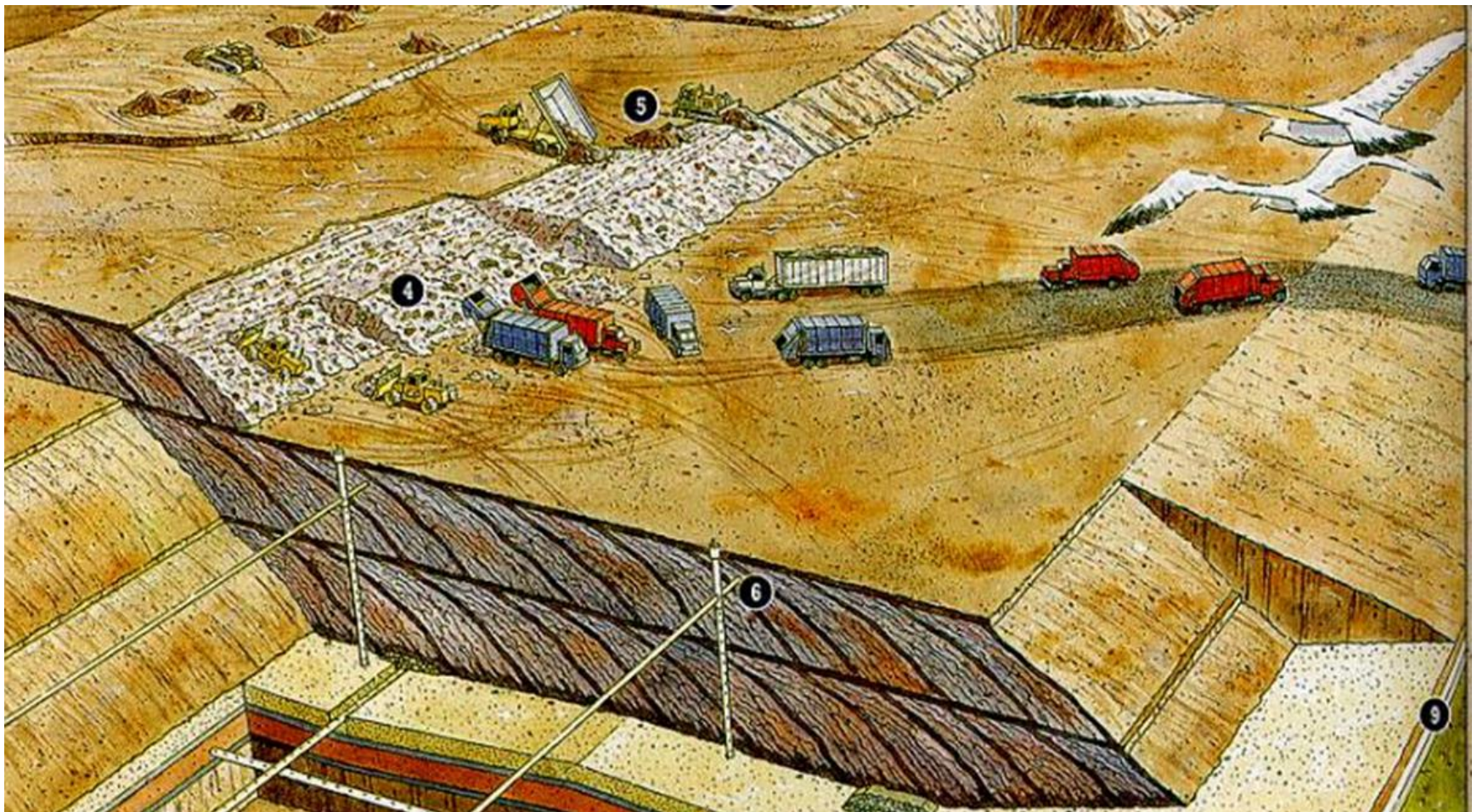


Υγειονομική Ταφή Απορριμμάτων

Γεράσιμος Λυμπεράτος, Καθηγητής ΕΜΠ

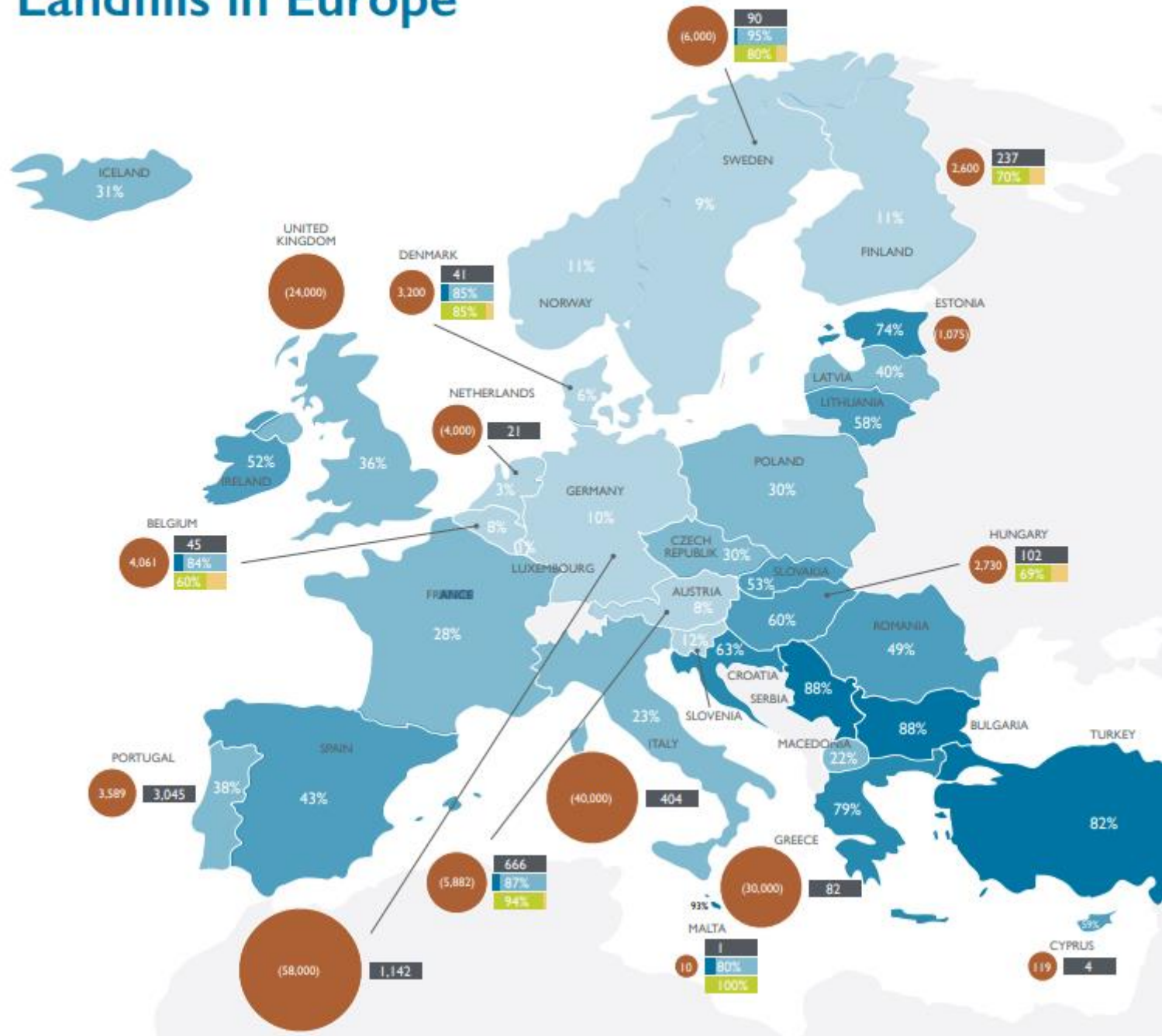


Βασική ιδέα ΧΥΤΑ

Ένας **ΧΥΤΑ** (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων) σε αντίθεση με έναν **ΧΑΔΑ** (Χώρο Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων) στοχεύει στην προστασία του περιβάλλοντος από:

- Τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα
- Την αυθόρμητη ανάφλεξη του παραγόμενου βιοαερίου
- Την αποφυγή εκλύσεων μεθανίου (αερίου του θερμοκηπίου) στην ατμόσφαιρα
- Την αποφυγή αέριων εκπομπών που προκαλούν δυσοσμία

Landfills in Europe



Τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν για τη δημιουργία ενός ΧΥΤΑ είναι:

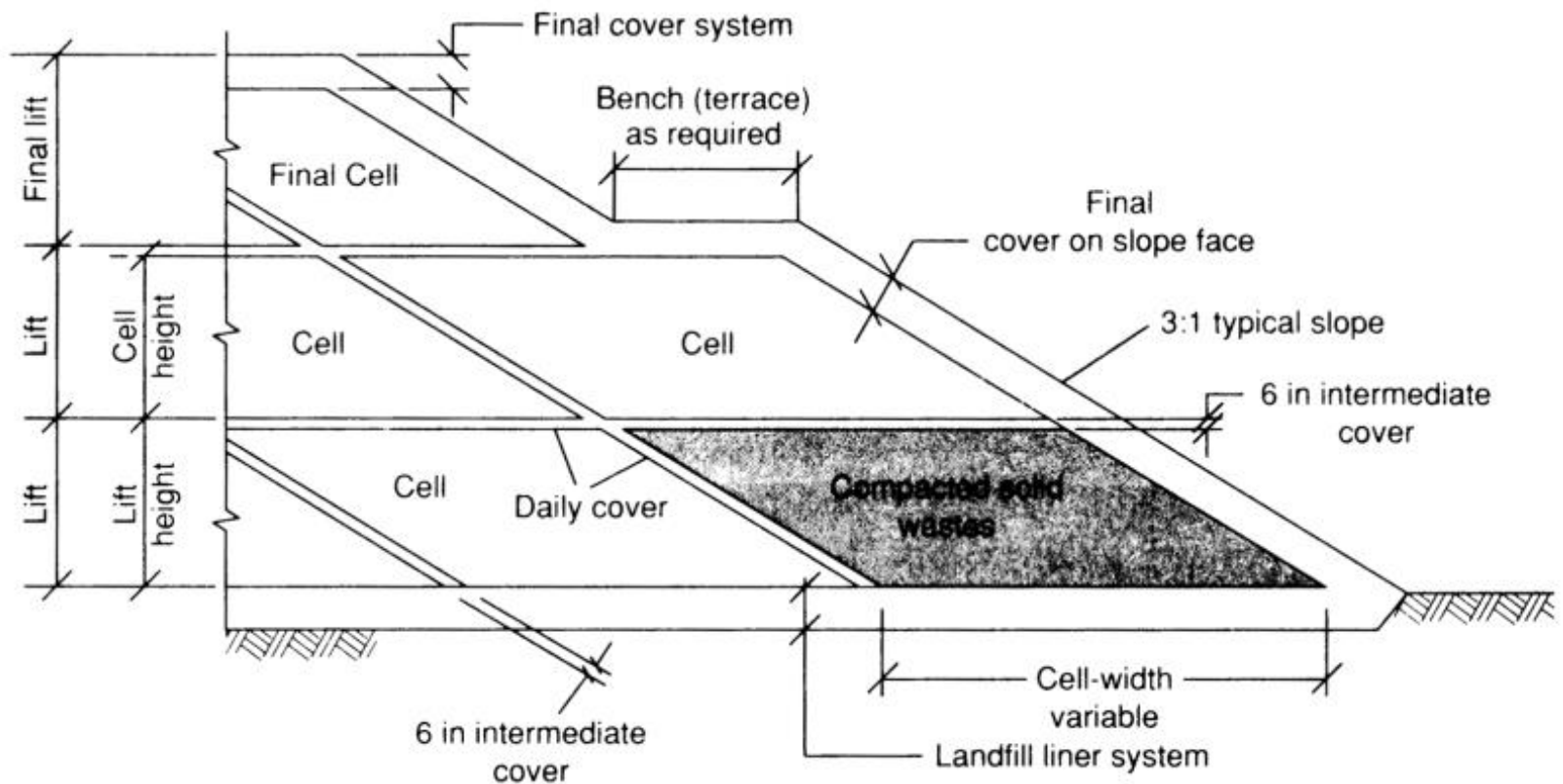
- ✨ Χωροθέτηση
- ✨ Σχεδιασμός και λειτουργία
- ✨ Μακροπρόθεσμες εγγυήσεις και νομικές ευθύνες

Χωροθέτηση ΧΥΤΑ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόφαση είναι οι εξής:

- Απόσταση μεταφοράς
- Περιορισμοί χωροθέτησης, όπως κοντά σε αεροδρόμια, βιότοπους, σεισμικές περιοχές και ασταθείς περιοχές (καθιζήσεις κλπ.)
- Διαθεσιμότητα γης
- Προσβασιμότητα θέσης
- Κατάσταση εδάφους και τοπογραφία
- Κλιματικές συνθήκες (βροχές, άνεμοι κλπ)
- Υδρολογία επιφανειακού νερού
- Γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες (το πιο σημαντικό)
- Τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες
- Τελική χρήση περατωμένων ΧΥΤΑ

Τεχνική περιγραφή ΧΥΤΑ



Κύτταρο (cell)

- Κύτταρο (cell) ονομάζεται ο όγκος του υλικού που τοποθετείται σε κάθε προκαθορισμένη **λειτουργική περίοδο** (αντίστοιχη φάση λειτουργίας), συνήθως μία μέρα.
- Κάθε κύτταρο έχει δικό του διαμορφωμένο και στεγανοποιημένο πυθμένα με σαφή υδραυλικά όρια από το προηγούμενο και το επόμενο και δικό του σύστημα συλλογής διηθημάτων.
- Κάθε κύτταρο πληρούται εξ' ολοκλήρου πριν την αρχή πλήρωσης του επομένου.
- Το κύτταρο αποτελείται από τα απορρίμματα συν το υλικό κάλυψης.
- Η ημερήσια κάλυψη είναι 15-30 cm χώματος ή εδαφοβελτιωτικού που τοποθετείται στο τέλος κάθε μέρας, προκειμένου να αποφευχθεί η διασπορά των απορριμμάτων και να ελεγχθεί η εισροή νερού στα απορρίμματα.

Ταμπάνι (lift)

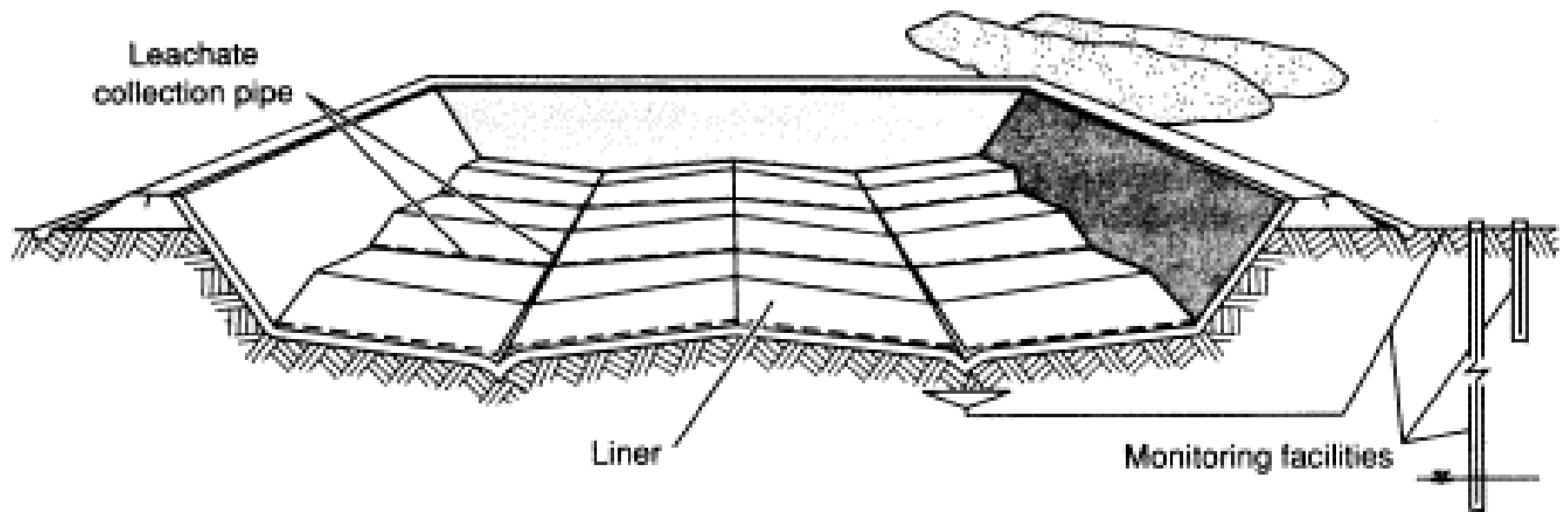
- Ταμπάνι (lift) ονομάζεται ένα πλήρες στρώμα κυττάρων σε όλη την έκταση του ΧΥΤΑ.
- Όταν το ύψος υπερβαίνει τα 16-25 m, χρησιμοποιούνται "τοιχεία" (benches) για να διατηρηθεί η κλίση των πρανών, για να τοποθετηθούν κανάλια για τα υγρά διηθήματα και για την τοποθέτηση αγωγών βιοαερίου.
- Το "τελικό ταμπάνι" (final lift) περιλαμβάνει το στρώμα κάλυψης. Το τελικό στρώμα κάλυψης εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια κάθε κυττάρου αφού συμπληρωθούν όλες οι λειτουργίες.
- Το τελικό κάλυμμα συνήθως αποτελείται από πολλαπλά στρώματα χώματος ή/ και υλικών γεωμεμβρανών σχεδιασμένων με σκοπό:
 - την αύξηση των επιφανειακών απορροών,
 - την παρεμπόδιση εισροής νερού και
 - την υποστήριξη επιφανειακής βλάστησης φυτών.

Άλλα χαρακτηριστικά

- Το υγρό που συλλέγεται στον πυθμένα (ή και σε ενδιάμεσα σημεία για βαθιές χωματερές) ονομάζεται **διήθημα** (leachate). Προέρχεται από τη διήθηση βροχής και νερών αρδεύσεων και περιλαμβάνει και την αρχική υγρασία των απορριμμάτων.
- Στη χωματερή παράγεται **βιοαέριο** (μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα) με κάποια περιεκτικότητα σε άζωτο, οξυγόνο, αμμωνία και πτητικά οργανικά.
- Στον πυθμένα και στα πλευρικά τοιχώματα του ΧΥΤΑ υπάρχει στρώμα πηλού ή γεωμεμβρανών για αποφυγή διήθησης.
- Μία χωματερή "κλείνει" σε 10 - 50 χρόνια ανάλογα με τον όγκο και τις ροές των απορριμμάτων και στη συνέχεια εξακολουθεί να ελέγχεται.

Στάδια ανάπτυξης ΧΥΤΑ- εκσκαφή και προετοιμασία

- Προετοιμασία χώρου υγειονομικής ταφής (εξασφάλιση απορροής υγρών, περίφραξη και δημιουργία οδών πρόσβασης).
- Εκσκαφή και προετοιμασία του δαπέδου (διαδοχικά κατά τμήματα). Τα χώματα χρησιμοποιούνται αργότερα για κάλυψη.
- Τοποθετούνται περιμετρικά **αισθητήρες** μεταξύ του πυθμένα και του υδροφόρου ορίζοντα.
- Τοποθετείται **δάπεδο** από πηλό χαμηλής διαπερατότητας.
- Το σύστημα συλλογής διηθημάτων τοποθετείται στον πυθμένα.
- Μπορεί να τοποθετηθούν και οριζόντια χαντάκια συλλογής βιοαερίου στον πυθμένα, αν αναμένονται πολλά οργανικά πτητικά.





Στάδια στεγανοποίησης του πυθμένα ενός ΧΥΤΑ: (α) κατώτερη στεγανωτική στρώση από άργιλο, συμπυκνωμένου πάχους 0,3 μέτρων, (β, γ, δ, ε, στ) η γεωμεμβράνη προστατεύεται από αποστραγγιστικό γεώφασμα πολυπροπυλενίου. Η σύνθετη στεγανοποιητική στρώση καλύπτεται από προστατευτική - αποστραγγιστική στρώση εδάφους, πάχους 0,4 μέτρων (Ενημερωτικό φυλλάδιο ΧΥΤΑ ΠΑΤΡΩΝ).

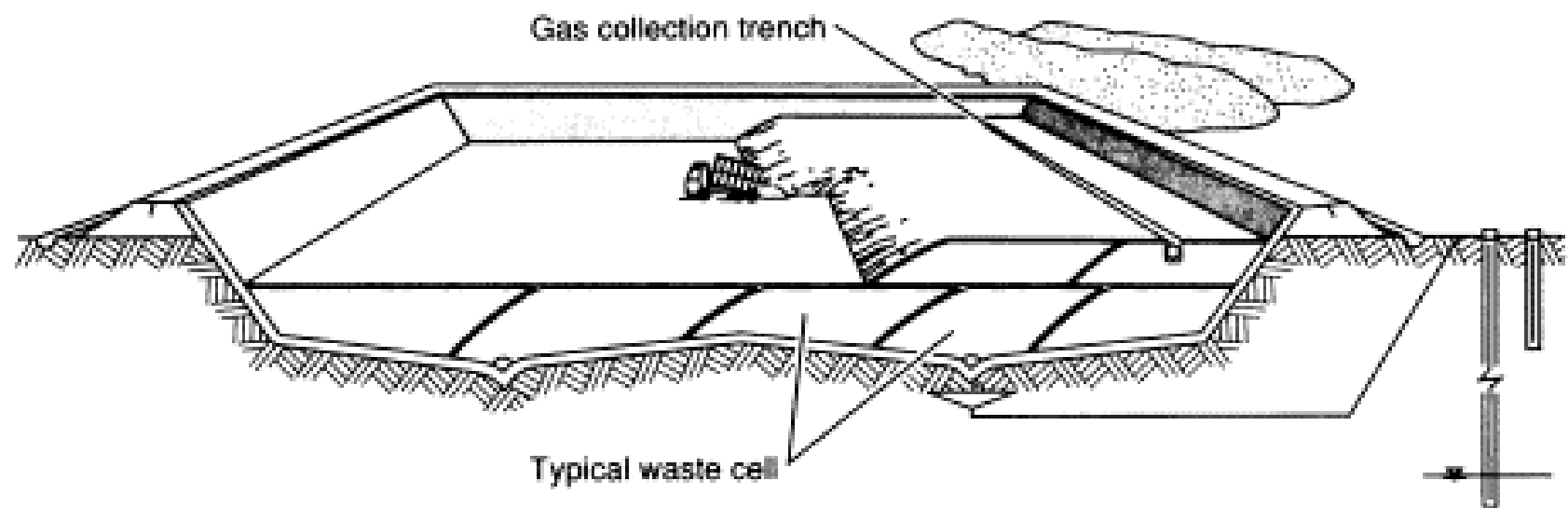


Σύστημα αποστραγγιστικών σωλήνων

(Ενημερωτικό φυλλάδιο ΧΥΤΑ ΠΑΤΡΩΝ).

Εναπόθεση στερεών απορριμμάτων

- Κάθε ημερήσιο φορτίο τοποθετείται συμπιεσμένο σε στρώμα 2,5-4 m.
- Τυπικό ύψος κάθε κυττάρου: 3-10 m.
- Κάλυμμα χώματος στο τέλος κάθε μέρας: 15-30 cm.
- Στο τέλος με το κλείσιμο του κυττάρου τοποθετούνται κατακόρυφοι **αγωγοί αερίου**.

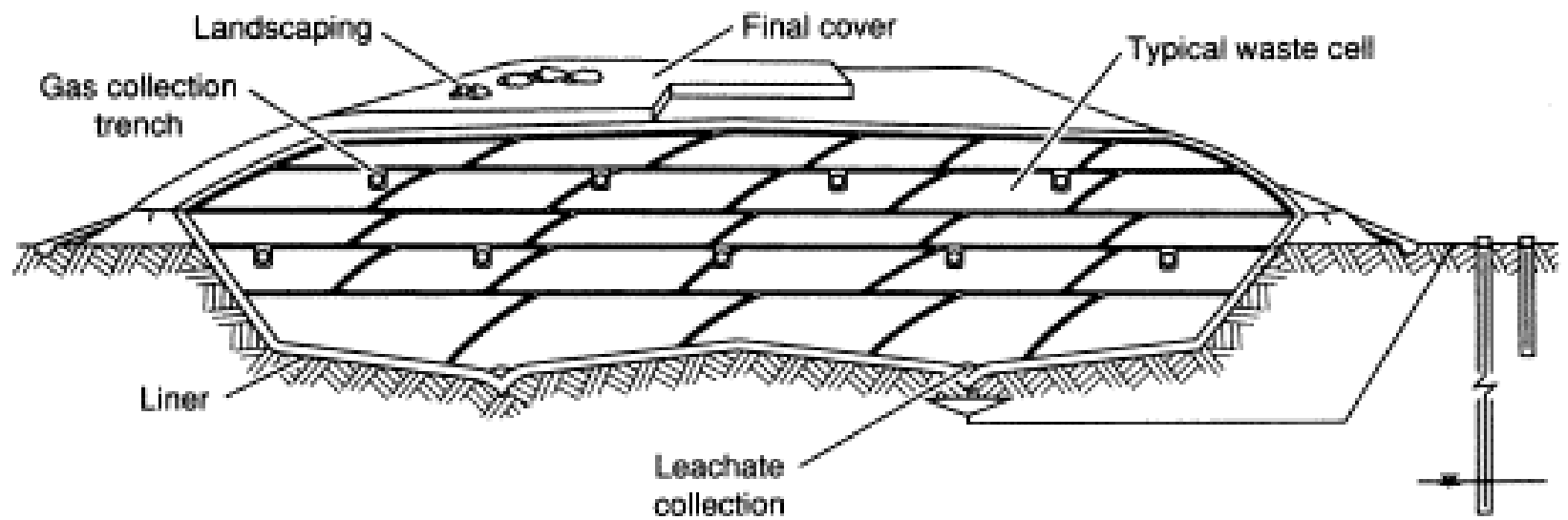




**Σωλήνες συλλογής βιοαερίου από ΧΥΤΑ και καύση του βιοαερίου
(Ενημερωτικό φυλλάδιο ΧΥΤΑ ΠΑΤΡΩΝ).**

Κλείσιμο ΧΥΤΑ

- Χρειάζεται διαρκής έλεγχος και χειρισμός ενός ΧΥΤΑ μια και με τις αντιδράσεις ο χώρος καθιζάνει.
- Η παρακολούθηση και συντήρηση εξακολουθεί για **30-50 χρόνια** μετά το κλείσιμο.
- Μέσα στο χώρο λαμβάνουν χώρα βιολογικές αντιδράσεις (αρχικά αερόβιες, έπειτα αναερόβιες) και χημικές και φυσικές μετατροπές (διαλυτοποίηση κ.ο.κ.) που οδηγούν σε διάφορα συστατικά τόσο στα υγρά όσο και στα αέρια απόβλητα.





1.

2.

3.

4.

5.

6.

7.

8.

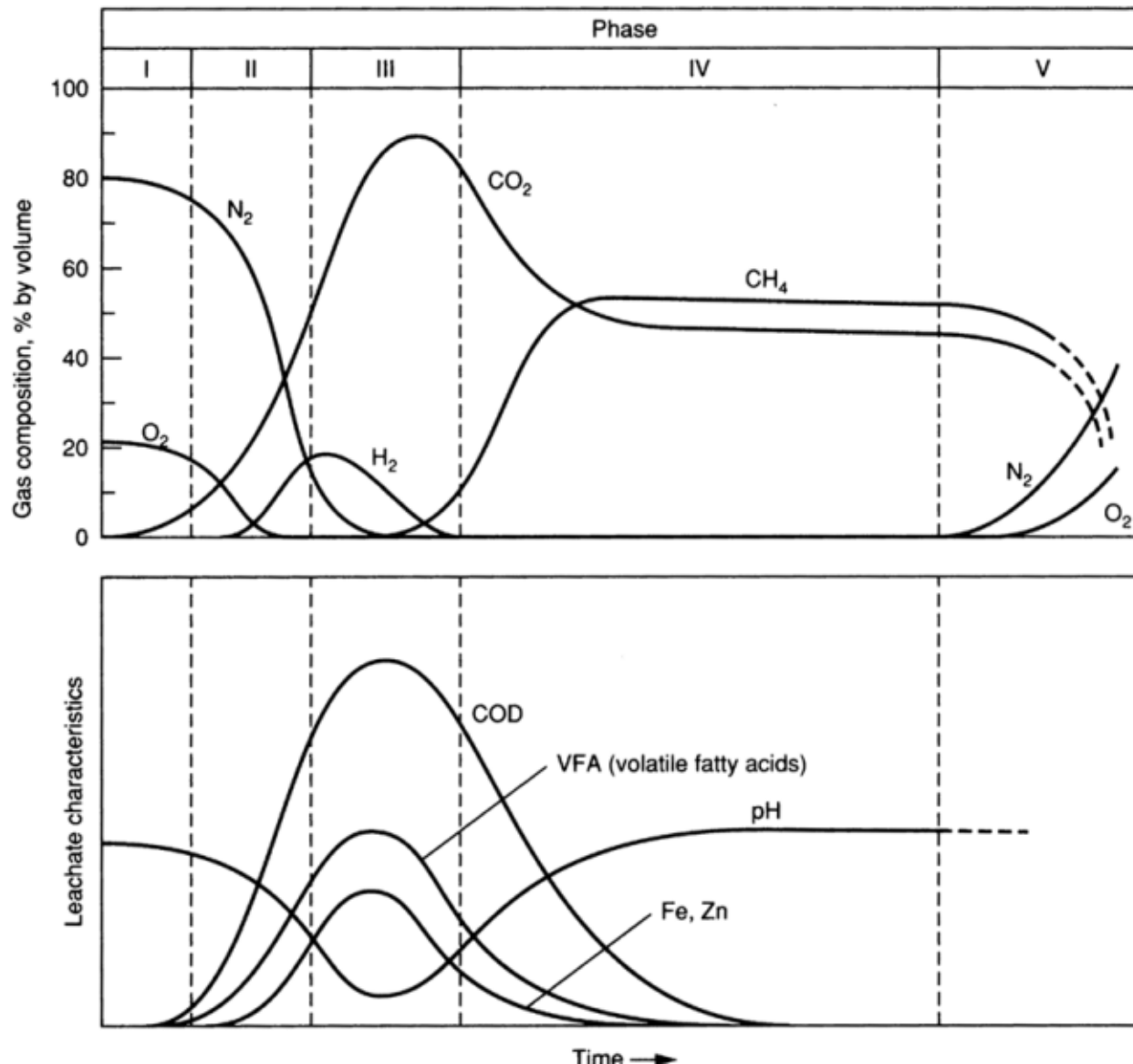
9.

10-12

Συνέχεια

1. Ο πυθμένας που αποτελείται από πολλαπλές στρώσεις συμπυκνωμένου πηλού και πλαστικών μεγάλης πυκνότητας.
2. Στα ενδιάμεσα των στρώσεων είναι τοποθετημένο ένα σύστημα διάτρητων σωλήνων που χρησιμεύουν για να συλλέγουν τα υγρά που διηθούνται μέσα από τα απορρίμματα και να τα διοχετεύουν σε μονάδα επεξεργασίας.
3. Γύρω στη χωματερή υπάρχουν γεωτρήσεις, από τις οποίες ελέγχεται ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής δεν έχουν ρυπανθεί.
4. Μετά την εκφόρτωση τα απορρίμματα διαστρώνονται και συμπυκνώνονται και
5. κατόπιν σκεπάζονται με χώμα, που εμποδίζει τη διαφυγή οσμών και αποθαρρύνει τα ζώα (π.χ. τους γλάρους).
6. Μέσα στη μάζα των απορριμμάτων είναι τοποθετημένοι σωλήνες, που συλλέγουν το μεθάνιο που παράγεται κατά την αποσύνθεση.
7. Σε μερικές χωματερές το μεθάνιο καίγεται για να μη ρυπάνει την ατμόσφαιρα, αλλά επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
8. Όταν η χωματερή γεμίσει, σφραγίζεται με μια συνεχή στρώση αργίλου,
9. ενώ ένας περιμετρικός στραγγιστήρας απομακρύνει τα νερά της βροχής.
10. Η σκεπασμένη χωματερή μπορεί να χρησιμεύσει για αθλητικές εγκαταστάσεις
11. αεροδρόμια και
12. πάρκα

Γήρανση Χώρου Υγειονομικής Ταφής



I) αρχική προσαρμογή
(αερόβια)

II) μεταβατική φάση
(απονιτροποίηση,
αποθείωση, μεταβατική
αναερόβια)

III) όξινη φάση (οξεογένεση,
διαλυτοποίηση Fe, Zn κλπ.)

IV) μεθανογένεση
(παραγωγή μεθανίου)

V) ωρίμανση (παραγωγή
δύσκολα αποδομήσιμων
χουμικού και φουλβικού
οξέος).

Η **διάρκεια** των φάσεων εξαρτάται από:

- την κατανομή οργανικών,
- τη διαθεσιμότητα θρεπτικών,
- την υγρασία (αν δεν είναι αρκετή περιορίζεται η αποδόμηση)
- το βαθμό αρχικής συμπίεσης.

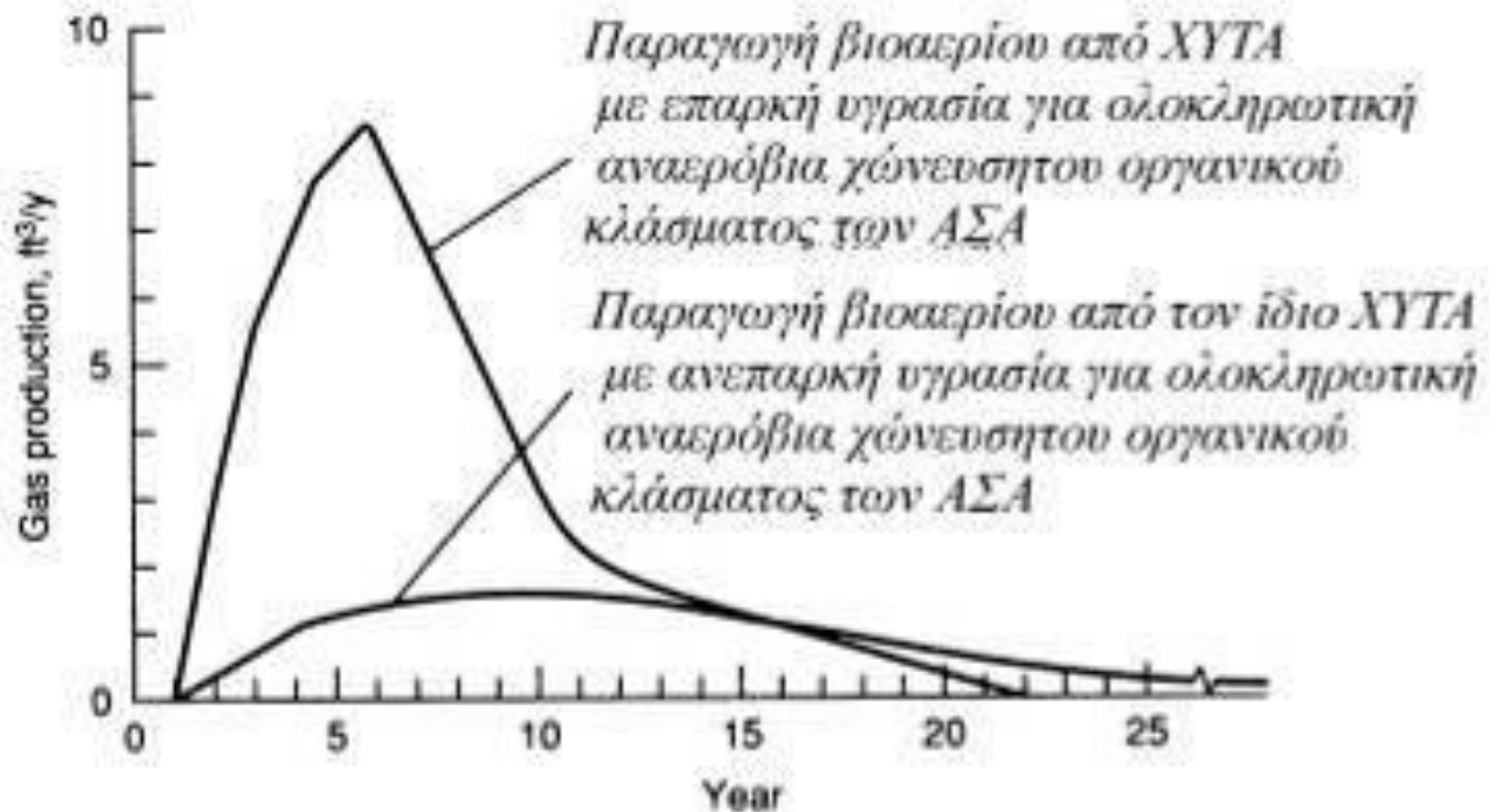
Τα οργανικά διακρίνονται σε γρήγορα αποδομήσιμα
(3 μήνες - 5 χρόνια) και αργά αποδομήσιμα (έως 50 χρόνια).

- Το βιοαέριο μεταφέρεται με μεταφορά και διάχυση. Ο πρώτος μηχανισμός υπερσχύει όταν έχουμε μεγάλη παραγωγή, ενώ ο δεύτερος όταν έχει μειωθεί η παραγωγή αερίου.
- Το βιοαέριο μπορεί να συλλεχθεί είτε παθητικά (κυρίως όταν έχουμε μεγάλη παραγωγή) είτε ενεργητικά (αντλίες).
- Ο σχηματισμός του βιοαερίου στο χώρο της υγειονομικής ταφής και οι ανεξέλεγκτες εκλύσεις του είναι δυνατόν να προξενήσουν πυρκαγιές, εκρήξεις, επικίνδυνες συγκεντρώσεις αερίων, οσμές κλπ.

💣 Όταν το μεθάνιο είναι μεταξύ 5-15 %, το αέριο είναι εκρηκτικό.

Σύσταση βιοαερίου χωματερών	(% σε ξηρά βάση)
CH ₄	45-60
CO ₂	40-60
N ₂	2-5
O ₂	0,1-1
σουλφίδια, δισουλφίδια, μερκαπτάνες	0-1
NH ₃	0,1-1
H ₂	0-0,2
CO	0-0,2
Ιχνοστοιχεία (περίπου 150 ενώσεις)	0,01-0,6
Θερμοκρασία (°C)	38-49
Ειδική βαρύτητα	1,02-1,06
Υγρασία	κορεσμένο
Θερμογόνο δύναμη (Btu/sft ³)	400-550

Η παραγωγή βιοαερίου παρουσιάζει μέγιστο σε 5-10 χρόνια ανάλογα με την υγρασία της χωματερής



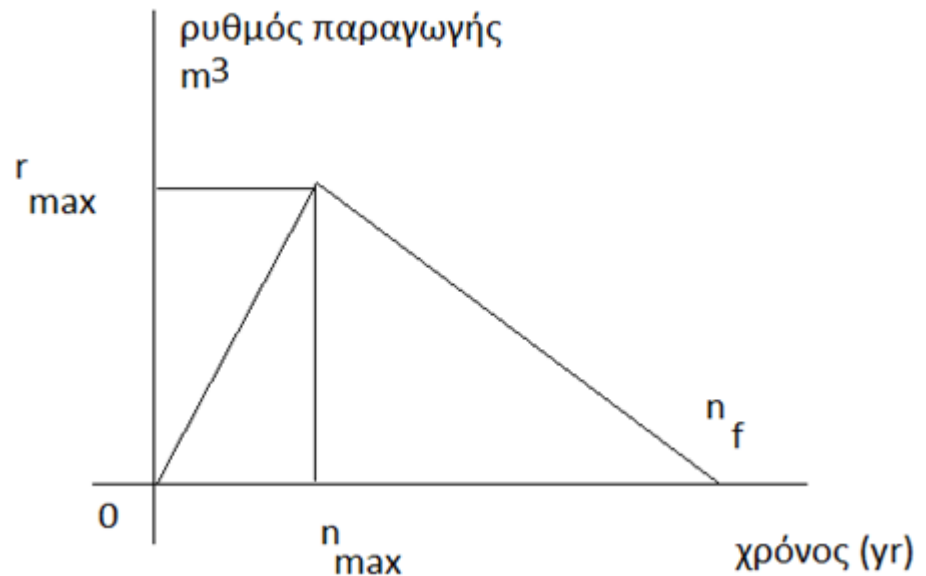
Σχηματισμός, Σύσταση, Κίνηση και Ρύθμιση Διηθημάτων

- Τα διηθήματα συλλέγονται στο βυθό της χωματερής και στη συνέχεια διηθούνται στο έδαφος εκτός εάν υπάρχει δάπεδο από πηλό ή άλλο υλικό που να έχει χαμηλή διαπερατότητα.
- Τα διηθήματα μπορούν να ανακυκλωθούν στη χωματερή βελτιώνοντας τη βιολογική δραστηριότητα.
- Εναλλακτικά μπορούν
 - να εξατμιστούν σε κατάλληλες δεξαμενές
 - να τύχουν βιολογικής ή φυσικοχημικής επεξεργασίας, ή
 - να διατεθούν στο αποχετευτικό δίκτυο.

Τυπική σύσταση διηθημάτων χώρου υγειονομικής ταφής: Τιμή (mg/l)

Συστατικό	Νέα χωματερή(< 2 έτη)		Ώριμη χωματερή (> 2 έτη)
	Φάσμα	Τυπικά	
BOD ₅	2.000 - 30.000	10.000	100 - 200
TOC	15.00 – 20.000	6.000	80 - 160
COD	3.000 – 60.000	18.000	100 - 500
TSS	200 - 2.000	500	100 - 400
Οργ. N	10 - 800	200	80 - 120
NH ₄ ⁺ - N	10 - 800	200	20 - 40
NO ₃ ⁻	5 - 40	25	5 - 10
ολικός P	5 - 100	30	5 - 10
ορθοφωσφορικά	4 - 80	20	4 - 8
αλκαλικότητα	1.000 – 10.000	3.000	200 – 1.000
pH	4,5 - 7,5	6	6,6 – 7,5
σκληρότητα	300 - 10000	3.500	200 - 500
Ca	200 - 3000	1000	100 - 400
Mg	50 - 1500	250	50 - 200
K	200 - 1000	300	50 - 400
Na	200 - 2500	500	100 - 200
Cl ⁻	200 - 3000	500	100 - 400
SO ₄ ²⁻	50 - 1000	300	20 - 150
ολ. σίδηρος	50 - 1200	60	20 - 200

- Θεωρούμε ότι το βιοαέριο παράγεται από κάθε τύπο αποβλήτου με ετήσιο ρυθμό που περιγράφεται από το τρίγωνο του σχήματος .
- Για τα γρήγορα αποδομήσιμα απόβλητα
 $n_{\max}=1$, $n_f=5$,
 $r_{\max}=0,5 \text{ m}^3/\text{kg}$,
- Για τα αργά
 $n_{\max}=5$, $n_f=15$ και
 $r_{\max}=0,18 \text{ m}^3/\text{kg}$.



- Η συνολική παραγωγή βιοαερίου ισούται με το εμβαδόν του τριγώνου και είναι επομένως $n_f r_{\max} / 2$.
- Άρα είναι $r_{\max 1} = 1,25 \text{ m}^3/\text{kg}$ για τα γρήγορα αποδομήσιμα και $r_{\max 2} = 1,35 \text{ m}^3/\text{kg}$ για τα αργά.

Άσκηση

Ένας ΧΥΤΑ έχει 5 χρόνια ζωής.

Το 35% κατά βάρος των απορριμμάτων είναι γρήγορα αποδομήσιμα και το 4% κ.β. είναι αργά αποδομήσιμα.

Βρείτε την παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου κατά τα 5 χρόνια λειτουργίας του ΧΥΤΑ και την ετήσια παραγωγή για τα επόμενα 15 χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ.

Υποθέσατε ότι η πόλη που εξυπηρετεί έχει 100.000 κατοίκους με μέση παραγωγή απορριμμάτων 1 kg/(κάτοικο.d).

Η ετήσια εναπόθεση είναι

$100.000 \text{ κάτοικοι} \times 1 \text{ kg}/(\text{κάτοικο} \cdot \text{d}) \times 365 \text{ d}/\text{yr} = 36.500 \text{ ton}/\text{yr} = 3,65 \times 10^7 \text{ kg}/\text{yr}$.

Από αυτά, το 35% ή $1,2775 \times 10^7 \text{ kg}/\text{yr} = a_1$ είναι γρήγορα βιοαποδομήσιμα και 4% ή $0,146 \times 10^7 \text{ kg}/\text{yr} = a_2$ είναι αργά αποδομήσιμα.

1 kg γρήγορα αποδομήσιμων σύμφωνα με το τρίγωνο του σχήματος παράγει:

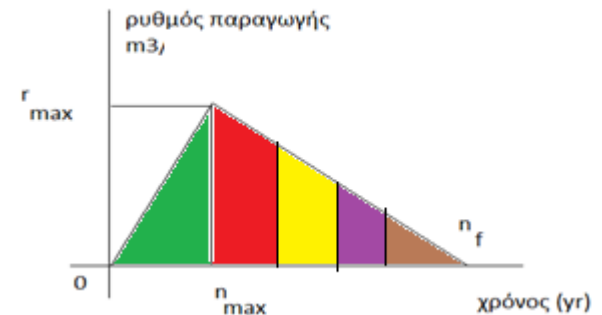
Τον πρώτο χρόνο $1/2 \times 1 \times r_{\max_1} = 0,5 r_{\max_1}$

Τον δεύτερο $1/2(r_{\max_1} + 3/4 r_{\max_1}) = 0,875 r_{\max_1}$

Τον τρίτο $1/2(3/4 r_{\max_1} + 2/4 r_{\max_1}) = 0,625 r_{\max_1}$

Τον τέταρτο $1/2(2/4 r_{\max_1} + 1/4 r_{\max_1}) = 0,375 r_{\max_1}$

Τον πέμπτο $1/2(1/4 r_{\max_1}) = 0,125 r_{\max_1}$



Μια και εναπόθεση ποσότητας a_1 θα έχουμε για κάθε ένα από τα πρώτα πέντε χρόνια η παραγωγή βιοαερίου από τα γρήγορα αποδομήσιμα θα είναι:

Χρόνος 1	0,5	$a_1 \cdot r_{\max_1}$
Χρόνος 2	$0,5 + 0,875 = 1,375$	$a_1 \cdot r_{\max_1}$
Χρόνος 3	$0,5 + 0,875 + 0,625 = 2$	$a_1 \cdot r_{\max_1}$
Χρόνος 4	$0,5 + 0,875 + 0,625 + 0,375 = 2,375$	$a_1 \cdot r_{\max_1}$
Χρόνος 5	$0,5 + 0,875 + 0,625 + 0,375 + 0,125 = 2,5$	$a_1 \cdot r_{\max_1}$
Χρόνος 6	$0,875 + 0,625 + 0,375 + 0,125 = 2$	$a_1 \cdot r_{\max_1}$
Χρόνος 7	$0,625 + 0,375 + 0,125 = 1,125$	$a_1 \cdot r_{\max_1}$
Χρόνος 8	$0,375 + 0,125 = 0,5$	$a_1 \cdot r_{\max_1}$
Χρόνος 9	0,125	$a_1 \cdot r_{\max_1}$

Αντίστοιχα η παραγωγή βιοαερίου από 1kg αργά αποδομήσιμου θα είναι:

Τον πρώτο χρόνο $1/2 \times 1/5 r_{\max 2} = 0,1 r_{\max 2}$

Τον δεύτερο $1/2(1/5 r_{\max 2} + 2/5 r_{\max 2}) = 0,3 r_{\max 2}$

Τον τρίτο $1/2(2/5 r_{\max 2} + 3/5 r_{\max 2}) = 0,5 r_{\max 2}$

Τον τέταρτο $1/2(3/5 r_{\max 2} + 4/5 r_{\max 2}) = 0,7 r_{\max 2}$

Τον πέμπτο $1/2(4/5 r_{\max 2} + 5/5 r_{\max 2}) = 0,9 r_{\max 2}$

Τον έκτο $1/2(10/10 r_{\max 2} + 9/10 r_{\max 2}) = 0,95 r_{\max 2}$

Τον έβδομο $1/2(9/10 r_{\max 2} + 8/10 r_{\max 2}) = 0,85 r_{\max 2}$

Τον όγδοο $1/2(8/10 r_{\max 2} + 7/10 r_{\max 2}) = 0,75 r_{\max 2}$

Τον ένατο $1/2(7/10 r_{\max 2} + 6/10 r_{\max 2}) = 0,65 r_{\max 2}$

Τον δέκατο $1/2(6/10 r_{\max 2} + 5/10 r_{\max 2}) = 0,55 r_{\max 2}$

Τον ενδέκατο $1/2(5/10 r_{\max 2} + 4/10 r_{\max 2}) = 0,45 r_{\max 2}$

Τον δωδέκατο $1/2(4/10 r_{\max 2} + 3/10 r_{\max 2}) = 0,35 r_{\max 2}$

Τον δεκατοτρίτο $1/2(3/10 r_{\max 2} + 3/10 r_{\max 2}) = 0,25 r_{\max 2}$

Τον δεκατοτέταρτο $1/2(3/10 r_{\max 2} + 1/10 r_{\max 2}) = 0,15 r_{\max 2}$

Τον δεκατοτοπέμπτο $1/2(1/10 r_{\max 2}) = 0,05 r_{\max 2}$

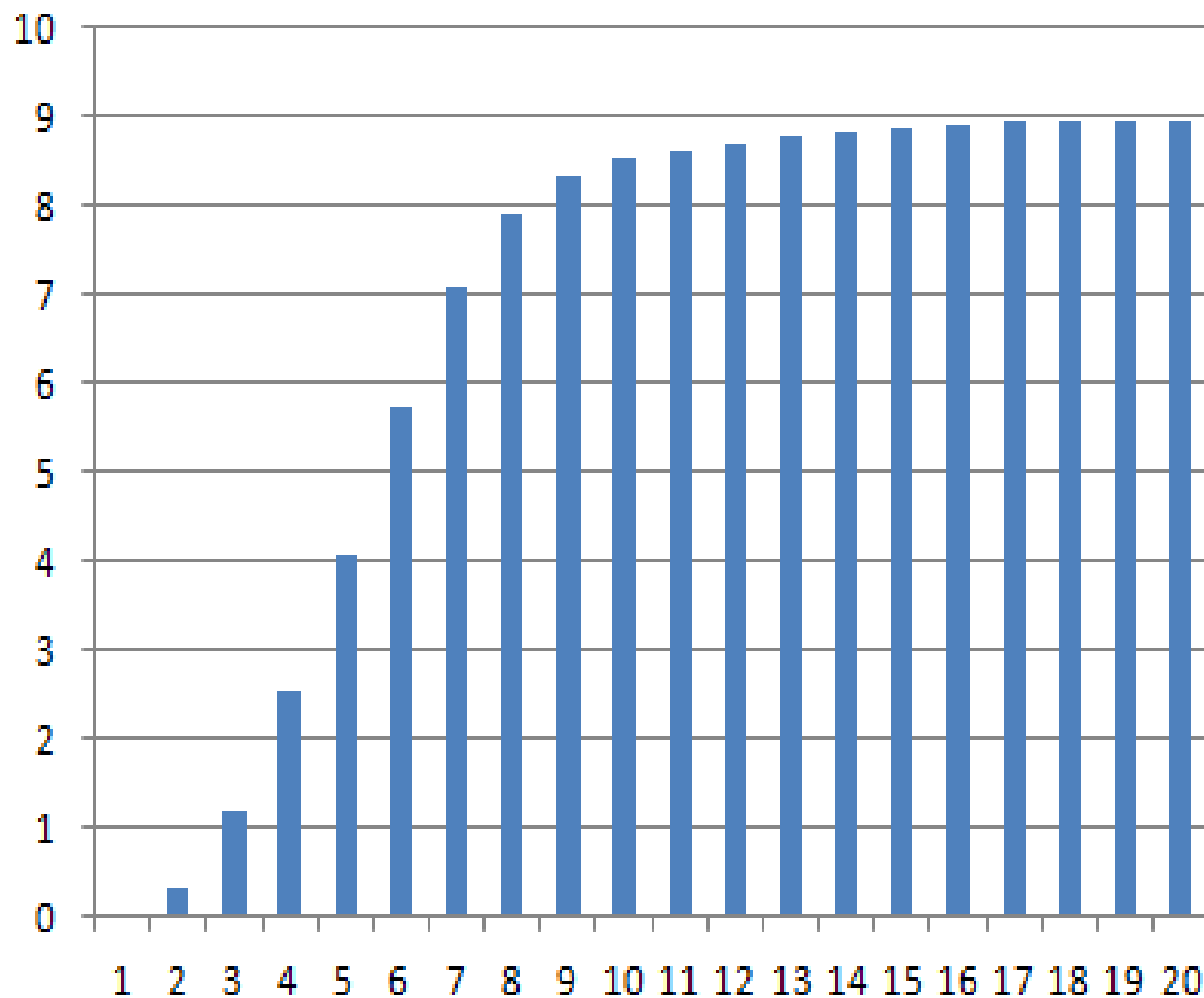
Μια και εναπόθεση ποσότητας α_2 θα έχουμε για κάθε ένα από τα πρώτα πέντε χρόνια η παραγωγή βιοαερίου από τα αργά αποδομήσιμα θα είναι:

Χρόνος 1:0,1	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 2:0,1+0,3=0,4	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 3:0,1+0,3+0,5=0,9	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 4:0,1+0,3+0,5+0,7=1,6	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 5:0,1+0,3+0,5+0,7+0,9=2,5	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 6: 0,3+0,5+0,7+0,9+0,95=3,35	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 7: 0,5+0,7+0,9+0,95+0,85=3,9	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 8: 0,7+0,9+0,95+0,85+0,75=4,05	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 9: 0,9+0,95+0,85+0,75+0,65=4,1	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 10: 0,95+0,85+0,75+0,65+0,55=3,75	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 11: 0,85+0,75+0,65+0,55+0,45=3,25	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 12: 0,75+0,65+0,55+0,45+0,35=2,75	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 13: 0,65+0,55+0,45+0,35+0,25=2,25	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 14: 0,55+0,45+0,35+0,25+0,15=1,75	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 15: 0,45+0,35+0,25+0,15+0,05=1,25	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 16: 0,35+0,25+0,15+0,05=0,80	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 17: 0,25+0,15+0,05=0,45	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 18: 0,15+0,05=0,20	$\alpha_2.r_{\max 2}$
Χρόνος 19: 0,05	$\alpha_2.r_{\max 2}$

Προσθέτοντας την παραγωγή από γρήγορα
και αργά ανά έτος
(με $r_{\max_1}=0,5 \text{ m}^3/\text{kg}$, $r_{\max_2}=0,18 \text{ m}^3/\text{kg}$)
προκύπτει ο ρυθμός ετήσιας παραγωγής
(δεύτερη στήλη του πίνακα)
ενώ η τρίτη στήλη δίνει το συνολικά
παραχθέν βιοαέριο:

Έτος	Ρυθμός ετήσιας παραγωγής βιοαερίου (10 ⁷ m ³)	Συνολικά παραχθέν βιοαέριο (10 ⁷ m ³)
0	0	0
1	0,322	0,322
2	0,889	1,211
3	1,301	2,512
4	1,559	4,071
5	1,663	5,734
6	1,366	7,099
7	0,821	7,920
8	0,426	8,346
9	0,188	8,534
10	0,099	8,632
11	0,085	8,718
12	0,072	8,790
13	0,059	8,849
14	0,046	8,895
15	0,033	8,928
16	0,021	8,949
17	0,012	8,961
18	0,005	8,966
19	0,001	8,967

Συνολικά
παραχθέν
βιοαέριο
 $\times 10^7 \text{m}^3$



έτος

Τα απορρίμματα, καθώς τοποθετούνται νέα ταμπάνια, έχουν ολοένα αυξανόμενο υπερκείμενο βάρος.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη **συμπίεση** τους και τη μείωση της υγρασίας που μπορούν να συγκρατήσουν (την ικανότητα πεδίου).

Συγκεκριμένα έχουμε:
$$FC = 0,6 - \frac{0,55B}{18.870 + B}$$

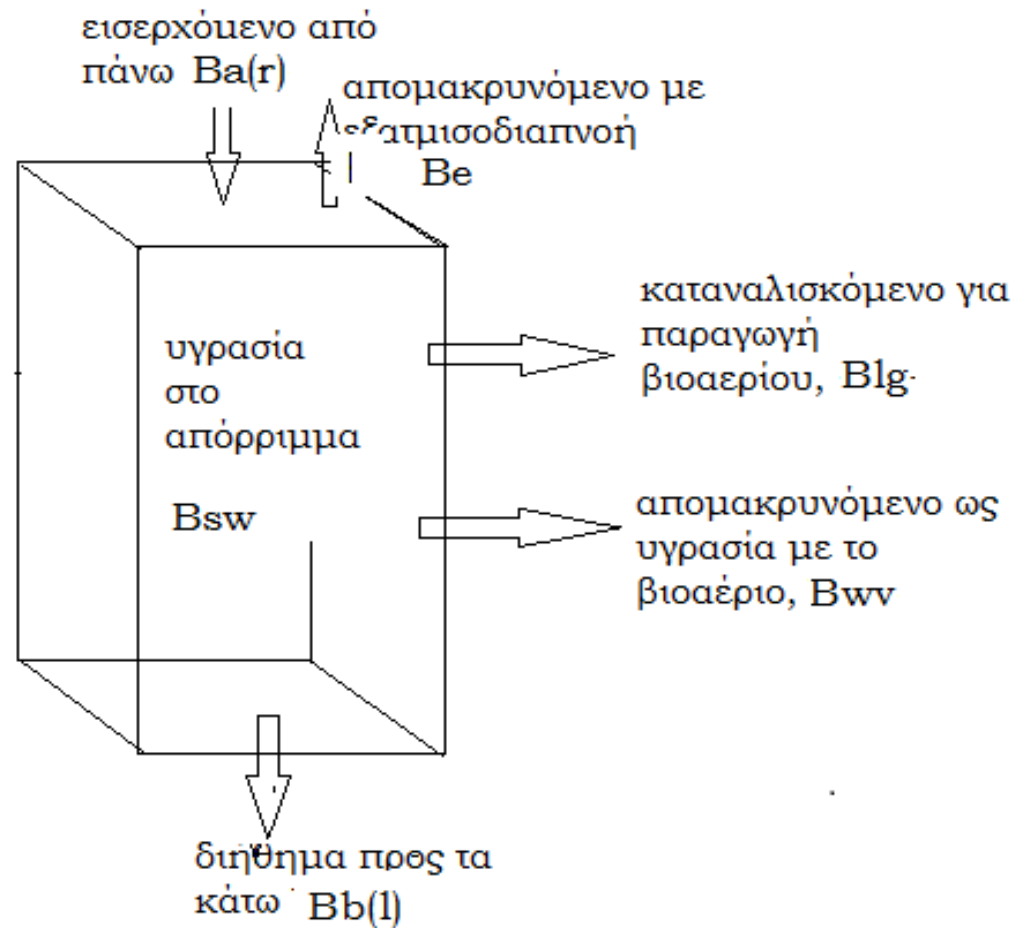
Η **ικανότητα πεδίου FC** είναι το κλάσμα νερού στα απορρίμματα με βάση το ξηρό τους βάρος.

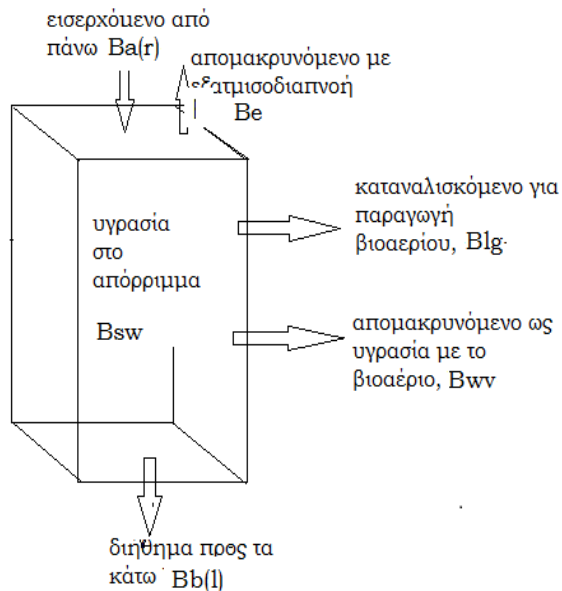
Εδώ B(kg) είναι το υπερκείμενο βάρος, υπολογιζόμενο στο μέσο ύψος των απορριμμάτων στο συγκεκριμένο ταμπάνι.

Δημιουργία διηθήματος

- Το εάν και κατά πόσο θα σχηματισθεί διήθημα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η **αρχική υγρασία** των απορριμμάτων σε σχέση με την ικανότητα πεδίου και η **βροχόπτωση** κατά κύριο λόγο.
- Εξαρτάται όμως και από άλλες παραμέτρους.
- Ένα ισοζύγιο σε ετήσια βάση για κάθε ταμπάνι μας προσδιορίζει την ποσότητα του διηθήματος που θα σχηματιστεί.
- Το ισοζύγιο για έναν όγκο ελέγχου, τυπικά ένα ταμπάνι δίνεται στο σχήμα

Ισοζύγιο νερού σε ταμπάνι

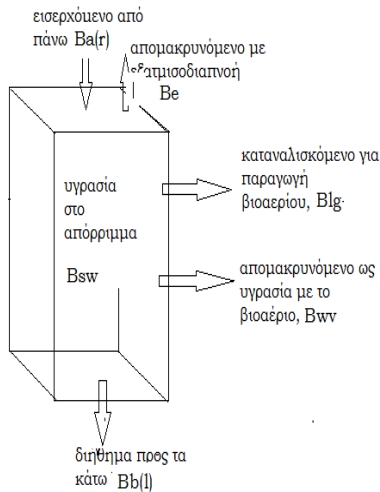




- Ο όγκος ελέγχου λαμβάνεται ως επιφάνεια 1 m^2 ενός ταμπανιού.
- Σε ένα χρόνο υπολογίζουμε την ποσότητα του νερού που θα δημιουργηθεί μέσα στον όγκο ελέγχου.
- Αν αυτή ξεπερνά την ικανότητα πεδίου θα δημιουργηθεί διήθημα προς το πιο κάτω ταμπάνι.
- Αν όχι, δεν θα δημιουργηθεί.
- Τους υπολογισμούς τους αρχίζουμε από το πάνω-πάνω ταμπάνι, όπου το εισερχόμενο νερό από πάνω είναι η ετήσια βροχόπτωση, και συνεχίζουμε προς τα κάτω.
- Το εξερχόμενο από το τελευταίο ταμπάνι θα είναι το διήθημα που θα παραχθεί για το συγκεκριμένο έτος.

Το ισοζύγιο παίρνει την μορφή:

$$B_{sw}(\text{νέο}) = B_{sw}(\text{περσινό}) + B_a(r) - B_e - B_{lg} - B_{wn} - B_b(l)$$



Αν το άθροισμα $B_{sw}(\text{περσινό}) + B_a(r) - B_e - B_{lg} - B_{wn}$ ξεπερνά την ικανότητα πεδίου τότε:

$$B_{sw}(\text{νέο}) = FCx(\text{ξηρό βάρος})$$

και η εξίσωση μπορεί να επιλυθεί για να ευρεθεί το διήθημα $B_b(l)$.

Αν όχι, τότε $B_b(l) = 0$ και η εξίσωση μας δίνει το $B_{sw}(\text{νέο})$.

Άσκηση

Θεωρήσατε τον ΧΥΤΑ της προηγούμενης άσκησης.

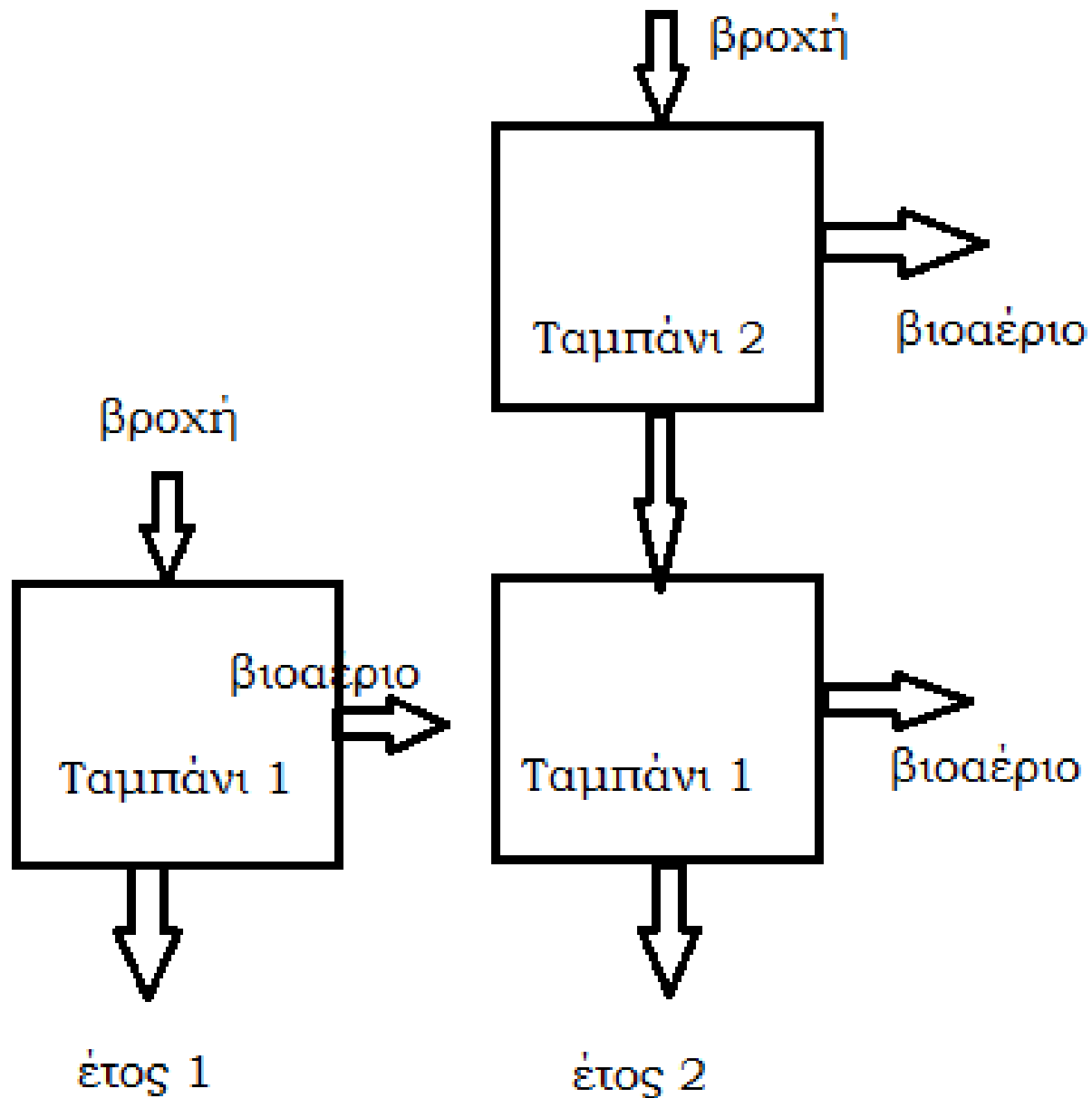
Υποθέσατε σταθερή ετήσια βροχόπτωση 400mm και αμελητέα εξατμισοδιαπνοή.

Θεωρήσατε κατανάλωση 0,122 kg/m³ νερού για την παραγωγή βιοαερίου και περιεκτικότητα υγρασίας 0,0122 kg/m³ στο βιοαέριο.

Το ειδικό βάρος (πυκνότητα) του βιοαερίου είναι 1 kg/m³.

Θεωρήσατε ακόμη ότι η αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία των απορριμμάτων είναι 20% κατά βάρος, ότι το ειδικό βάρος (πυκνότητα) των συμπιεσμένων απορριμμάτων είναι 592,5 kg/m³ και ότι το ύψος κάθε ταμπανιού είναι 2,3 m.

Προσδιορίστε την ποσότητα του διηθήματος στο τέλος του πρώτου και στο τέλος του δεύτερου χρόνου.



Η ετήσια εναπόθεση είναι **$3,65 \times 10^7 \text{ kg/yr}$** .

Με ειδικό βάρος (πυκνότητα) συμπιεσμένων $592,5 \text{ kg/m}^3$ ο όγκος που καταλαμβάνει η ετήσια εναπόθεση είναι **$61.000 \text{ m}^3/\text{y}$** .

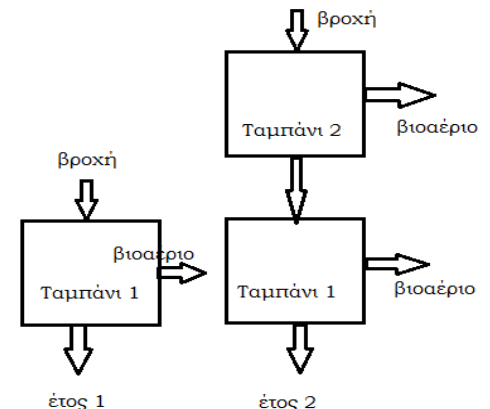
Με ύψος ταμπανιού $2,3 \text{ m}$, η επιφάνεια είναι $61.000/2,3 = \mathbf{27.000 \text{ m}^2}$.

Το βάρος ανά m^2 επομένως είναι $3,65 \times 10^7 / 27.000 = \mathbf{1.352 \text{ kg}}$.

Αυτό είναι κατά 80% ή **1.082 kg ξηρό** και **270 kg υγρασία** (Bsw).

Το βάρος της εισερχόμενης βροχής ανά m^2 ετησίως θα είναι $0,4 \text{ m} \times 1000 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{400 \text{ kg}}$ (Ba(r)).

Άρα το συνολικό βάρος (μάζα) με τη βροχή είναι **1.752 kg** .



Κατά το πρώτο έτος:

Το παραγόμενο βιοαέριο είναι **$3,22 \times 10^6 \text{ m}^3$** για όλη την εναπόθεση που αντιστοιχεί σε

$3,22 \times 10^6 / 27.000 = \mathbf{119 \text{ m}^3}$ για κάθε m^2 .

Αυτό έχει βάρος (μάζα) **119 kg** .

Για να παραχθεί καταναλώνονται

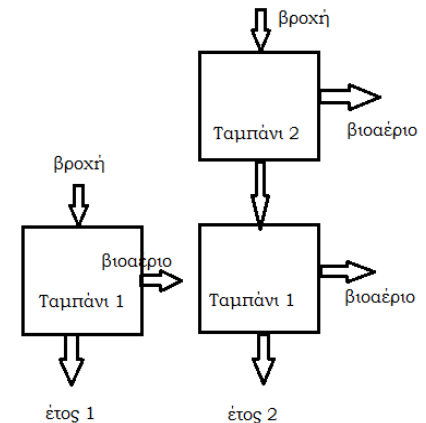
$0,122 \text{ kg/m}^3 \times 119 \text{ m}^3 = \mathbf{14,5 \text{ kg νερού}}$ = B_{lg}

Το νερό που φεύγει με το βιοαέριο είναι

$0,0122 \text{ kg/m}^3 \times 119 \text{ m}^3 = \mathbf{1,45 \text{ kg νερού}}$ = B_{wn}

Το ξηρό βάρος (μάζα) των απορριμμάτων στο τέλος του πρώτου έτους θα είναι επομένως

$1082 \text{ kg} - (119 \text{ kg} - 14,5) \text{ kg} = \mathbf{977,5 \text{ kg}}$



Άρα έχουμε ότι το συνολικό νερό που προστέθηκε είναι

$B_{sw} \text{ (περσινό)} + B_a(r) - B_e - B_{lg} - B_{wn} = 270\text{kg} + 400\text{kg} - 14,5\text{kg} - 1,45\text{kg} = \mathbf{654\text{kg}}$.

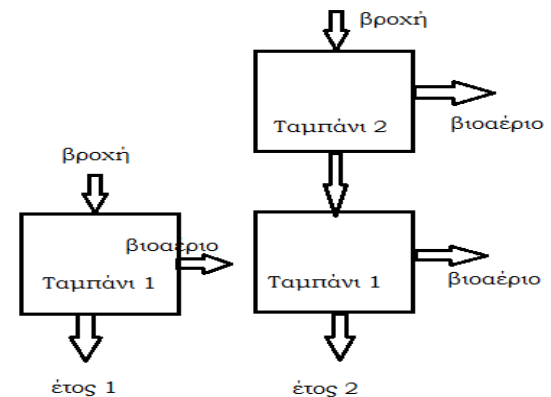
Το μέσο βάρος B της εναπόθεσης στο ταμπάνι είναι $0,5 \times 1.752 = \mathbf{876\text{kg}}$.

Εφαρμογή της σχέσης δίνει $\mathbf{FC=0,576}$.

Άρα το νερό που μπορεί να κατακρατηθεί είναι $0,576 \times 977,5\text{kg} = \mathbf{563\text{kg}}$.

Άρα θα παραχθεί διήθημα $654 - 563 = \mathbf{91\text{ kg/m}^2}$ το πρώτο έτος.

Το ολικό βάρος του ταμπανιού θα είναι $977,5 + 563 = \mathbf{1.540,5\text{ kg/m}^2}$.



Το δεύτερο έτος:

Για το ταμπάνι 2 θα γίνει ό,τι ακριβώς έγινε για το ταμπάνι 1 το πρώτο έτος. Δηλαδή στο τέλος του δεύτερου έτους θα έχει ανά m^2 συνολικό ξηρό βάρος (μάζα) 977,5 kg και 563 kg νερού, δηλαδή συνολικό βάρος (μάζα) **1.540,5kg**.

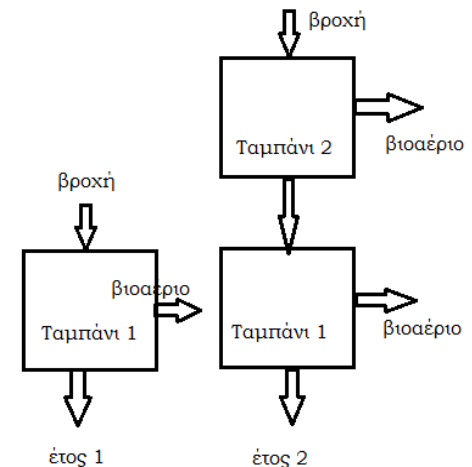
Για το πρώτο ταμπάνι κατά το δεύτερο έτος έχουμε:

Το παραγόμενο βιοαέριο κατά το δεύτερο έτος είναι **$8,88 \times 10^6 m^3$** .

Μια και από αυτό $3,22 \times 10^6 m^3$ θα παραχθεί από το δεύτερο ταμπάνι, η παραγωγή από το πρώτο θα είναι $5,66 \times 10^6 m^3$ για όλη την εναπόθεση που αντιστοιχεί σε $5,66 \times 10^6 / 27.000 =$ **$210 m^3$** για κάθε m^2 .

Αυτό έχει βάρος (μάζα) **210kg**.

Για να παραχθεί καταναλώνονται $0,122 kg/m^3 \times 210 m^3 =$ **25,6kg νερού** = Blg



Το νερό που φεύγει με το βιοαέριο είναι $0,0122 \text{ kg/m}^3 \times 210 \text{ m}^3 = \mathbf{2,56 \text{ kg νερού}} = B_{wn}$

Το ξηρό βάρος των απορριμμάτων στο τέλος του πρώτου έτους θα είναι επομένως $977,5 \text{ kg} - (210 \text{ kg} - 25,6 \text{ kg}) = \mathbf{793,1 \text{ kg}}$

Άρα έχουμε ότι το συνολικό νερό που προστέθηκε είναι

$B_{sw} (\text{περσινό}) + B_{a(r)} - B_e - B_{lg} - B_{wn} = 563 \text{ kg} + 91 \text{ kg} - 25,6 \text{ kg} - 2,56 \text{ kg} = \mathbf{625,84 \text{ kg}}.$

Το μέσο βάρος W της εναπόθεσης στο ταμπάνι είναι όλο το ταμπάνι 2 βάρους $1,752$ και το μισό του ταμπανιού 1, δηλαδή

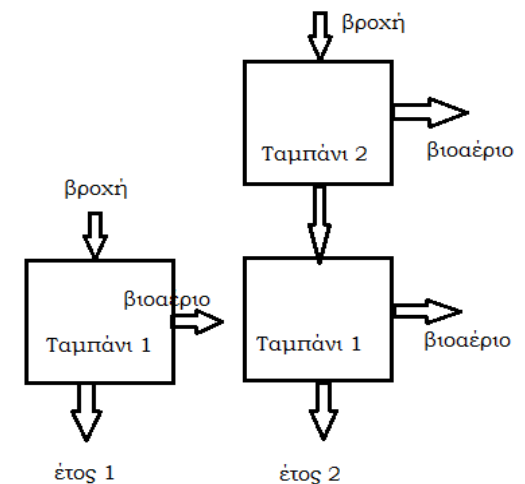
$0,5 \times (977,5 + 563) + 1,752 = \mathbf{2,522 \text{ kg}}.$

Εφαρμογή της σχέσης δίνει $\mathbf{FC = 0,535}.$

Άρα το νερό που μπορεί να συγκρατηθεί είναι $0,576 \times 793,1 \text{ kg} = \mathbf{456,8 \text{ kg}}.$

Άρα θα παραχθεί διήθημα $625,84 - 456,8 = \mathbf{169 \text{ kg/m}^2}$ το δεύτερο έτος.

Το ολικό βάρος (μάζα) του ταμπανιού θα είναι $793,1 + 456,8 = \mathbf{1.249,9 \text{ kg/m}^2}.$



Καθίζηση ΧΥΤΑ και εξοικονόμηση χώρου

Καθώς καταναλώνεται η οργανική ύλη μετατρέπόμενη σε βιοαέριο και καθώς τοποθετούνται νέα ταμπάνια πάνω από τα υπάρχοντα, παρατηρείται καθίζηση στο ΧΥΤΑ, κάτι που έχει τα προβλήματα του γιατί δημιουργεί ανομοιομορφίες στην επιφάνεια, αλλά ταυτόχρονα οδηγεί και σε εξοικονόμηση χώρου.

Υποθέτοντας ένα αρχικό ειδικό βάρος (πυκνότητα) $592,5 \text{ kg/m}^3$, το ειδικό βάρος μεταβάλλεται με την υπερκείμενη πίεση (εκφρασμένη σε kg/m^2) με βάση τη σχέση:

$$SW_p = 592,5 + \frac{P}{22,5 + 0,0017P}$$

Άσκηση

Για τα δεδομένα της προηγούμενης άσκησης προσδιορίστε την εξοικονόμηση χώρου που θα προκύψει στο τέλος του δεύτερου χρόνου από την ενδεχόμενη καθίζηση.

Λύση

Στο τέλος του δεύτερου χρόνου θα έχουμε:

Βάρος ταμπανιού 1 **1249,9 kg**

Βάρος ταμπανιού 2 **1540,5 kg**

Άρα στο μέσο του ταμπανιού 1 θα έχουμε:

$$1540.5 + 1249.9 / 2 = \mathbf{2165.45 \text{ kg}}$$

Άρα αντικαθιστώντας στην εξίσωση ευρίσκουμε:

$$SW_p = 592,5 + \frac{2.165}{22,5 + 0,0017 \times 2165} = \mathbf{675 \frac{kg}{m^3}}$$

Άρα αν h είναι το νέο ύψος του ταμπανιού θα έχουμε:

$$1.249,9 \text{ kg/m}^2 = 675 \times h \quad \text{εξ ου } h = \mathbf{1,85 \text{ m}}.$$

Άρα θα μειωθεί το ύψος του ταμπανιού 1 κατά $2,3 - 1,85 = 0,45 \text{ m}$
εξοικονομώντας συνολικά $0,45 \times 27.000 = \mathbf{12.150 \text{ m}^3}$.