

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Γεράσιμος Λυμπεράτος, Καθηγητής ΕΜΠ



Αναερόβια χώνευση ονομάζουμε τη διεργασία κατά την οποία οργανική ύλη μετατρέπεται σε CH_4 και CO_2 (**βιοαέριο**) με τη **συνδυαστική δράση** μεικτού πληθυσμού μικροοργανισμών **απουσία οξυγόνου**.

Η διεργασία αυτή απαντάται στο πεπτικό σύστημα των μηρυκαστικών ζώων αλλά και γενικότερα στην φύση, όπου επικρατούν αναερόβιες συνθήκες (π.χ. στο έδαφος).

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ:

Οργανική ύλη + νερό $\rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S} + \text{νέα κύτταρα} + \text{θερμότητα}$

Βιοαέριο: CH_4 : 30-70%, CO_2 : 30-70%

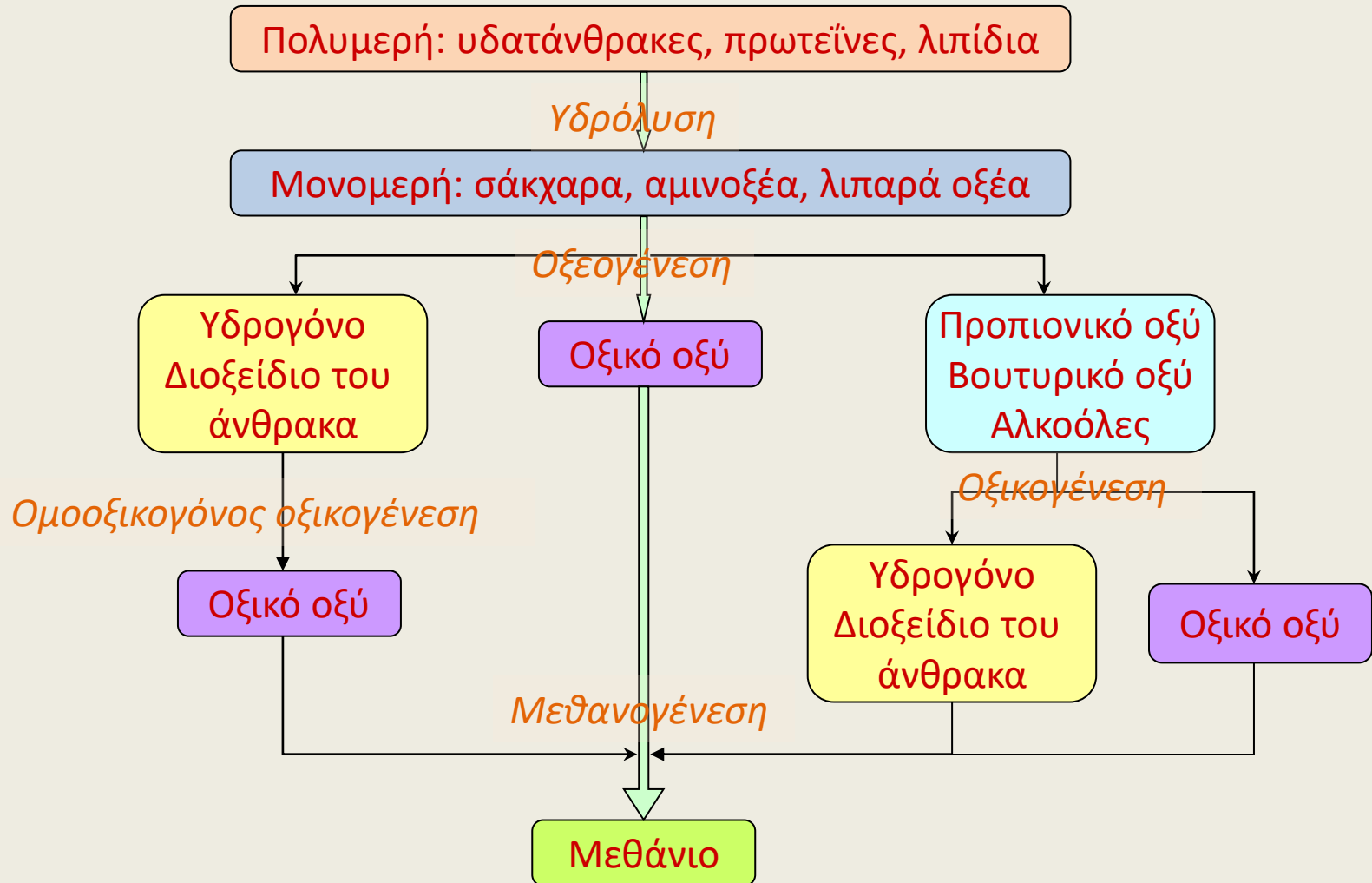
Πλεονεκτήματα

- η διεργασία παράγει **μεθάνιο**
- έχει μικρές απαιτήσεις σε υποστρώματα
- παράγει μικρές ποσότητες μικροβιακής μάζας.

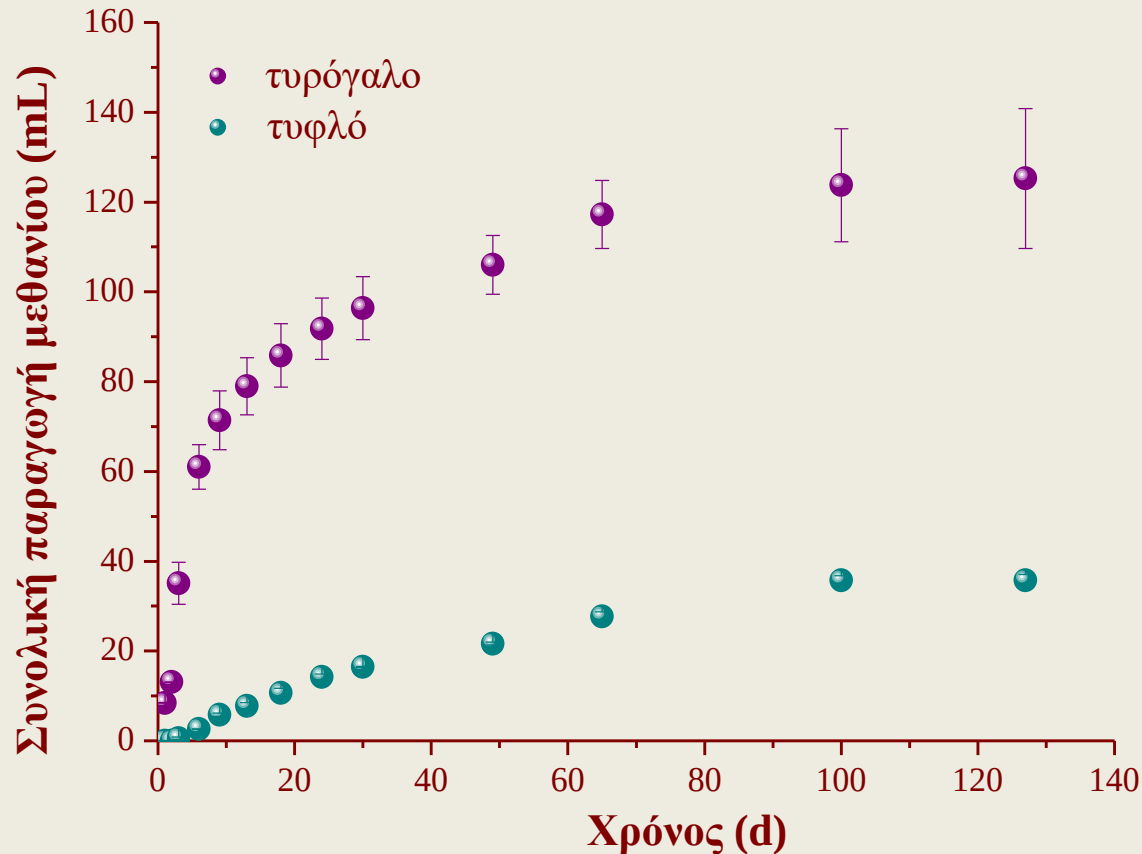
Εφαρμογές Αναερόβιας χώνευσης

- Σταθεροποίηση λυματολάσπης
- Επεξεργασία αγροβιομηχανικών αποβλήτων
- Ενεργειακή αξιοποίηση οργανικών υπολειμμάτων
- Επεξεργασία ζυμώσιμου κλάσματος αστικών απορριμμάτων

Διεργασία αναερόβιας χώνευσης

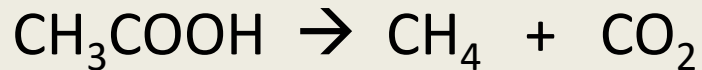


Βιοχημικά μεθανογόνο δυναμικό

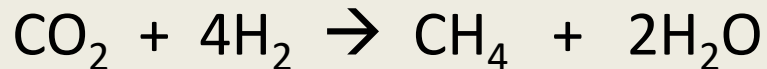


- $(0.131-0.036) \text{ l μεθανίου} / 0.31 \text{ g COD} = 0.31 \text{ l/g προστ. COD}$
- Μέγιστη παραγωγή μεθανίου $0.35 \text{ l/g προστ. COD}$
- Αποδομησιμότητα: $0.31/0.35 * 100\% = 88.6 \%$

Περίπου το 72% του CH₄ που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση **ιλύος** προέρχεται από τη διάσπαση του οξικού οξέος:



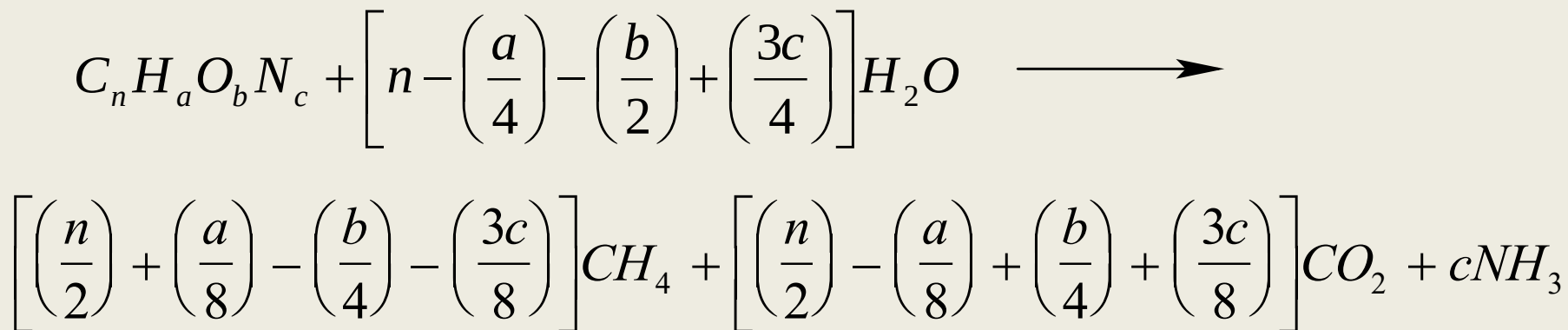
Το υπόλοιπο 28% προκύπτει από την αναγωγή του CO₂ χρησιμοποιώντας H₂ ως πηγή ενέργειας:



- Οι σχηματιστές οξέων είναι προαιρετικά αερόβιοι μικροοργανισμοί ενώ τα μεθανοβακτήρια είναι αυστηρά αναερόβιοι μικροοργανισμοί.
- Η αναερόβια χώνευση είναι είτε **μεσοφιλική** (βέλτιστη θερμοκρασία $\sim 37^{\circ}\text{C}$), είτε **θερμοφιλική** (βέλτιστη θερμοκρασία $\sim 55^{\circ}\text{C}$).
- Η θερμοφιλική είναι ελαφρά ταχύτερη, αλλά απαιτεί ακριβή ρύθμιση θερμοκρασίας και είναι ασύμφορη ενεργειακά.

Αναερόβια χώνευση ενός σύνθετου οργανικού
υποστρώματος ($C_nH_aO_bN_c$)

Εξίσωση **Buswell**:



Η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται σε μια ποικιλία εγκαταστάσεων που περιλαμβάνει

- ✓ **απλούς χωνευτήρες** (χωρίς ανάδευση και συνήθως χωρίς θέρμανση),
- ✓ **συμβατικούς χωνευτήρες μιας βαθμίδας** (όπου πραγματοποιείται ανάδευση και θέρμανση),
- ✓ **χωνευτήρες δυο βαθμίδων**,
- ✓ **χωνευτήρες με ανακυκλοφορία ιλύος** για αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών,
- ✓ **χωνευτήρες ανοδικής ροής με αιωρούμενη** ή προσκολλημένη βιομάζα και τα
- ✓ **βιολογικά αναερόβια φίλτρα.**

Χωνευτήρας πολυεστέρα στο Βιετνάμ



Αναερόβιοι χωνευτήρες ιλύος



Αεριοφυλάκια



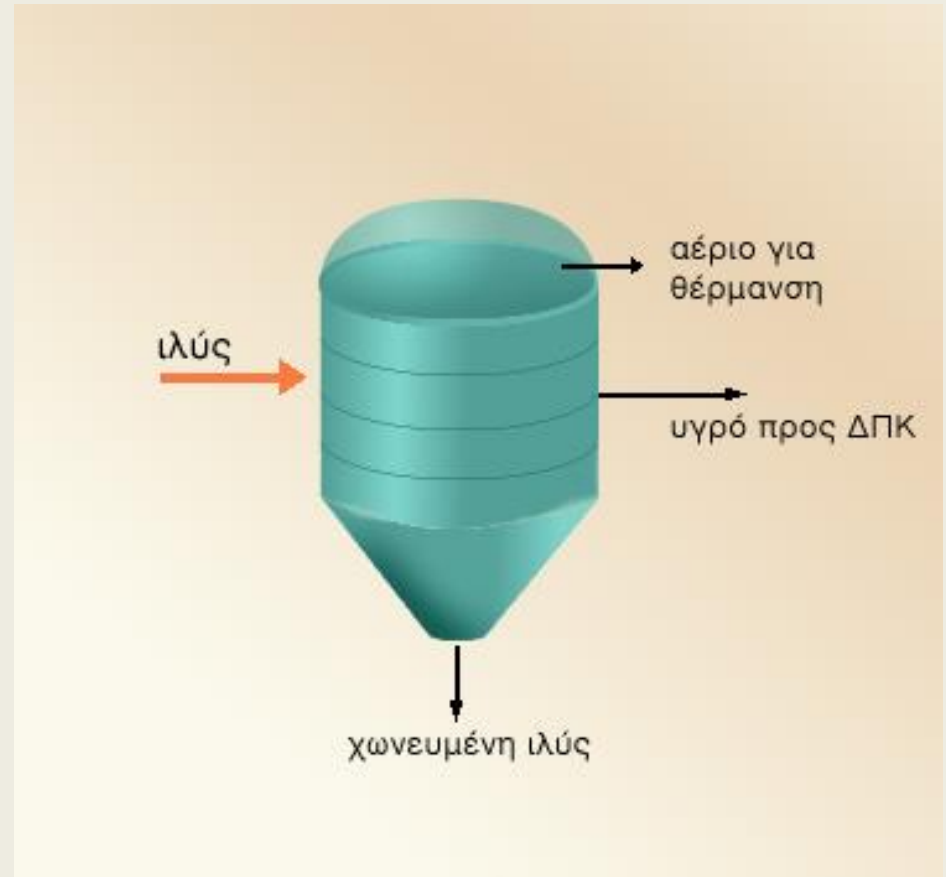
Ηλεκτρογεννήτριες για την Αξιοποίηση του Βιοαερίου



Αναερόβιοι Χωνευτήρες ενός σταδίου ή Συμβατικά Συστήματα (*Conventional system*)

χρησιμοποιούνται για επεξεργασία μικρών ποσοτήτων, παραγόμενης από επεξεργασία αποβλήτων, ιλύος ή μικρών ποσοτήτων υγρών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο.

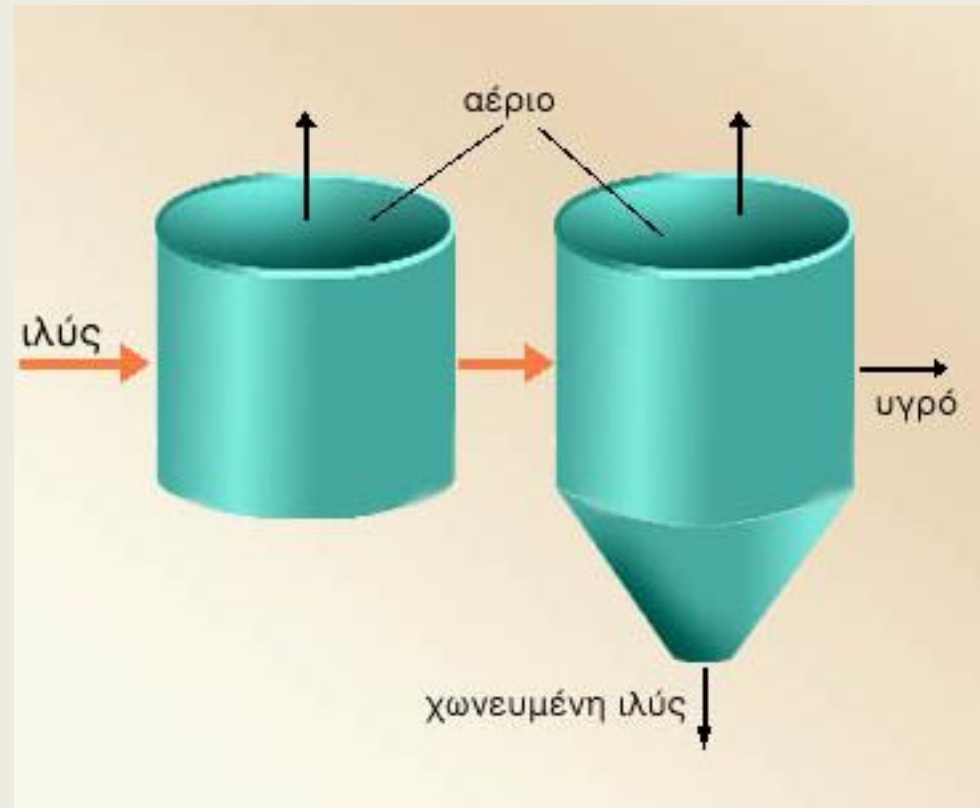
Χρόνος παραμονής 30-60 d
Φορτίσεις 0,5 - 1,6 (kgVSS)/(m³d).



Αναερόβιος χωνευτήρας ιλύος δύο σταδίων

Εφαρμόζεται σε στερεά ή ημι-στερεά απόβλητα και θεωρείται αποδοτικότερη από τα συστήματα ενός σταδίου, δεδομένου ότι οι συνθήκες που βελτιστοποιούν κάθε φάση μπορούν να ρυθμιστούν αποτελεσματικά.

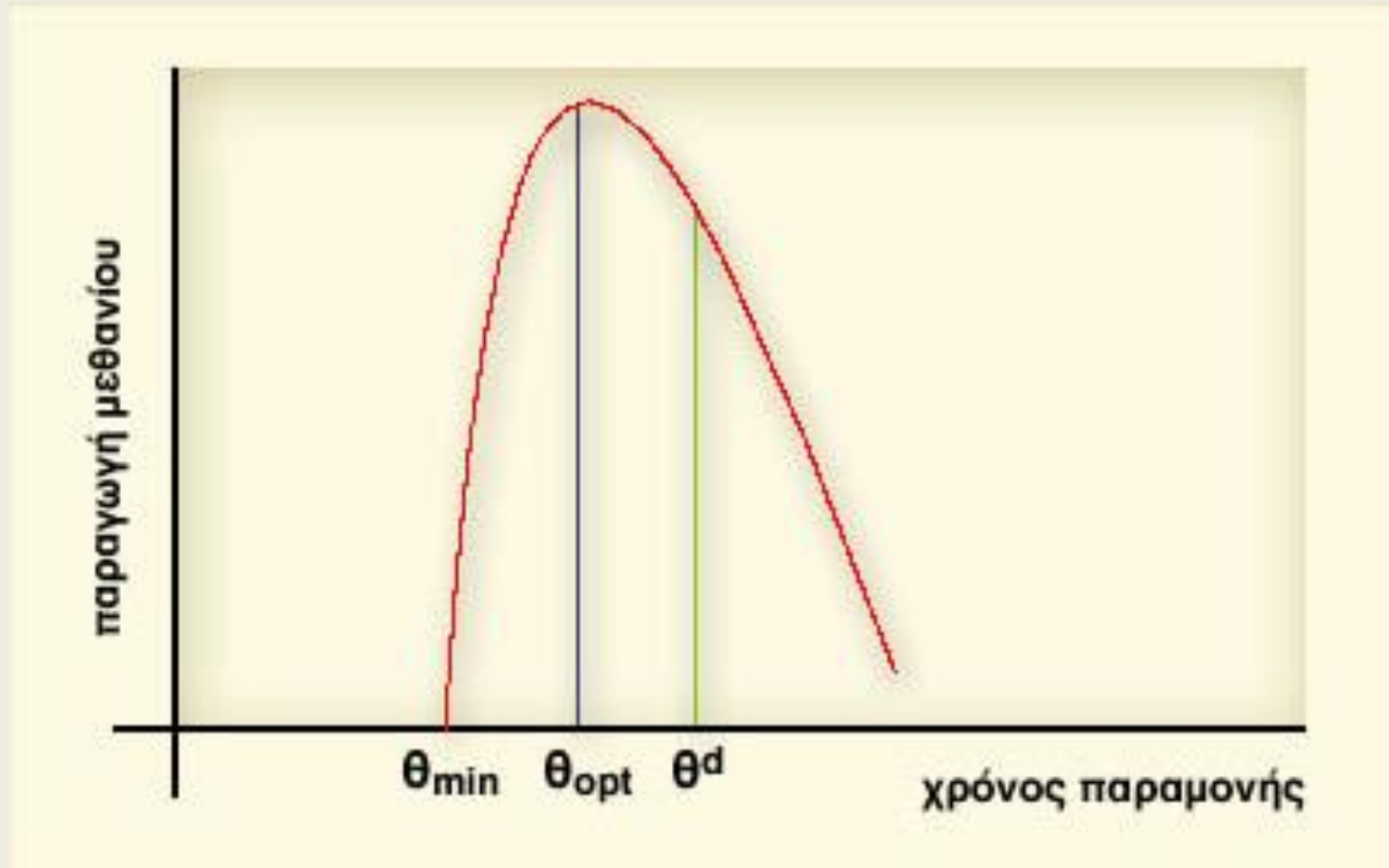
Τυπικά κατά το πρώτο στάδιο πραγματοποιείται υδρόλυση των στερεών και οξεογένεση, ενώ στο δεύτερο στάδιο, η διαλυμένη οργανική ουσία μετατρέπεται σε βιοαέριο από μεθανογόνους μικροοργανισμούς.



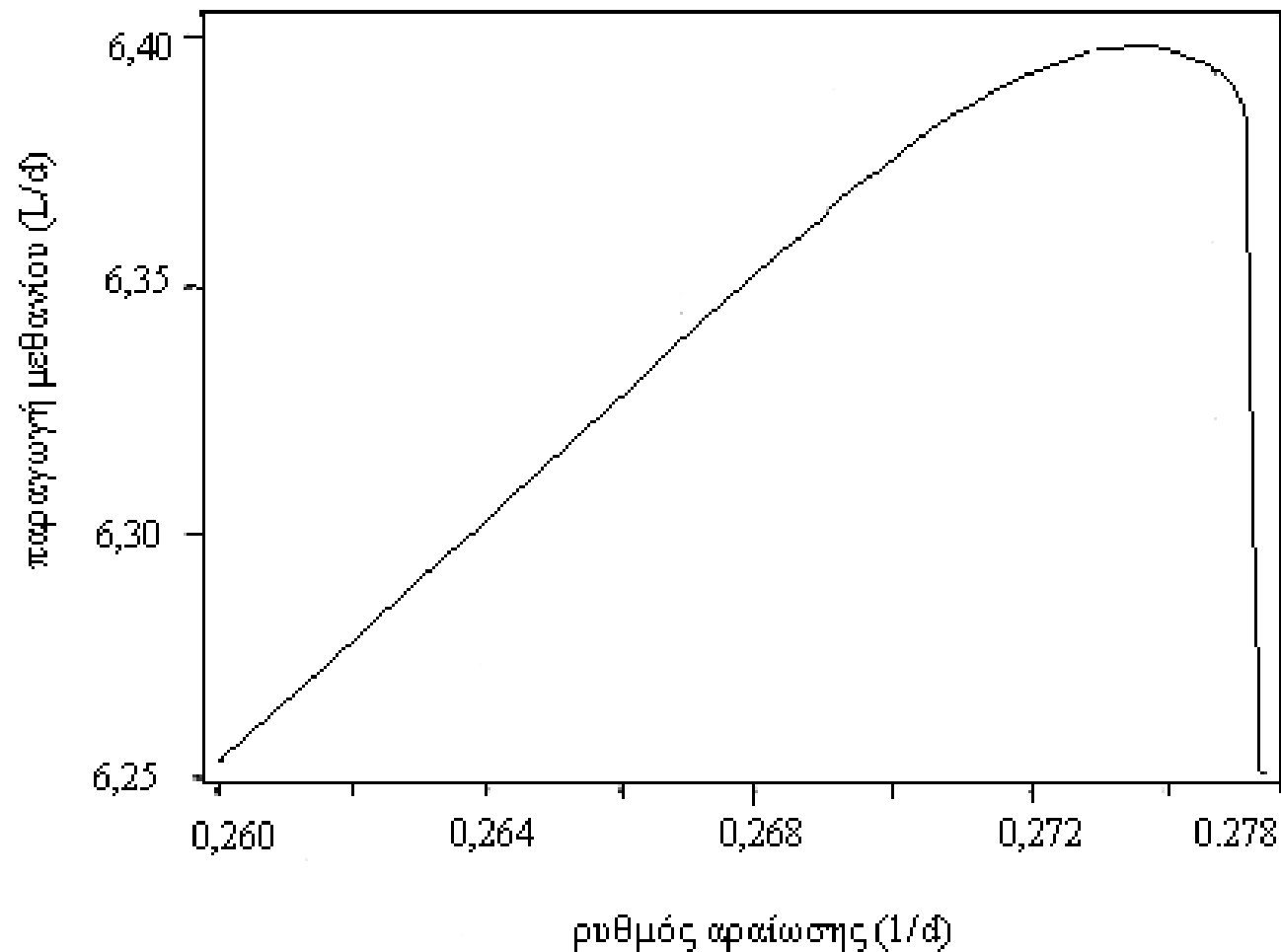
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

- pH
- Θερμοκρασία
- Χημική Σύσταση της Τροφοδοσίας
- Θρεπτικά συστατικά (N,P)
- Τοξικές ουσίες- παρεμποδιστές
- Τύπος αντιδραστήρα

Εξάρτηση Παραγωγής Μεθανίου από τον χρόνο παραμονής



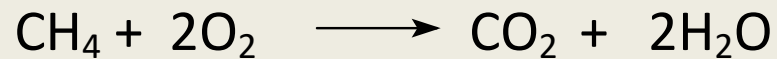
Παραγωγή μεθανίου σε συνάρτηση του ρυθμού αραίωσης



BIOΑΕΡΙΟ

- Το παραγόμενο αέριο κατά την αναερόβια χώνευση ιλύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση.
- Περιέχει 65-70% CH₄, 25-30% CO₂, ενώ το υπόλοιπο είναι H₂, N₂ και H₂S.
- Έχει απόδοση θερμότητας 18.700-26.000 kJ/m³ ενώ η αντίστοιχη καθαρού μεθανίου είναι 35.800 kJ/m³.
- Το παραγόμενο μεθάνιο επαρκεί για:
 - (α) την ανύψωση της θερμοκρασίας της εισερχόμενης ιλύος,
 - (β) την αναπλήρωση απωλειών θερμότητας και
 - (γ) τις υπόλοιπες ενεργειακές ανάγκες της μονάδας επεξεργασίας

Η ενέργεια που προέρχεται από την αποσύνθεση του οργανικού υλικού και εκλύεται με τη μορφή CH₄, μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το ισοδύναμο COD του CH₄, που υπολογίζεται ως εξής:



Από την αντίδραση υπολογίζεται ότι 1mole CH₄ (22,4L σε Κ.Σ.) είναι ισοδύναμο με 2moles O₂ (64g COD).

Επομένως ισχύει ότι 1g COD παράγει 0,35 L CH₄ σε Κ.Σ.

Το ενεργειακό περιεχόμενο του CH₄ που παράγεται από τη σταθεροποίηση 1kg COD σε Κ.Σ. είναι 13,1MJ.

- Το **υπερκείμενο υγρό** περιέχει:
3.000-10.000 mg/L ΑΣ,
2.000-3.000 mg/L BAO₅ και
400-1.000 mg-N/L αμμωνίας και πρέπει να επαναφερθεί στην
ΔΠΚ για επεξεργασία.
- Η χωνευμένη ιλύς τυπικά περιέχει 2,5-7,0% στερεά και
απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία, κυρίως αφυδάτωση πριν
διατεθεί.

Κινητικό μοντέλο για διαλείποντος έργου AX

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{kSX}{K_s + S}$$

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{kSX}{K_s + S} - bX$$

όπου:

k = μέγιστος ειδικός ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος (μάζα καταναλισκόμενου υποστρώματος ανά ημέρα / μάζα βακτηρίων)

S = συγκέντρωση υποστρώματος (μάζα / όγκος)

K_s = σταθερά ημιταχύτητας του Monod (μάζα / όγκος υποστρώματος)

X = συγκέντρωση βακτηριακής μάζας (μάζα / όγκος)

Y = σταθερά παραγωγής βακτηριακής μάζας (μάζα βακτηρίων / μάζα υποστρώματος)

b = σταθερά θανάτου μικροοργανισμών (χρόνος⁻¹)

Ο χρόνος SRT (θ_c) που απαιτείται για να επιτευχθεί μια ορισμένη συγκέντρωση οργανικού φορτίου στην έξοδο, S σε ένα αντιδραστήρα τύπου CSTR δίνεται τότε από την σχέση:

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{YkS}{K_s + S} - b$$

Επιλύοντας:

$$S = \frac{K_s (1 + b \mathcal{G}_c)}{\mathcal{G}_c (Yk - b) - 1}$$

Η αποδοτικότητα της διεργασίας
μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} (100)$$

Για την πρωτοβάθμια ιλύ

Για θερμοκρασίες μεταξύ 20-35°C, ο O' Rourke υπολόγισε τις ακόλουθες τιμές για τις σταθερές:

- $k = 6,67 \text{ g COD / g VSS -μέρα } (1,035^{T-35})$
- $K_s = 1,8 \text{ g COD / L } (1,112^{T-35})$
- $b = 0,03 \text{ d}^{-1} (1,035^{T-35})$ και
- $Y = 0,04 \text{ g VSS / g COD}$

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ

(Si), mg/l

4000
3000
2000
1000
0

0

ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (Θ_c) - days

5

10

15

20

25

30

ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ (E_s)

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ (υποθετικοί)

$k = 6 \text{ mg/mg-d}$

$K_s = 100 \text{ mg/l}$

$Y = 0.05$

$E_b = 0.03 \text{ /days}$

$S_o = 2500 \text{ mg/l}$

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΕΞΑΓΩΓΗΣ (Si)

ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ (E_s), %

100

80

60

40

20

0

Χρόνος Βακτηριακής «έκπλυσης»

$$\theta_c^{\min} = \left(\frac{YkS_o}{K_s + S_o} - b \right)^{-1}$$

Κατά τον σχεδιασμό του αναερόβιου συστήματος, ο χρόνος παραμονής των στερεών, μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας ένα **συντελεστή ασφάλειας τυπικά 2,5.**

Τυπικοί Χρόνοι Παραμονής

Θερμοκρασία (°C)	Ελάχιστος θ (d)	Συνιστώμενος θ (d)
18	11	28
24	8	20
29,5	6	15
35	4	10
40	4	10

Διαδικασία σχεδιασμού

- Βρίσκουμε τον ελάχιστο χρόνο παραμονής από την κινητική

$$\theta_c^{\min} = \left(\frac{YkS_o}{K_s + S_o} - b \right)^{-1}$$

- Βρίσκουμε τον χρόνο παραμονής σχεδιασμού θ_c πολλαπλασιάζοντας τον ελάχιστο επί 2,5
- Βρίσκουμε τον απαιτούμενο όγκο από $V=Q.\theta_c$ όπου Q η ογκομετρική παροχή

- Βρίσκουμε το COD εξόδου από: $S = \frac{K_s(1 + b\vartheta_c)}{\vartheta_c(Yk - b) - 1}$
- Η απομάκρυνση του COD θα είναι:

$$Q_{CODr} = Q(S_0 - S)$$

- Η παραγωγή του CH_4 μπορεί τότε να εκτιμηθεί με βάση το γεγονός ότι για κάθε 1g COD που μετατρέπεται παράγονται 0,35 L CH_4 σε Κ.Σ.

$$Q_{methane} = 0,35 m^3 kg^{-1} Q(S_0 - S)$$

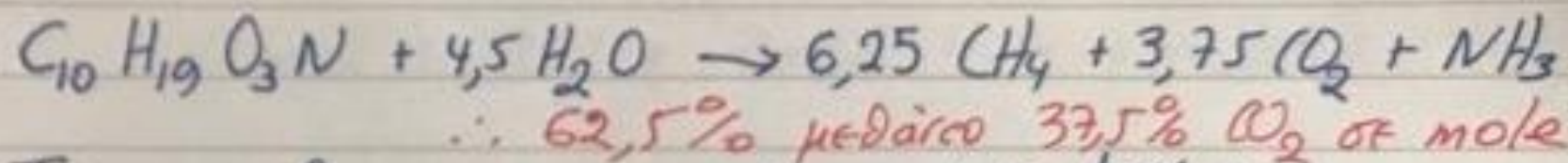
Άσκηση

- Ο χημικός τύπος που περιγράφει τα πτητικά στερεά της πρωτοβάθμιας ιλύος είναι $C_{10}H_{19}O_3N$.
- Διαστασιολογείστε αναερόβιο χωνευτήρα τύπου CSTR ο οποίος θα λειτουργεί στους $35^{\circ}C$ και θα επεξεργάζεται $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ πρωτογενούς λάσπης συγκέντρωσης 4% στερεών αν τα πτητικά στερεά είναι 80% των στερεών.
- Βρείτε το ποσοστό του μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο, τη παραγόμενη ποσότητα μεθανίου και την ενέργεια που μπορεί θεωρητικά να ανακτηθεί από την αξιοποίηση του.

Για την πρωτοβάθμια ιλύ σε 35°C

- $k = 6,67 \text{ g COD} / \text{g VSS} \cdot \text{d}$
- $K_S = 1,8 \text{ g COD} / \text{L}$
- $b = 0,03 \text{ d}^{-1}$
- $Y = 0,04 \text{ g VSS} / \text{g COD}$

Από τον τύπο *Buswell* για $n=10$, $a=19$, $b=3$, $c=1$



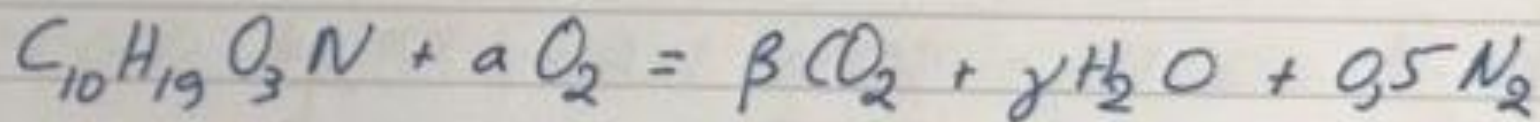
Τώρα, 4% στερεά σημαίνει 40 kg/m^3 .

Αρα, η τροφοδοτούμενη ποσότητα είναι:

$$\frac{40 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 40.000 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \text{ εκ}$$

Τως οποίως 80% , ήτοι $32.000 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$ πτητικά στερεά

Αντιβιοτική της Δύος (πτητικά στερεά) σε COD :



Ισοζύγιο στοιχείων $\Rightarrow$

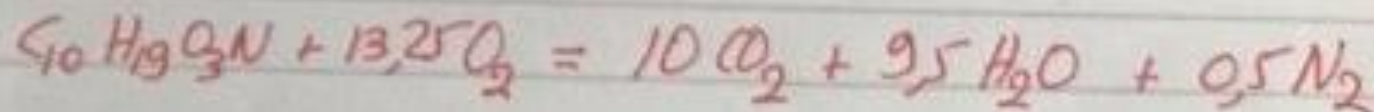
$$C: 10 = \beta$$

$$H: 19 = 2\gamma \Rightarrow \gamma = 9,5$$

$$O: 3 + 2a = 2\beta + \gamma \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a = \frac{2\beta + \gamma - 3}{2} = \frac{20 + 9,5 - 3}{2} = 13,25$$

Άρα :



Τώρα το "μοριακό βάρος" των απορριμμάτων είναι

$$10 \times 12 + 19 \times 1 + 3 \times 16 + 1 \times 14 = 201$$

Αρα 201 g πτητικών στερεών αλτιτοποιούν σε

$$13,25 \times 32 = 424 \text{ g COD}$$

Αρα $\frac{424}{201} =$

$2,1 \frac{\text{g-COD}}{\text{g-πτητικών στερεών}}$
--

Αρα υπολογίζουμε τη συγκέντρωση COD στην
τροφοδοσία:

Έχουμε:

$$32,000 \frac{\text{kg } \pi.\Sigma.}{\text{d}} \times 2,1 \frac{\text{kg-COD}}{\text{kg-}\pi.\Sigma.} = 67,200 \frac{\text{kg-COD}}{\text{d}}$$

Αρα

$$S_0 = \frac{67,200 \frac{\text{kg-COD}}{\text{d}}}{1000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = \boxed{67,2 \frac{\text{kg-COD}}{\text{m}^3}}$$

Υπολογισμός ελάχιστου χρόνου παραμονής:

$$\theta_c^{\min} = \frac{1}{\frac{Y k S_0}{K_s + S_0} - b} = \frac{1}{\frac{0,04 \cdot 6,67 \cdot 67,2}{1,8 + 67,2} - 0,03}$$
$$= 4,35 \text{ d}$$

Ιπνώνται συντελεστή αερότητας 2,5 έχουμε

$$\theta_c = 2,5 \cdot 4,35 \text{ d} = 10,875 \text{ d}$$

Υπολογισμός όγκου: $V = Q \theta_c = 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 10,875 \text{ d} \Rightarrow$

$$\boxed{V = 10.875 \text{ m}^3}$$

COD orr euron :

$$S = \frac{K_s (1 + b \theta_c)}{\theta_c (Yk - b) - 1} = \frac{68 (1 + 0.03 \times 10.875)}{10.875 (0.04 \times 6.67 - 0.03)} \Rightarrow$$

$\Rightarrow$

$$S = 1.580 \text{ kg-COD/m}^3$$

Αρα το COD που μετατρέπεται είναι:

$$Q(S_0 - S) = 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} (67,2 - 1,58) \frac{\text{kg-COD}}{\text{m}^3} =$$
$$= 65.620 \frac{\text{kg-COD}}{\text{d}}$$

Αρα το παραγόμενο μεθάνιο είναι:

$$Q_{\text{CH}_4} = 0,35 \frac{\text{m}^3}{\text{kg-COD}} \cdot 65.620 \frac{\text{kg-COD}}{\text{d}} =$$
$$= 22967 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

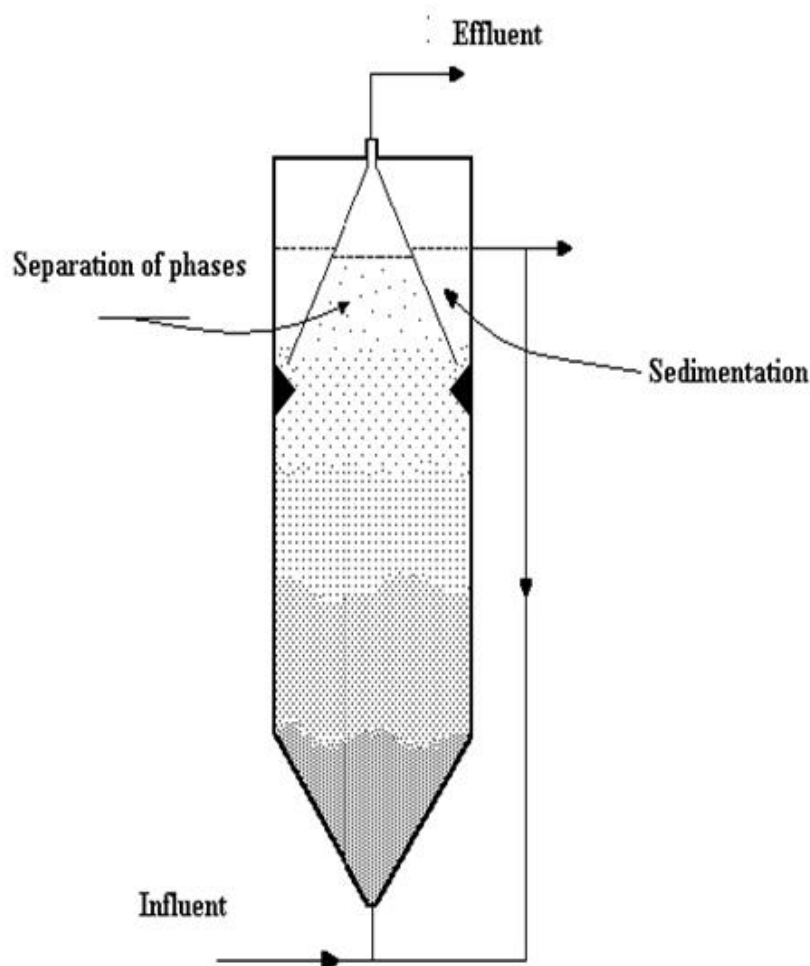
Επίσης

$$65.620 \frac{\text{kg-COD}}{\text{d}} \times 13,1 \frac{\text{MJ}}{\text{d}} = 859.622 \frac{\text{MJ}}{\text{d}} =$$
$$= 9,95 \text{ MW} \approx 10 \text{ MW}$$

TAXYPPYΘMA ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

(High-Rate systems)

Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB)

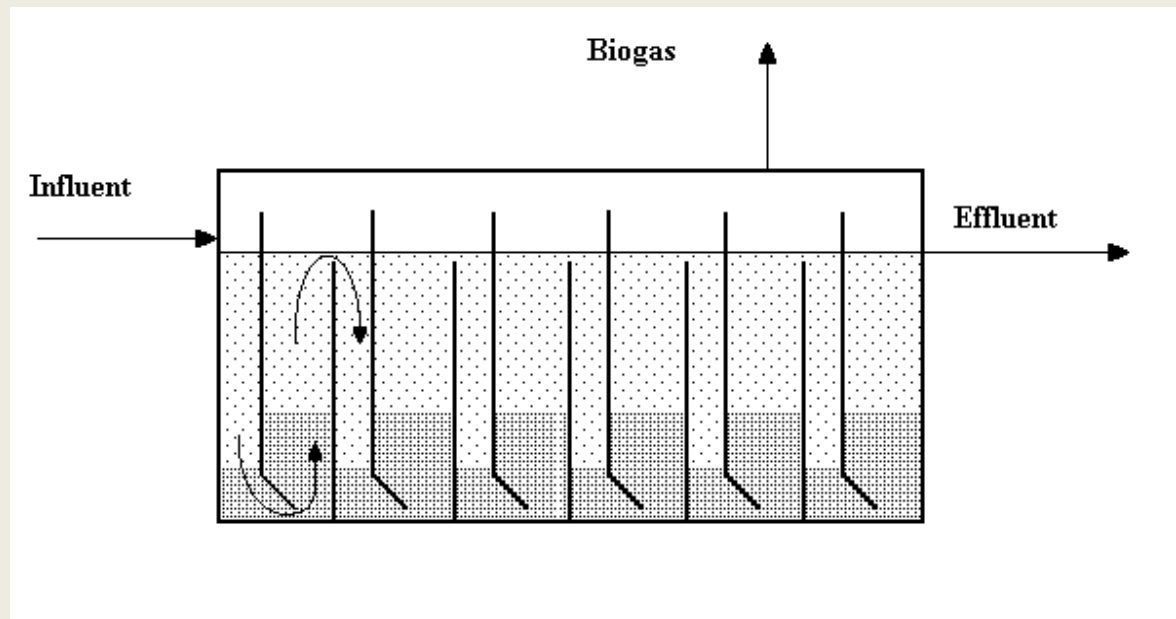


- Κυλινδρικά δοχεία στο εσωτερικό των οποίων τα απόβλητα κινούνται προς τα άνω.
- Στο άνω τμήμα του αντιδραστήρα τοποθετείται συλλέκτης βιοαερίου σχήματος χοάνης.
- Το υγρό υπερχειλίζει πάνω από την χοάνη και η περιοχή μεταξύ χοάνης και κορυφής στον αντιδραστήρα χρησιμοποιείται ως ζώνη καθίζησης εξασφαλίζοντας την καθίζηση και την παραμονή των στερεών στον αντιδραστήρα.
- Στον αντιδραστήρα σχηματίζονται συσσωματώματα (granules)

Αναερόβιος χωνευτήρας με ανακλαστήρες

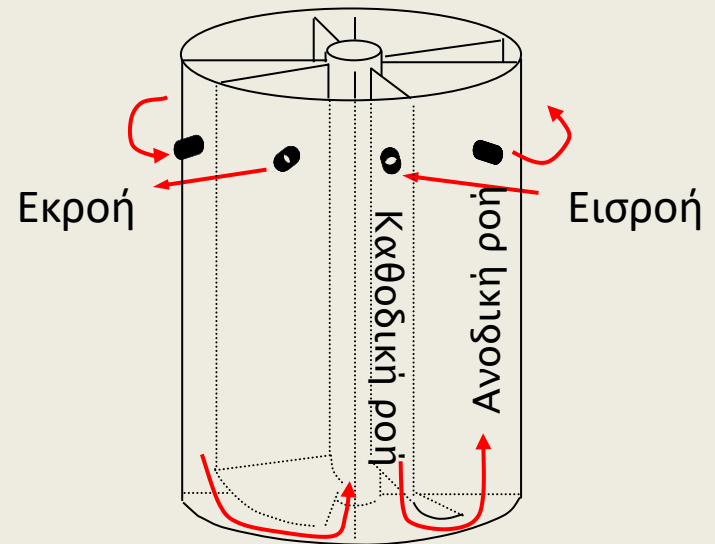
The Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

- Εναλλασσόμενο σύστημα ανάπτυξης αιωρούμενης βιομάζας και μεγάλων χρόνων παραμονής της βιομάζας.
- Το απόβλητο αναγκάζεται να κινείται μέσω διαδοχικών διαμερισμάτων ανοδικής και καθοδικής ροής αντίστοιχα.



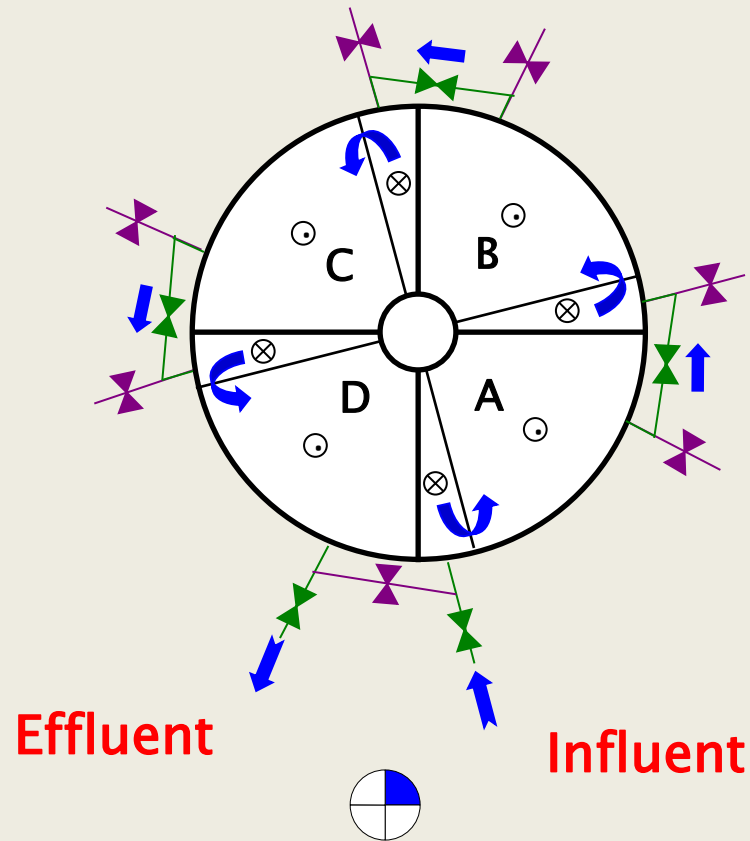
Περιοδικός αναερόβιος αντιδραστήρας με ανακλαστήρες

- Κυκλική κατασκευή διαμερισμάτων



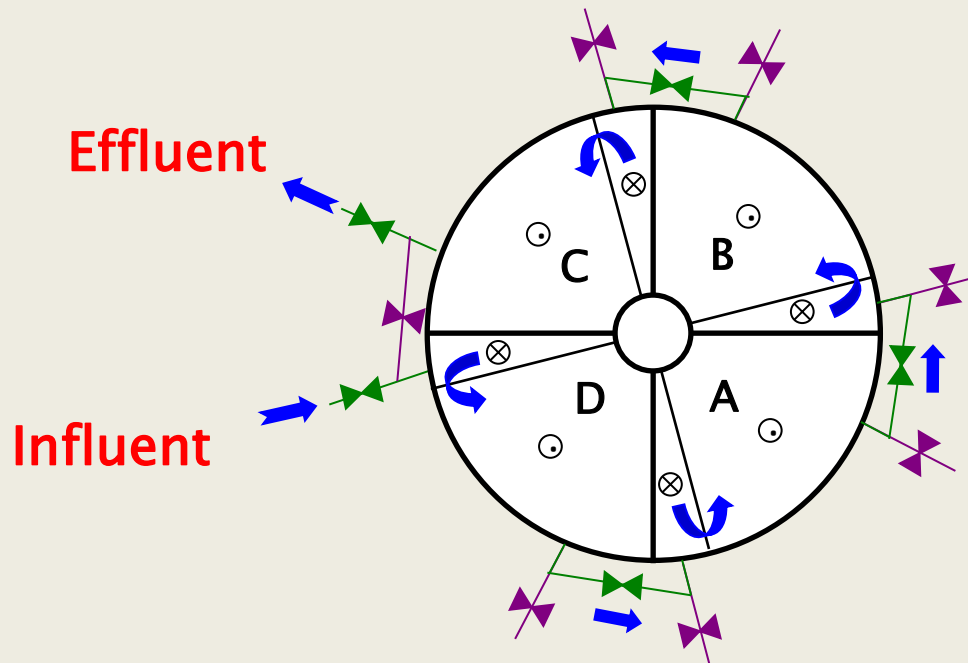
$$T = 4 \times 12 = 48 \text{ ώρες} \rightarrow 2 \text{ ημέρες}$$

Λειτουργία ΡΑΒΡ σε μία περίοδο T



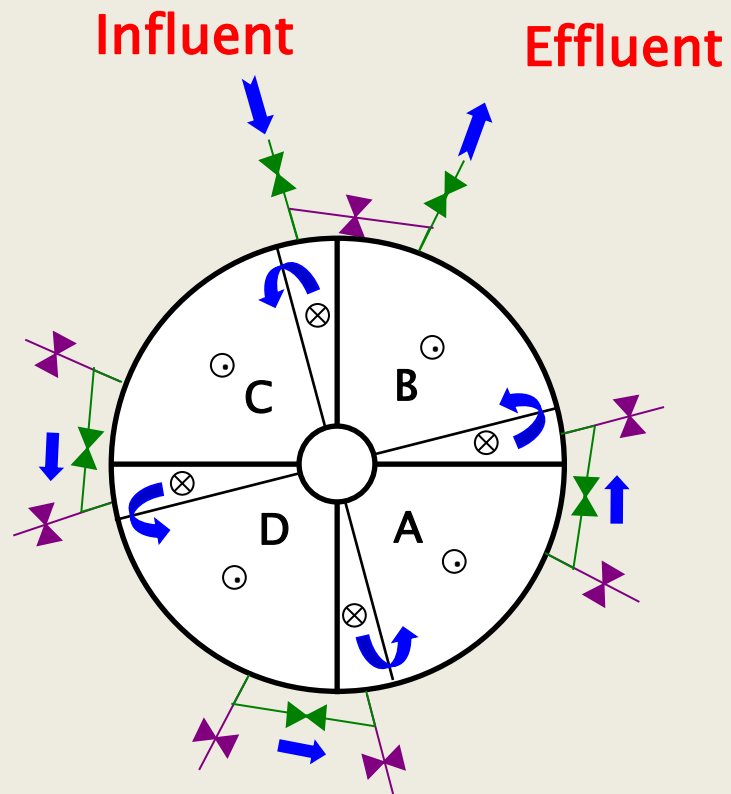
$$0 < t < T/4$$





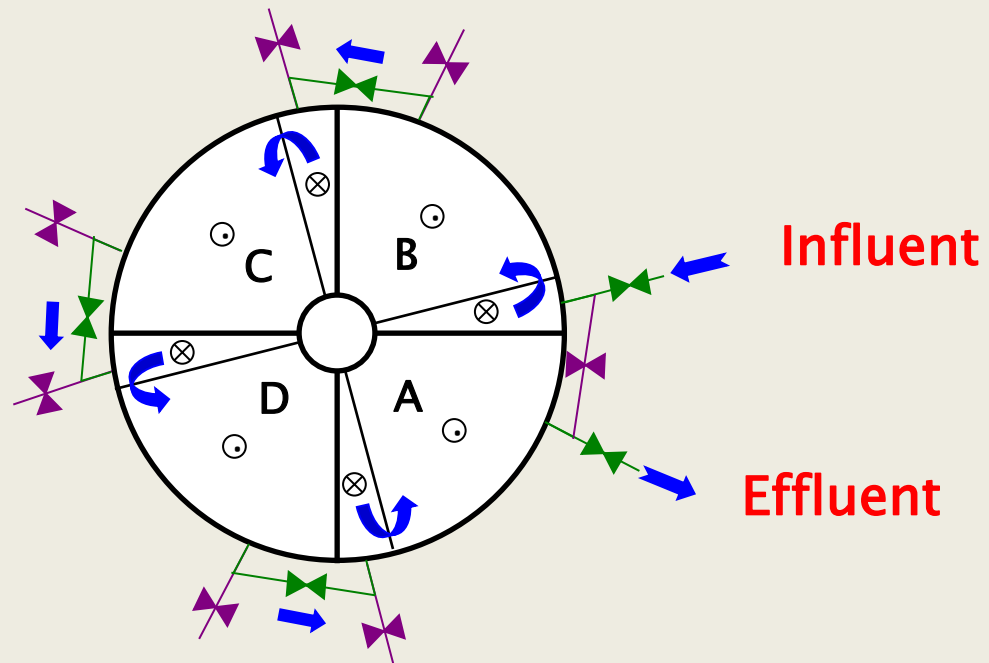
$$T/4 < t < T/2$$





$$T/2 < t < 3T/4$$





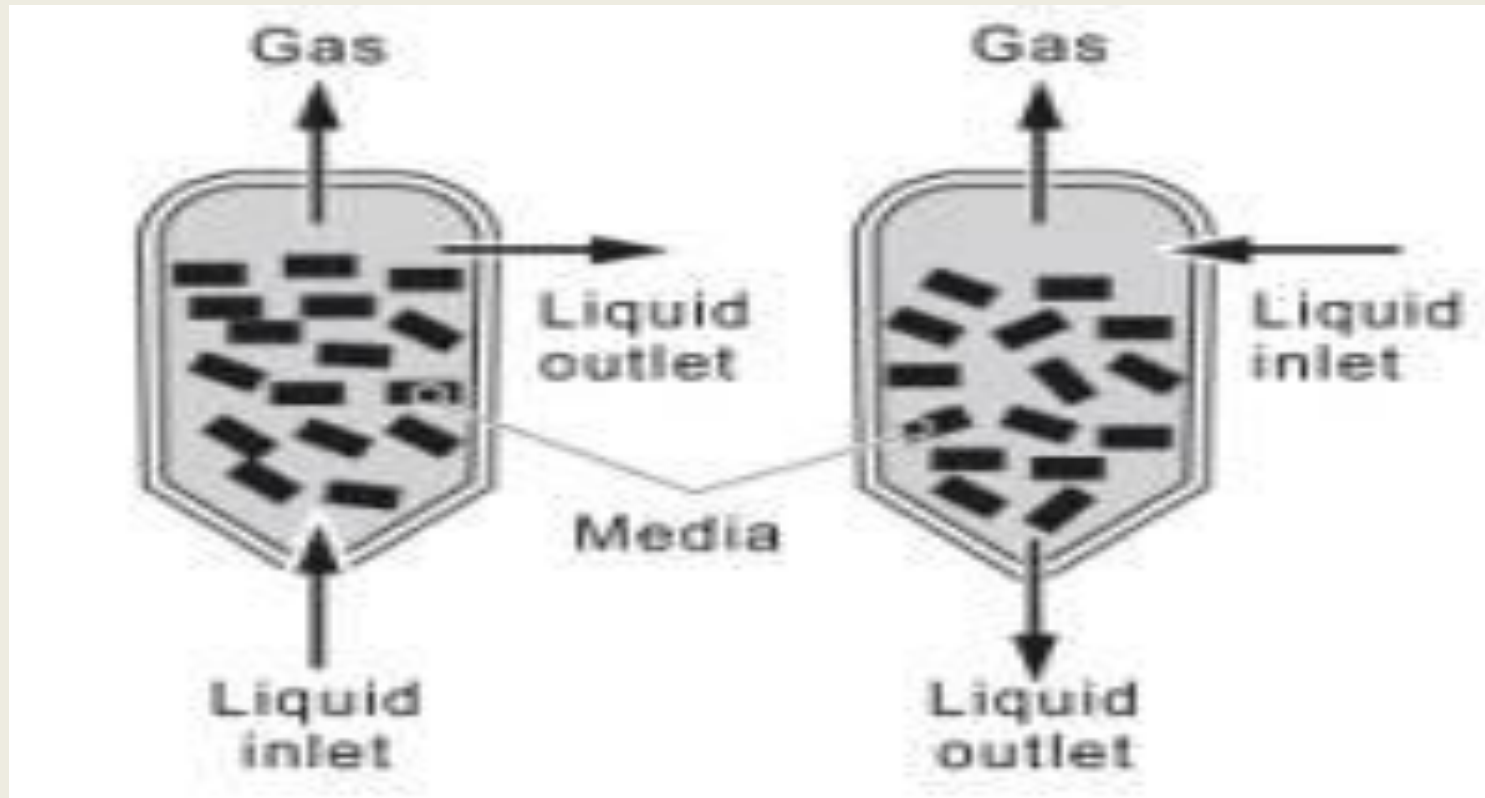
$$3T/4 < t < T$$



Πειραματικός ΡΑΒΡ



Αναερόβια Φίλτρα Ανοδικής και Καθοδικής Ροής





Αναερόβια Χώνευση και Στερεά Απόβλητα

- ΧΥΤΑ
- Ειδικοί βιοαντιδραστήρες

Βιοαέριο από ΧΥΤΑ

Κατά την **αναερόβια** βιοσταθεροποίηση παράγεται κύρια **βιοαέριο** (μείγμα CH_4 και CO_2)

- Η εκμετάλλευση του βιοαερίου που παράγεται κατά την υγειονομική ταφή αποτελεί μέθοδο ανάκτησης ενέργειας
- Η μέθοδος όμως αυτή χαρακτηρίζεται από πολύ βραδύ ρυθμό που συνήθως διαρκεί **5- 10 έτη**

Αναερόβια Χώνευση σε Βιοαντιδραστήρες

- Η επιτάχυνση της απελευθέρωσης του βιοαερίου μπορεί να επιτευχθεί σε ειδικούς αντιδραστήρες υπό **ελεγχόμενες συνθήκες**.
- Επιπλέον, οι αντιδραστήρες αυτοί αποδίδουν το υπόλειμμα της αποσύνθεσης για περαιτέρω επεξεργασία και χρήση ως **εδαφοβελτιωτικό**, περίπου όπως και το παραγόμενο με την αερόβια διαδικασία κομποστοποίησης.

Τύποι αναερόβιων συστημάτων ανάλογα με την περιεκτικότητα σε στερεά στην τροφοδοσία

➤ **υγρά συστήματα**

(περιεκτικότητα έως 15-20%, τυπικά 10%)

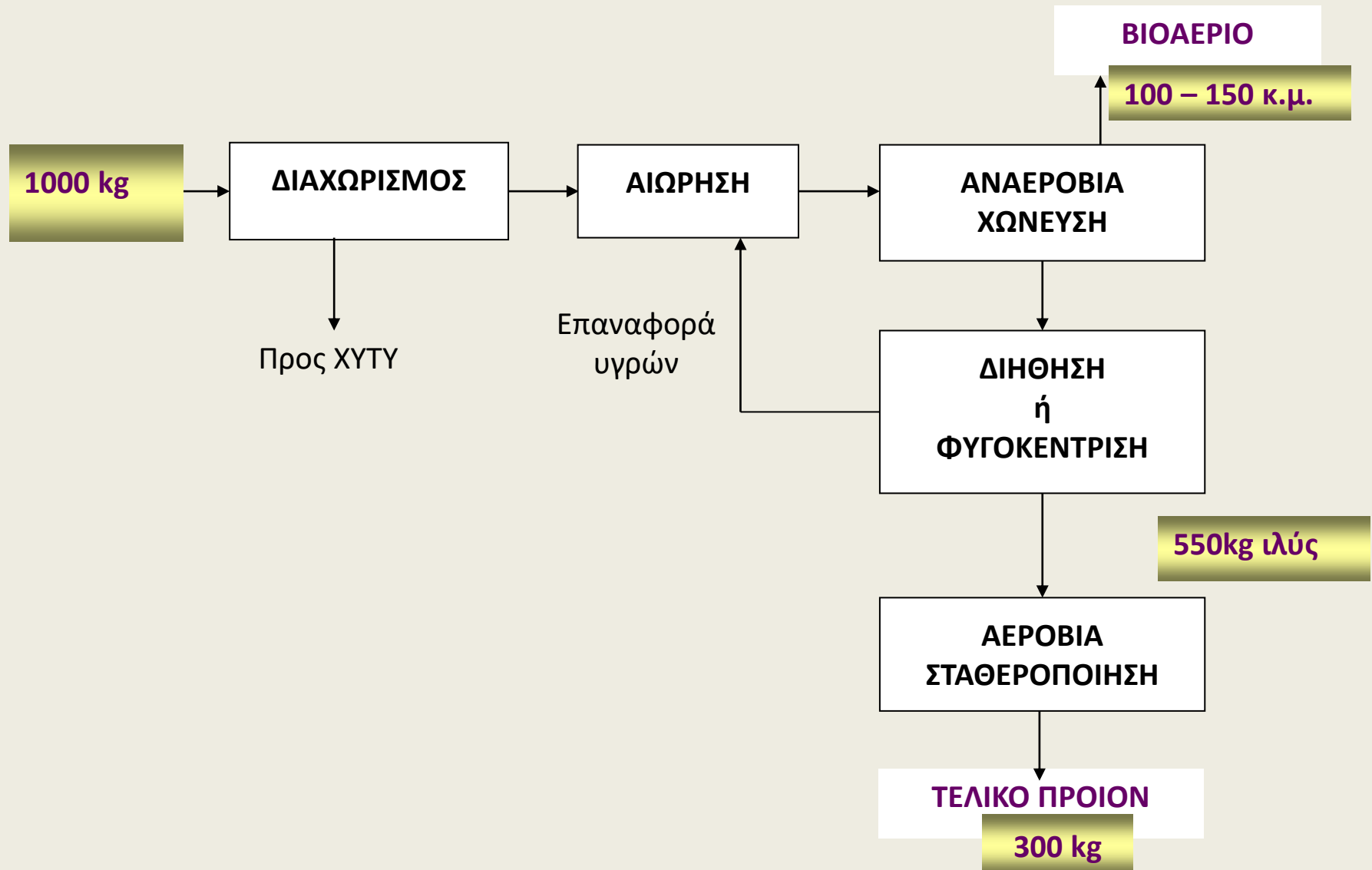
➤ **ξηρά συστήματα**

(περιεκτικότητα άνω του 20%, τυπικά 30%, π.χ. DRANCO και VALORGA, BIOCEL).

Τα ξηρά συστήματα απαιτούν λιγότερη χρήση νερού, αλλά και αντιδραστήρα υψηλότερης τεχνολογίας.

Τα υπάρχοντα συστήματα κάθε τύπου στην Ευρώπη σήμερα, είναι περίπου ισάριθμα.

Τυπική Μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης (υγρό σύστημα)



Στάδια

- ❑ Κατά την προεπεξεργασία απομακρύνονται τα μέταλλα, το γυαλί και τα άλλα ανόργανα υλικά και εξασφαλίζεται η κατάλληλη κοκκομετρία και προστίθεται νερό για επίτευξη συγκέντρωσης στερεών 10-30%, ανάλογα με την τεχνολογία, για την τροφοδοσία του αντιδραστήρα.
- ❑ Στη συνέχεια το αιώρημα οδηγείται σε αντιδραστήρα όπου χωνεύεται με χρόνο παραμονής 2-3 εβδομάδες.
- ❑ Το βιοαέριο που παράγεται καίγεται προς παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.
- ❑ Η μονάδα, συνήθως ιδιοκαταναλώνει ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας.

Στάδια(συνέχεια)

- ❑ Το υπόλειμμα του αντιδραστήρα (όπου τα πτητικά στερεά έχουν μειωθεί κατά 50-65%), αφυδατώνεται ως 60%.
- ❑ Το υγρό κλάσμα χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της υγρασίας της τροφοδοσίας.
- ❑ Το συμπύκνωμα της πρέσας **λιπασματοποιείται** αερόβια οπότε σχηματίζεται το **τελικό προϊόν** (compost).

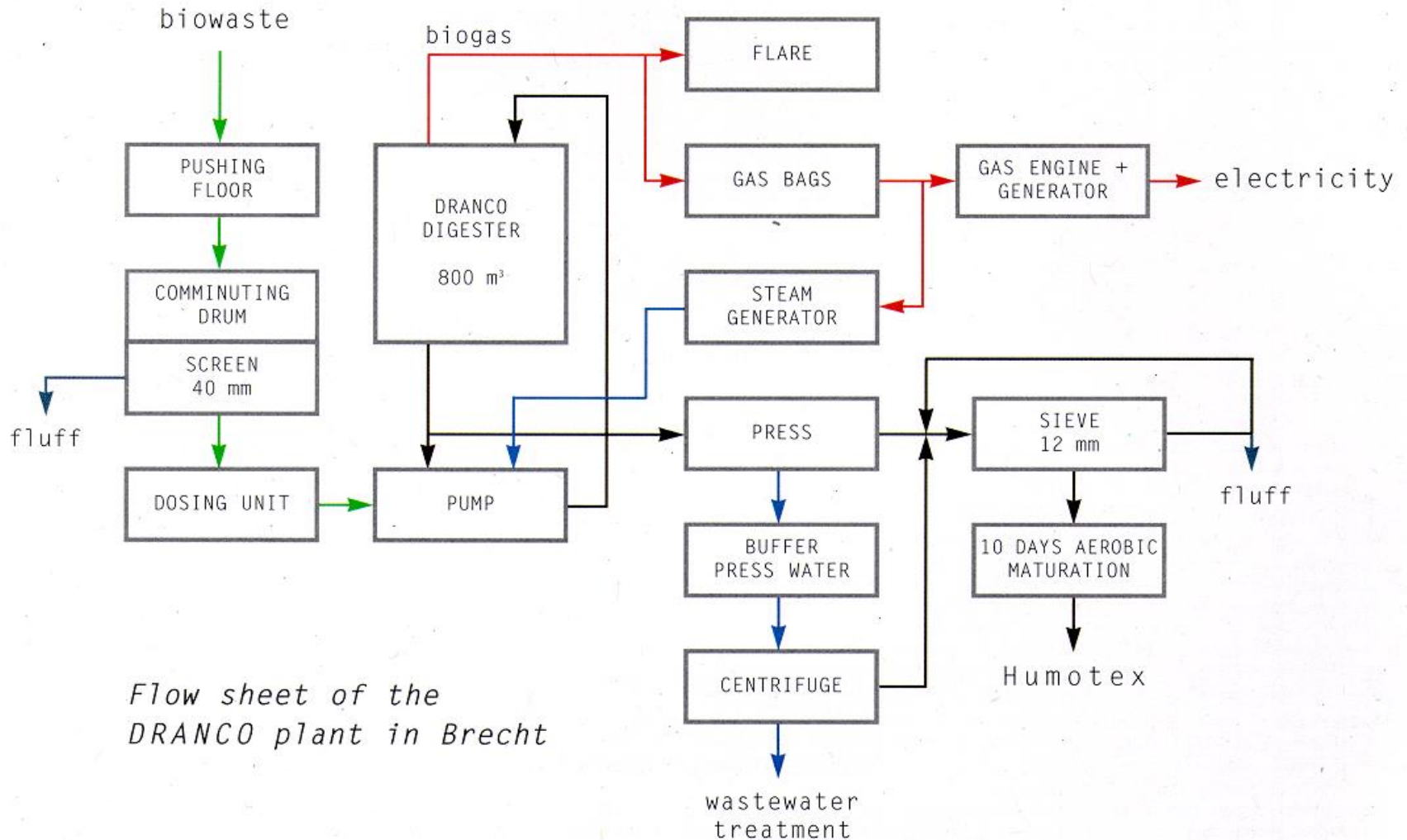
Το υλικό αυτό είναι σταθεροποιημένο και απαλλαγμένο από παθογόνους οργανισμούς.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό ή ως επικαλυπτικό στην υγειονομική ταφή απορριμμάτων.

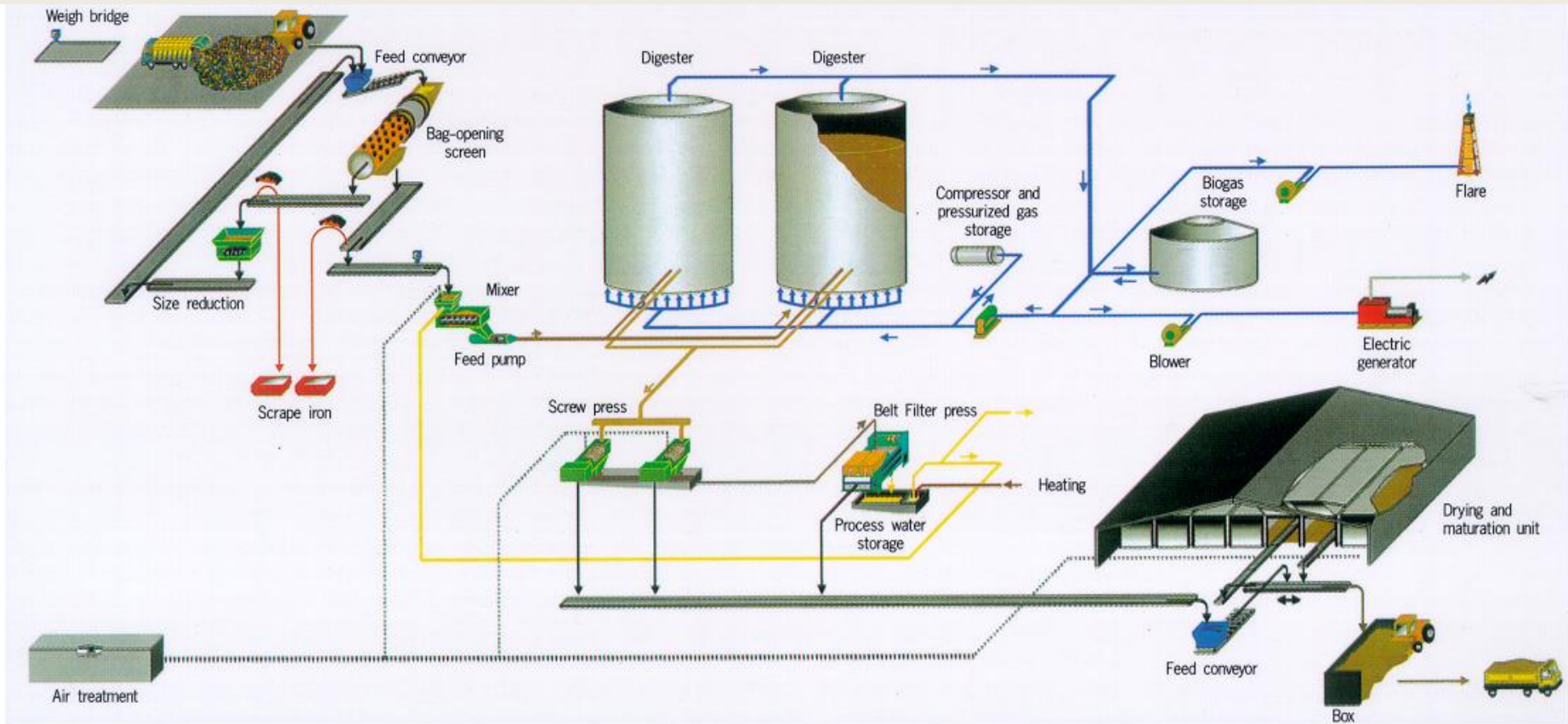
Μονάδα	Τύπος	Δυναμικότητα (ton/y)	Ποσοστό στερεών στα απορρίμματα	% σε πτητικά	Χρόνος παρα-μονής (d)	Παραγό-μενο Βιοαέριο (m ³ /ton)	Ποσοστό CH ₄	Παραγωγή ενέργειας (kWh/ ton)
Brecht, BE	DRANCO	20000	40	55	15,3	103	55	165
Saltzburg, AU	DRANCO	20000	31	70		135		220
Bassum, GE	DRANCO	13500	57	51		147		245
Amiens, FR	VALORGA	85000	60	63-65	18-22	145	55	566 (steam)- eq.198 elect.en
Tilburg, NL	VALORGA	52000	45	45-50	20	92-110	55	152
Engelskirchen, GE	VALORGA	35000	36	65	25	126	52	235

Lelystad, NL	BIOCEL	50000			2-10	70 (est.)		
Arnhem, NL	BIOCEL	35000			22	100	55	165
Kahlenberg, GE	BIOPERCOLAT	500	50 (est.)	55	4	84	70	
Design	BIOPERCOLAT	50000			4	75	65-70	
Vaasa, FI]	Waasa	60000			10-15	100-150	60-70	
MinamiAshigara, Japan	Waasa					145	60	
Verona, IT	Semi-dry	155000	74	75	13	62—84 (est.)	60-65	113 (est.)
Ave.12 facilities	KOMPOGAS	20000			15-20	146	60	191
Zurich SW	KOMPOGAS	5000			15-20	95	55-60	110

Η διεργασία Dranco στο Brecht του Βελγίου



Η διεργασία VALORGA στο Engelkirchen της Γερμανίας



Συνοπτικά

- Τυπικά παράγονται (ανά τόνο απορρίμματος) **100-200 m³ βιοαερίου**, ανάλογα με τη σύσταση των απορριμμάτων με περιεκτικότητα σε μεθάνιο **55-70%** και **200-300 kg compost**.
- Η αναερόβια χώνευση τυπικά **απαιτεί το 20-40% της παραγόμενης ενέργειας**.
- Με μέση θερμιδική αξία 5,5 kWh/m³, η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι τυπικά **100-250 kWh/ton**.