

Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων

ΜΑΘΗΜΑ 14^ο

ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ

Μέτρηση οργανικού περιεχομένου υγρών αποβλήτων

- ▶ **Αναλύσεις για τη μέτρηση μεγάλων συγκεντρώσεων οργανικού υλικού (> 1.0 mg/L)**
 - Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)
 - Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)
 - Ολικός οργανικός άνθρακας (total organic carbon, TOC)

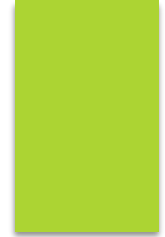
- ▶ **Αναλύσεις για τη μέτρηση ελάχιστων συγκεντρώσεων (10^{-12} έως 10^0 mg/L)**
 - Χρήση ενόργανων μεθόδων ανάλυσης όπως η αέρια ή υγρή χρωματογραφία και η φασματοσκοπία μάζας



□ Ποσοτικοποίηση οργανικού φορτίου υγρών αποβλήτων

- **BOD (Biochemical Oxygen Demand) Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο:** είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την αερόβια αποδόμηση (οξείδωση) της οργανικής ουσίας που περιέχεται στα υγρά απόβλητα
- **COD (Chemical Oxygen Demand) Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο:** είναι μέτρο της συνολικής ποσότητας των χημικά διαθέσιμων προς οξείδωση ουσιών που περιέχονται στα υγρά λύματα

□ Προσδιορισμός BOD



- Τα απόβλητα τοποθετούνται σε μπουκάλια μέτρησης BOD
- Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μετράται με την χρήση κατάλληλων ηλεκτροδίων οξυγόνου
- Τα μπουκάλια σφραγίζονται και διατηρούνται στο σκοτάδι στους 20°C για 5 ημέρες (120 ώρες περίπου) – **BOD₅**
- Τα μπουκάλια απομακρύνονται από την επώαση, αποσφραγίζονται και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μετράται
- Η διαφορά στην περιεκτικότητα σε οξυγόνο πριν και μετά την επώαση μας δίνει την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώθηκε από τους μικροοργανισμούς για την αποδόμηση της οργανικής ύλης

❑ Περιορισμοί στην ανάλυση του BOD

- ❑ Απαιτείται υψηλή συγκέντρωση ενεργών βακτηρίων που θα χρησιμοποιηθούν ως εμβόλιο
- ❑ Ανάγκη προεπεξεργασίας στην περίπτωση που υπάρχουν τοξικές ουσίες
- ❑ Ανάγκη ελαχιστοποίησης των νιτροποιητικών μικροοργανισμών
- ❑ Μέτρηση μόνο των βιοαποδομήσιμων οργανικών υλικών
- ❑ Απαιτείται σχετικά μεγάλη χρονική περίοδος για την απόκτηση των αποτελεσμάτων



Η περίοδος των 5 ημερών μπορεί και να μην αντιστοιχεί στο σημείο όπου το διαλυτό οργανικό υλικό έχει καταναλωθεί (οξείδωση 60-70% των οργανικών ουσιών έναντι 95-99% στις 20 ημέρες)

❑ Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

- ❑ Η ανάλυση του **COD** χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ισοδύναμου οξυγόνου του οργανικού υλικού των υγρών αποβλήτων που μπορεί να οξειδωθεί χημικά με τη χρήση διχρωμικού καλίου
- ❑ Συνήθως $COD \gg BOD$
 - Παρουσία οργανικών ουσιών που οξειδώνονται δύσκολα βιοχημικά (π.χ. λιγνίνη) αλλά οξειδώνονται χημικά
 - Παρουσία ανόργανων ουσιών που οξειδώνονται από το διχρωμικό κάλιο και «αυξάνουν» το εμφανιζόμενο ως οργανικό υλικό του δείγματος
 - Παρουσία ουσιών τοξικών για τους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση του BOD οργανικών ουσιών

□ Προσδιορισμός COD



- Γνωστή περίσσεια διχρωμικού καλίου αερίζεται για 2 περίπου ώρες με το δείγμα του υγρού που περιέχει διαλυμένη οργανική ουσία
- Η ποσότητα διχρωμικού καλίου που δεν έχει αντιδράσει με την οργανική ουσία μετράται με τιτλοδότηση

□ Η ανάλυση του COD μπορεί να ολοκληρωθεί σε 2,5 ώρες

❑ Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

- ❑ Η ανάλυση του **TOC** χρησιμοποιείται για την εύρεση του ολικού οργανικού άνθρακα σε ένα υδατικό δείγμα
- ❑ Συνίσταται στο διαλυτό TOC και στο TOC σωματιδιακής μορφής (επιτυχής διαφοροποίηση με διήθηση μέσω φίλτρου 0,45μm)
- ❑ Η ανάλυση του TOC χρησιμοποιεί θερμότητα, οξυγόνο, υπεριώδη ακτινοβολία, χημικά οξειδωτικά ή ένα συνδυασμό των παραπάνω για τη μετατροπή του οργανικού άνθρακα σε **διοξείδιο του άνθρακα** το οποίο μετράται με τη βοήθεια υπέρυθρου αναλυτή ή με άλλες μεθόδους
- ❑ **Η ανάλυση του TOC ολοκληρώνεται σε 5 με 10 min**

□ Συνολικά Αιωρούμενα Στερεά

- Μία άλλη παράμετρος που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ποσότητας οργανικής ουσίας που είναι διαθέσιμη για βιοαποδόμηση από τους μικροοργανισμούς είναι τα **Συνολικά Αιωρούμενα Στερεά (Total Suspended Solids)**
- Τα **συνολικά αιωρούμενα στερεά** μετρούνται ύστερα από αρκετό χρόνο ώστε το δείγμα να ηρεμήσει και η ποσότητα των στερεών να καθιζάνει ως ίζημα
- Εναλλακτικά το διάλυμα μπορεί να διηθηθεί διαμέσου κατάλληλης διατομής φίλτρου (2 μ m ή λιγότερο) και τα στερεά που απομακρύνονται να προσδιοριστούν

ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

❑ Πρωτοβάθμια ή Μηχανική Επεξεργασία

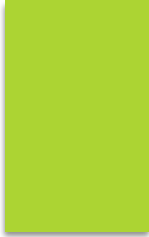
Απομάκρυνση μέρους των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού υλικού από τα υγρά απόβλητα

❑ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

Απομάκρυνση των βιοαποδομήσιμων οργανικών υλικών και των αιωρούμενων στερεών συμπεριλαμβανομένης ή μη της απολύμανσης και της απομάκρυνσης των θρεπτικών συστατικών (άζωτο, φώσφορος ή και τα 2 μαζί)

❑ Τριτοβάθμια ή Χημική Επεξεργασία

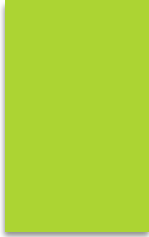
Απομάκρυνση των υπολειπόμενων αιωρούμενων στερεών συνήθως με τη χρήση μέσου διήθησης ή μικροσχάρας), συμπεριλαμβανομένης της απολύμανσης και της απομάκρυνσης των θρεπτικών συστατικών



**ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ
ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Τεχνικές Πρωτοβάθμιας Επεξεργασίας

- Εσχάρωση
- Αμμοσυλλογή
- Λιποσυλλογή
- Κατακάθιση - Καθίζηση
- Κροκίδωση
- Επίπλευση
- Διήθηση



□ Τεχνικές διαχωρισμού στην Πρωτοβάθμια Επεξεργασία


- **Εσχάρες και λοιπά κόσκινα:** για την απομάκρυνση σωματιδίων με διάμετρο πάνω από 10 mm και 0.2 mm αντίστοιχα
- **Αμμοσυλλέκτες:** για την απομάκρυνση άμμου και ογκωδών αντικειμένων
- **Λιποσυλλέκτες:** για την απομάκρυνση λίπους και ελαιωδών ουσιών

□ Τεχνικές διαχωρισμού στην Πρωτοβάθμια Επεξεργασία

- **Κατακάθιση/Καθίζηση:** τα απόβλητα παραμένουν για ορισμένο χρόνο στην δεξαμενή κατακάθισης και στο διάστημα αυτό καθιζάνουν τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια λόγω βαρύτητας
- **Κροκίδωση:** χημική μέθοδος κατεργασίας που αποβλέπει στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών που δύσκολα κατακάθονται
- **Επίπλευση:** χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών με ειδικό βάρος μικρότερο ή ίσο με αυτό το νερού

□ Τεχνικές διαχωρισμού στην Πρωτοβάθμια Επεξεργασία

Διήθηση: Συγκράτηση φερτών υλών με μικρές διαστάσεις σε φίλτρα άμμου ή μηχανική κοσκίνηση



**ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ
ΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ
ΜΟΡΦΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ
ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥΣ**

-

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

□ Δευτεροβάθμια/Βιολογική Επεξεργασία

□ Ανάλογα με το πώς αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας των αποβλήτων έχουμε:

- **Βιοαντιδραστήρες βιο-κροκύδων (Suspended growth bioreactors)**: οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή βιοσυσσωματωμάτων ή κροκύδων (floculates) και με την μορφή αυτή έρχονται σε άμεση επαφή με το οργανικό φορτίο των αποβλήτων
- **Βιοαντιδραστήρες βιοστρωμάτων (Attached growth bioreactors)**: όπου οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή βιοστρωμάτων (biofilms) σε αδρανείς επιφάνειες που παρέχονται εντός των δεξαμενών καθαρισμού

❑ Βιοαντιδραστήρες βιοκροκύδων

- ❑ Συστήματα Ενεργοποιημένης Λάσπης (Activated sludge systems)
- ❑ Συστήματα Απομάκρυνσης Ανοργάνων (Biological nutrient removal systems)
- ❑ Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης (Anaerobic digestion systems)
- ❑ Λίμνες (Lagoons)

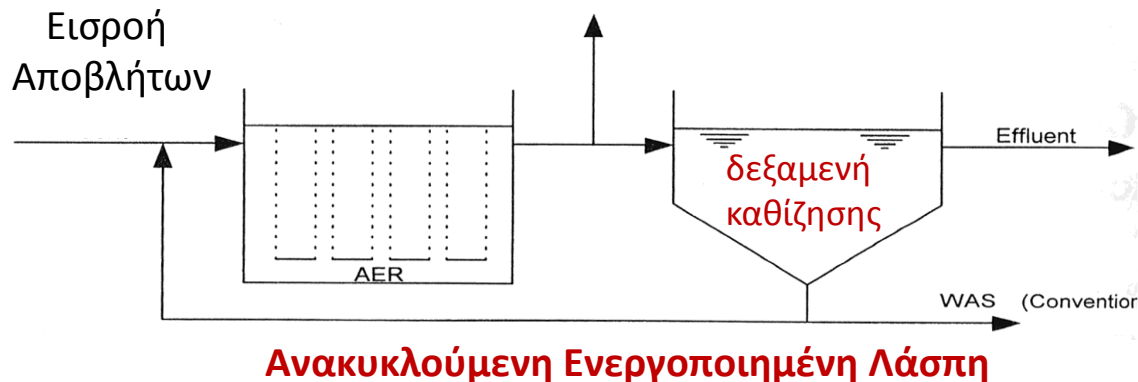
□ Βιοαντιδραστήρες βιοστρωμάτων

- Χαλικοδιυλιστήρια (Trickling filters)
- Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (Rotating biological contractors)
- Συστήματα Εμβαπτισμένων Βιοστρωμάτων - Κλίνες Πλήρωσης (Packed bed)

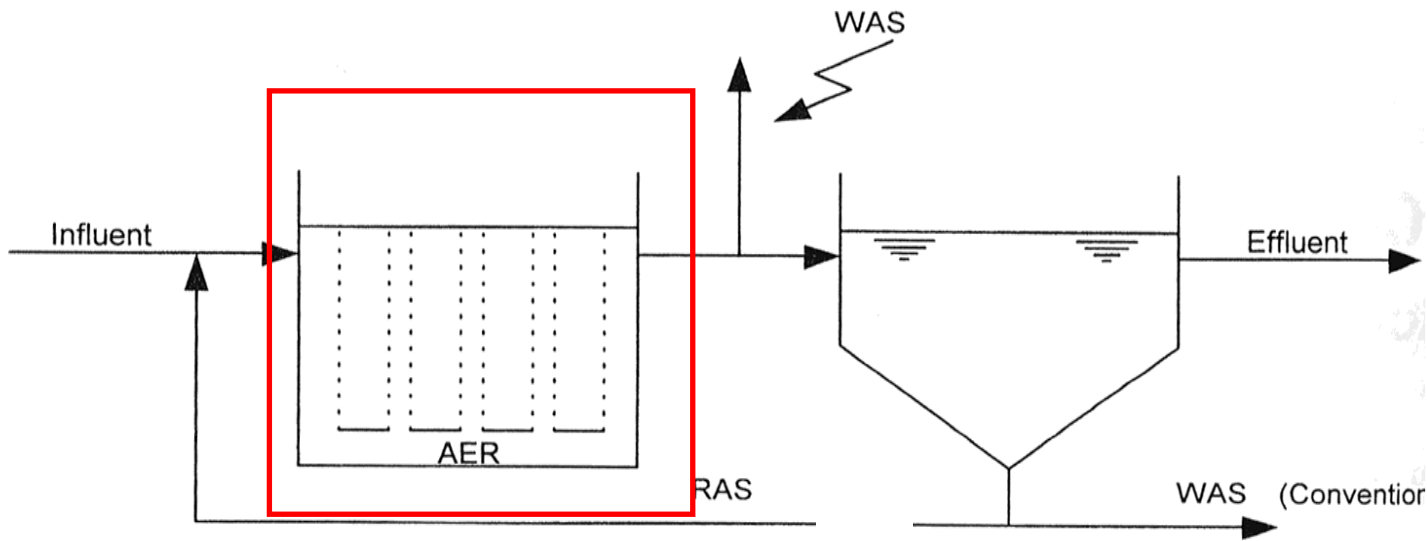
ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΛΑΣΠΗΣ

➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ

- ❑ Η παρουσία βιολογικών κροκύδων για την διάσπαση της διαλυτής οργανικής ύλης που περιέχεται στα απόβλητα
- ❑ Η παρουσία δεξαμενής καθίζησης των επεξεργασμένων αποβλήτων σε σειρά με συστήματα Ε.Λ.
- ❑ Ποσότητα της βιολογικής λάσπης που σχηματίζεται ανακυκλώνεται στο σύστημα (*ενεργοποιημένη λάσπη*)

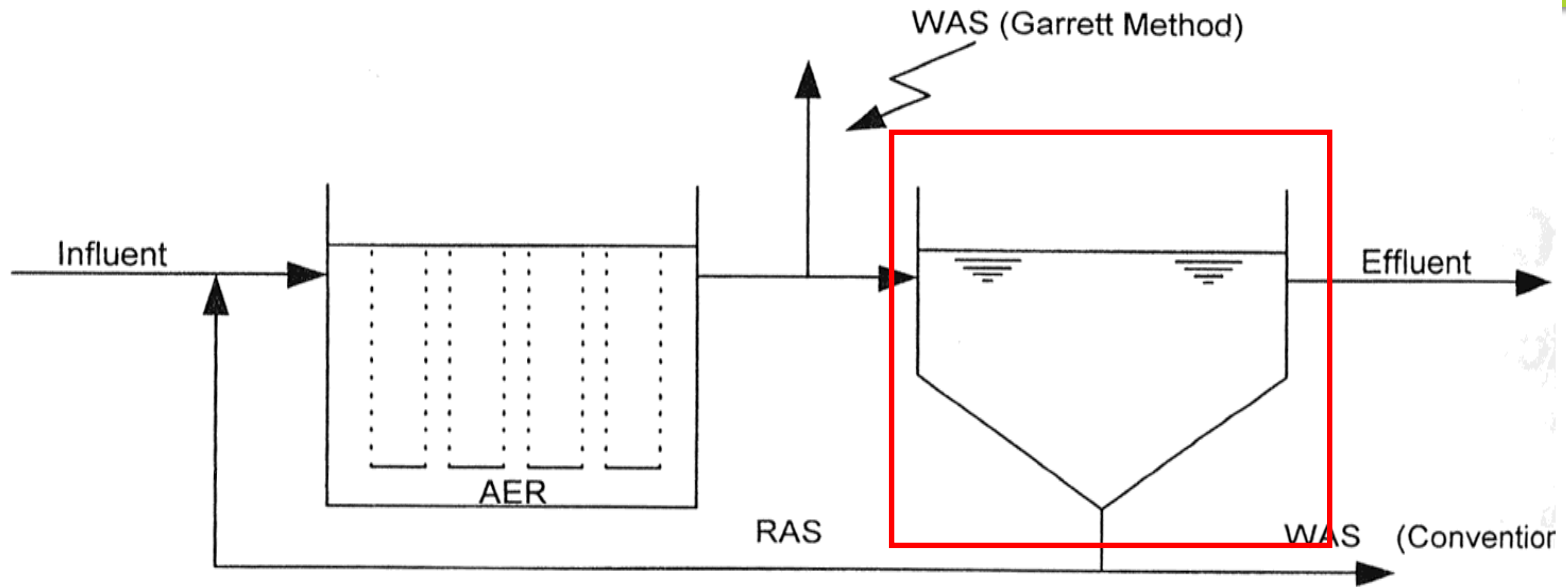


➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ



- ❑ Η δεξαμενή αερισμού (AER) είναι βασικό στοιχείο των Σ.Ε.Λ. και σε αυτή αναπτύσσονται υπό αερόβιες συνθήκες οι βιοκροκύδες
- ❑ Αερισμός παρέχεται είτε με διάχυση από τον πυθμένα, είτε με επιφανειακή ανάδευση, είτε με μηχανικό επιφανειακό αερισμό με έλικα. Ο μηχανισμός αερισμού επιτυγχάνει και παροχή αέρα στο σύστημα αλλά και την διατήρηση των κροκύδων βιομάζας σε διασπορά εντός του συστήματος

➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ



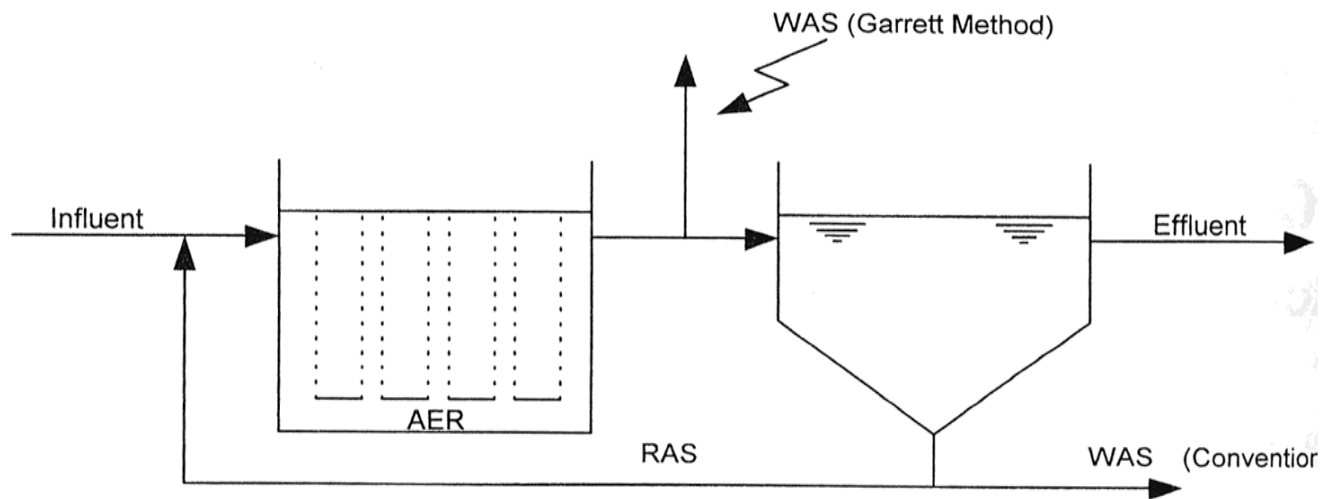
- Την δεξαμενή αερισμού ακολουθεί δεξαμενή καθίζησης-διαχωρισμού που χρησιμοποιείται 1) για απομάκρυνση της περίσσειας βιομάζας που περιέχεται στα απόβλητα μετά την επεξεργασία 2) για συλλογή και ανακύκλωση ή απόρριψη της βιομάζας που καθιζάνει στην δεξαμενή

➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ

□ Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών διαχωρισμού-καθίζησης δεν είναι απόλυτα και μπορεί να έχουν σχήμα κυκλικό ή ορθογώνιο αλλά πάντα περιέχουν 1) τμήμα συλλογής υγρών αποβλήτων 2) τμήμα συλλογής των στερεών υλικών που καθιζάνουν και 3) μηχανισμό απομάκρυνσης στερεών που επιπλέουν στην επιφάνεια



➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ



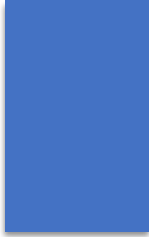
Ένα μόνο τμήμα της βιολογικής λάσπης που συλλέγεται επαναπροστίθεται στο σύστημα και ονομάζεται ανακυκλούμενη ενεργοποιημένη λάσπη (Return Activated Sludge, RAS)



**ΣΥΣΤΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΟ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ
ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

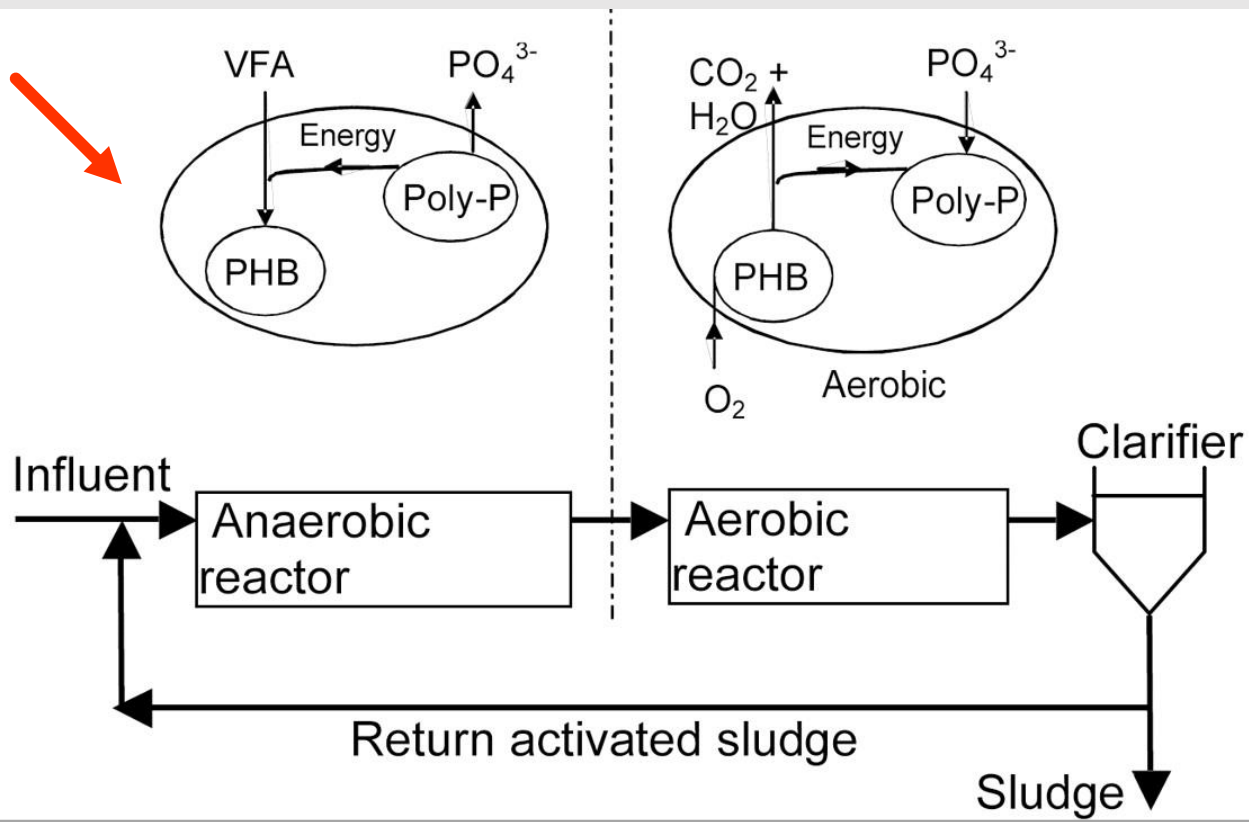
➤ Βιολογική Απομάκρυνση Φώσφορου

- ❑ *Αναπόσπαστα τμήματα συστημάτων βιολογικής απομάκρυνσης φώσφορου είναι μία αναερόβια και μια αερόβια ζώνη*
- Η αρχική αναερόβια ζώνη ευνοεί τον εμπλουτισμό σε ΡΑΟ σε βάρος αερόβιων νιτροποιητικών βακτηριών
- Η αερόβια ζώνη είναι απαραίτητη για τα ΡΑΟ ώστε να συσσωρεύσουν Ρ. Στη συνέχεια απομακρύνονται πριν να αρχίσουν να ανακάμψουν τα νιτροποιητικά βακτήρια



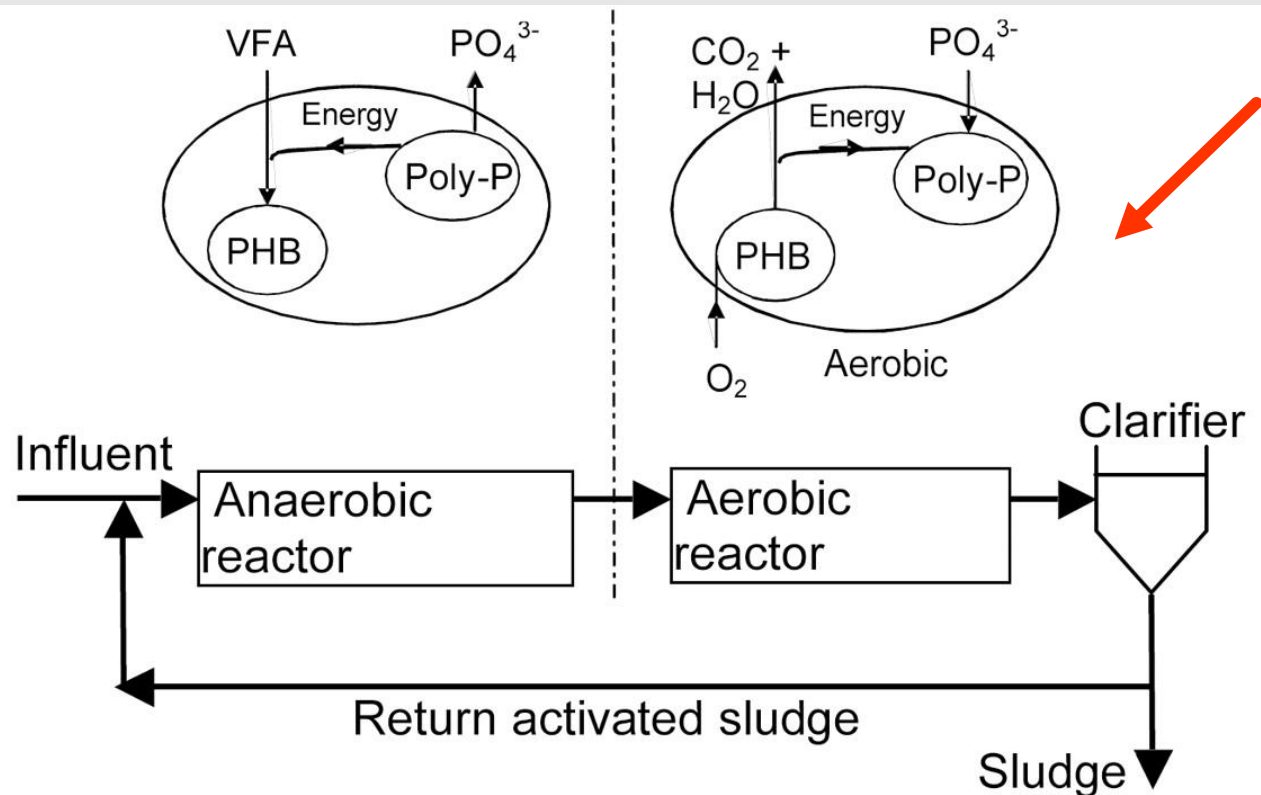
□ Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην Αναερόβια Ζώνη

Τα PAO χρησιμοποιώντας τη διαθέσιμη ενέργεια από τα αποθηκευμένα πολυφωσφορικά, αφομοιώνουν οξικό οξύ ή πτητικά λιπαρά οξέα και παράγουν ενδοκυτταρική πολυυδροξυ-βουτυράση (PHB) ως προϊόν αποθήκευσης. Επίσης χρησιμοποιούνται κάποια από τα γλυκογόνα που περιλαμβάνονται στο κύτταρο. Ταυτόχρονα με τη λήψη του οξικού οξέος συμβαίνει απελευθέρωση ορθοφωσφορικών ($O-PO_4$), καθώς επίσης και κατιόντων μαγνησίου, καλίου και ασβεστίου. Το περιεχόμενο των PAO σε PHB αυξάνει όταν τα πολυφωσφορικά μειώνονται.

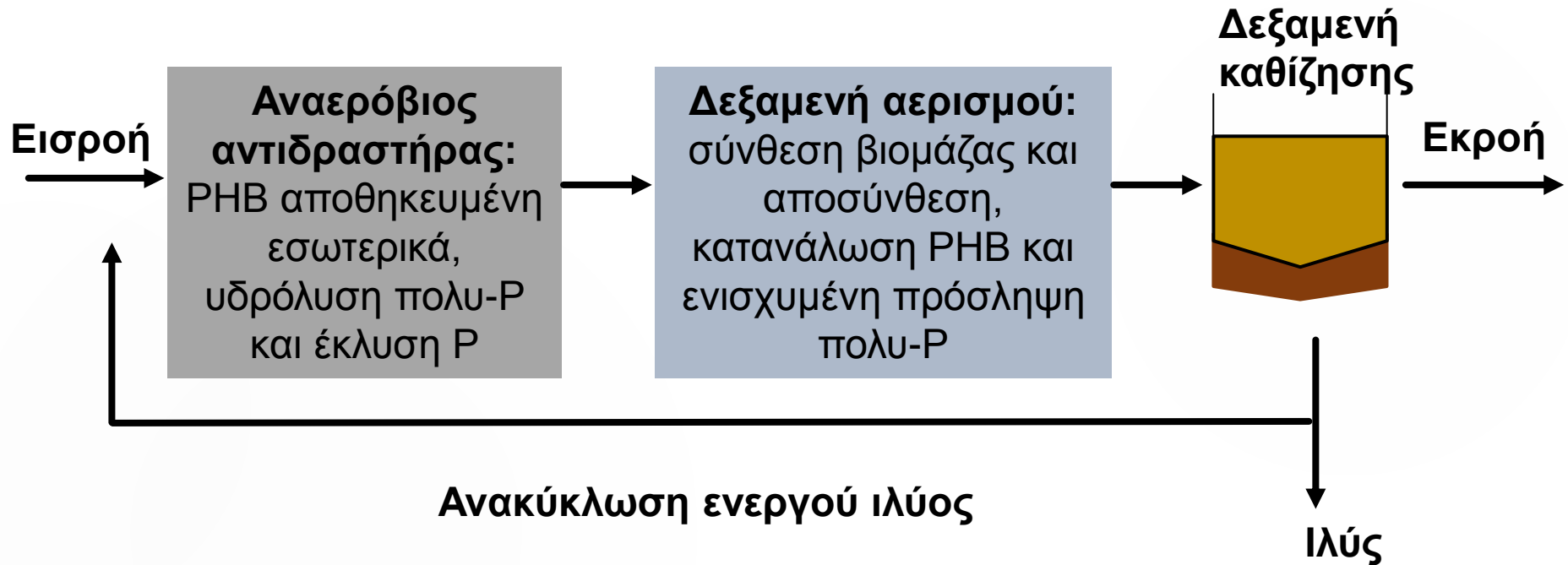


□ Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην Αερόβια Ζώνη

Τα αποθηκευμένο PHB μεταβολίζεται παρέχοντας τον άνθρακα και την ενέργεια από την οξείδωση για την αύξηση των κυττάρων. Κάποιο γλυκογόνο παράγεται όταν το PHB μεταβολίζεται. Η ενέργεια που εκλύεται από την οξείδωση του PHB χρησιμοποιείται για το σχηματισμό πολυφωσφορικών δεσμών στις κυτταρικές αποθήκες, έτσι ώστε τα διαλυτά ορθοφωσφορικά ($O-PO_4$) να απομακρύνονται από το διάλυμα και να ενσωματώνονται στα πολυφωσφορικά μέσα στα βακτηριακά κύτταρα. Επιπλέον λαμβάνει χώρα ανάπτυξη των κυττάρων λόγω κατανάλωσης PHB και η νέα βιομάζα με υψηλή αποθήκευση πολυφωσφορικών είναι υπεύθυνη για την απομάκρυνση του φωσφόρου των κυτταρικών αποθηκών. Καθώς απορρίπτεται ένα τμήμα βιομάζας, ο αποθηκευμένος φώσφορος απομακρύνεται από τον βιοαντιδραστήρα για την τελική διάθεση με την απορριπτόμενη ιλύ.



➤ Διεργασία απομάκρυνσης φωσφόρου

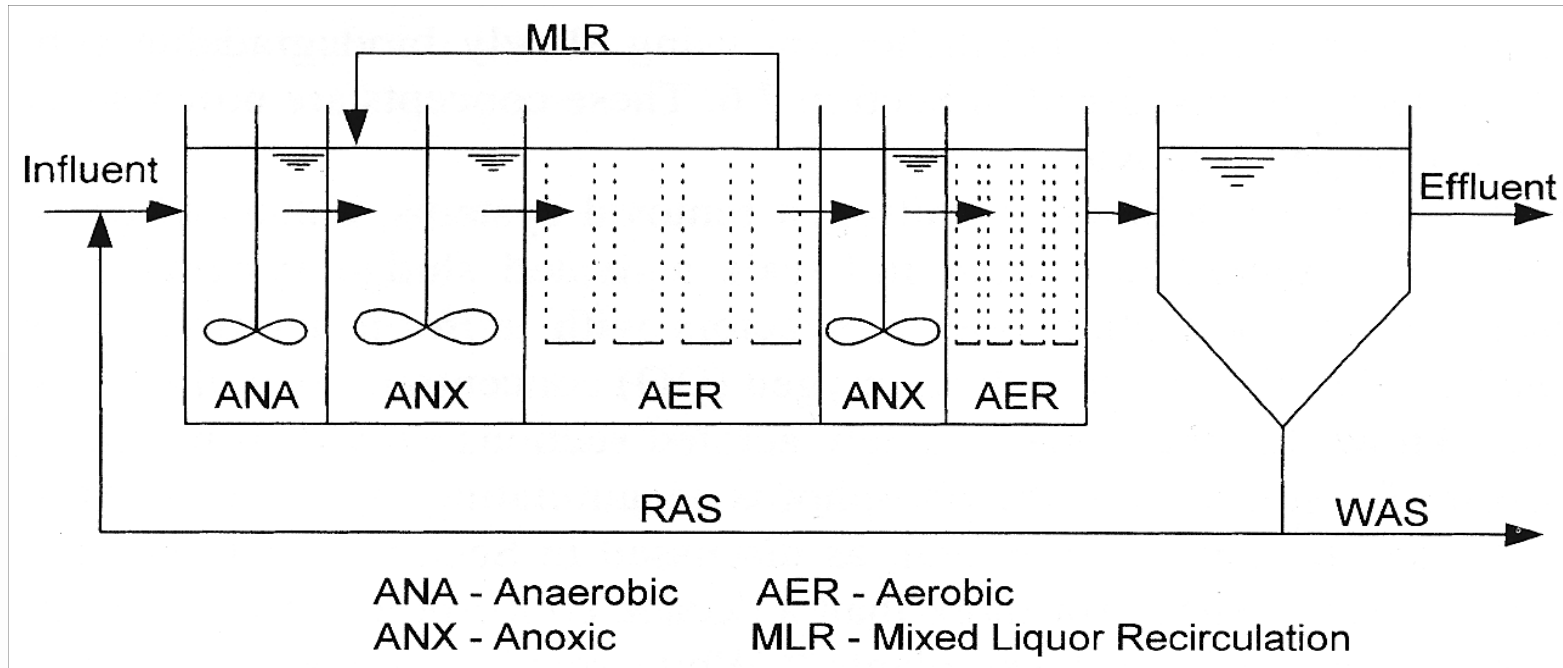




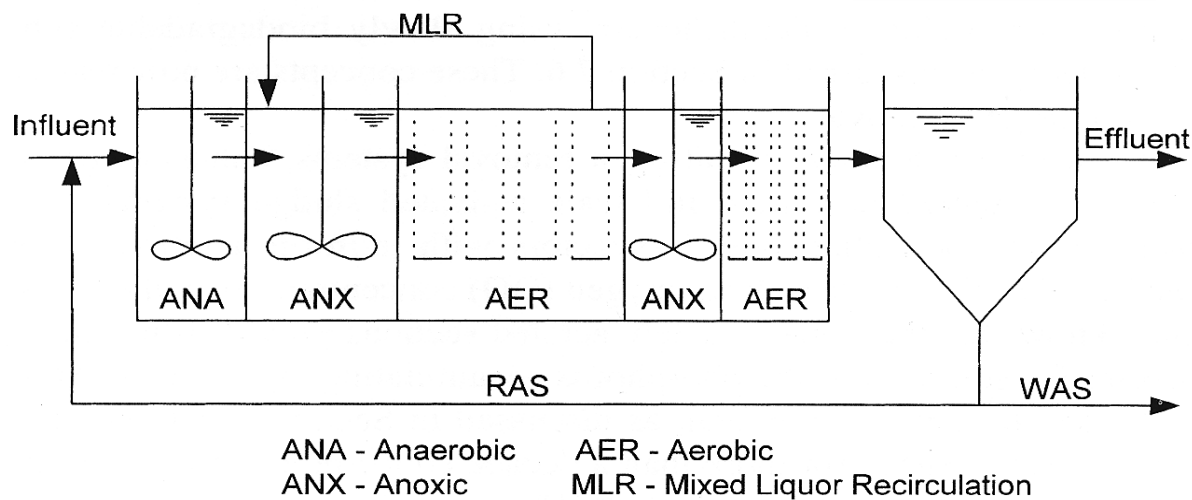
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ – ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΚΑΙ
ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ-ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΥΝ
ΧΩΡΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΑΔΙΟ**

➤ Συστήματα Απομάκρυνσης N και P



- Ένα τυπικό σύστημα βιολογικής απομάκρυνσης θρεπτικών στοιχείων όπως N, P από υγρά απόβλητα χαρακτηρίζεται από εναλλαγή αναερόβιων, αερόβιων, ανοξικών ζωνών



- ❑ Στην **αναερόβια ζώνη** γίνεται εμπλουτισμός της βιομάζας σε ΡΑΟ
- ❑ Στην **ανοξική ζώνη** εμπλουτίζεται η βιομάζα με απονιτροποιητικά βακτήρια που διασπούν οργανικά μόρια ως δότες ηλεκτρονίων για την αναγωγή των NO_3^-
- ❑ Στην **πρώτη αερόβια ζώνη** πραγματοποιείται ταχεία διάσπαση των οργανικών μορίων ενώ στην **δεύτερη αερόβια ζώνη** πραγματοποιείται κυρίως απομάκρυνση του N_2 και οξυγόνωση της βιομάζας

➤ Γιατί εναλλαγή αερόβιων, αναερόβιων και ανοξικών ζωνών;

- ❑ Αερόβιες συνθήκες για την μετατροπή NH_4^+ σε NO_3^- με νιτροποίηση, για την συσσώρευση φωσφορικών από βακτήρια-συσσωρευτές φωσφορικών (PAO)
- ❑ Αναερόβιες συνθήκες για τον εμπλουτισμό σε PAO.
- ❑ Ανοξικές συνθήκες απαιτούνται για την μετατροπή των NO_3^- σε αέριο N_2 με απονιτροποίηση

➤ Συνδυασμένα Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης N και P

- ❑ Το κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι η παρουσία μιας αρχικής αναερόβιας ζώνης για τον εμπλουτισμό της βιομάζας σε ΡΑΟ που θα συσσωρεύσουν φωσφορικά στην αερόβια ζώνη
- ❑ Στα συστήματα αυτά κύριος σκοπός είναι η αποφυγή ανακύκλωσης και προσθήκης της ενεργοποιημένης λάσπης του συστήματος που περιέχει και NO_3^- στην αναερόβια ζώνη όπου και λαμβάνει χώρα ο εμπλουτισμός της βιομάζας σε ΡΑΟ. Στην περίπτωση αυτή ευνοείται η απονιτροποίηση και αναστέλεται η δράση των ΡΑΟ



ΧΑΛΙΚΟΔΙΥΛΗΣΤΗΡΙΑ

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ

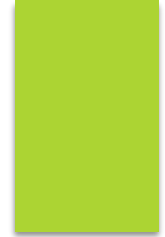
ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

➤ Βασικά Χαρακτηριστικά Χαλικοδιυλιστηρίων

❑ **Το σύστημα αποτελείται από πέντε βασικά τμήματα:**

- I. **Κλίνη με πληρωτικό υλικό:** τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι χαλίκια, ξύλο και συνθετικά πλαστικά επάνω στα οποία αναπτύσσονται τα βιοστρώματα
- II. **Εξωτερικό σκελετό:** Συνήθως τσιμέντο και είναι απαραίτητο στις περιπτώσεις που το πληρωτικό υλικό χρειάζεται στήριξη
- III. **Το σύστημα παροχής/διανομής των αποβλήτων:** απαραίτητη η χρήση συστημάτων που εξασφαλίζουν ομοιόμορφη εφαρμογή σε όλη την επιφάνεια του χαλικοδιυλιστηρίου
- IV. **Υπόγειο σύστημα συλλογής επεξεργασμένων αποβλήτων**
- V. **Σύστημα αερισμού:** προαιρετικά μπορεί να ενσωματωθεί μηχανικό σύστημα παροχής αέρα ή το σύστημα παρέχει παθητικό αερισμό

➤ Παραδοσιακό Σύστημα Χαλικοδιυλιστηρίου



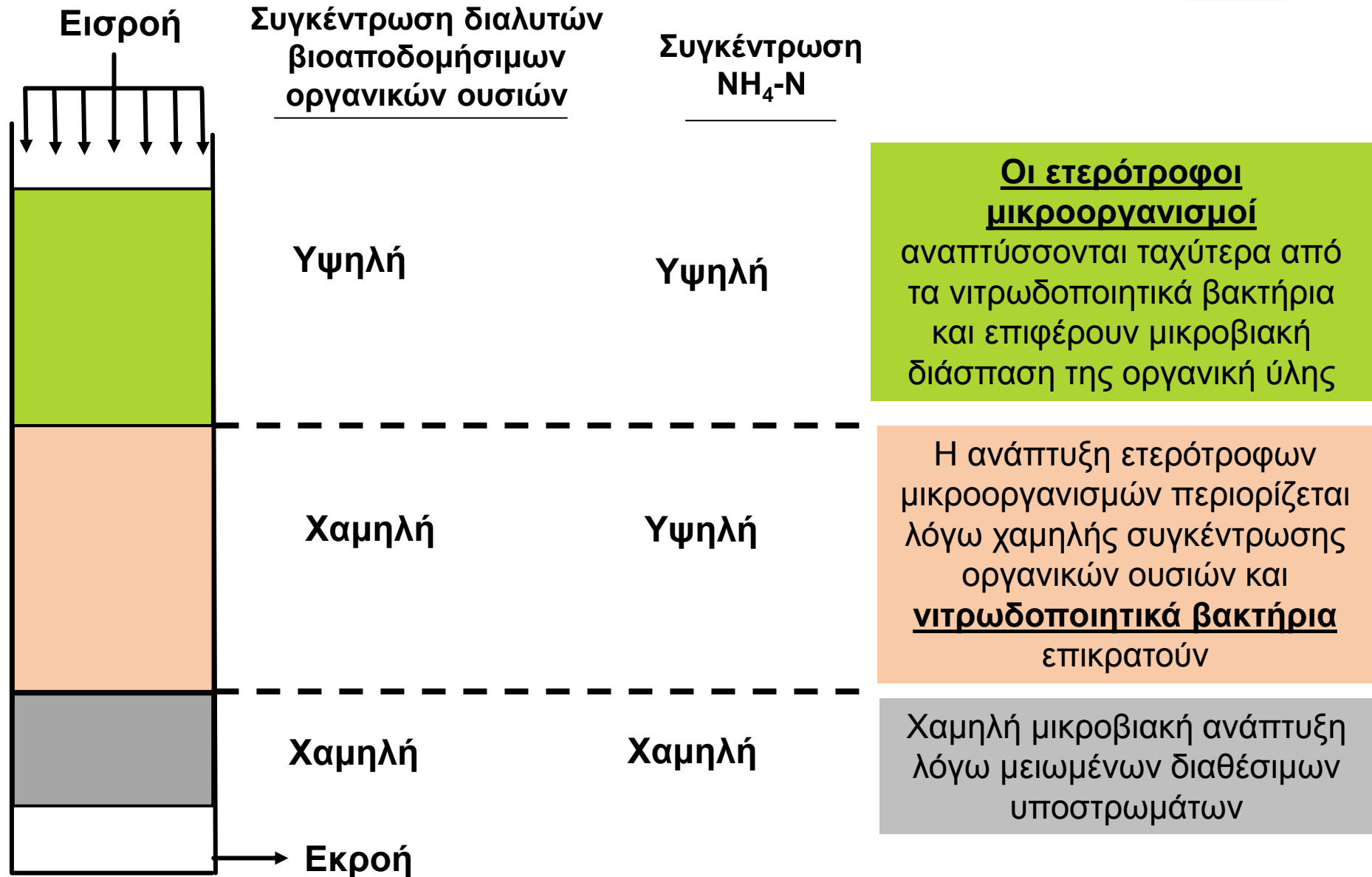
- Οι βιολογικοί υμένες αναπτύσσονται πάνω στις στερεές επιφάνειες του υλικού πλήρωσης πάνω στο οποίο διοχετεύονται συνεχώς τα υγρά απόβλητα
- Τα λύματα ραντίζονται στην επιφάνεια του διυλιστηρίου και ρέουν προς τα κάτω δια μέσου των κενών χώρων. Έτσι περιβρέχεται η βιομάζα που έχει αναπτυχθεί στις επιφάνειες των χαλικιών με τα λύματα

➤ Χαλικοδιυλιστήρια



- Κατασκευάζονται είτε μονά είτε διπλά σε σειρά με ενδεχόμενη παρεμβολή δεξαμενής καθίζησης για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών που αποκολλούνται από την επιφάνεια του διηθητικού μέσου και παρασύρονται από τα απόβλητα

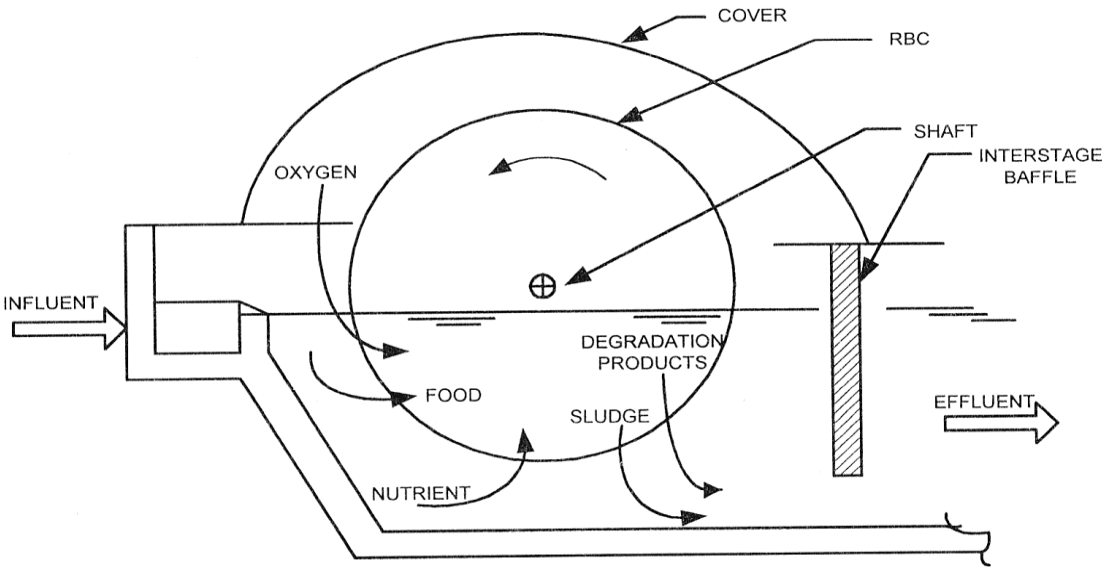
➤ Χαρακτηριστικά Μικροβιακής Κοινότητας Χαλικοδιυλιστηρίου





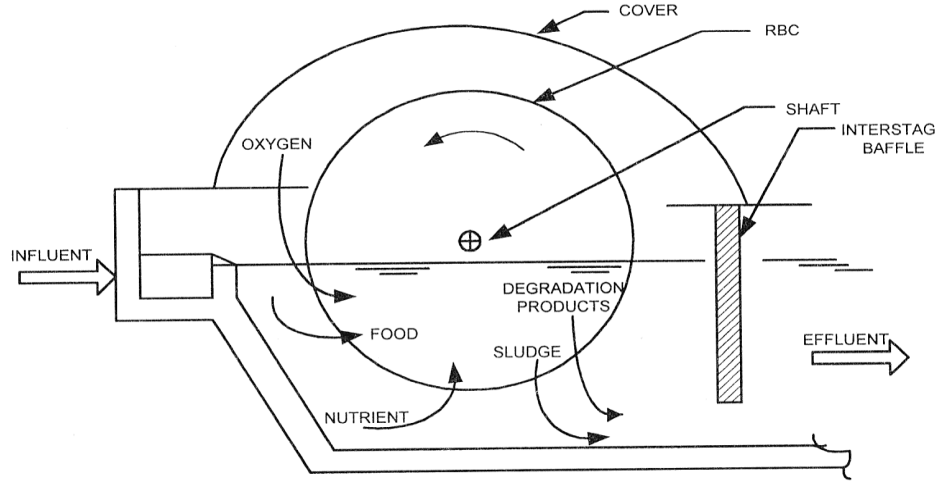
ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΙΣΚΟΙ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

➤ Περιστρεφόμενοι Βιολογικοί Δίσκοι



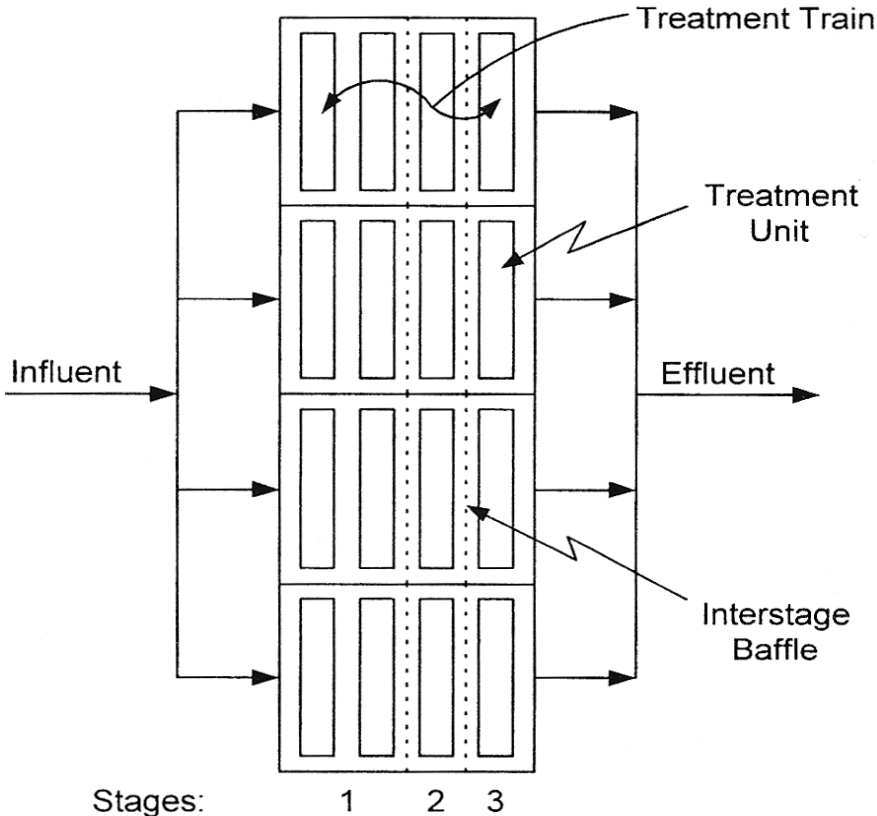
- ❑ Είναι αερόβια συστήματα που αποτελούνται από πλαστικούς δίσκους με επιφανειακές ρίγες οι οποίοι είναι εμβαπτισμένοι κατά 40% στα υγρά απόβλητα και περιστρέφονται αργά (2 στροφές/min) ώστε η βιομάζα που αναπτύσσεται επί των δίσκων να εκτίθεται εναλλακτικά στην ατμόσφαιρα και στα υγρά απόβλητα => **περιοδική επαφή με οργανική ουσία και ατμοσφαιρικό αέρα**

➤ Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά



- ❑ Φέρουν ειδικό καπάκι από υαλονήμα (fiber glass) για φυσική προστασία και επιτάχυνση της διεργασίας => ευνοϊκές συνθήκες διαβίωσης για τους μικροοργανισμούς και προστασία συστήματος από ακραία καιρικά φαινόμενα
- ❑ Οι δίσκοι συνήθως κατασκευάζονται από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο και επιφανειακά παρουσιάζουν ρίγες όπως και τα μέσα που χρησιμοποιούνται στα χαλικοδιυλιστήρια. Οι ρίγες αυξάνουν την επιφάνεια για ανάπτυξη βιομάζας

➤ Τυπικό σύστημα Περιστρεφόμενων Βιολογικών Δίσκων



- Μια τυπική εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με ΠΒΔ απαρτίζεται από διάφορες σε σειρά τοποθετημένες μονάδες ΠΔ που η κάθε μια αποτελεί ένα διακριτό στάδιο επεξεργασίας
- Η υγρή μάζα των αποβλήτων καθώς περνά διαδοχικά από κάθε στάδιο υφίσταται έναν προοδευτικά αυξανόμενο καθαρισμό λόγω των μικροοργανισμών του κάθε σταδίου



- Στα πρώτα στάδια λόγω του υψηλότερου οργανικού φορτίου η βιομάζα των δίσκων αποτελείται από ποικιλία ετερότροφων βακτηρίων. Στα μεταγενέστερα στάδια εμφανίζονται επίσης πρωτόζωα και νιτροποιητικά βακτήρια

➤ Χρήσεις

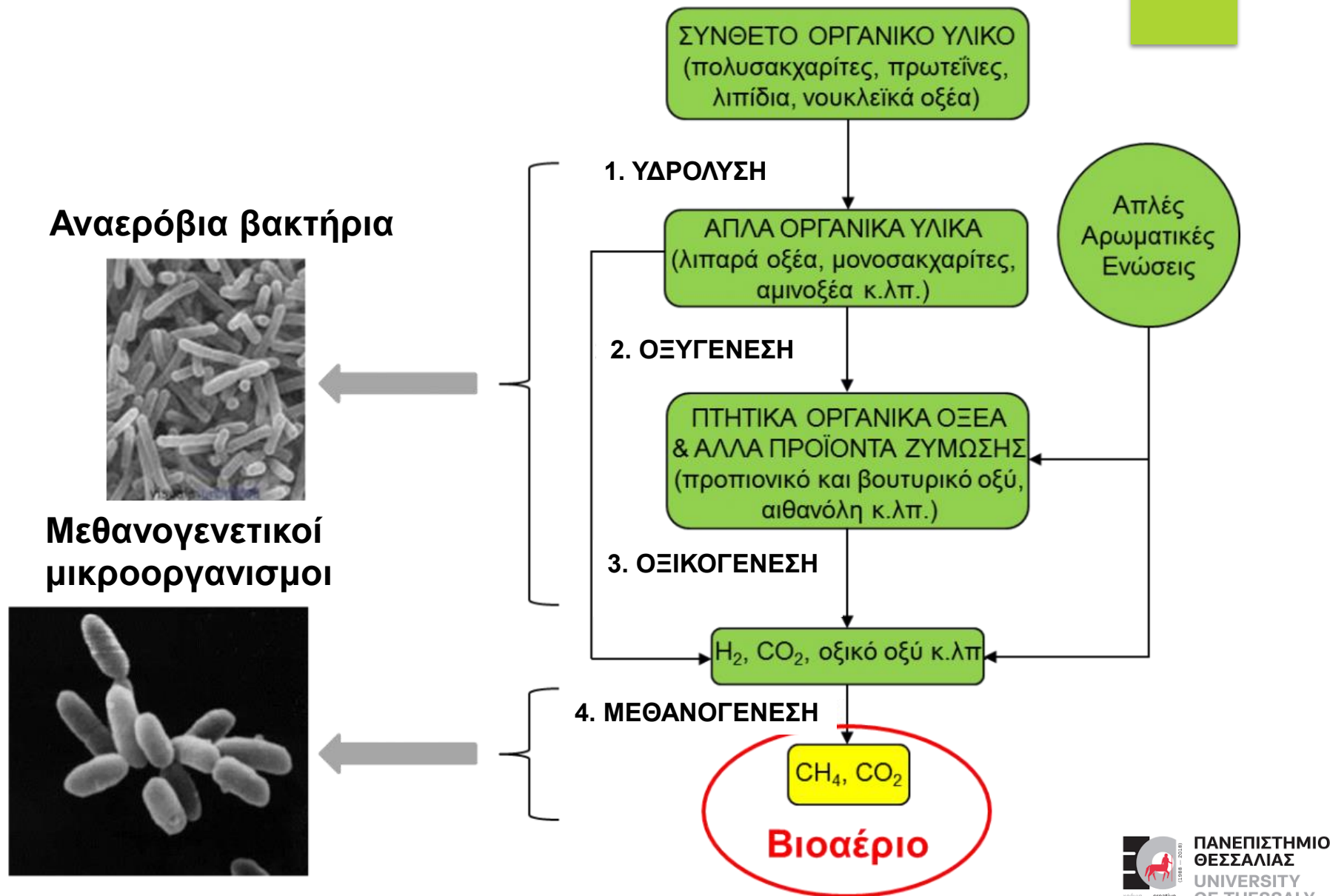
- ❑ Για βιολογική οξείδωση οργανικής ουσίας
- ❑ Για συνδυασμό βιολογικής οξείδωσης οργανικής ουσίας και νιτροποίησης
- ❑ Σαν αυτόνομα συστήματα νιτροποίησης
- ❑ Η χρήση τους κυρίως έγκειται σε δευτερογενή μεταχείριση αποβλήτων που έχουν υποστεί κάποια πρωτογενή επεξεργασία και έχει αποδειχθεί ότι μπορούν αποτελεσματικά να ελαττώσουν σημαντικά το BOD₅ τέτοιων αποβλήτων σε επίπεδα < 30 mg/L



ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

ΣΤΑΔΙΑ, ΕΙΔΗ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΠΟΥ
ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΥΝ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΑΔΙΟ, ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ
ΠΟΥ ΕΠΙΤΕΛΟΥΝΤΑΙ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ pH

➤ Βιοχημεία Αναερόβιας 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**

➤ 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)

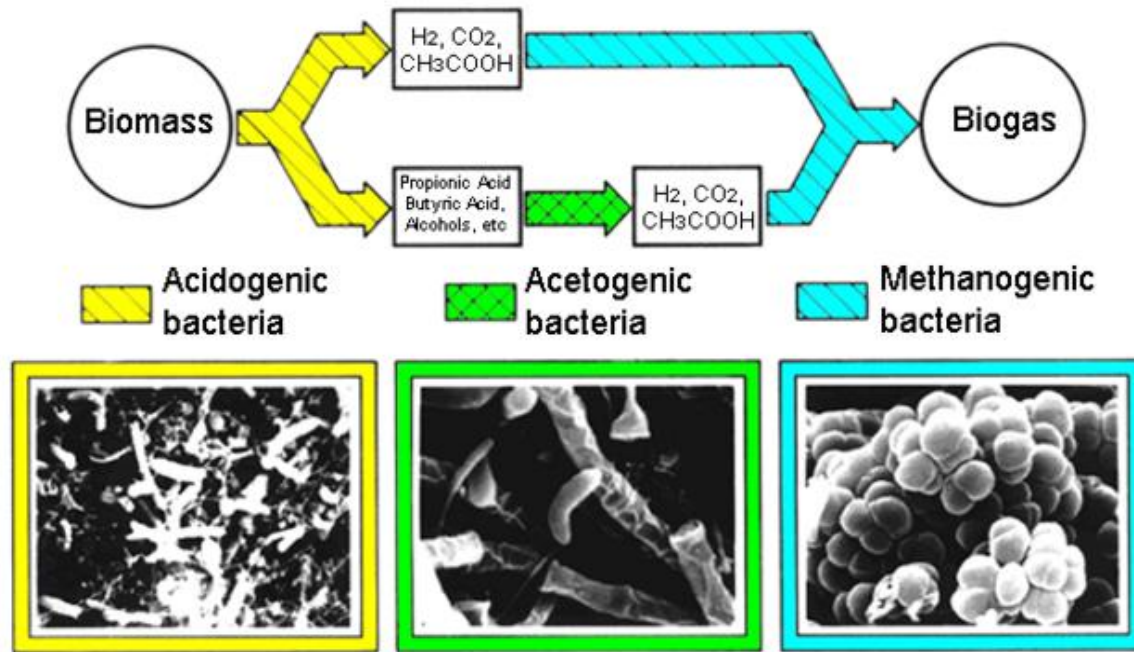
➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης

- ❑ 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*

➤ 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

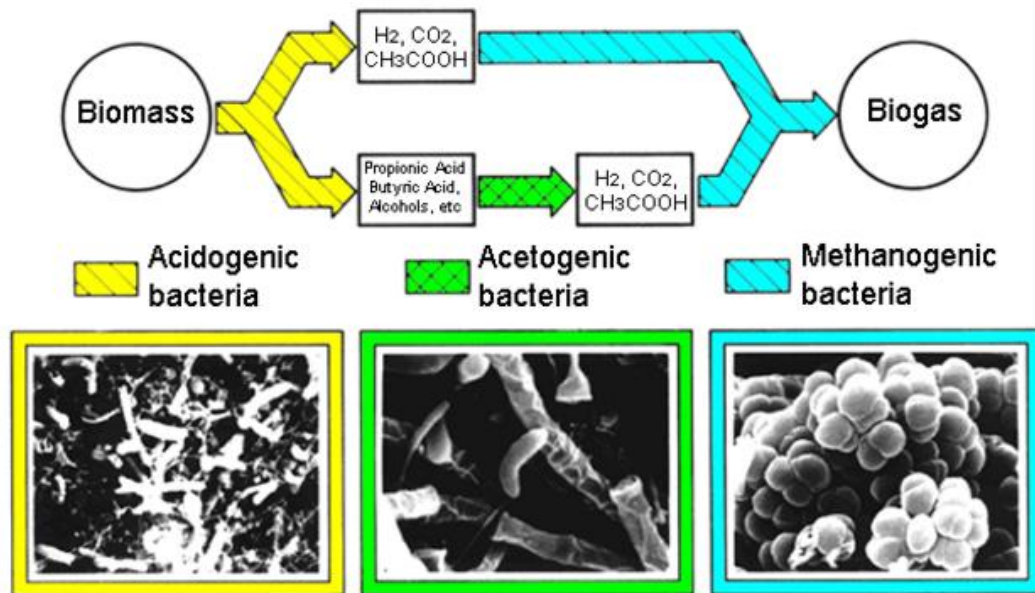
➤ Μικροβιολογία Αναερόβιας Χώνευσης



- ❑ 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

☐ *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

- 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)

➤ 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

➤ ρΗ στην Αναερόβια Χώνευση

- Το ρΗ 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 ρΗ 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

- ❑ 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



**ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΑΕΡΟΒΙΕΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΕΡΟΒΙΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

➤ Αερόβιες vs Αναερόβιες διεργασίες

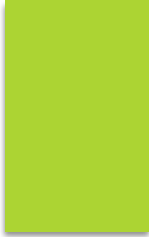
- ❑ Αερόβια συστήματα προτιμούνται για την επεξεργασία αραιών υγρών αποβλήτων ($\text{COD} < 1000 \text{ mg/L}$) ενώ αναερόβια συστήματα προτιμούνται για την επεξεργασία πυκνών υγρών αποβλήτων ($\text{COD} > 1000 \text{ mg/L}$)
- ❑ Τα αναερόβια συστήματα παρουσιάζουν χαμηλότερη παραγωγή στερεών, χαμηλότερες 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



ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

➤ Διεργασίες στην Τριτοβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

- Χημική οξείδωση
- Χημική εξουδετέρωση
- Χημική Κατακρήμνιση (Κροκίδωση – Συσσωμάτωση – Καθίζηση)
- Ιοντική Ανταλλαγή
- Προσρόφηση
- Διεργασίες μεμβρανών
- Ηλεκτροδιάλυση
- Απολύμανση



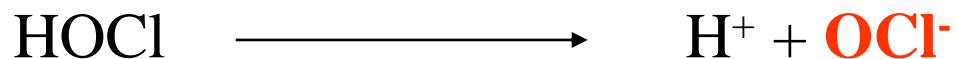
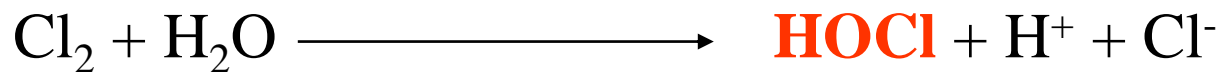
ΧΛΩΡΙΩΣΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΕΣ ΧΛΩΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

➤ Χλωρίωση επεξεργασμένων αποβλήτων

- ❑ Οι κυριότερες μορφές χλωρίου που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι το **αέριο χλώριο** (που είναι τοξικό διαβρωτικό αέριο) και **χλωριούχες ενώσεις** (περισσότερο ασφαλείς ουσίες)

➤ Προσθήκη αέριου χλωρίου

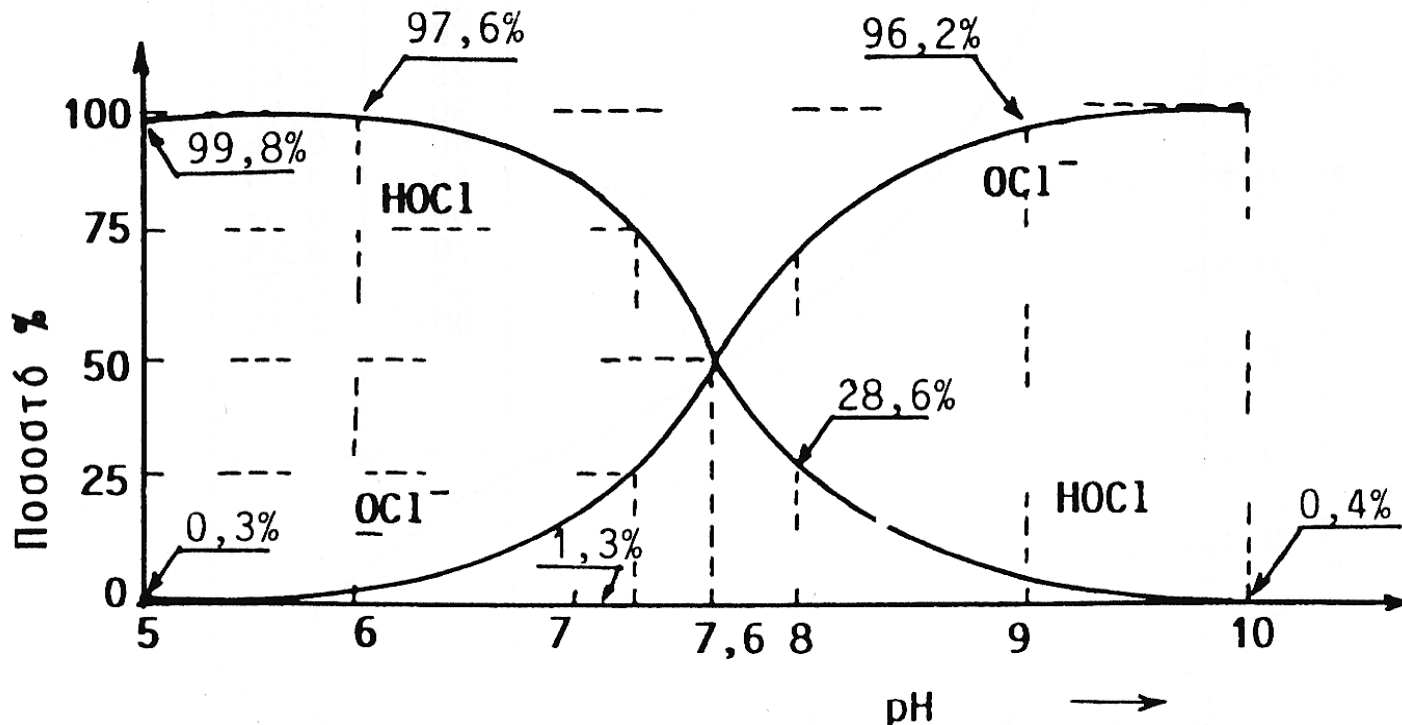
- ❑ Το αέριο χλώριο είναι τοξικό και διαβρωτικό αέριο, σχετικά υδατοδιαλυτό και σταθερό στο φως
- ❑ Προσθήκη αέριου χλωρίου στα υγρά απόβλητα οδηγεί αρχικά σε υδρόλυση προς σχηματισμό υποχλωριούδους οξέος HOCl το οποίο στην συνέχεια ανάλογα με το pH του διαλύματος ιονίζεται προς το υποχλωριώδες ανιόν OCl⁻



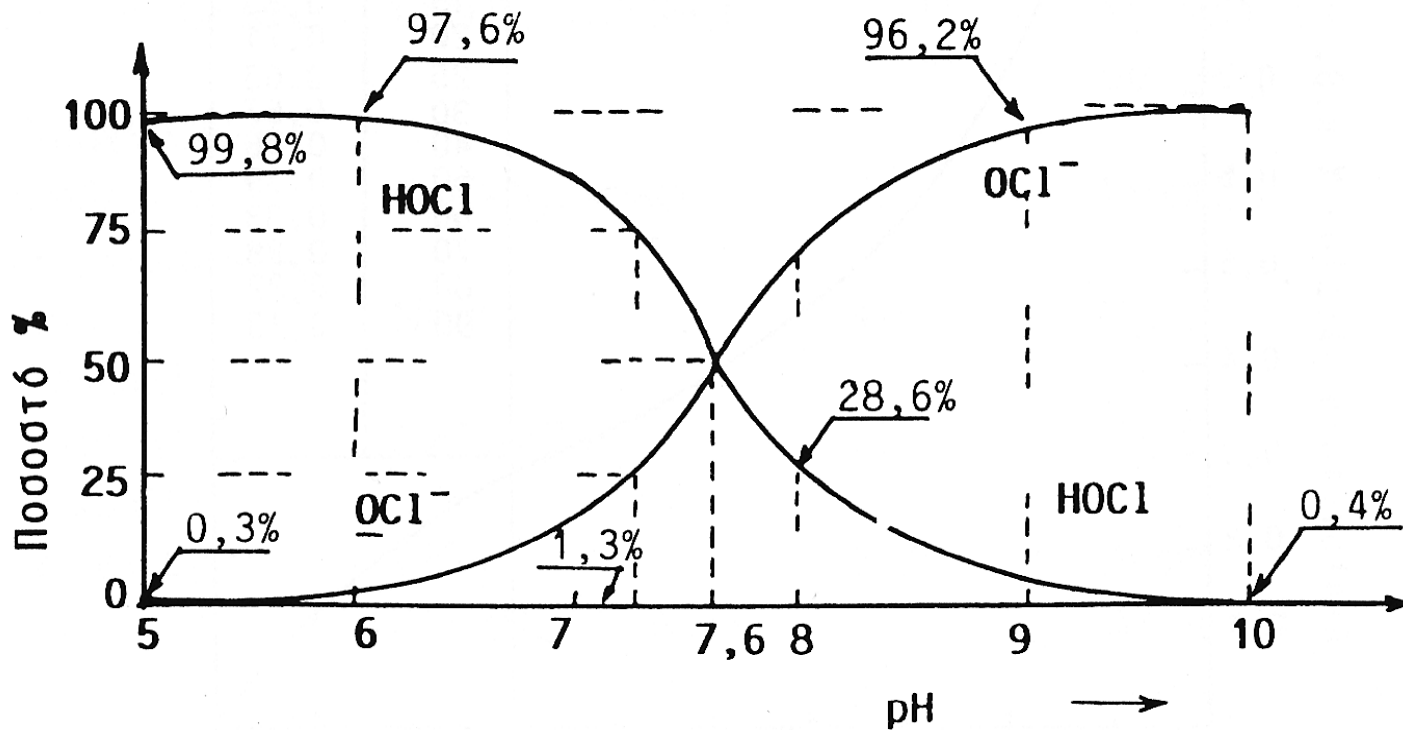
Οι μορφές χλωρίου HOCl και OCl⁻ αποτελούν το ελεύθερο χλώριο

➤ Προσθήκη αέριου χλωρίου

- Η μορφή με την οποία θα βρίσκεται στα υγρά απόβλητα το αέριο χλώριο καθορίζεται κυρίως από το pH του μέσου. Σε χαμηλά pH επικρατεί η μορφή HOCl που αποτελεί την δραστική μορφή ενώ σε αλκαλικά pH επικρατεί το ανιόν OCl^-



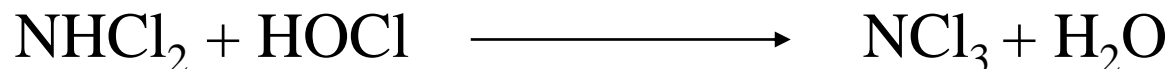
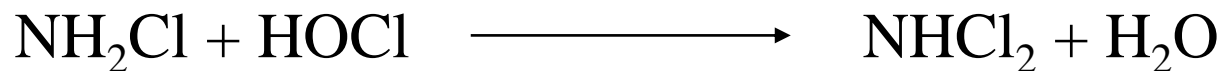
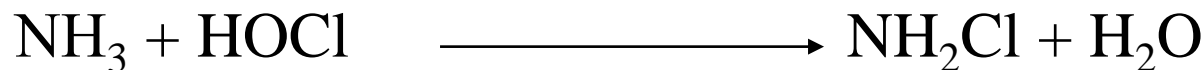
➤ Προσθήκη αέριου χλωρίου



- Η υψηλότερη δράση του HOCl οφείλεται στην ευκολία προσέγγισης των κυτταρικών μεμβρανών που είναι αρνητικά φορτισμένες συνήθως και εισόδου στο εσωτερικό των κυττάρων όπου προσβάλλει τα ένζυμα

➤ Συνδυασμένες μορφές χλωρίου

- Όταν τα απόβλητα περιέχουν αμμωνία ή αζωτούχες ενώσεις το χλώριο αντιδρά και σχηματίζει σειρά από χλωροαμίνες που έχουν ισχυρή απολυμαντική δράση
- Οι μονοχλωραμίνη (NH_2Cl), διχλωραμίνη (NHCl_2) και το τριχλωριούχο άζωτο (NCl_3) αποτελούν στο σύνολο τους το **συνδυασμένο χλώριο** για την απολύμανση





ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ: ΣΤΑΔΙΑ – ΟΜΑΔΕΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΥΝ – ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

➤ Στάδια στην κομποστοποίηση

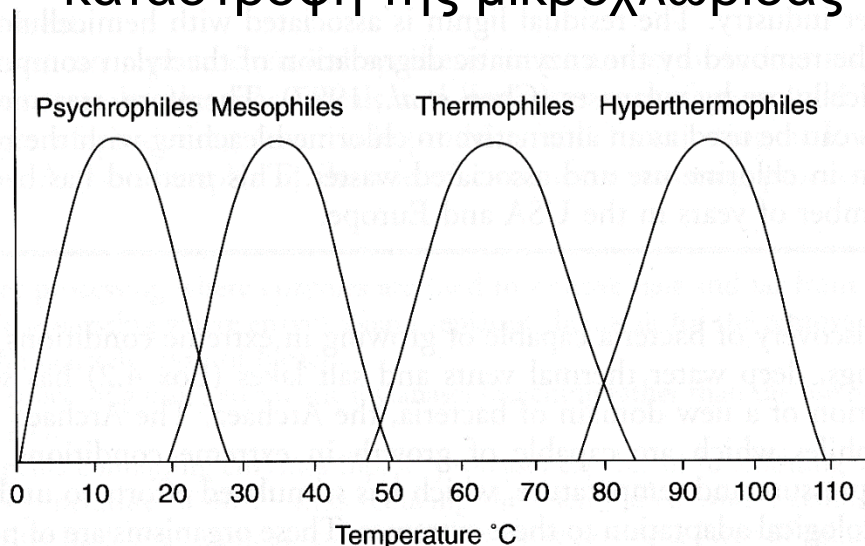
- ❑ **Στάδιο Ανάπτυξης ή Μεσόφιλο:** Επικρατούν **μεσόφιλοι μικροοργανισμοί** που αρχίζουν την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας των απορριμμάτων με παράλληλη παραγωγή CO₂ μέχρι η θερμοκρασία να φθάσει τους **40°C**
- ❑ **Θερμόφιλο Στάδιο:** Η παραγωγή CO₂ προσωρινά διακόπτεται και ξεκινά ξανά με την επικράτηση των **θερμόφιλων μικροοργανισμών** μέχρι η θερμοκρασία να φτάσει τους **70-75 °C** οπότε και πεθαίνουν
- ❑ **Στάδιο Ωρίμανσης:** Με την πτώση της θερμοκρασίας επικρατούν **μεσόφιλα βακτήρια** αλλά κυρίως **ακτινοβακτήρια και νιτροποιητικά βακτήρια**. Τα ακτινοβακτήρια αποσυνθέτουν κυτταρίνη και ημικυτταρίνη ενώ τα νιτροποιητικά βακτήρια ***Nitrosomonas, Nitrobacter*** που χρειάζονται χρόνο για να αναπτυχθούν μετατρέπουν τα αμμωνιακά ιόντα σε νιτρικά

➤ Παράμετροι που επηρεάζουν την Κομποστοποίηση

1. Θερμοκρασία
2. Υγρασία
3. pH
4. Διαμερισμός στερεών αποβλήτων
5. Φυσική κατάσταση αποβλήτων
6. Χρόνος Διάρκειας Διεργασίας

➤ Θερμοκρασία

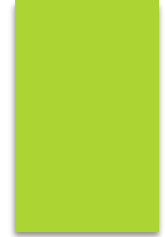
- ❑ Η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά την διάρκεια των διαφόρων σταδίων της κομποστοποίησης και έτσι καθορίζεται το είδος των μικροοργανισμών που συμμετέχουν
- ❑ Η θερμοκρασία πρέπει να **φθάσει τουλάχιστον τους 60°C** ώστε να θανατωθούν παθογόνοι οργανισμοί όπως *Salmonella*, *Escherichia coli* και το σύνολο των σπόρων των ζιζανίων **αλλά δεν πρέπει να υπερβεί τους 75°C** ώστε να μην προκληθεί μη-αντιστρεπτή καταστροφή της μικροχλωρίδας του συστήματος



Η U.S. EPA απαιτεί ότι η κομπόστα πρέπει να διατηρηθεί σε θερμοκρασία 55 °C για τουλάχιστον 14 ημέρες σε σύστημα Windrow

➤ Υγρασία

- ❑ Η optimum υγρασία για να επιτυχή κομποστοποίηση είναι γύρω στο 60% αλλά υγρασία μεταξύ 40-70% είναι ικανοποιητική για την πορεία της διεργασίας
- ❑ **Υγρασία 25-30% είναι χαμηλή** και η διαδικασία επιβραδύνεται σταδιακά μέχρι την οριστική αναστολή της. **Υγρασία > 75% ίσως να δημιουργήσει προβλήματα αερισμού και αναεροβικές συνθήκες** στο εσωτερικό του συστήματος
- ❑ Η υγρασία στο εσωτερικό του συστήματος θα πρέπει να ελέγχεται διότι αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την απώλεια υγρασίας και την ξήρανση του συστήματος



□ ***Το pH μεταβάλλεται στα διάφορα στάδια κομποστοποίησης***


- Στα αρχικά στάδια το pH κυμαίνεται από 5-7
- Στο στάδιο ανάπτυξης, όταν και αυξάνονται οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, παρατηρείται μείωση του $pH < 5$ λόγω διάσπασης της οργανικής ύλης προς απλά οργανικά οξέα
- Στο θερμοφιλικό στάδιο παρατηρείται αύξηση του $pH = 8-8.5$
- Στο στάδιο ωρίμανσης παρατηρείται ελαφρά μείωση του pH σε τιμές 7-8

➤ Φύση και Ανάμιξη Αποβλήτων

- ❑ Η **ανάμιξη** είναι μια συνηθισμένη πρακτική ώστε να δημιουργήσουμε ένα ισορροπημένο μίγμα στερεών αποβλήτων (με επιθυμητές τιμές C/N και υγρασίας) που μπορεί να διασπασθεί αποτελεσματικότερα από ότι το κάθε συστατικό ξεχωριστά
- ❑ Βεβαίως θα πρέπει να εξετασθεί το ενδεχόμενο η ανάμιξη αποβλήτων διαφορετικής φύσης και ποιότητας να δημιουργήσει προβλήματα όπως παραγωγή τοξικών ουσιών ή αερίων

➤ Χρόνος Διάρκειας Επεξεργασίας

- ❑ Ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διεργασίας εξαρτάται από όλους τους προηγούμενους παράγοντες
- **Π.χ.** Η επεξεργασία απορριμμάτων τροφών ή κηπουρικής μπορεί να επιτευχθεί σε 3 μήνες σε συστήματα **in-vessel** ή **windrow** αλλά μπορεί να χρειασθούν ακόμη και 12 μήνες για την επεξεργασία του ίδιου υποστρώματος σε **static pile system**



**ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ
ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ
ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΠΟ ΑΕΡΙΑ
ΑΠΟΒΛΗΤΑ**

➤ Μέθοδοι ελέγχου αέριων ρύπων

- Συμπύκνωση
- Απορρόφηση
- Προσρόφηση
- Καύση
- Χημική κατεργασία

➤ Μέθοδοι απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων

- Θάλαμοι κατακάθισης
- Κυκλώνες
- Συσκευές έκπλυσης
- Φίλτρα
- Ηλεκτροστατική κατακάθιση



ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ

➤ Συμπύκνωση

- ❑ Εφαρμόζεται στην κατακράτηση αερίων τοξικών ενώσεων με χαμηλή τάση ατμών ώστε να είναι δυνατή η συμπύκνωση και κατακράτηση υπό ψύξη με νερό ή αέρα

- ❑ Πραγματοποιείται σε δύο στάδια:
 - 1) Ψύξη με νερό
 - 2) Ψύξη με κατάλληλο ψυκτικό σύστημα έτσι ώστε να επιτυγχάνονται ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες

- ❑ Η συμπύκνωση συνήθως αποτελεί προκαταρκτικό στάδιο απομάκρυνσης αέριων ρύπων και ακολουθεί προσρόφηση

➤ Συμπύκνωση

□ *Η συμπύκνωση γίνεται με δύο διαφορετικές τεχνικές:*

- Συμπύκνωση με άμεση ψύξη
- Συμπύκνωση με έμμεση ψύξη

➤ Συμπύκνωση με άμεση ψύξη:

- ❑ Τα αερολύματα έρχονται σε επαφή με το ψυκτικό υγρό, το οποίο ανακυκλώνεται μετά την απαγωγή της θερμότητας συμπύκνωσης. Η επαφή μεταξύ αερολυμάτων και ψυκτικού υγρού γίνεται σε ειδικούς θαλάμους οι οποίοι μπορεί να είναι πύργοι ψεκασμού με ή χωρίς πληρωτικό υλικό

➤ Συμπύκνωση με έμμεση ψύξη:

- ❑ Τα αερολύματα έρχονται σε επαφή με ψυχρές μεταλλικές επιφάνειες πάνω στις οποίες και συμπυκνώνονται. Οι μεταλλικές επιφάνειες είναι σωλήνες στο εσωτερικό των οποίων κυκλοφορεί ειδικό ψυκτικό υγρό. Η θερμοκρασία ψύξης επιλέγεται ανάλογα με την σύσταση των αερολυμάτων