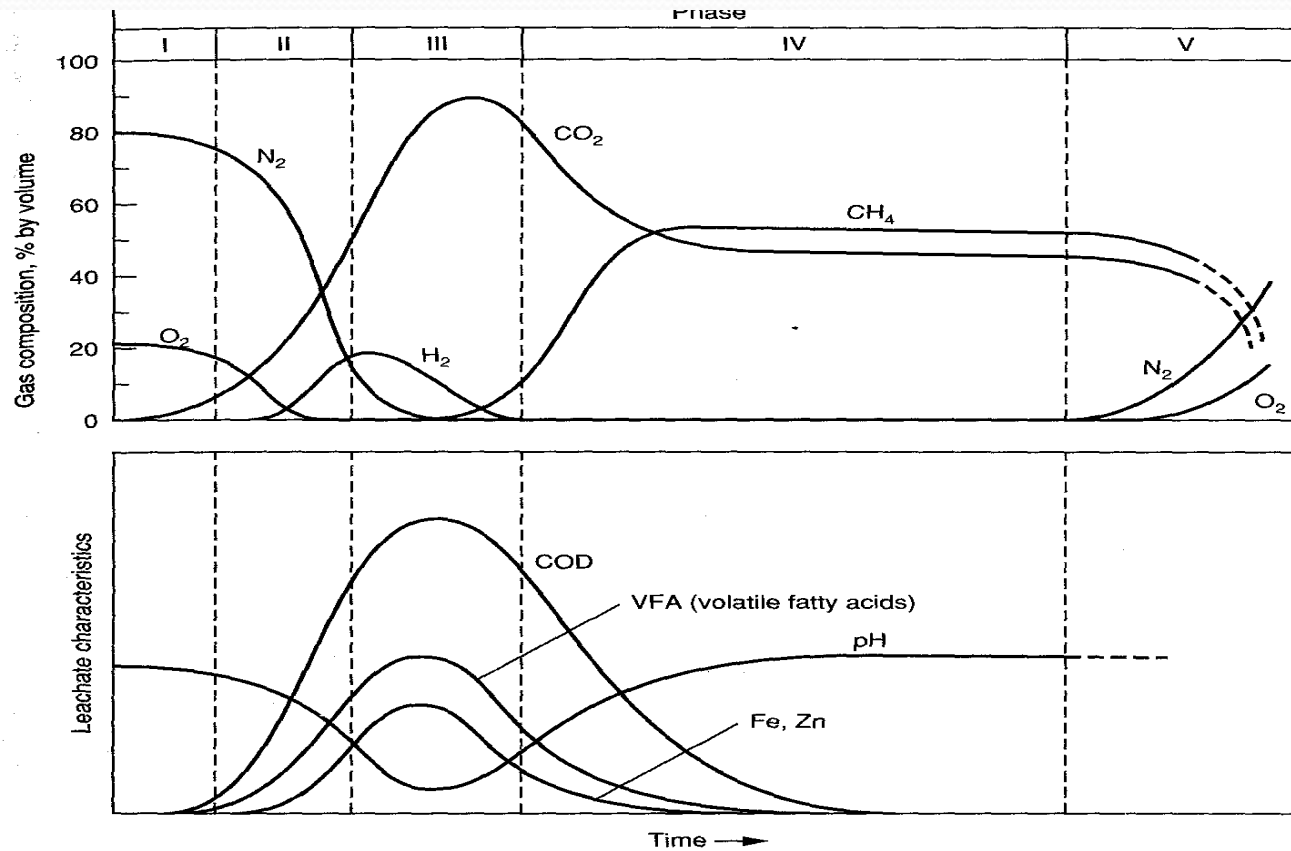
Φάση IV: Μεθανογένεση, μετατροπή οργανικών οξέων και H_2 σε CH_4 και CO_2

Φάση V: Ωρίμανση

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α



Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Χωροθέτηση Χ.Υ.Τ.Α

Επαρκής έκταση (τουλάχιστον 5 χρόνια χρήση)

Χρήσεις γης (προστατευτές περιοχές, αεροδρόμια, περιοχές με υψηλή οικονομική αξία)

Τοπογραφία περιοχής

Ύπαρξη χώματος για κάλυψη

Κλιματολογικές συνθήκες (άνεμοι, χιόνι)

Υδρολογία περιοχής (αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων)

Υδρογεωλογία περιοχής (αποφυγή επιβάρυνσης υπόγειων υδάτων)

Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων

Συστήματα Επεξεργασίας

Υγειονομική Ταφή – Χ.Υ.Τ.Α

Κλείσιμο Χ.Υ.Τ.Α

Σχεδιασμός χρήσης αποκατεστημένης περιοχής

Επιλογή φυτικής κάλυψης

Εκτίμηση επιφανειακής απορροής και έργα συλλογής υδάτων

Παρακολούθηση εκπομπών βιοαερίου

Παρακολούθηση και επεξεργασία εκχυλισμάτων

Επιλογή θέσεων δειγματοληψίας και είδη ουσιών που ανιχνεύονται