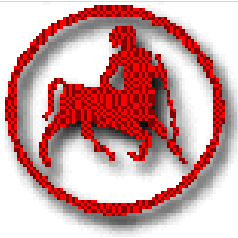


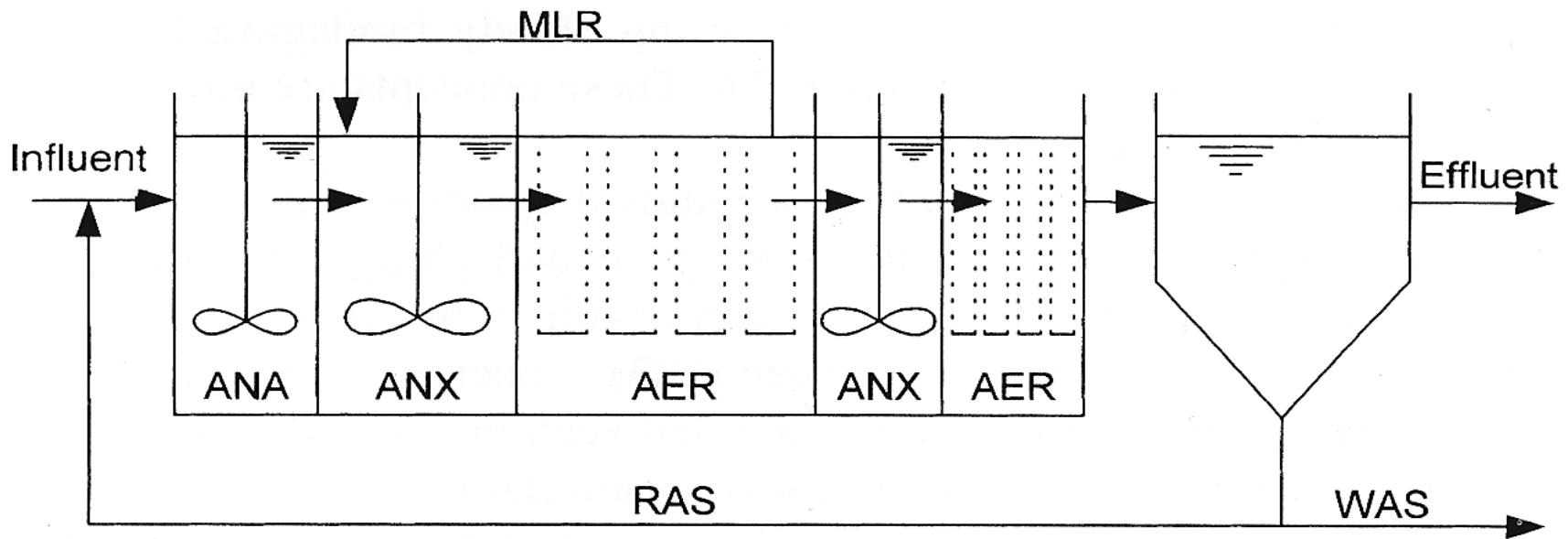
# Διάλεξη 6

***Βιολογική Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων***

***Συστήματα Βιολογικών Κροκύδων***

***Συστήματα Απομάκρυνσης N και P, Λίμνες***



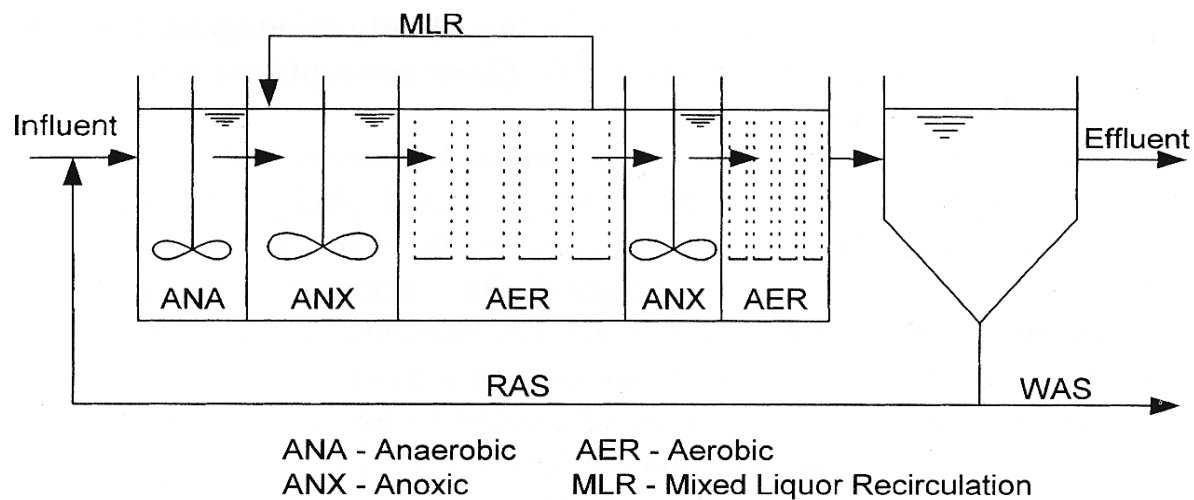


ANA - Anaerobic  
ANX - Anoxic

AER - Aerobic  
MLR - Mixed Liquor Recirculation

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 PAOs (Phosphate-accumulating organisms)
- Στην **ανοξική ζώνη** εμπλουτίζεται η βιομάζα με απονιτροποιητικά βακτήρια που διασπούν οργανικά μόρια ως δότες ηλεκτρονίων για την αναγωγή των  $\text{NO}_3$ .
- Στην **πρώτη αερόβια ζώνη** πραγματοποιείται ταχεία διάσπαση των οργανικών μορίων ενώ στην **δεύτερη αερόβια ζώνη** πραγματοποιείται κυρίως απομάκρυνση του  $\text{N}_2$  και οξυγόνωση της βιομάζας

# Γιατί εναλλαγή αερόβιων, αναερόβιων, ανοξικών ζωνών;

- **Αερόβιες συνθήκες** για την μετατροπή  $\text{NH}_4$  σε  $\text{NO}_3$  με νιτροποίηση, για την συσσώρευση φωσφορικών από βακτήρια-συσσωρευτές φωσφορικών (PAOs)
- **Αναερόβιες συνθήκες** για τον εμπλουτισμό σε PAOs
- **Ανοξικές συνθήκες** απαιτούνται για την μετατροπή των  $\text{NO}_3$  σε αέριο  $\text{N}_2$  με απονιτροποίηση

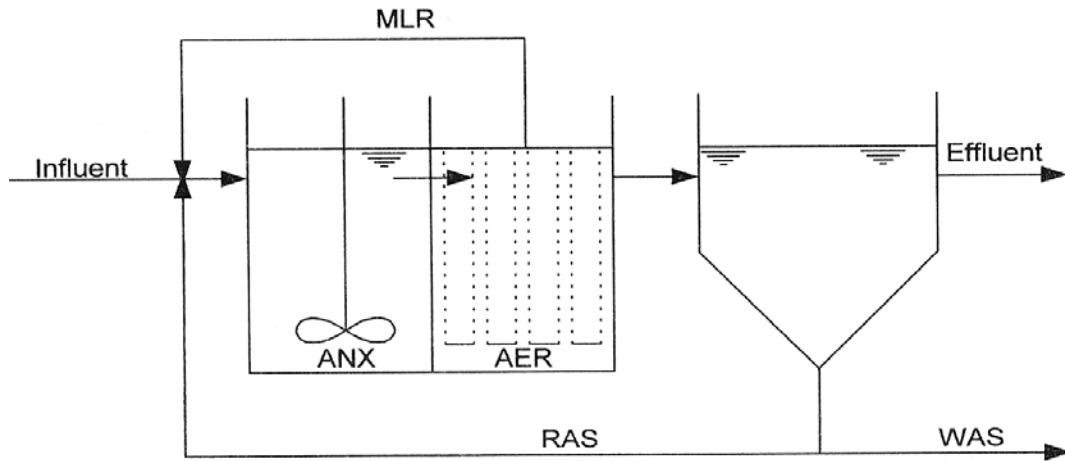


# Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης $\text{NO}_3$

- Διεργασία **Ludzack-Ettinger**
- Διεργασία Bardenpho τεσσάρων σταδίων
- Sequence Batch Reactor activated sludge



# Διεργασία Ludzak-Ettinger



**Ανοξική Ζώνη** - Υψηλοί ρυθμοί απονιτροποίησης λόγω του υψηλού οργανικού φορτίου των αποβλήτων όταν εισέρχονται στο σύστημα επεξεργασίας

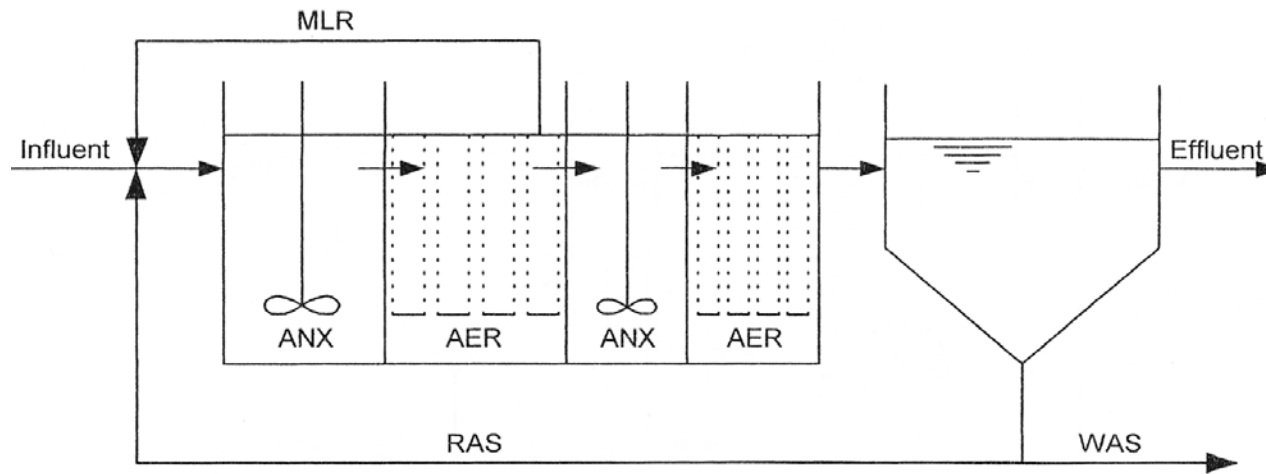
**Αερόβια Ζώνη** – Πραγματοποιείται νιτροποίηση και η ενεργοποιημένη βιομάζα ανακυκλώνεται μαζί με το εισερχόμενα υγρά απόβλητα ώστε να μεταφέρει τα παραγόμενα  $\text{NO}_3$  πίσω στην ανοξική ζώνη για απονιτροποίηση

# Διεργασία Ludzak-Ettinger

Η ανάγκη για επαναπροσθήκη της βιομάζας του αερόβιου τμήματος στην αρχή του συστήματος (ανοξική ζώνη) περιορίζει την νιτροποιητική του ικανότητα



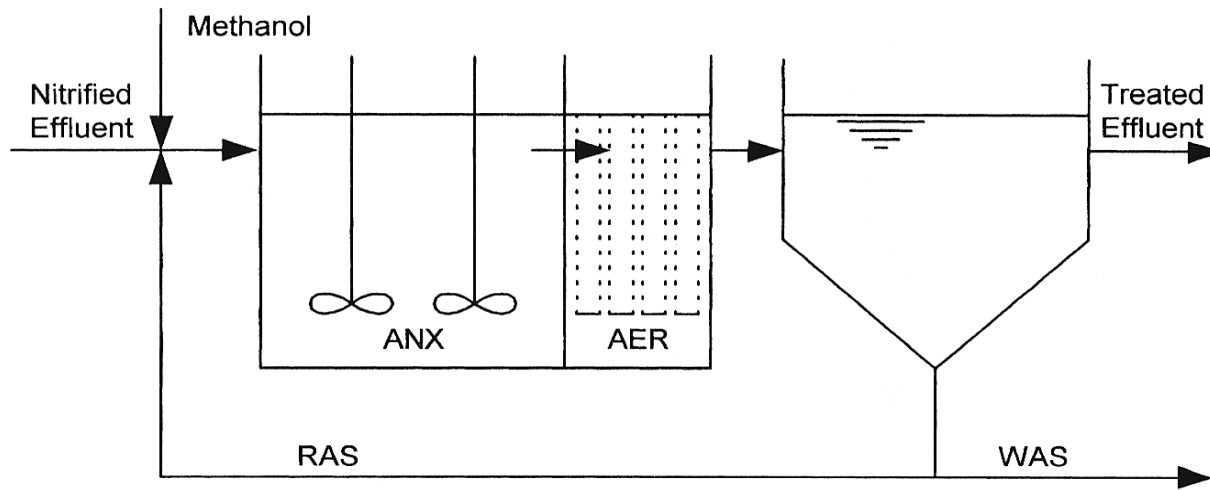
# Διεργασία Bardenpho τεσσάρων σταδίων



- Περιέχει μια **επιπλέον ανοξική και αερόβια ζώνη**.
- Η **δεύτερη ανοξική ζώνη** χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των  $\text{NO}_3$  που παράγονται στην προηγούμενη αερόβια ζώνη και μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη απομάκρυνση των  $\text{NO}_3$  από τα απόβλητα
- Η **τελική αερόβια ζώνη** χρησιμοποιείται για απομάκρυνση του αέριου N από την απονιτροποίηση και οξυγόνωση της βιομάζας του συστήματος πριν την εισαγωγή στην δεξαμενή διαχωρισμού



# Separate stage suspended growth denitrification process



Μέθοδος που χρησιμοποιείται για απομάκρυνση N από χαμηλού οργανικού φορτίου υγρά απόβλητα που αυξάνει τον ρυθμό απονιτροποίησης στην πρώτη ανοξική ζώνη καθώς τα οργανικά μόρια αποτελούν δότες  $e^-$  για την αναγωγή προς  $N_2$

Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει την προσθήκη στα υγρά απόβλητα εξωγενών οργανικών υποστρωμάτων όπως μεθανόλη που θα επιταχύνουν την διαδικασία απονιτροποίησης

# *Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης Φώσφορου*

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



# Βιολογική Απομάκρυνση Φώσφορου

*Αναπόσπαστα τμήματα συστημάτων βιολογικής απομάκρυνσης φώσφορου είναι μία αναερόβια και μια αερόβια ζώνη*

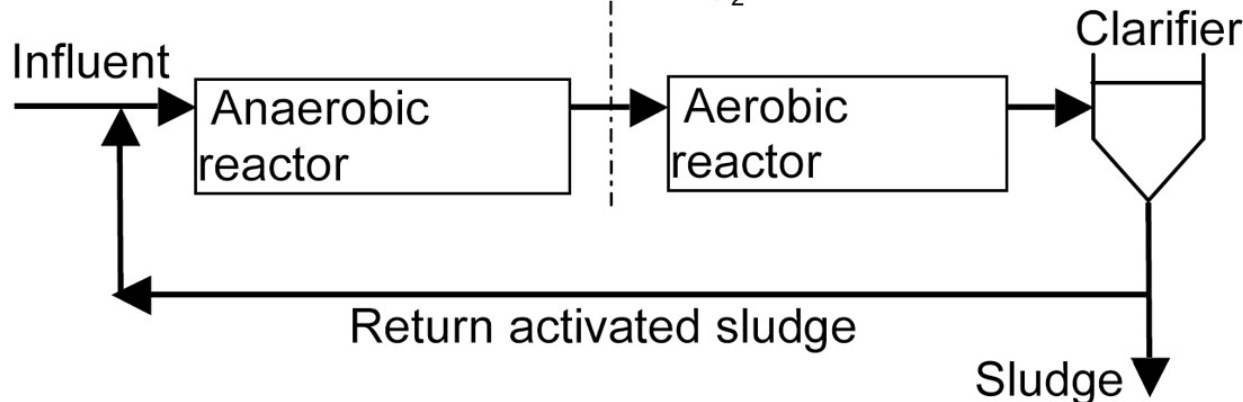
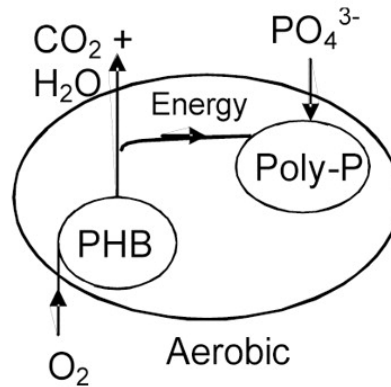
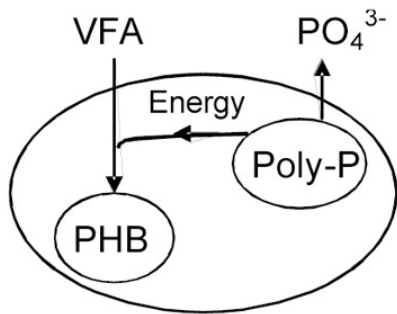
Η αρχική αναερόβια ζώνη ευνοεί τον εμπλουτισμό σε PAOs (Phosphate accumulating organisms) σε βάρος αερόβιων νιτροποιητικών βακτηριών

Η αερόβια ζώνη είναι απαραίτητη για τα PAOs ώστε να συσσωρεύσουν P και απομακρύνονται πριν να αρχίσουν να ανακάμπτουν τα νιτροποιητικά βακτήρια

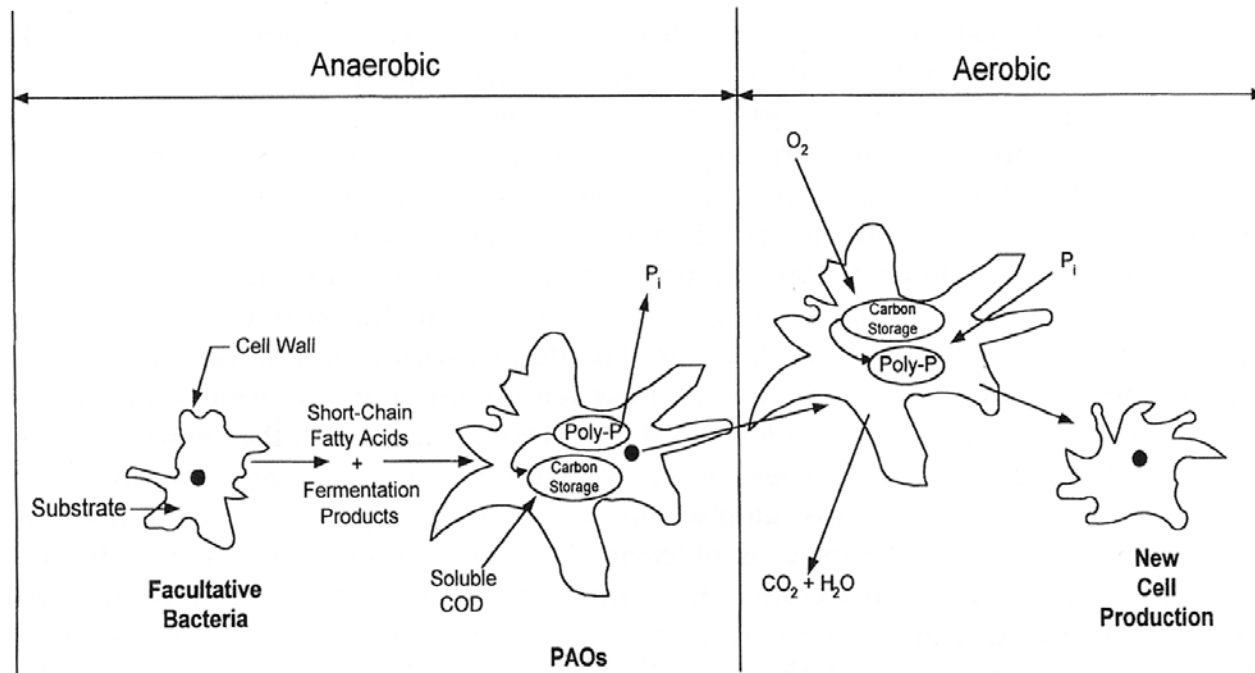


PAO use energy available from stored polyphosphates, assimilate acetate or volatile fatty acids (VFA) and produce intracellular polyhydroxybutyrate (PHB). At the same time, soluble orthophosphate is released. The PHB content in the PAO increases, while the polyphosphate decreases.

Stored PHB is metabolized, providing energy from oxidation and carbon for new cell growth. The energy is used to form polyphosphate bonds in cell storage so that soluble orthophosphate is removed from solution and stored within the cell. Cell growth also occurs due to PHB utilization, and the new biomass with high polyphosphate storage accounts for phosphorus removal.



# Πως γίνεται η απομάκρυνση του P από τα βακτήρια;



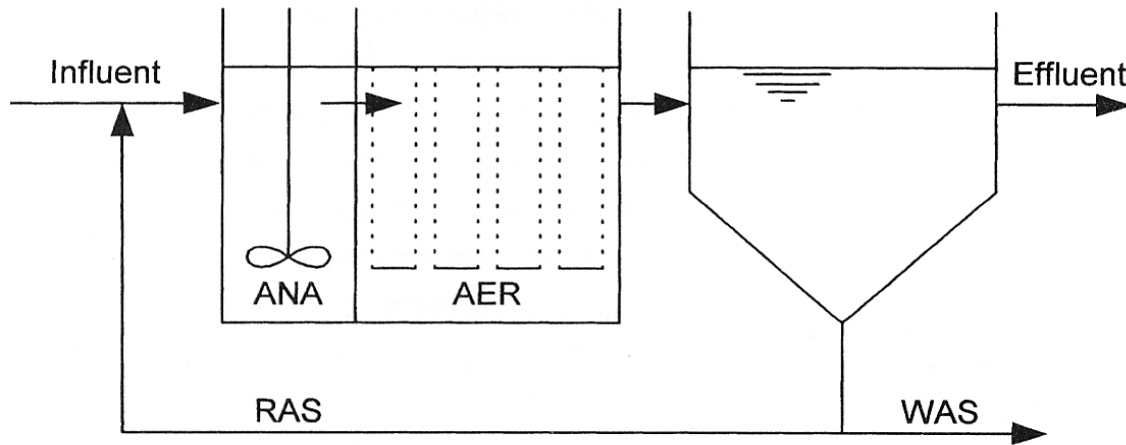
Τα συστήματα απομάκρυνσης P καταλήγουν να περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε P στην ενεργοποιημένη λάσπη (7-15%) σε σύγκριση με τα συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης που τυπικά έχουν περιεκτικότητες P χαμηλές (1-2%)

# Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης Φώσφορου

- A/O ή Phoredox διεργασία
- Phostrip διεργασία



# A/O ή Phoredox διεργασία



Για αποτελεσματική απομάκρυνση φώσφορου απαιτείται υψηλός ρυθμός παροχής και λειτουργίας του συστήματος και ο χρόνος κατακράτησης των στερεών του συστήματος να είναι 2-3 ημέρες στο αερόβιο τμήμα ώστε να μην επιτρέπεται η νιτροποίηση σε βάρος της βιολογικής απομάκρυνσης φώσφορου

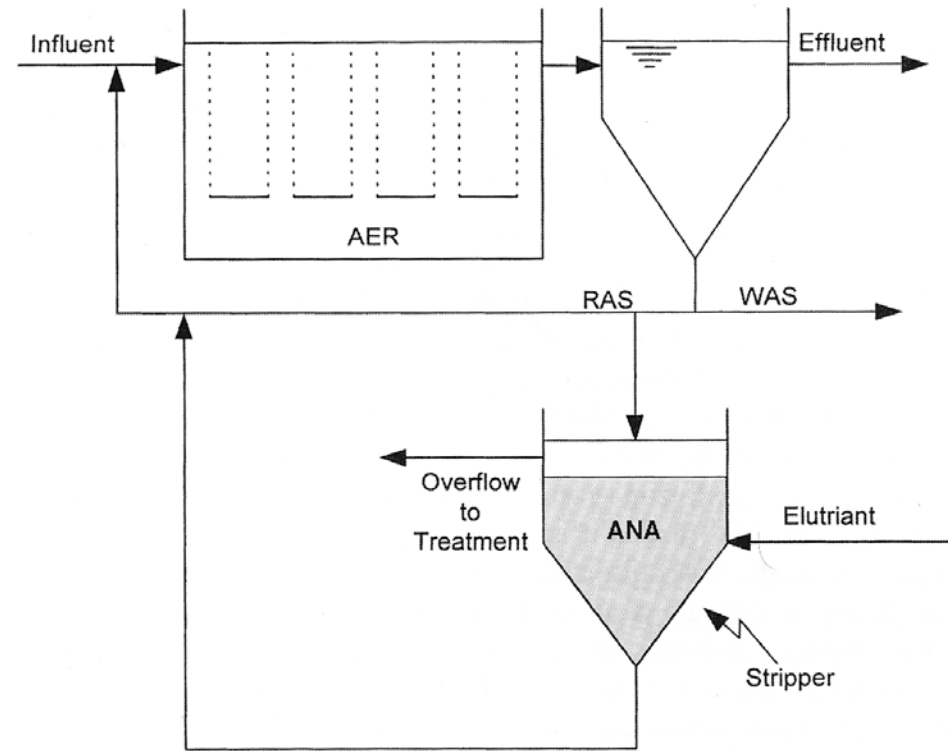


# Phostrip Διεργασία

Σύστημα ενεργοποιημένης λάσπης όπου το 30-40% της ανακυκλούμενης λάσπης (RAS) μεταφέρεται σε διαχωριστική δεξαμενή με αναερόβιες συνθήκες

Στην αναερόβια δεξαμενή παρέχεται μικρή ποσότητα αποβλήτων (elutriant) για την παροχή των απαραίτητων οργανικών ενώσεων στην βιομάζα των PAOs ώστε να ελευθερωθεί ο φώσφορος

Το υπερκείμενο στην αναερόβια δεξαμενή συλλέγεται και με προσθήκη ασβέστου παραλαμβάνονται ο φώσφορος





# 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 PAOs που θα συσσωρεύσουν φωσφορικά στην αερόβια ζώνη

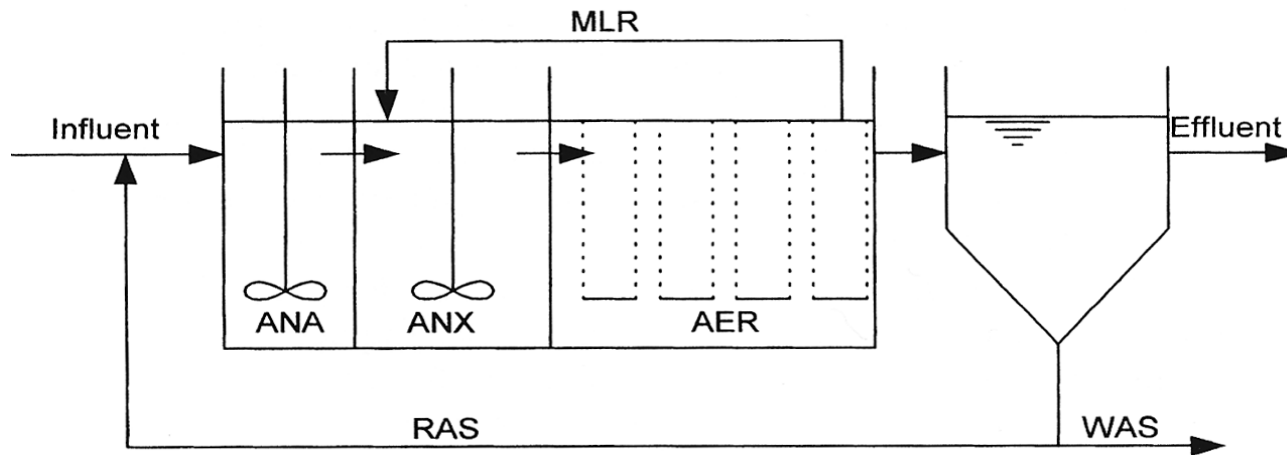
Στα συστήματα αυτά κύριος σκοπός είναι η αποφυγή ανακύκλωσης και προσθήκης της ενεργοποιημένης λάσπης του συστήματος που περιέχει και  $\text{NO}_3$  στην αναερόβια ζώνη όπου και λαμβάνει χώρα ο εμπλουτισμός της βιομάζας σε PAOs. Στην περίπτωση αυτή ευνοείται η απονιτροποίηση και αναστέλεται η δράση των PAOs

# Συνδυασμένα Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης N και P

- Διεργασία A<sup>2</sup>/O
- Διεργασία Bardenpho πέντε σταδίων
- Διεργασία UCT
- Διεργασία VIP

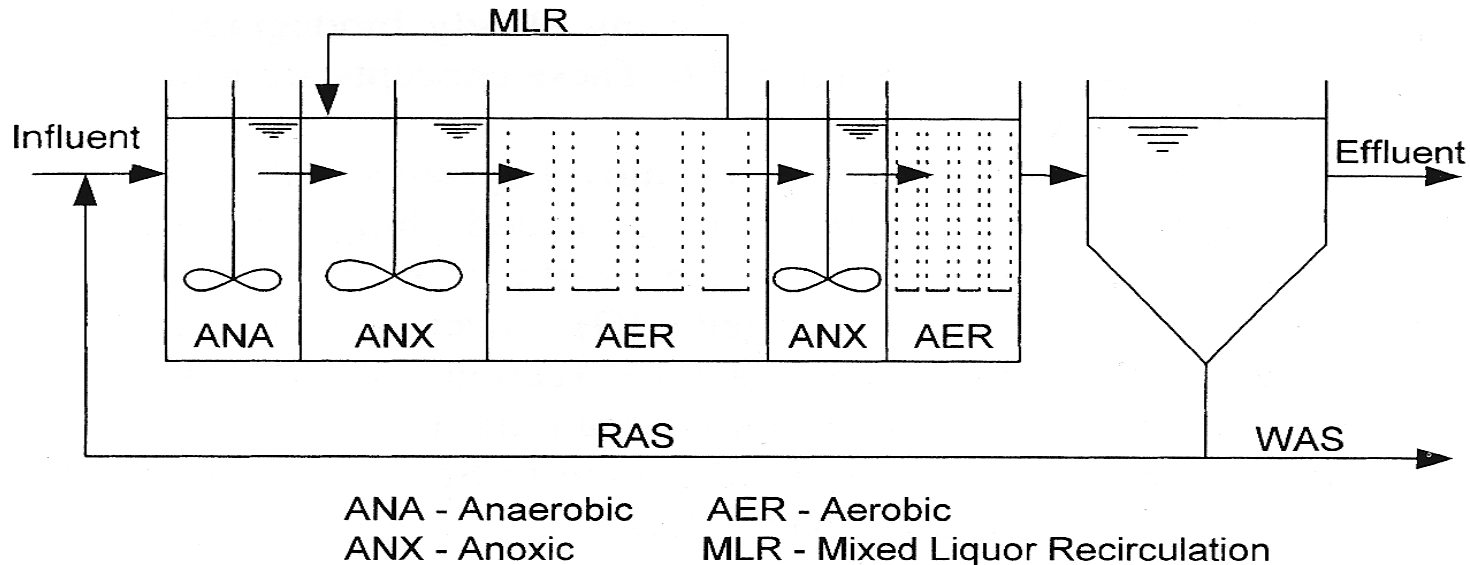


# Διεργασία A<sup>2</sup>/O



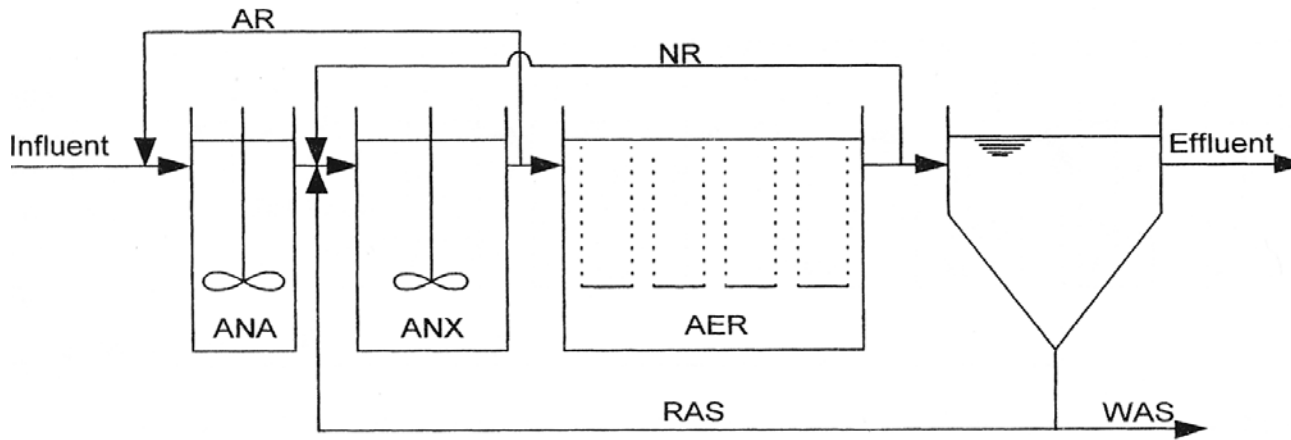
- Στην ουσία είναι το σύστημα A/O για την απομάκρυνση P στο οποίο έχει προστεθεί μια ενδιάμεση ανοξική ζώνη για την απομάκρυνση των NO<sub>3</sub> μέσω απονιτροποίησης
- Η βιομάζα (MLR) από την αερόβια ζώνη επαναπροστίθεται στην ανοξική ζώνη ενώ η ενεργοποιημένη λάσπη (RAS) επαναπροστίθεται στην αναερόβια ζώνη προκαλώντας κάποια μείωση στην ικανότητα του συστήματος να απομακρύνει φώσφορο

# Διεργασία Bardenpho πέντε σταδίων



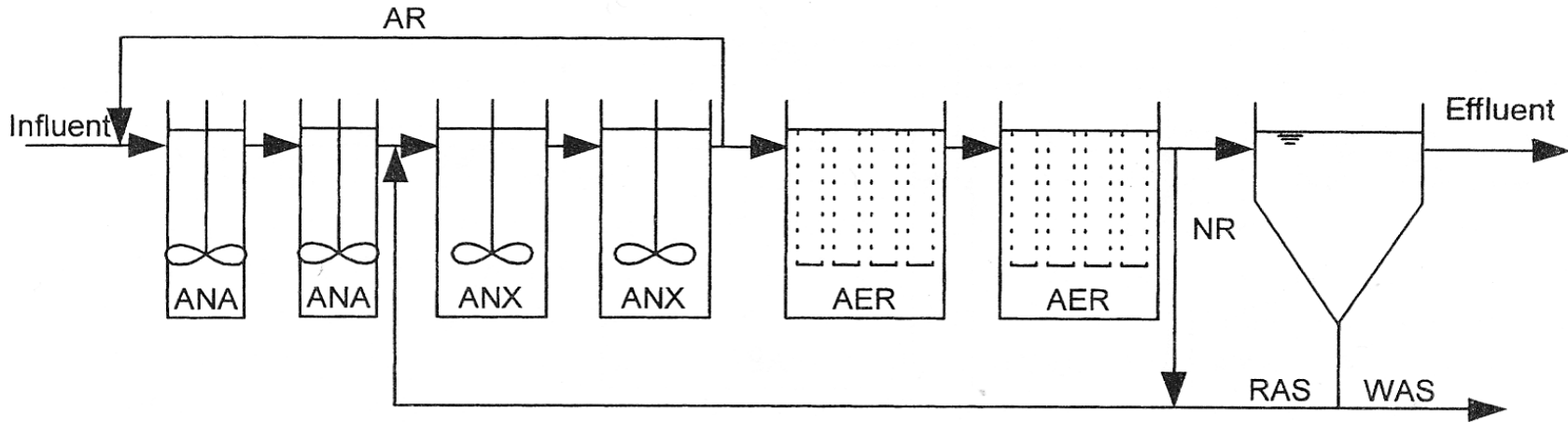
- Ουσιαστικά είναι το σύστημα Bardenpho για την απομάκρυνση N με την προσθήκη μιας αναερόβιας ζώνης στην αρχή του συστήματος για τον εμπλουτισμό της βιομάζας σε PAOs
- Και σε αυτό το σύστημα η επαναπροσθήκη RAS στην αναερόβια ζώνη περιορίζει σε κάποιο βαθμό την αποτελεσματικότητα του συστήματος στην απομάκρυνση P

# Σύστημα UCT (University of Cape Town)



- Βασική βελτιστοποίηση σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα είναι η προσθήκη RAS (returned activated sludge) στην ανοξική δεξαμενή όπου και απονιτροποιείται και όχι στην αναερόβια δεξαμενή με συνέπεια να περιορίζονται τυχόν αρνητικές επιδράσεις στην ανάπτυξη PAOs
- Επίσης νιτροποιημένη βιομάζα (NL) από το αερόβιο τμήμα προστίθεται στην ανοξική δεξαμενή για αυξημένη απομάκρυνση  $\text{NO}_3$  και βιομάζα από την ανοξική δεξαμενή (AR) προστίθεται στην αναερόβια για αύξηση της βιομάζας στην αναεροβική δεξαμενή (δεν δέχεται RAS και συνεπώς παρουσιάζει μειωμένη μικροβιακή ανάπτυξη)

# Διεργασία VIP



Παρουσιάζει ομοιότητες και σημαντικές διαφορές με το UCT:

- Στην VIP όλα τα στάδια είναι διαχωρισμένα απόλυτα με δύο δεξαμενές σε σειρά ενώ στην UCT αυτό δεν είναι απαραίτητο
- Στην VIP η AR επαναπροστίθεται στην αεροβική ζώνη από τη δεύτερη ανοξική ζώνη και όχι από την πρώτη όπως στην διεργασία UCT
- Στην VIP η NR αναμιγνύεται με την RAS και δεν επαναπροστίθεται στην ανοξική ζώνη όπως στη διεργασία UCT. Η ανάμιξη αυτή οδηγεί σε απομάκρυνση του  $O_2$  από την NR πριν την ανακύκλωση στην ανοξική ζώνη

# Χρήσεις Συστημάτων Απομάκρυνσης N και P

- Η χρήση αυτόνομων συστημάτων για την απομάκρυνση N, P δεν βρίσκει ιδιαίτερα μεγάλη εφαρμογή ακόμη λόγω υψηλού κατασκευαστικού κόστους
- Η βιολογική απομάκρυνση N συνήθως πραγματοποιείται σε απλά συστήματα Ludzak-Ettinger ή Bardenpho



# Χρήσεις Συστημάτων Απομάκρυνσης N και P

- Για την βιολογική απομάκρυνση P χρησιμοποιείται κυρίως το σύστημα Phostrip
- Σε πολλές περιπτώσεις με κατάλληλες κατασκευαστικές ή λειτουργικές παρεμβάσεις είναι δυνατή η απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από τα απόβλητα σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης όπου ανοξικές και αναεροβικές ζώνες χρησιμοποιούνται ως επιλέκτες (selectors) για τον περιορισμό ανάπτυξης των ινωδών βακτηρίων





# Παράγοντες που επηρεάζουν αποτελεσματικότητα συστημάτων απομάκρυνσης θρεπτικών στοιχείων

- Χρόνος κατακράτησης στερεών
- Αναλογία οργανικών προς ανόργανα στα υγρά απόβλητα
- Σύσταση της οργανικής ύλης των αποβλήτων
- Η συγκέντρωση των ολικών διαλυτών στερεών στα επεξεργασμένα απόβλητα
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως θερμοκρασία, pH, διαλυτό οξυγόνο: Χαμηλές θερμοκρασία αναστέλλουν την δράση των νιτροποιητικών βακτηρίων και των PAOs. Το pH του συστήματος θα πρέπει να διατηρείται σε επίπεδα 6.5-7 που είναι βέλτιστα για την αποτελεσματικότητα και ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηρίων και των PAOs



# *Λίμνες στην Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων*



# Λίμνες (Lagoons)

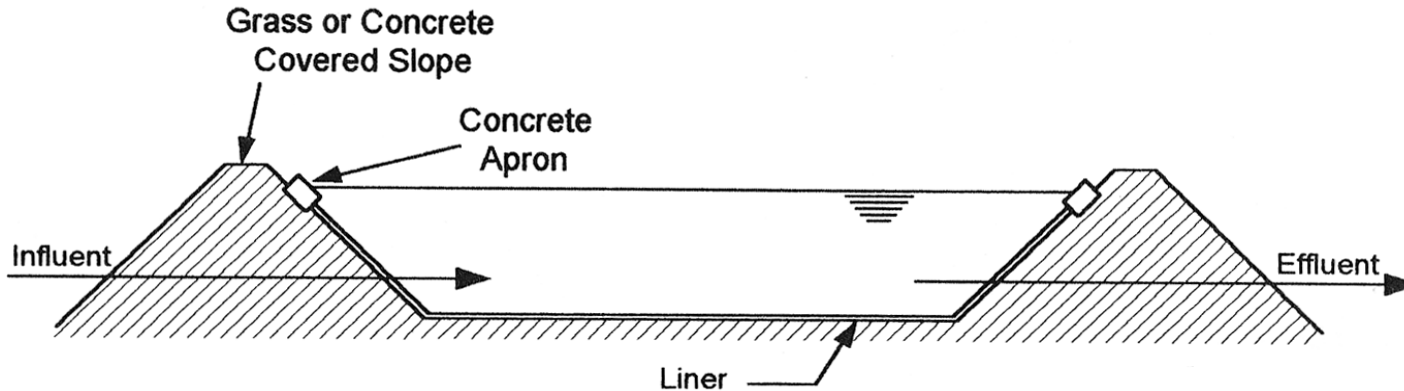
Από τις πιο παραδοσιακές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και χρησιμοποιούνται και σήμερα σε περιοχές όπου υπάρχει διαθέσιμη γη και αρκετή ηλιοφάνεια

Οι τεχνητές λίμνες μπορεί να είναι:

- **Αερόβιες**
- **Αναερόβιες**
- **Ταυτόχρονα αερόβιες - αναερόβιες**



# Λίμνες – Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά



Ο πυθμένας καλύπτεται με κάποιο υλικό για να περιορίσει την απώλεια υγρών με έκπλυση. Τα υγρά απόβλητα διοχετεύονται από το ένα άκρο και παραλαμβάνονται από το άλλο.

Οι υδραυλικοί χρόνοι κατακράτησης των αποβλήτων είναι συνήθως μερικές ημέρες



# Λίμνες – Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά



# Λίμνες

## Πλεονεκτήματα

- Χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος

## Μειονεκτήματα

- Ορισμένες φορές η υπερβολική ανάπτυξη αλγών οδηγεί σε μειωμένη ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων
- Περιορισμένη γνώση των παραμέτρων που ελέγχουν την αποτελεσματικότητά τους

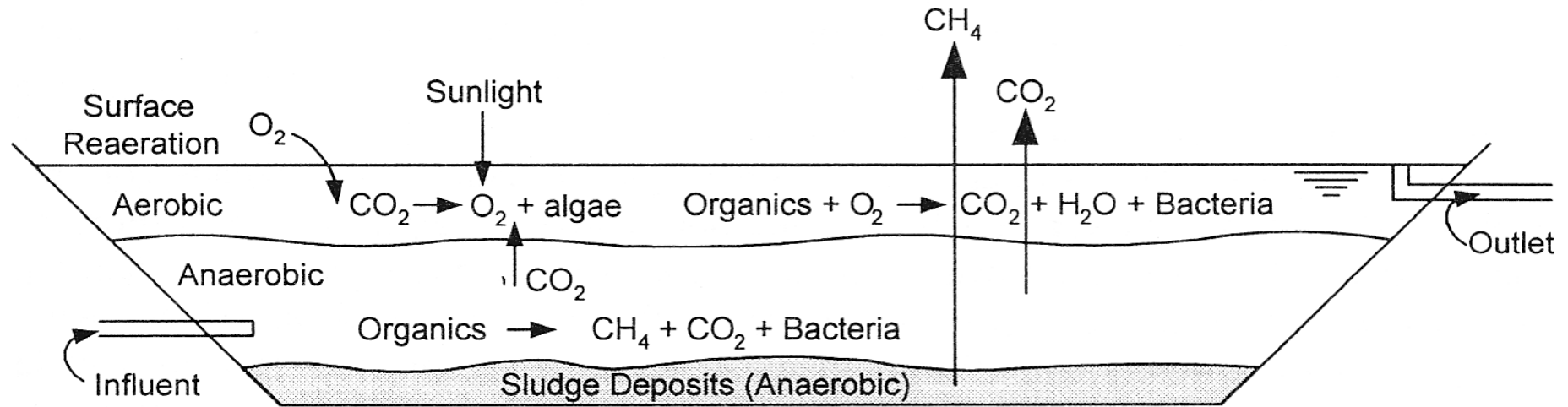


# ***Κατηγορίες Λιμνών στην Επεξεργασία Αποβλήτων***

- ***Αερόβιες***
- ***Αναερόβιες***
- ***Ταυτόχρονα αερόβιες - αναερόβιες***



# Ταυτόχρονα Αερόβιες– Αναερόβιες Λίμνες



Χαρακτηρίζονται από χαμηλό βάθος (1-2.5 m) και παρουσία ταυτόχρονα αερόβιων και αναερόβιων συνθηκών σε διαφορετικά τμήματα τους





# Ταυτόχρονα Αερόβιες – Αναερόβιες Λίμνες

Στα επιφανειακά στρώματα επικρατούν αερόβιοι μικροοργανισμοί:

- Τα άλγη φωτοσυνθέτουν και ελευθερώνουν διαλυτό  $O_2$
- Τα αερόβια βακτήρια χρησιμοποιούν το διαλυτό οξυγόνο για την οξείδωση της οργανικής ύλης και παράγουν  $CO_2$  που χρησιμοποιείται από τα άλγη ως πηγή C
- Κατά την διάρκεια της νύχτας τα άλγη χρησιμοποιούν οξυγόνο για να οξειδώνουν οργανική ύλη



# Ταυτόχρονα Αερόβιες – Αναερόβιες Λίμνες

Στον πυθμένα επικρατούν αναερόβιες συνθήκες και οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται διασπούν την οργανική ύλη με παραγωγή μεθανίου



## *Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Αερόβιων-Αναερόβιων Λιμνών*

---

Βάθος (m)	1-3
Χρόνος Παραμονής (ημέρες)	7-50
BOD <sub>5</sub> μείωση (%)	70-95
Συγκέντρωση Φυκών (mg/l)	10-100
Συγκέντρωση Διαλυτών Στερεών (mg/l)	100-350

---



# ***Κατηγορίες Λιμνών στην Επεξεργασία Αποβλήτων***

- ***Αερόβιες***
- *Αναερόβιες*
- *Ταυτόχρονα αερόβιες - αναερόβιες*



# Αερόβιες Λίμνες

- Βασική αρχή είναι ο περιορισμός της ανάπτυξης των αλγών και αυτό γίνεται με αυξημένη ανάμιξη στην επιφάνεια και με την εφαρμογή μικρών χρόνων υδραυλικής κατακράτησης (2 ημέρες) που δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη αλγών
- Αερισμός στο σύστημα παρέχεται επιφανειακά **(χαμηλό βάθος < 1 m)** ώστε η βιομάζα του συστήματος να διασπά την οργανική ύλη των αποβλήτων προς CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O
- Η αποτελεσματικότητα του συστήματος μπορεί να αυξηθεί με την χρήση πολλών αερόβιων λιμνών σε σειρά



# ***Κατηγορίες Λιμνών στην Επεξεργασία Αποβλήτων***

- *Αερόβιες*
- ***Αναερόβιες***
- *Ταυτόχρονα αερόβιες - αναερόβιες*



# Αναερόβιες Λίμνες

- Συστήματα αναερόβιας χώνευσης χαμηλού ρυθμού.
- Χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία αποβλήτων πριν την διοχέτευση τους σε αερόβιες-αναερόβιες λίμνες.
- Ιδανικές για την επεξεργασία αποβλήτων με υψηλές τιμές BOD (>300mg/l)
- Αναερόβιες συνθήκες επιτυγχάνονται λόγω του βάθους τους (1-7 m) αλλά και των υψηλών τιμών BOD των αποβλήτων που διοχετεύονται σε αυτές τις λίμνες
- Ο χρόνος παραμονής στις αναερόβιες λίμνες είναι 20-50 ημέρες και η μείωση του BOD μπορεί να φθάσει και το 80%

# Υψηλής Ισχύος Αερόβιες Λίμνες

- Ιδιαίτερα ρηχές λίμνες (0.2-0.5 m) ώστε να παρέχεται φώς στα άλγη για να φωτοσυνθέσουν, να παράγουν οξυγόνο και να αναπτυχθούν σε μεγάλους πληθυσμούς
- Σε αυτές τις λίμνες τα άλγη αναπτύσσονται με ιδιαίτερα υψηλούς ρυθμούς
- Οι σημαντικές ποσότητες αλγών που σχηματίζονται σε τέτοιες λίμνες συγκομίζονται στο τέλος της λειτουργίας και χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφή





# Χρήσεις Λιμνών στην Επεξεργασία Αποβλήτων

- Οι αναερόβιες λίμνες χρησιμοποιούνται κυρίως ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας υγρών βιομηχανικών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο ενώ σπάνια χρησιμοποιούνται για αστικά απόβλητα χαμηλού οργανικού φορτίου



# Χρήσεις Λιμνών στην Επεξεργασία Αποβλήτων

- Οι αναερόβιες/αερόβιες λίμνες χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποθήκευση υγρών αποβλήτων λόγω της μεγάλης επιφάνειας τους. Η χρήση τους στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων γίνεται κυρίως σε συνδυασμό με αναερόβιες λίμνες διότι η ποιότητα των αποβλήτων που παρέχουν είναι σχετικά χαμηλή
- Οι αερόβιες λίμνες αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων από την βιομηχανία επεξεργασίας χαρτιού. Πλέον χρησιμοποιούνται και για την επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων

