

Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων

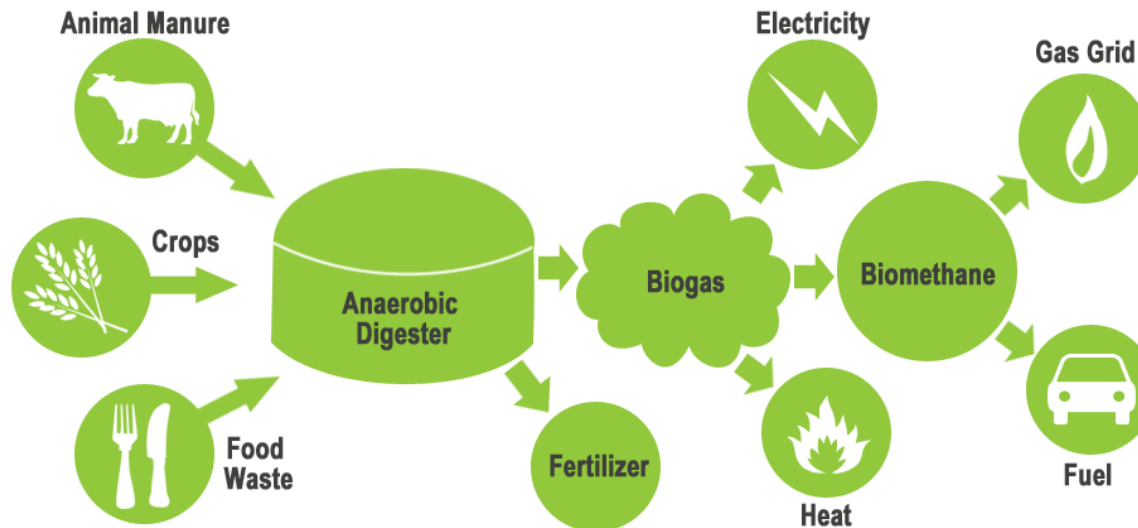
Διάλεξη 8

Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία
Υγρών Αποβλήτων

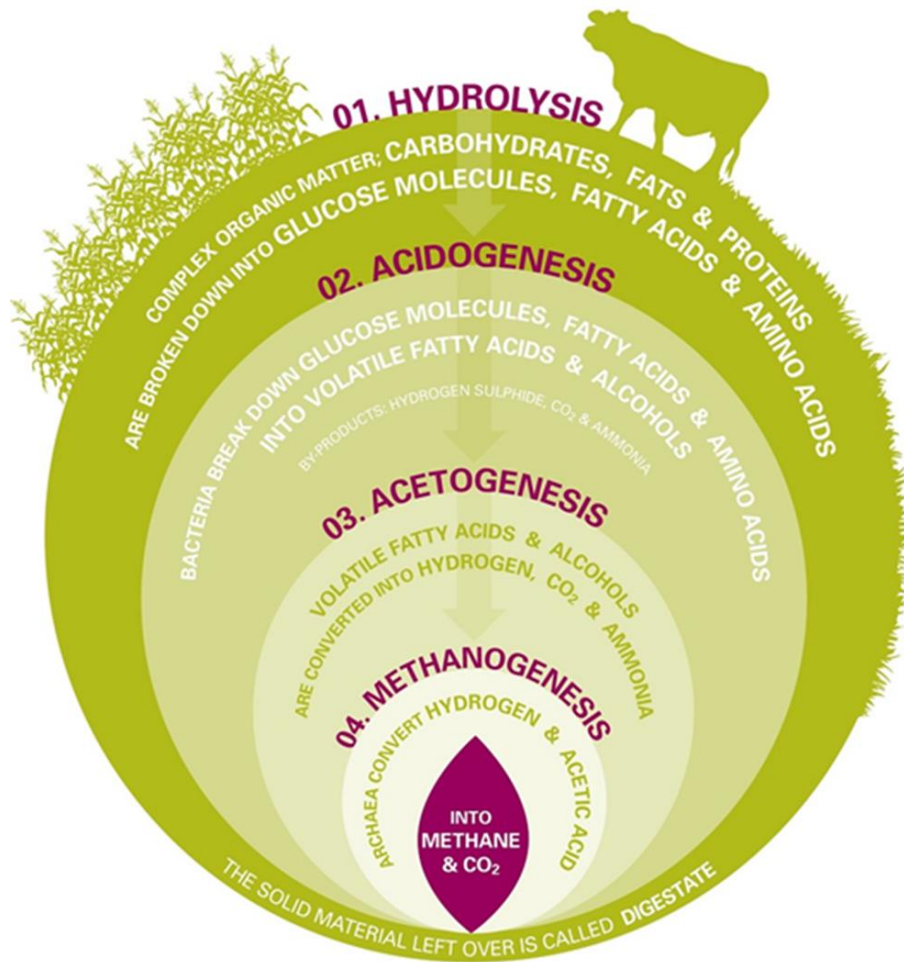
Αναερόβια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

➤ Αναερόβια Χώνευση

- ❑ Περιλαμβάνει την αποσύνθεση της οργανικής και ανόργανης ύλης (κυρίως των θειικών) απουσία μοριακού οξυγόνου
- ❑ Οδηγεί σε παραγωγή **CH₄**, ως τελικό προϊόν, **και πτητικών λιπαρών οξέων**, ως ενδιάμεσα προϊόντα, τα οποία μπορούν να συλλεγούν και να χρησιμοποιηθούν για παροχή ενέργειας



➤ Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αναερόβια επεξεργασία οργανικής ύλης στα συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων



➤ Υδρόλυση

➤ Ζύμωση /Οξεογένεση

➤ Οξικογένεση

➤ Μεθανογένεση

Τα στάδια της διεργασίας λαμβάνουν χώρα παράλληλα στη δεξαμενή χώνευσης

➤ Υδρολυτικό στάδιο αναερόβιας χώνευσης

- ❑ Η υδρόλυση αποτελεί το πρώτο στάδιο για τις περισσότερες διαδικασίες ζύμωσης, στις οποίες το σωματιδιακό υλικό μετατρέπεται σε διαλυτές ενώσεις
- ❑ Οι διαλυτές ενώσεις μπορούν έπειτα να υδρολυθούν περαιτέρω σε απλούστερα μονομερή που χρησιμοποιούνται από τα βακτήρια που επιτελούν τη ζύμωση
- ❑ **Υδρόλυση υδατανθράκων, πρωτεϊνών, λιπιδίων και νουκλεϊκών οξέων προς σάκχαρα, αμινοξέα, λιπαρά οξέα, πουρίνες και πυριμιδίνες, αντίστοιχα**

➤ Υδρολυτικό στάδιο αναερόβιας χώνευσης

- ❑ Η υδρόλυση του σύνθετου οργανικού υλικού σε μικρότερα μόρια πραγματοποιείται με τη βοήθεια μεταβολικών ενζύμων των μικροοργανισμών όπως κυτταρινάσες, αμυλάσες, πρωτεάσες, φωσφολιπάσες
- ❑ Η διάσπαση των πρωτεϊνών και υδατανθράκων προς αμινοξέα και σάκχαρα, αντίστοιχα, είναι ταχύτατη αλλά η διάσπαση των λιπιδίων πραγματοποιείται με βραδύτερους ρυθμούς και για τον λόγο αυτό ο χρόνος κατακράτησης των στερεών των συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων σε αναερόβιους αντιδραστήρες θα πρέπει να είναι σχετικά μακρύτερος

➤ Οξεογόνο Στάδιο Αναερόβιας Χώνευσης

- Κατά την οξεογένεση τα σάκχαρα, τα λιπαρά οξέα και τα αμινοξέα που παρήχθησαν κατά το στάδιο της υδρόλυσης χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα για τους ζυμωτικούς μικροοργανισμούς, οι οποίοι παράγουν H_2 , CO_2 , οξικό οξύ καθώς επίσης και ενδιάμεσα προϊόντα όπως πτητικά λιπαρά οξέα (π.χ. προπιονικό, βουτυρικό, ηλεκτρικό, γαλακτικό οξύ) και αλκοόλες (π.χ. αιθανόλη)

➤ Οξικογόνο Στάδιο Αναερόβιας Χώνευσης

- ❑ Κατά την οξικογένεση οι οξικογενετικοί μικροοργανισμοί αποδομούν περαιτέρω τα προϊόντα της οξυγένεσης, που δε μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε CH_4 , προς μεθανογενικά υποστρώματα όπως H_2 , CO_2 , οξικό οξύ, αλλά και φορμικό οξύ μεθανόλη και μεθυλαμίνες
- ❑ Η παραγωγή του υδρογόνου αυξάνει τη μερική πίεση του
- ❑ Η υψηλή πίεση υδρογόνου εμποδίζει το μεταβολισμό των οξικογόνων μικροοργανισμών
- ❑ Η οξικογένεση και η μεθανογένεση συνήθως λαμβάνουν χώρα παράλληλα ως συμβίωση δύο ομάδων μικροοργανισμών

➤ Μεθανιογόνο στάδιο αναερόβιας χώνευσης

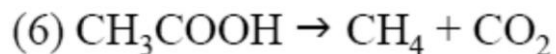
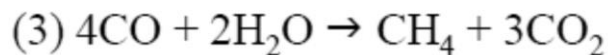
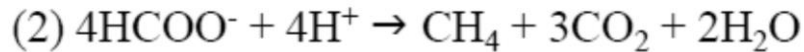
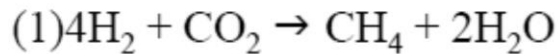


- ❑ Η μεθανογένεση είναι η πιο αργή βιοχημική και επομένως ρυθμοκαθοριστική αντίδραση της διεργασίας
- ❑ Οι μεθανογενετικοί οργανισμοί παρουσιάζουν το βραδύτερο ρυθμό ανάπτυξης από όλους τους αναερόβιους μικροοργανισμούς στη διεργασία

- I Hydrolysis**
Fermentative organisms
Doubling time: 1 – 48 h
- II Acidogenesis**
Fermentative organisms
1 – 48 h
- III Acetogenesis**
Acetogenic organisms
9 – 120 h
- IV Methanogenesis**
Methanogenic organisms
18 – 120 h

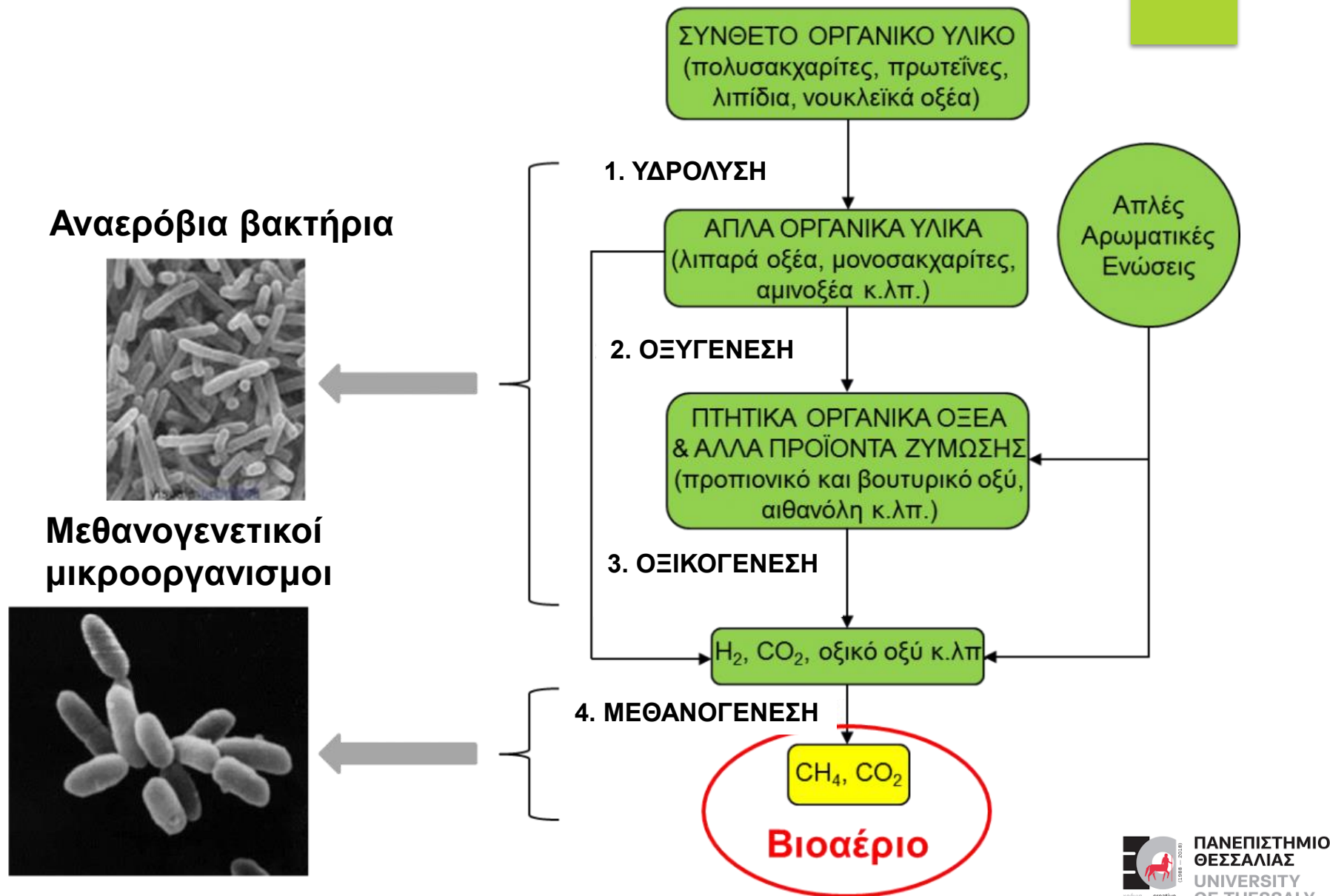
➤ Μεθανιογόνο στάδιο αναερόβιας χώνευσης

□ Χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά το στάδιο της παραγωγής μεθανίου:



- Οι μεθανογενετικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν έναν περιορισμένο αριθμό υποστρωμάτων.
- Οι αντιδράσεις (CO_2 και μεθυλομάδας) περιλαμβάνουν την οξείδωση:
 - του υδρογόνου
 - του μυρμηκικού οξέος
 - του μονοξειδίου του άνθρακα
 - της μεθανόλης
 - της μεθυλαμίνης
 - του οξικού οξέος

➤ Βιοχημεία Αναερόβιας Χώνευσης



➤ Τυπική ανάλυση βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση

Components	Symbol	Concentration (Vol-%)
Methane	CH ₄	55–70
Carbon dioxide	CO ₂	35–40
Water	H ₂ O	2 (20°C)–7 (40°C)
Hydrogen sulphide	H ₂ S	20–20 000 ppm (2 %)
Nitrogen	N ₂	<2
Oxygen	O ₂	<2
Hydrogen	H ₂	<1
Ammonia	NH ₃	<0.05

➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- ❑ Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης συνίσταται στην αλληλεπίδραση διαφορετικών ομάδων μικροοργανισμών
- ❑ Κάθε μία από αυτές τις ομάδες, ευθύνεται για την πραγματοποίηση διαφορετικού μέρους της συνολικής διεργασίας
- ❑ Έτσι, το υλικό που μπορεί να αποτελεί απόβλητο για μια ομάδα μικροοργανισμών μπορεί να αποτελέσει υπόστρωμα (τροφή των μικροοργανισμών) για κάποια άλλη ομάδα τους

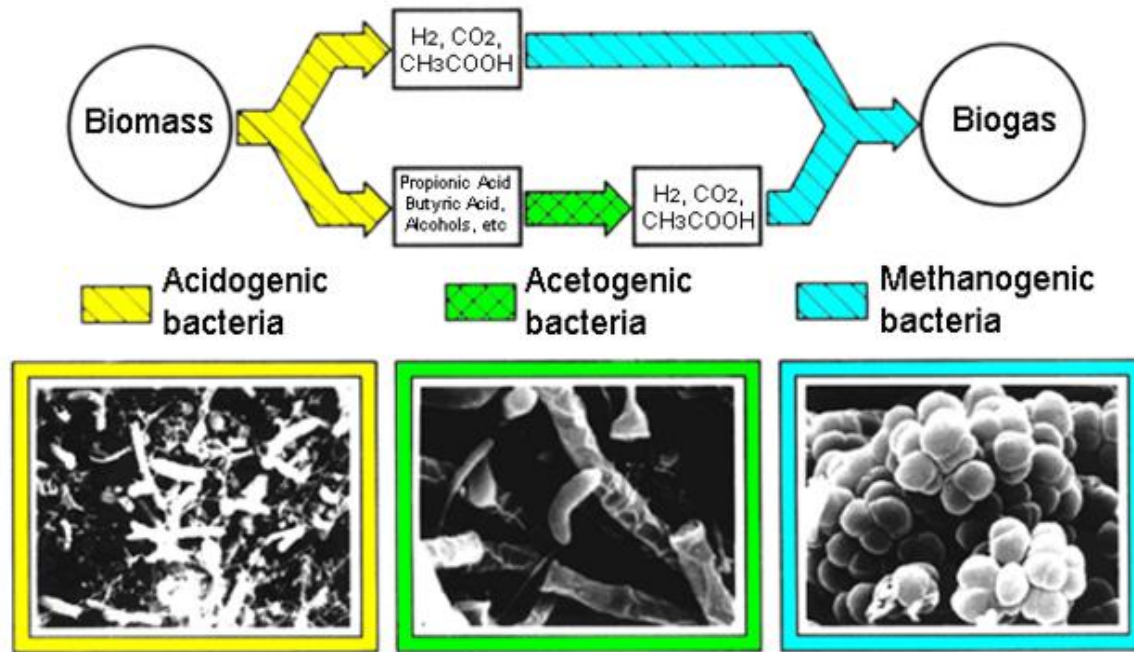
➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- ❑ Σε σύγκριση με την αερόβια χώνευση της οργανικής ύλης (αποδόμηση της οργανικής ύλης παρουσία αέρα-οξυγόνου), ο ρυθμός αύξησης των αναερόβιων βακτηρίων είναι σημαντικά μικρότερος από εκείνο των αερόβιων βακτηρίων
- ❑ Κατά συνέπεια, το τελικό παραπροϊόν που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση είναι μικρότερο ανά μονάδα βάρους της οργανικής ύλης σε σχέση με την αερόβια

➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- ❑ Η ομάδα των μη μεθανογενών βακτηρίων που είναι υπεύθυνα για την υδρόλυση και τη χώνευση αποτελείται από προαιρετικά και υποχρεωτικά αναερόβια βακτήρια
- ❑ Υδρόλυση υδατανθράκων, πρωτεϊνών και λιπιδίων πραγματοποιείται κυρίως από πλήρως αναερόβια βακτήρια των γενών *Clostridium*, *Bifidobacteria*, *Bacteroides*
- ❑ Οι μικροοργανισμοί που απομονώθηκαν από ιλύ αναερόβιου χωνευτήρα περιλαμβάνουν τα *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium spp.*, *Desulfovibrio spp.*, *Corrynebacterium spp.*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus* και *Escherichia coli*

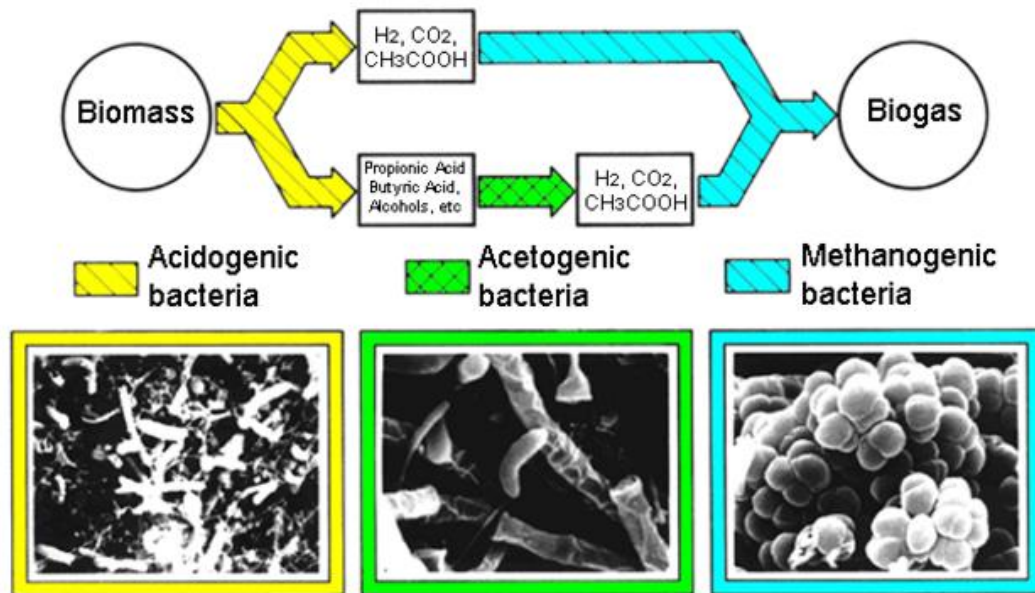
➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης



- ❑ Στο στάδιο της οξικογένεσης συμμετέχουν κυρίως αναερόβια βακτήρια του γένους *Syntrophomonas* και *Syntrophobacter* των οποίων τα ενζυμικά συστήματα βρίσκονται υπό την ρύθμιση της συγκέντρωσης H⁺ και ενεργοποιούνται σε χαμηλές συγκεντρώσεις H⁺

➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- ❑ Οι οξικογενετικοί μικροοργανισμοί σχηματίζουν συντροφικές σχέσεις με τους μεθανογενετικούς μικροοργανισμούς, οι οποίοι καταναλώνουν υδρογόνο απομακρύνοντάς το από το σύστημα, επιτρέποντας έτσι στους οξικογόνους μικροοργανισμούς να λειτουργήσουν



➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- ❑ Οι μεθανογενετικοί μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τα προϊόντα του οξικογόνου σταδίου, **H₂, CO₂ και οξικό οξύ**, για μετατροπή τους σε μεθάνιο
- ❑ **Δύο ομάδες μεθανογενετικών οργανισμών εμπλέκονται στην παραγωγή μεθανίου:**
 - Οι μεθανογενετικοί οξυκλάστες, διασπούν το οξικό οξύ σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα
 - Οι μεθανογενετικοί υδρογονοχρήστες, χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως δότη ηλεκτρονίων και το CO₂ ως δέκτη ηλεκτρονίων για την παραγωγή μεθανίου

➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- ❑ Οι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή μεθανίου ταξινομούνται ως **Αρχαία (Archaea)** και είναι υποχρεωτικά αναερόβιοι
- ❑ Συναντώνται επίσης και στα στομάχια των μηρυκαστικών ζώων και στα οργανικά ιζήματα που λαμβάνονται από λίμνες και ποτάμια
- ❑ Οι βασικές ομάδες που ανιχνεύθηκαν σε μεσόφιλες συνθήκες (30-40°C) περιλαμβάνουν τα ραβδοειδή *Methanobacterium*, και *Methanobacillus*, και τα σφαιροειδή *Methanococcus*, *Methanotherix*, και *Methanosarcina*

➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

❑ *Methanosarcina*, *Methanotherix* (καλούνται επίσης και *Methanosaeta*) = μεθανογενετικοί οξυκλάστες => διασπών το οξικό οξύ προς μεθάνιο και CO_2 και αποτελούν τα 2/3 του πληθυσμού των μεθανογενετικών μικροοργανισμών – **Οι μοναδικοί οργανισμοί με αυτή την ιδιότητα!**

❑ *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanogenium* = μεθανογενετικοί υδρογονοχρήστες => οξειδώνουν H_2 παρουσία CO_2 (δέκτης ηλεκτρονίων) προς μεθάνιο και αποτελούν συνήθως το 1/3 του πληθυσμού.

➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- ❑ Οι μικροοργανισμοί που διασπούν το οξικό οξύ απομονώθηκαν επίσης και σε θερμοφιλούς χωνευτές (50-60°C)
- ❑ Μερικά είδη του *Methanosarcina* παρεμποδίζονται πάνω από τους 65°C, ενώ άλλα όχι, αλλά δεν ανιχνεύθηκε καμία παρεμπόδιση του *Methanothrix*
- ❑ Για τα μεθανογενετικά που καταναλώνουν το υδρογόνο, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 60°C, το *Methanobacterium* ανιχνεύθηκε σε μεγάλες ποσότητες

➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- Συντροφικές σχέσεις στη ζύμωση

- ❑ Οι μεθανογενετικοί και οξικογενετικοί μικροοργανισμοί διαμορφώνουν μια συντροφική (αμοιβαία ευεργετική) σχέση στην οποία οι μεθανογενετικοί μετατρέπουν τα τελικά προϊόντα της ζύμωσης όπως το υδρογόνο, το μυρμηκικό και το οξικό οξύ σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.
- ❑ Επειδή οι μεθανογενετικοί είναι ικανοί να διατηρήσουν μια εξαιρετικά χαμηλή μερική πίεση του H_2 , η ισορροπία των αντιδράσεων της ζύμωσης μετατοπίζεται προς το σχηματισμό περισσότερων οξειδωμένων τελικών προϊόντων (π.χ. μυρμηκικό και οξικό οξύ)

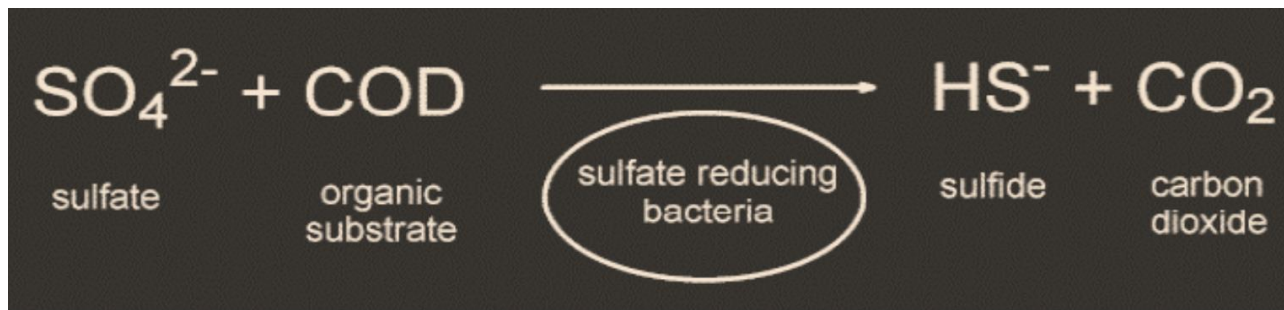
➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- Συντροφικές σχέσεις στη ζύμωση

- ❑ Η κατανάλωση του υδρογόνου καλείται **μεταφορά υδρογόνου μέσω των ειδών**
- ❑ Στην πραγματικότητα, οι μεθανογενετικοί οργανισμοί δρουν ως μια δεξαμενή υδρογόνου, που επιτρέπει να προχωρήσουν οι αντιδράσεις ζύμωσης
- ❑ Διαταραχές στη διεργασία => αργή κατανάλωση H_2
 - Επιβράδυνση της ζύμωσης του προπιονικού και βουτυρικού οξέος
 - Συσσώρευση των πτητικών λιπαρών οξέων
 - Πιθανή μείωση του pH

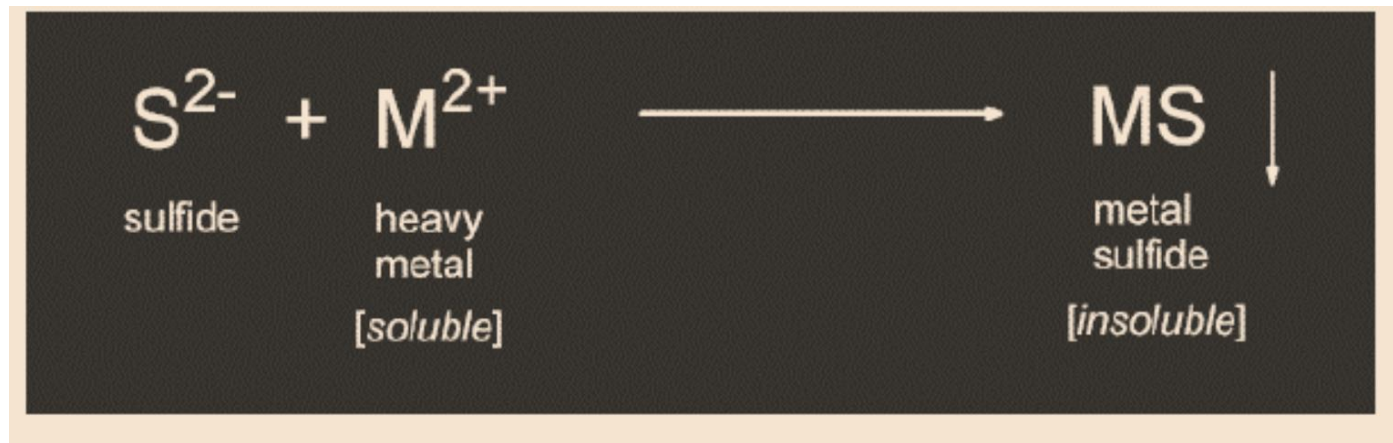
➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης - Οργανισμοί Όχλησης

- ❑ Είναι τα βακτήρια αναγωγής των θειικών
- ❑ Μπορούν να αποτελέσουν πρόβλημα όταν τα υγρά απόβλητα περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις θειικών
- ❑ Αναγάγουν τα θειικά σε θειώδη, τα οποία σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να είναι τοξικά για τους μεθανογενετικούς οργανισμούς



➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης - Οργανισμοί Όχλησης

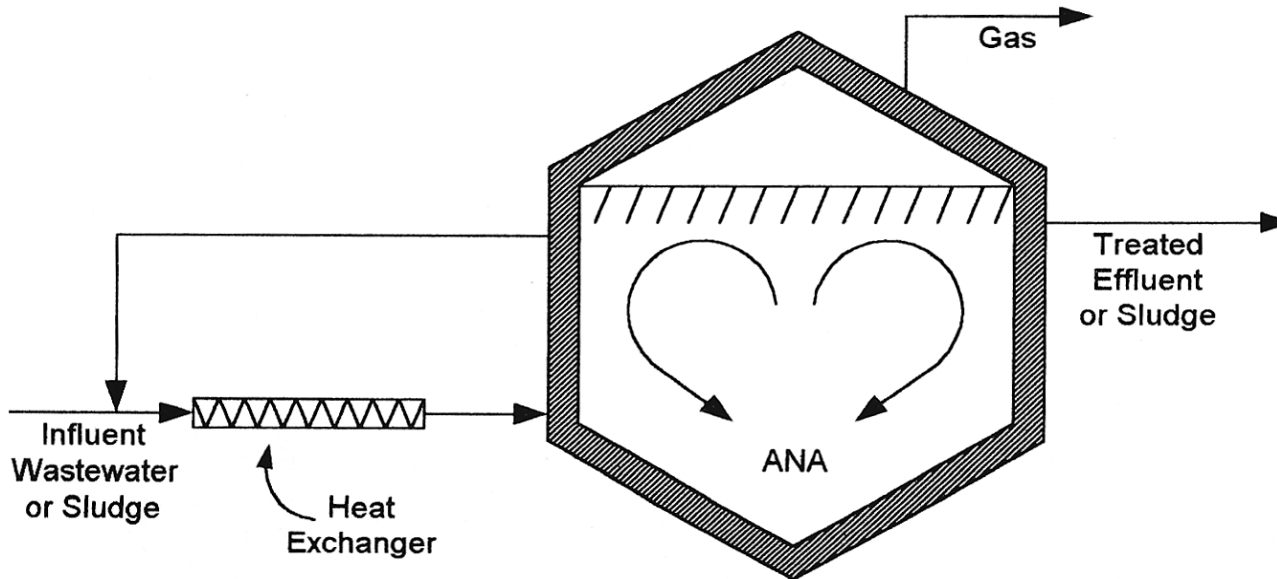
- Λύση αποτελεί η ελεγχόμενη προσθήκη σιδήρου για το σχηματισμό ιζήματος του θειώδους σιδήρου.



➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης - Οργανισμοί Όχλησης

- Τα βακτήρια αναγωγής των θειικών είναι υποχρεωτικά αναερόβιοι οργανισμοί που διαφέρουν μορφολογικά αλλά έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό: **χρησιμοποιούν τα θειικά ως δέκτη ηλεκτρονίων και διακρίνονται σε δυο ομάδες ανάλογα με το αν παράγουν ή χρησιμοποιούν το οξικό οξύ**
 - Στην πρώτη ομάδα οι αναγωγείς των θειικών μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων ως δότη ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα την οξειδωση τους προς οξικό οξύ και την αναγωγή των θειικών σε θειώδη (*Desulfonivbrio*)
 - Στη δεύτερη ομάδα οι αναγωγείς των θειικών οξειδώνουν τα λιπαρά οξέα, ιδιαίτερα το οξικό οξύ προς διοξείδιο του άνθρακα καθώς ανάγουν τα θειικά σε θειώδη (*Desulfobacter*)

➤ Κατασκευαστικά στοιχεία αναερόβιου βιοαντιδραστήρα



- Κλειστή δεξαμενή
- Σύστημα ανάμιξης
- Σύστημα θέρμανσης
- Σύστημα διαχωρισμού αερίων – υγρών - στερεών

➤ Κατασκευαστικά στοιχεία αναερόβιου αντιδραστήρα

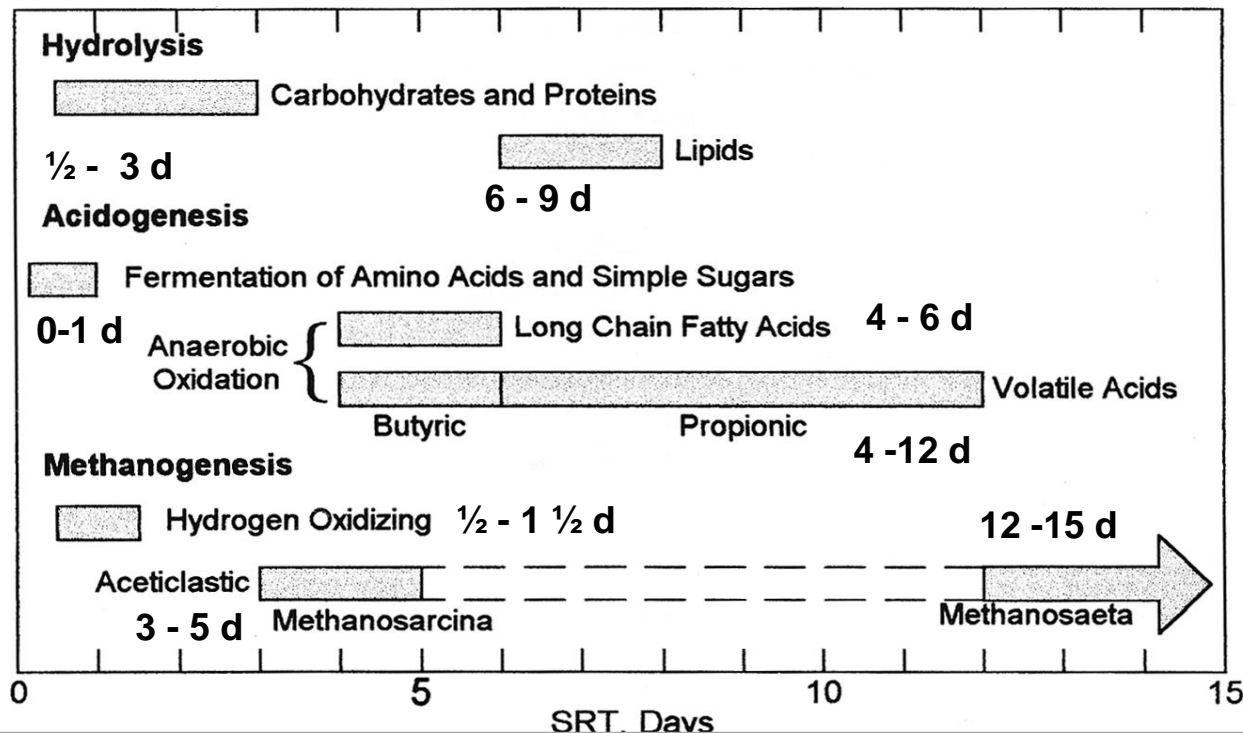
- ❑ Κλειστά συστήματα ώστε να αποφεύγεται η διάχυση O_2 από την ατμόσφαιρα και να διασφαλίζονται αναεροβικές συνθήκες
- ❑ Εξωτερική μόνωση ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία στο εσωτερικό του αντιδραστήρα και περιέχουν **σύστημα θέρμανσης** το οποίο διατηρεί την θερμοκρασία σταθερή και σε βέλτιστα επίπεδα για την βιομάζα. Το CH_4 που παράγεται συλλέγεται και χρησιμοποιείται ως καύσιμο για τη θέρμανση του αντιδραστήρα

➤ Κατασκευαστικά στοιχεία αναερόβιου αντιδραστήρα

- ❑ Αναερόβιοι αντιδραστήρες κατέχουν:
 - **Συστήματα ανάμιξης:** ώστε να επιτευχθεί ομογενοποίηση των αποβλήτων
 - **Αποτελεσματικό σύστημα διαχωρισμού αέριων – υγρών – στερεών:** Ο διαχωρισμός στερεών – υγρών είναι καθοριστικός για την αποτελεσματικότητα του συστήματος ενώ ο διαχωρισμός στερεών – αερίων είναι απαραίτητος για να ακολουθήσει ο διαχωρισμός στερεών – υγρών

➤ Λειτουργία Αναερόβιου Αντιδραστήρα

- Γενικότερα, οι αναερόβιοι βιοαντιδραστήρες χαρακτηρίζονται από μεγάλους χρόνους κατακράτησης στερεών (SRTs) που είναι απαραίτητοι διότι η ανάπτυξη των μεθανιογόνων βακτηρίων είναι αργή





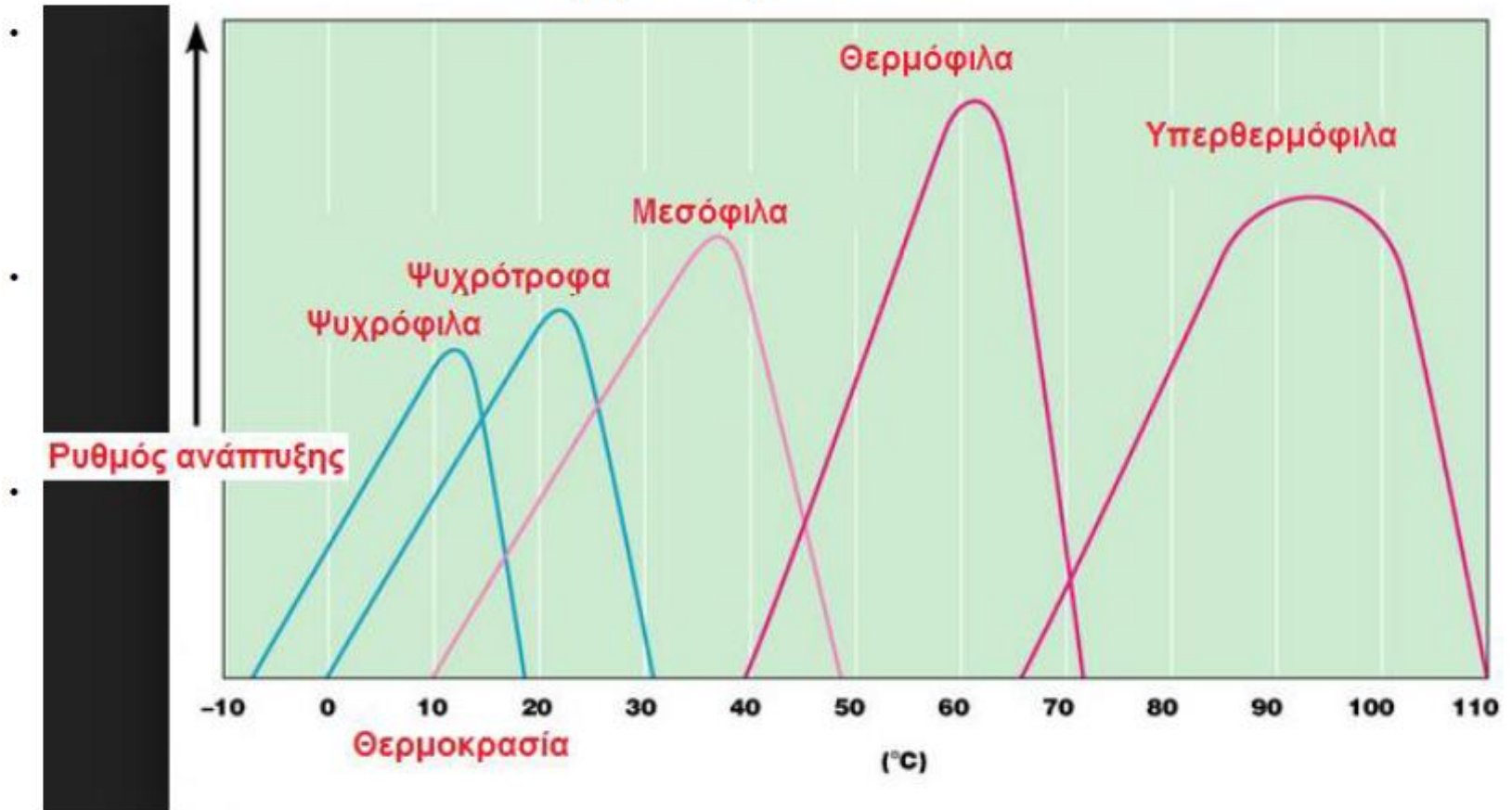
➤ Παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία Συστημάτων Αναερόβιας Χώνευσης

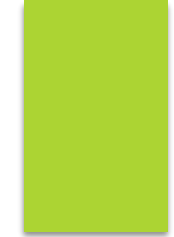
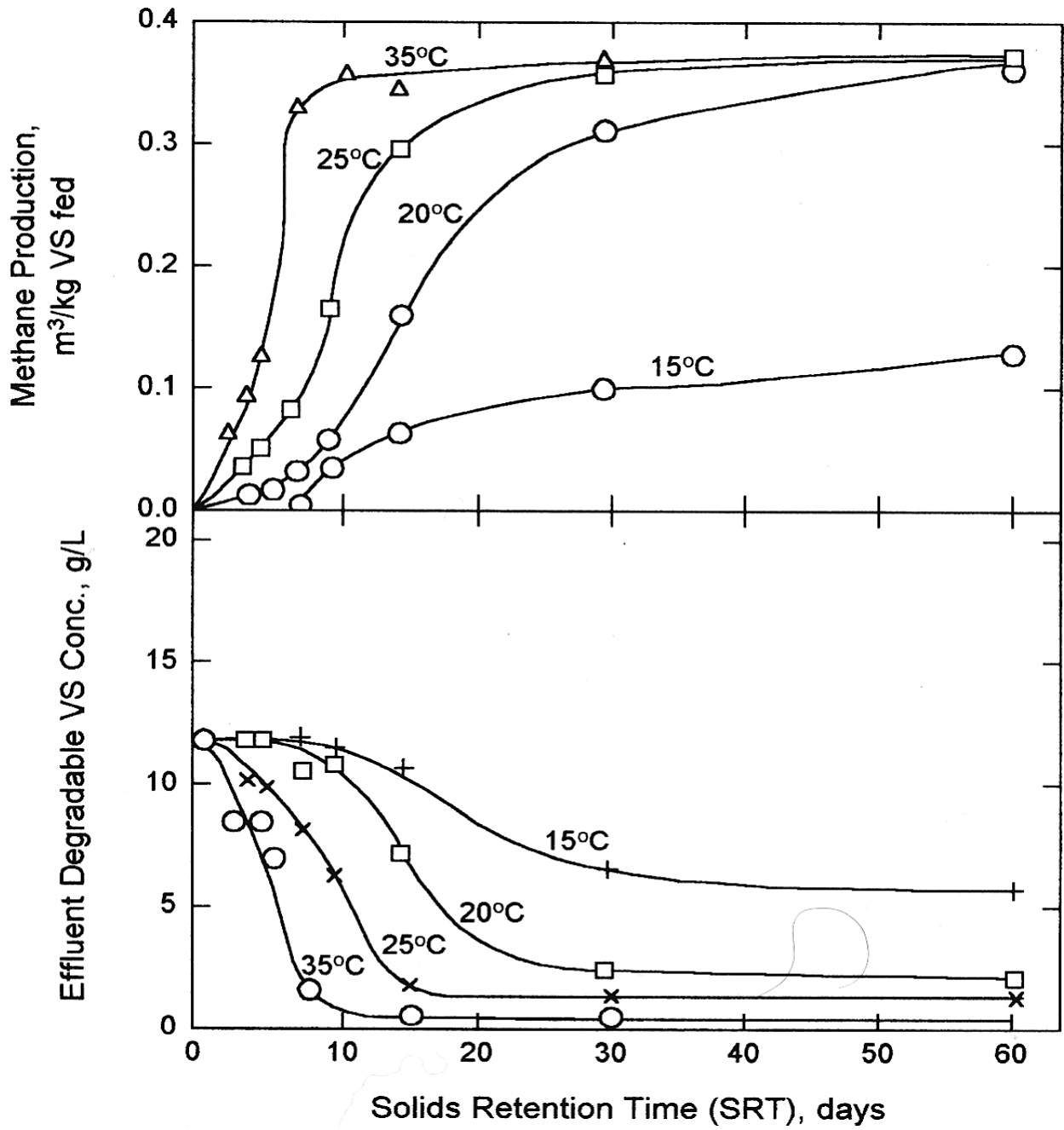
- Χρόνος κατακράτησης στερεών
- Συνολικό υδραυλικό φορτίο
- **Θερμοκρασία**
- **pH**
- **Ουσίες με τοξική και ανασταλτική δράση**
- **Θρεπτικά στοιχεία**
- Ανάμιξη
- Είδος και προέλευση αποβλήτων

➤ Θερμοκρασία στην Αναερόβια Χώνευση

- ❑ Βασική αρχή για τα συστήματα αναεροβικής χώνευσης είναι:
 - Αποφυγή μεταβολών της θερμοκρασίας που θα πρέπει να διατηρείται στους $\pm 2^{\circ}\text{C}$ κατά την διάρκεια της διεργασίας.
 - Διατήρηση της θερμοκρασίας σε βέλτιστα επίπεδα για την ανάπτυξη των μεθανιογόνων βακτηρίων δηλαδή $30-40^{\circ}\text{C}$ (μεσόφιλη χώνευση) και $50-60^{\circ}\text{C}$ (θερμόφιλη χώνευση).
 - Οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρέχουν την επιπλέον καταστροφή των παθογόνων αλλά απαιτούν παροχή ενέργειας για την διατήρηση των υψηλών θερμοκρασιών και υπάρχει αυξημένος κίνδυνος για αποσταθεροποίηση του συστήματος

➤ Θερμοκρασία στην Αναερόβια Χώνευση





➤ pH στην Αναερόβια Χώνευση

- Το pH του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα η διεργασία είναι ένας από τους σπουδαιότερους παράγοντες για την ισορροπία του συστήματος ο οποίος καθορίζει κατά πολύ την τελική έκβαση και την επιτυχή διαχείριση των υποστρωμάτων κυρίως λόγω της ανικανότητας και ευαισθησίας των μεθανογενετικών οργανισμών να αποδέχονται μεγάλες διαφοροποιήσεις στο pH του περιβάλλοντος τους και στην προτίμηση που δείχνουν στο **ουδέτερο έως και ελαφρώς αλκαλικό περιβάλλον - βέλτιστο εύρος 6.8-7.4.**

➤ pH στην Αναερόβια Χώνευση

□ Το pH έχει άμεση σχέση με:

- το είδος των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται
- τη συγκέντρωσή τους
- τη δομή της κοινότητας διαφορετικών μικροοργανισμών που δρουν συμβιωτικά
- την ικανότητά τους να αποδομούν συγκεκριμένες ενώσεις

➤ pH στην Αναερόβια Χώνευση

- ❑ Τα οξεογενετικά αναπτύσσονται με μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι τα μεθανογενετικά
- ❑ Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα οξεογενετικά βακτήρια να μπορούν να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες οξέων από αυτά που μπορούν να καταναλώσουν τα μεθανογενετικά προκαλώντας αύξηση των συγκεντρώσεων των οξέων στο σύστημα και μείωση του pH, που αν είναι μεγάλη μπορεί και να αναστείλει τις διεργασίες της χώνευσης
- ❑ Η κατάσταση μπορεί να διορθωθεί με προσθήκη χημικών όπως άσβεστος, αμμωνία, υδροξειδίου καλίου ή νατρίου

➤ Ουσίες με τοξική και ανασταλτική δράση

- ❑ Η αναερόβια χώνευση δεν έχει την ικανότητα, όπως και οι περισσότερες βιολογικές μέθοδοι διαχείρισης αποβλήτων, να επεξεργάζεται απόβλητα τα οποία περιέχουν μεγάλες ποσότητες **ενώσεων με αντιβιοτική και τοξική δράση** (μέταλλα, οργανικοί ρύποι, μεταλλικά ιόντα: Na, K, Ca, Mg), καθώς οι ενώσεις αυτές καταστρέφουν τις δομές των μικροοργανισμών μειώνοντας την ικανότητα τους να απορρυπαίνουν, καθώς μειώνεται ο αριθμός ενεργών μικροοργανισμών στο σύστημα
- ❑ Άλλες ενώσεις που δρουν παρεμποδιστικά στις διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης είναι **η αμμωνία**, όταν οι συγκεντρώσεις της υπερβαίνουν τα 8g/L

➤ Ουσίες με τοξική και ανασταλτική δράση

- Ενδιάμεσα προϊόντα όπως είναι τα **μακράς αλυσίδας λιπαρά οξέα** σε συγκεντρώσεις από 50-75mg/L για μεμονωμένα οξέα και 1g/L για ολικά μακράς αλυσίδας λιπαρά οξέα, παρουσιάζουν παρεμποδιστικές ιδιότητες λόγω της ικανότητάς τους να προσκολλώνται επάνω στους μικροοργανισμούς και να τους οδηγούν στην επίπλευση από όπου και απομακρύνονται από το σύστημα

➤ Ουσίες με τοξική και ανασταλτική δράση

- ❑ Η παρουσία **υδρόθειου** εμφανίζει παρεμποδιστικές τάσεις, όταν η συγκέντρωσή του στο υδατικό περιβάλλον υπερβαίνει το 1.5 g/L
- ❑ Ο τρόπος με τον οποίο δρα το υδρόθειο αν και δεν είναι με ακρίβεια γνωστός θεωρείται ότι περνάει στο κυτόπλασμα από όπου και καταστρέφει τις πρωτεΐνες του κυττάρου με την παραγωγή σουλφιδίων
- ❑ Η τοξικότητα των σουλφιδίων προς τα βακτηρία είναι παρόμοια με την αμμωνία και αυξάνεται με αύξηση του pH

➤ Θρεπτικά στοιχεία

- ❑ Για την ανάπτυξη των απαραίτητων για την αναερόβια χώνευση μικροοργανισμών είναι αναγκαία η ύπαρξη, εντός της δεξαμενής επεξεργασίας, κάποιων θρεπτικών συστατικών τα οποία είναι απαραίτητα για το μεταβολισμό των μικροοργανισμών
- ❑ Αυτά χωρίζονται σε πρωτεύοντα, τα οποία τα έχουν άμεση ανάγκη οι μικροοργανισμοί για την κατασκευή των κυτταρικών τους δομών ή για την άντληση της ενέργειας που απαιτούν για την ανάπτυξη τους (άνθρακας, άζωτο, φωσφόρος, κάλιο) και σε δευτερεύοντα συστατικά (κοβάλτιο, σίδηρος, νικέλιο, σελήνιο, ψευδάργυρος)

➤ Θρεπτικά στοιχεία

- ❑ Ο πλέον συνήθης τρόπος ελέγχου των επιπέδων των θρεπτικών συστατικών στο σύστημα είναι μέσω της αναλογίας άνθρακα/αζώτου η οποία πρέπει να είναι μεταξύ 20-30:1
- ❑ Μικρή συγκέντρωση αζώτου είναι ένας δείκτης έλλειψης ενέργειας από το σύστημα, όπου η ελλιπής ποσότητα ενέργειας καταναλώνεται άμεσα από τους μικροοργανισμούς χωρίς να μπορούν να καταναλώσουν τις πλεονασματικές συγκεντρώσεις άνθρακα
- ❑ Αντίθετα μεγάλη συγκέντρωση αζώτου είναι ένας δείκτης ύπαρξης πλεονασματικής ποσότητας ενέργειας, η οποία μπορεί να προκαλέσει αύξηση των συγκεντρώσεων αμμωνίας στο σύστημα, η οποία είναι τοξική για τους μεθανογενετικούς μικροοργανισμούς

Αερόβια

VS

***Αναερόβια Συστήματα στην
Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων***

➤ Αερόβιες vs Αναερόβιες διεργασίες

- ❑ Αερόβια συστήματα προτιμούνται για την επεξεργασία αραιών υγρών αποβλήτων ($\text{COD} < 1000 \text{ mg/L}$) ενώ αναερόβια συστήματα προτιμούνται για την επεξεργασία πυκνών υγρών αποβλήτων ($\text{COD} > 1000 \text{ mg/L}$)
- ❑ Τα αναερόβια συστήματα παρουσιάζουν χαμηλότερη παραγωγή στερεών, χαμηλότερες απαιτήσεις για θρεπτικά και ενέργεια ενώ οδηγούν στην παραγωγή ενός χρήσιμου ενεργειακά αερίου

➤ Αερόβιες vs Αναερόβιες διεργασίες

- ❑ Τα αερόβια συστήματα είναι πιο ανθεκτικά σε τοξικές ουσίες και παρέχουν υψηλότερης ποιότητας επεξεργασμένα απόβλητα
- ❑ Ανθεκτικές στην μικροβιακή διάσπαση ουσίες μπορούν να διασπαστούν ευκολότερα σε αναερόβιες συνθήκες (χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες)

➤ Αερόβιες vs Αναερόβιες διεργασίες

- ❑ Οι αναερόβιες διεργασίες είναι πιο αποτελεσματικές για την καταστροφή παθογόνων λόγω των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται
- ❑ Τα αναερόβια συστήματα απαιτούν γενικά μεγαλύτερους χρόνους κατακράτησης στερεών (SRTs) ώστε να αναπτυχθούν πλήρως οι μεθανιογόνοι μικροοργανισμοί

➤ Κατηγορίες αναερόβιων διεργασιών στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων

➤ Αναερόβια χώνευση (Anaerobic Digestion)

➤ Χαμηλού ρυθμού αναερόβια χώνευση (Low Rate Anaerobic Digestion)

➤ Υψηλού ρυθμού αναερόβια χώνευση (High Rate Anaerobic Digestion)

➤ Αναερόβια χώνευση στερεών (Solids Fermentation Processes)

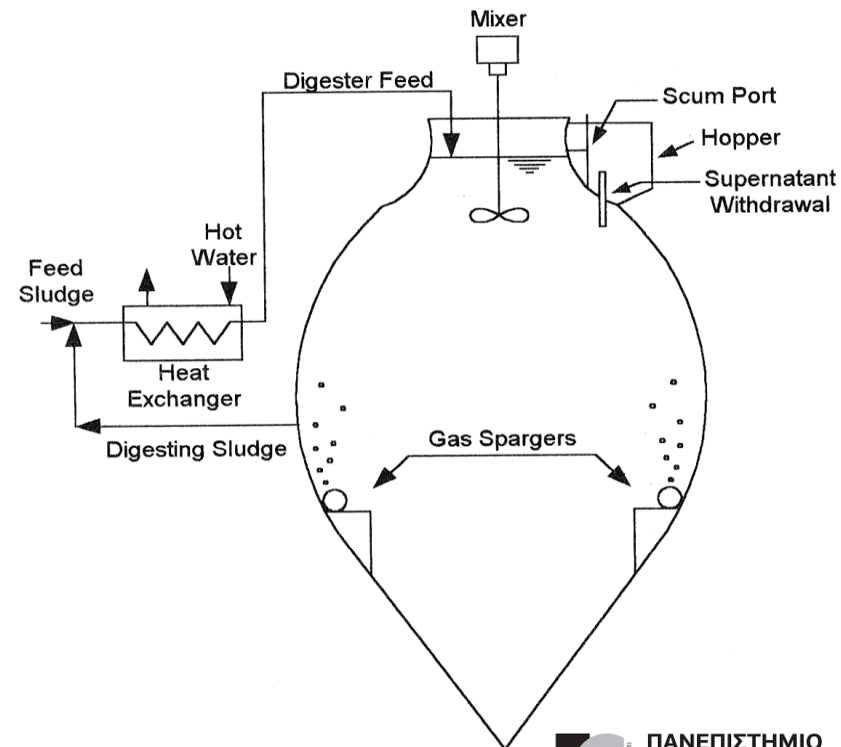
➤ Αναερόβια χώνευση

- ❑ Στην συνήθη μορφή οι αναερόβιοι χωνευτήρες αποτελούν ένα σύστημα πλήρους ανάμιξης υγρών – στερεών όπου τα απόβλητα διατηρούνται για 15-20 ημέρες (SRTs)
- ❑ Είναι συνήθως κυλινδρικές κατασκευές με διάμετρο 10-40 m και κωνικό πυθμένα που περιέχουν κατάλληλο σύστημα ανάμιξης των αποβλήτων
- ❑ Το CH_4 που παράγεται συλλέγεται και χρησιμοποιείται για την θέρμανση του συστήματος ($35\text{-}55^\circ\text{C}$) που πρέπει να διατηρείται σταθερή

➤ Αναερόβια χώνευση

□ Από τις πιο χρησιμοποιούμενες κατασκευές αντιδραστήρων είναι οι αναερόβιοι αντιδραστήρες σχήματος αυγού που δε αντιμετωπίζουν προβλήματα συσσώρευσης χαλικιών στον πυθμένα και σκουπιδιών στην επιφάνεια

□ Η αναερόβια χώνευση με χρόνο κατακράτησης στερεών 15-20 ημέρες οδηγεί σε μείωση της βιοδιασπώμενης οργανικής ύλης των αποβλήτων που φθάνει το 80-90%



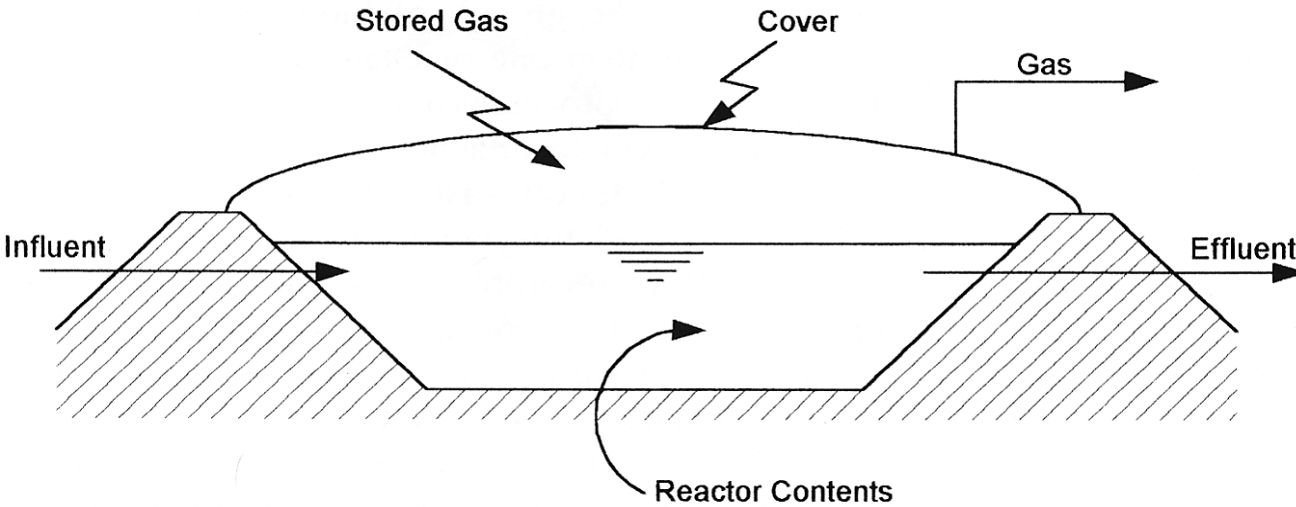
➤ Κατηγορίες αναερόβιων διεργασιών στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων

- Αναερόβια χώνευση (Anaerobic Digestion)
- **Χαμηλού ρυθμού αναερόβια χώνευση (Low Rate Anaerobic Digestion)**
- Υψηλού ρυθμού αναερόβια χώνευση (High Rate Anaerobic Digestion)
- Αναερόβια χώνευση στερεών (Solids Fermentation Processes)

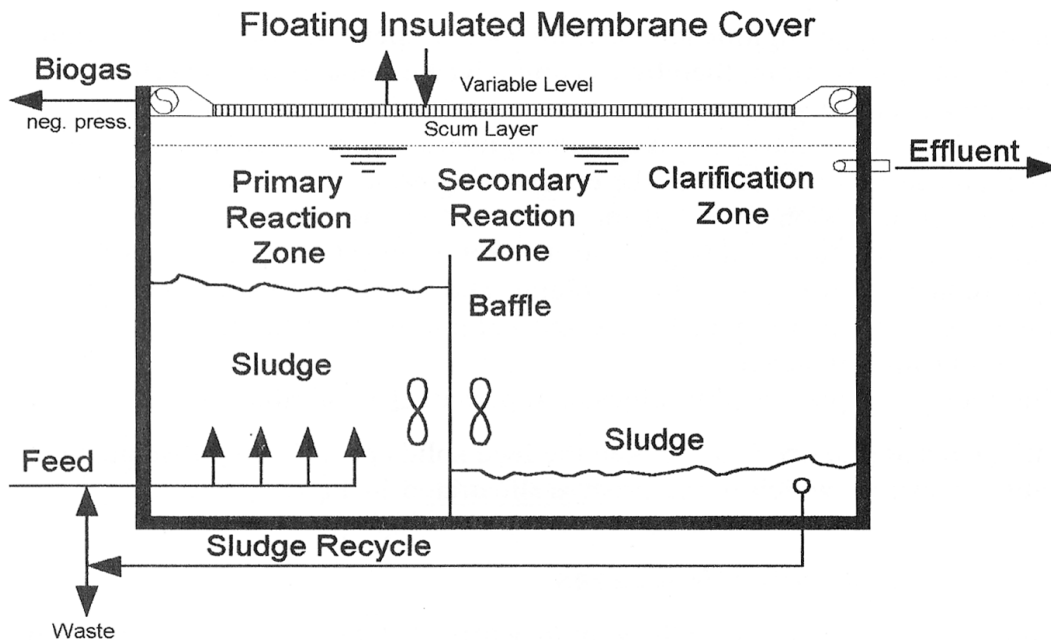
➤ Χαμηλού ρυθμού αναερόβια χώνευση

- ❑ Απλά συστήματα που επιτυγχάνουν ικανοποιητική καθίζηση των στερεών χρησιμοποιώντας μεγάλους χρόνους κατακράτησης
- ❑ Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για επεξεργασία υγρών αποβλήτων που βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία ή χρησιμοποιούν μεγάλους χρόνους κατακράτησης στερεών για να επιτρέψουν στο σύστημα να λειτουργήσει σε κατάλληλες θερμοκρασίες

➤ Χαμηλού ρυθμού αναερόβια χώνευση



Κατασκευή εντός
της γης με
κατάλληλα
τοιχώματα



Τσιμεντένια
κατασκευή με
διαχωρισμένες ζώνες

➤ Κατηγορίες αναερόβιων διεργασιών στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων

- Αναερόβια χώνευση (Anaerobic Digestion)
- Χαμηλού ρυθμού αναερόβια χώνευση (Low Rate Anaerobic Digestion)
- **Υψηλού ρυθμού αναερόβια χώνευση (High Rate Anaerobic Digestion)**
- Αναερόβια χώνευση στερεών (Solids Fermentation Processes)

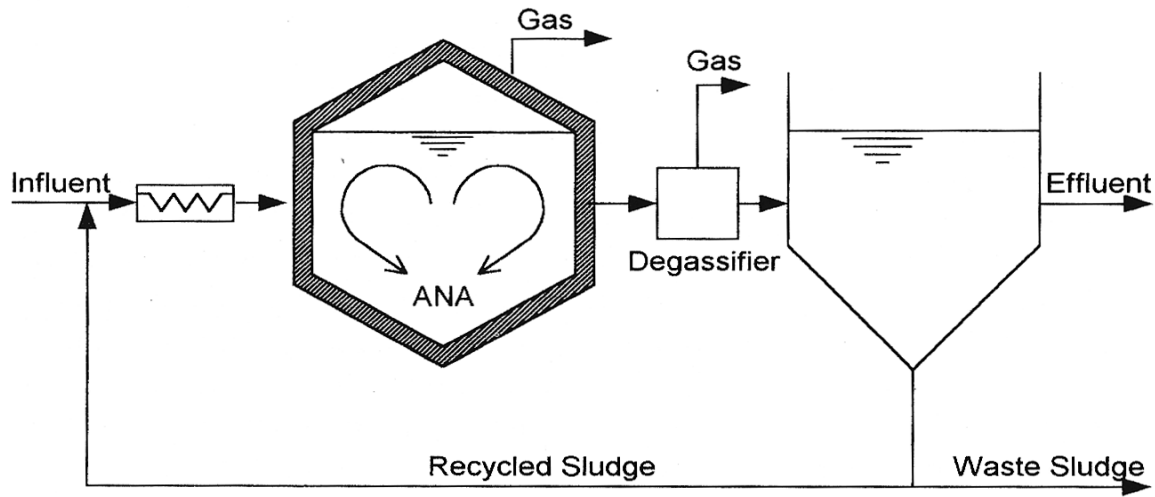
➤ Υψηλού ρυθμού αναερόβια χώνευση

- ❑ Βασική αρχή αυτών των συστημάτων είναι η σημαντική κατακράτηση της ενεργής βιομάζας
- ❑ Οι βιοαντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι **βιοαντιδραστήρες με βιολογικές κροκύδες** (suspended growth bioreactors), **βιοντιδραστήρες βιοστρωμάτων** (Attached growth bioreactors) ή **υβριδικά συστήματα** μεταξύ των δύο αυτών ειδών

➤ Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης Υψηλού Ρυθμού

- Αναερόβιας Επαφής (Anaerobic contact, AC)
- Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ανοδικής ροής (UASB)
- Αναερόβια Διήθηση (AF)
- Υβριδικά συστήματα UASB/AF
- Καθοδικής Ροής Σταθεροποιημένου Βιοστρώματος (DSFF)
- Ρευστοποιημένες/Αναπτυσσόμενες Κλίνες (FB/EB)

➤ Συστήματα Αναερόβιας Επαφής



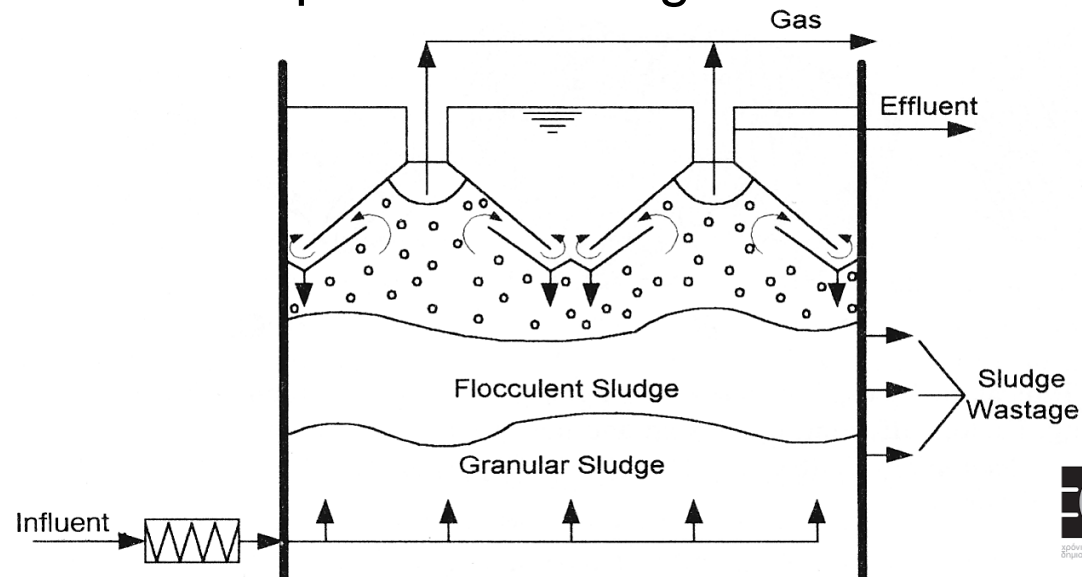
- ❑ Αναερόβια Συστήματα Ενεργοποιημένης Λάσπης όπου τα υγρά απόβλητα βρίσκονται σε πλήρη ανάμιξη με κατάλληλο σύστημα ανάμιξης, το αέριο που παράγεται συλλέγεται πριν τα υγρά απόβλητα διοχετευτούν στην δεξαμενή διαχωρισμού.
- ❑ Τμήμα της συλλεγόμενης λάσπης (**Recycled Sludge**) επαναφέρεται στο σύστημα.

➤ Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης Υψηλού Ρυθμού

- Αναερόβιας Επαφής (Anaerobic contact, AC)
- **Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ανοδικής ροής (UASB)**
- Αναερόβια Διήθηση (AF)
- Υβριδικά συστήματα UASB/AF
- Καθοδικής Ροής Σταθεροποιημένου Βιοστρώματος (DSFF)
- Ρευστοποιημένες/Αναπτυσσόμενες Κλίνες (FB/EB)

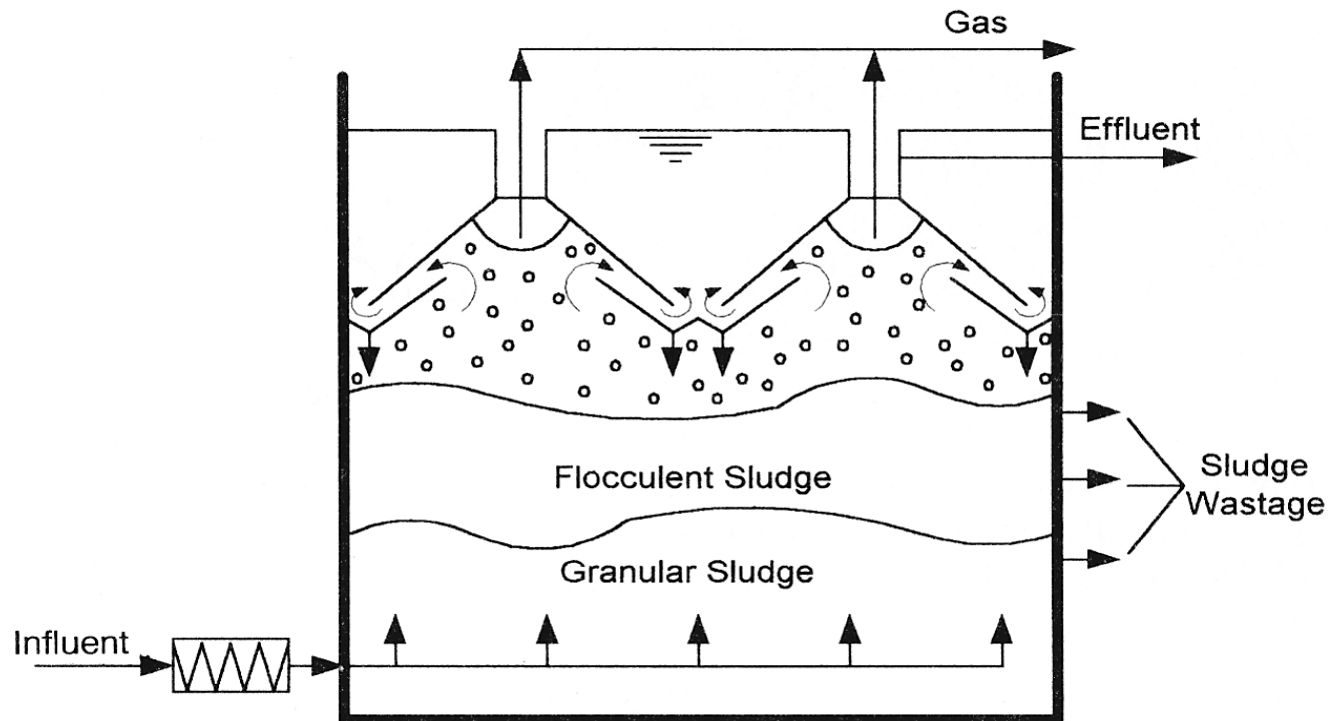
➤ Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ανοδικής Ροής

- ❑ Σύστημα βιοκροκύδων όπου το εσωτερικό του διαχωρίζεται σε τρεις οριζόντιες ζώνες
- ❑ Τα υγρά διοχετεύονται ομοιόμορφα από τον πυθμένα του αντιδραστήρα και τα μεγάλα μεγέθους στερεά και η βιομάζα σχηματίζουν μεγάλους κόκκους οι οποίοι καθιζάνουν στον πυθμένα σχηματίζοντας μια παχιά ζώνη (**Granular sludge**) με συγκεντρώσεις διαλυτών στερεών 20 – 30 g/L



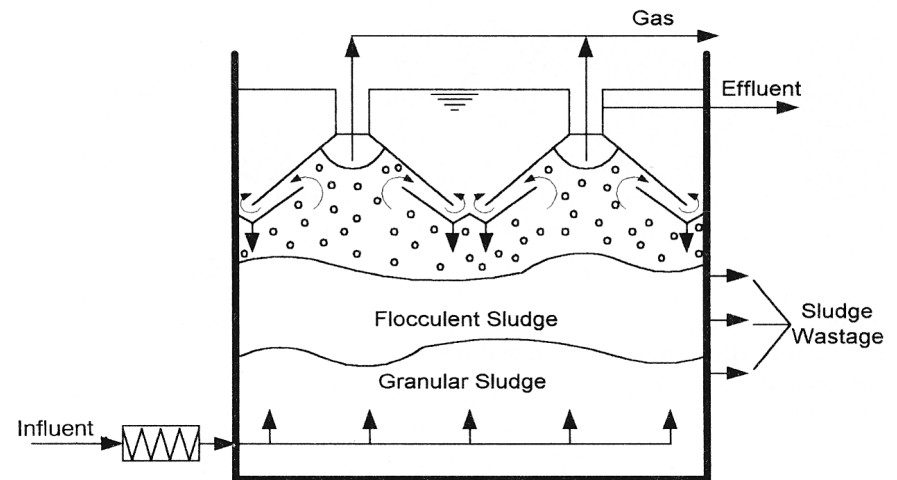
➤ Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ανοδικής Ροής

- ❑ Τα εισερχόμενα απόβλητα διέρχονται από την ζώνη των κόκκων (**Granular sludge**) και η οργανική ουσία έρχεται σε επαφή με την βιομάζα στην ζώνη των κόκκων και διασπάζεται



➤ Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ανοδικής Ροής

- ❑ Σωματίδια τα οποία δεν κατακρατούνται στην ζώνη των κόκκων δημιουργούν μια αραιότερη ζώνη από κροκύδες (**flocculent sludge**) ακριβώς πάνω από την ζώνη των κόκκων
- ❑ Τα υγρά που διέρχονται από τις δύο ζώνες καταλήγουν στην κορυφή του συστήματος όπου με διάφορες μεθόδους γίνεται ο διαχωρισμός υγρών – στερεών – αερίων



➤ Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης Υψηλού Ρυθμού

- Αναερόβιας Επαφής (Anaerobic contact, AC)
- Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ανοδικής ροής (UASB)
- **Αναερόβια Διήθηση (AF)**
- Υβριδικά συστήματα UASB/AF
- Καθοδικής Ροής Σταθεροποιημένου Βιοστρώματος (DSFF)
- Ρευστοποιημένες/Αναπτυσσόμενες Κλίνες (FB/EB)

➤ Αναερόβια Διήθηση (Anaerobic filter)

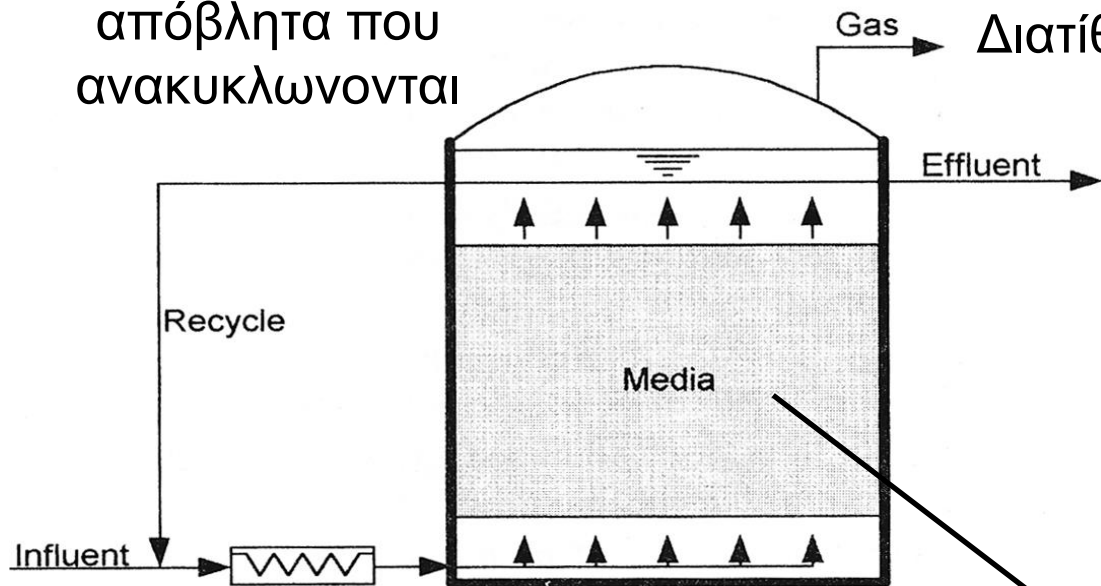
- ❑ Ο αντιδραστήρας περιέχει κατάλληλα πορώδη υλικά επί των οποίων αναπτύσσεται η βιομάζα
- ❑ Τα υγρά απόβλητα εισέρχονται ομοιόμορφα από τον πυθμένα του συστήματος διαχέονται διαμέσου του πορώδους υλικού όπου και πραγματοποιείται η βιολογική διάσπαση του οργανικού φορτίου

➤ Αναερόβια Διήθηση (Anaerobic filter)

- ❑ Τα υγρά απόβλητα που διαπερνούν το διηθητικό μέσο καταλήγουν στην κορυφή του συστήματος όπου απομακρύνονται
- ❑ Τα αέρια συλλέγονται από κατάλληλο σύστημα και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας

➤ Αναερόβια Διήθηση

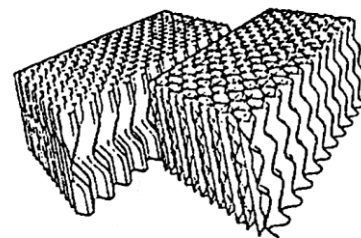
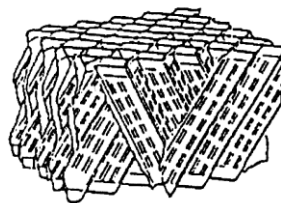
Επεξεργασμένα υγρά
απόβλητα που
ανακυκλώνονται



Διατίθεται για παραγωγή ενέργειας

Επεξεργασμένα υγρά
απόβλητα

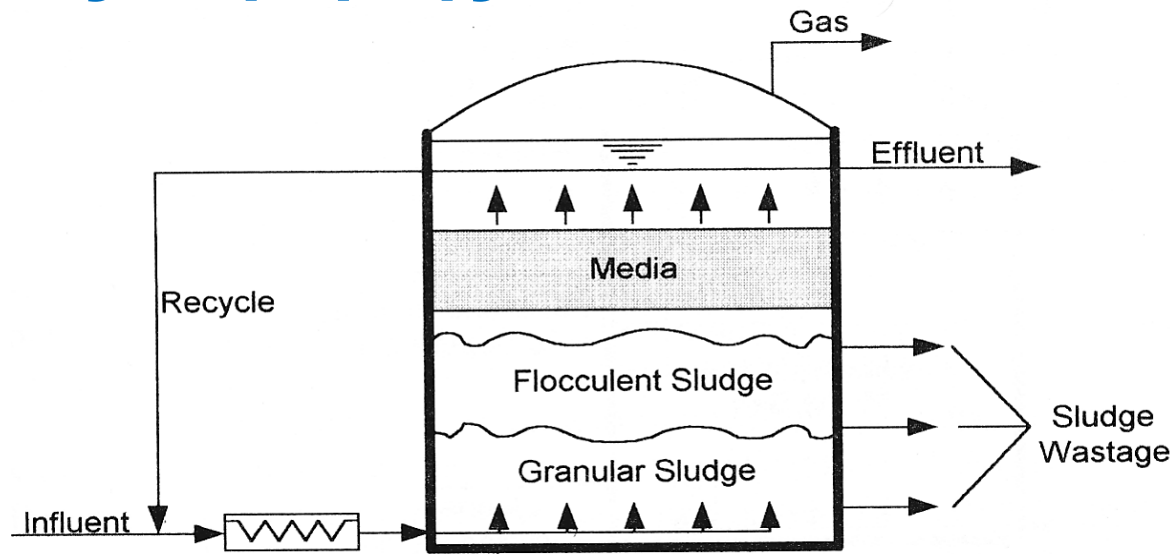
Τύποι πορώδους υλικού



➤ Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης Υψηλού Ρυθμού

- Αναερόβιας Επαφής (Anaerobic contact, AC)
- Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ανοδικής ροής (UASB)
- Αναερόβια Διήθηση (AF)
- **Υβριδικά συστήματα UASB/AF**
- Καθοδικής Ροής Σταθεροποιημένου Βιοστρώματος (DSFF)
- Ρευστοποιημένες/Αναπτυσσόμενες Κλίνες (FB/EB)

➤ Υβριδικό σύστημα Ανοδικής Ροής / Αναερόβιας Διήθησης



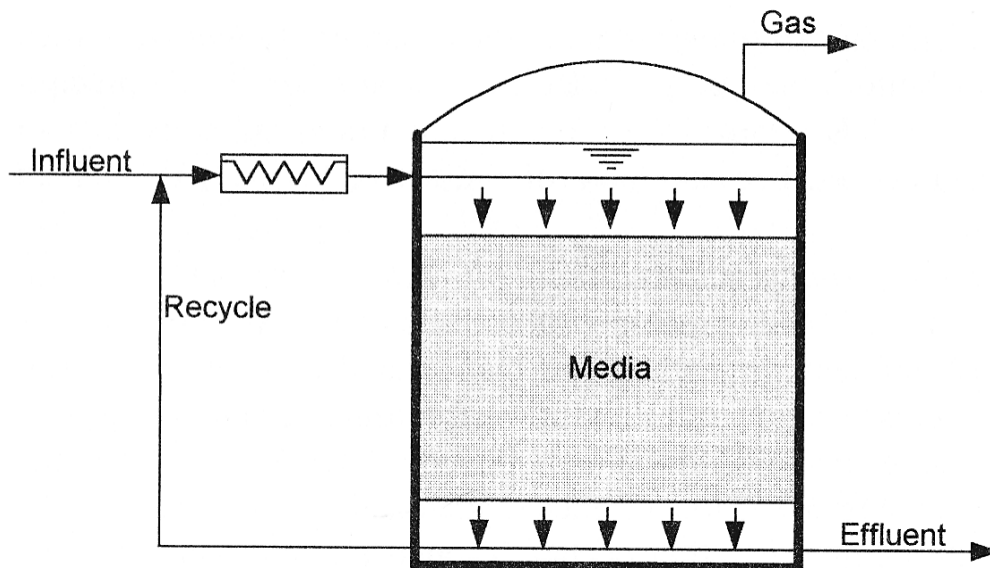
- Στο σύστημα συνδυάζονται οι χαρακτηριστικές ζώνες κόκκων (Granular Sludge) και κροκύδων (Floculent Sludge) του συστήματος Ανοδικής Ροής ενώ τα υγρά απόβλητα στην συνέχεια εισέρχονται σε μια ζώνη από πορώδες υλικό όπως στο σύστημα Αναερόβιας Διήθησης.

➤ Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης Υψηλού Ρυθμού

- Αναερόβιας Επαφής (Anaerobic contact, AC)
- Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ανοδικής ροής (UASB)
- Αναερόβια Διήθηση (AF)
- Υβριδικά συστήματα UASB/AF
- **Καθοδικής Ροής Σταθεροποιημένου Βιοστρώματος (DSFF)**
- Ρευστοποιημένες/Αναπτυσσόμενες Κλίνες (FB/EB)

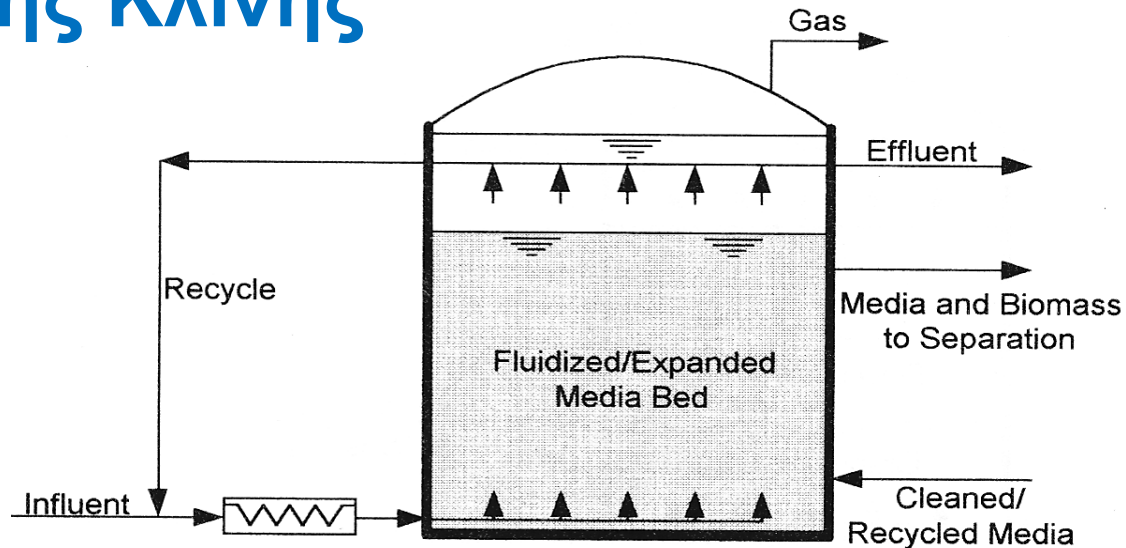
➤ Καθοδικής ροής σταθεροποιημένου βιοστρώματος

- ❑ Παρόμοιο με το σύστημα Αναερόβιας Διήθησης με τη διαφορά ότι η ροή των αποβλήτων είναι καθοδική
- ❑ Τα διηθητικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της βιομάζας στο εσωτερικό του αντιδραστήρα είναι ίδια με τα υλικά του AF



- ❑ Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα συλλέγονται και είτε ανακυκλώνονται είτε μεταφέρονται για νέα επεξεργασία

➤ Βιοαντιδραστήρες Ρευστοποιημένης – Αναπτυσσόμενης Κλίνης



- ❑ Βιοαντιδραστήρες βιοστρωμάτων όπου η βιομάζα αναπτύσσεται επί λεπτοκόκκου υλικού όπως άμμος ή άλλο κοκκώδες υλικό και το οποίο διαβρέχεται καθώς τα υγρά απόβλητα διοχετεύονται από τον πυθμένα του συστήματος
- ❑ Καθώς το κοκκώδες υλικό διαβρέχεται διαστέλλεται και αυξάνεται ο όγκος του σε βαθμό ανάλογο με την ανοδική ταχύτητα ροής των αποβλήτων

➤ Βιοαντιδραστήρες Ρευστοποιημένης – Αναπτυσσόμενης Κλίνης (FB/EB)

- ❑ Βασικό χαρακτηριστικό των FB/EB συστημάτων είναι η χρήση λεπτόκοκκων διηθητικών υλικών που παρέχουν υψηλή ειδική επιφάνεια για ανάπτυξη βιομάζας που κυμαίνεται από 3 – 10,000 m²/m³
- ❑ Το σύστημα λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας του κοκκώδους υλικού αναπτύσσει μεγάλες συγκεντρώσεις βιομάζας και συνεπώς παρουσιάζει μικρούς χρόνους υδραυλικής παραμονής (0.2-2 ημέρες)
- ❑ Η περίσσεια βιομάζας του συστήματος συσσωρεύεται στα ανώτερα τμήματα του πληρωτικού υλικού και συνήθως απομακρύνονται και καθαρίζονται σε ειδικές εγκαταστάσεις και το καθαρό πληρωτικό υλικό επαναπροστίθεται στο αντιδραστήρα

➤ Χρήσεις Αναερόβιων Συστημάτων

- ❑ Οι αναερόβιοι χωνευτήρες χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων υψηλού οργανικού φορτίου και με υψηλές συγκεντρώσεις διαλυτών στερεών. Αποτελούν συνήθως τμήματα μεγαλύτερων συστημάτων επεξεργασίας διότι έχουν υψηλό κόστος κατασκευής αλλά χαμηλό κόστος συντήρησης
- ❑ Τα συστήματα χαμηλού ρυθμού αναερόβιας χώνευσης χρησιμοποιούνται σε περιοχές με διαθέσιμη γη για την κατασκευής τους και είναι ιδανικά για την επεξεργασία αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις διαλυτών στερεών και οργανικού φορτίου (COD 20-30,000 mg/L)

➤ Χρήσεις Αναερόβιων Συστημάτων

- ❑ Συστήματα υψηλού ρυθμού αναερόβιας χώνευσης χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία αποβλήτων με μέτριο ως υψηλό φορτίο ρύπων (COD <20,000 mg/L).
- ❑ Η παρουσία ή όχι υψηλών συγκεντρώσεων διαλυτών στερεών καθορίζει και το είδος του συστήματος υψηλού ρυθμού που θα χρησιμοποιηθεί:
- ❑ ***Αναεροβικής Επαφής και Καθοδικής Ροής Σταθεροποιημένου Βιοστρώματος*** προτιμώνται για απόβλητα με υψηλές συγκεντρώσεις διαλυτών στερεών