

Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων

Διάλεξη 6

Βιολογική Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων
Συστήματα Βιολογικών Κροκύδων
Συστήματα Απομάκρυνσης N και P, Λίμνες

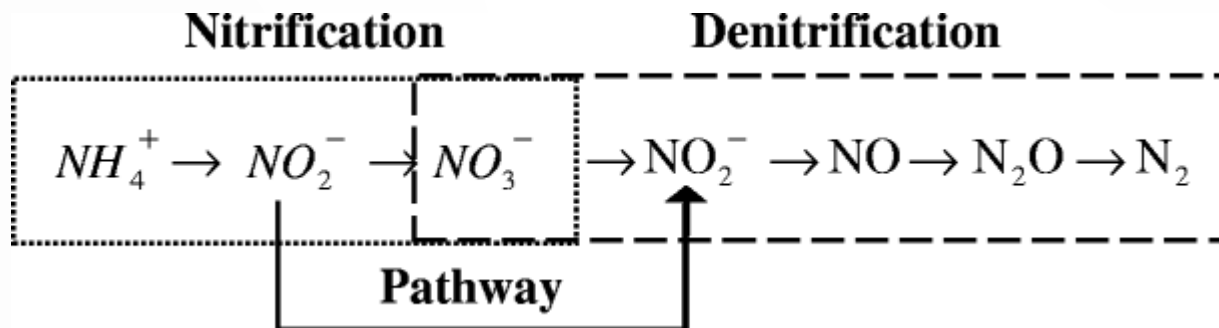
➤ Απομάκρυνση N

- ❑ Η απομάκρυνση του αζώτου συνήθως είναι αναγκαία πριν την απόρριψη των υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί επεξεργασία σε ευαίσθητα υδάτινα σώματα (για την αποφυγή ευτροφισμού και φαινομένων τοξικότητας στα ψάρια) ή για εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης
- ❑ Το μέγιστο επίπεδο ρύπανσης του πόσιμου νερού για το άζωτο των νιτρικών είναι 45 mg/L ως συγκέντρωση νιτρικών ή 10 mg/L ως συγκέντρωση αζώτου
- ❑ Η απομάκρυνση του αζώτου μπορεί να είναι ένα κομμάτι του ολοκληρωμένου βιολογικού συστήματος επεξεργασίας ή μια επιπρόσθετη διεργασία μιας υφιστάμενης μονάδας επεξεργασίας

➤ Βιολογική Απομάκρυνση N



Βιολογική διεργασία	Τύπος μικροοργανισμών	Πηγή Άνθρακα	Δότης ηλεκτρονίων	Δέκτης ηλεκτρονίων	Προϊόντα
Νιτροποίηση	Αερόβιοι αυτότροφοι	CO ₂	NH ₄ ⁺ /NO ₂ ⁻	O ₂	NO ₂ ⁻ /NO ₃ ⁻
Απονιτροποίηση (ανοξική αντίδραση)	Προαιρετικά ετερότροφοι	Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	NO ₂ ⁻ /NO ₃ ⁻	N ₂ , CO ₂ , H ₂ O



➤ Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης του Αζώτου

- ❑ Όλες οι διεργασίες βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου περιλαμβάνουν μια αερόβια ζώνη στην οποία συμβαίνει η βιολογική νιτροποίηση (οξείδωση των $\text{NH}_4\text{-N}$)
- ❑ Θα πρέπει να συμπεριληφθεί κάποιος ανοξικός όγκος ή χρόνος για να μπορέσει η βιολογική απονιτροποίηση να ολοκληρώσει το σκοπό της ολικής απομάκρυνσης του αζώτου (αναγωγή των $\text{NO}_3\text{-N}$ και $\text{NO}_2\text{-N}$ σε αέριο άζωτο)
- ❑ Η μείωση των νιτρικών απαιτεί ένα δότη ηλεκτρονίων που μπορεί να παρέχεται με τη μορφή του BOD της εισροής των υγρών αποβλήτων, από την ενδογενή αναπνοή, ή από μια εξωτερική πηγή άνθρακα

➤ Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης του Αζώτου

- ❑ Οι τύποι των διεργασιών απομάκρυνσης του αζώτου αιωρούμενης βιομάζας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε (1) μονοβάθμιες ή (2) διβάθμιες
- ❑ Ο όρος μονοβάθμια εννοεί ότι στη διεργασία χρησιμοποιείται μια δεξαμενή διαχωρισμού των στερεών – δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης/ δεξαμενή ενεργοποιημένης λάσπης
- ❑ Η δεξαμενή ενεργοποιημένης λάσπης μπορεί να χωρισθεί σε διαφορετικές ζώνες με ανοξικές και αερόβιες συνθήκες και το μικτό υγρό μπορεί να αντληθεί από τη μια ζώνη στην άλλη (εσωτερική ανακυκλοφορία), αλλά ο διαχωρισμός του υγρού από τα στερεά συμβαίνει μόνο μια φορά

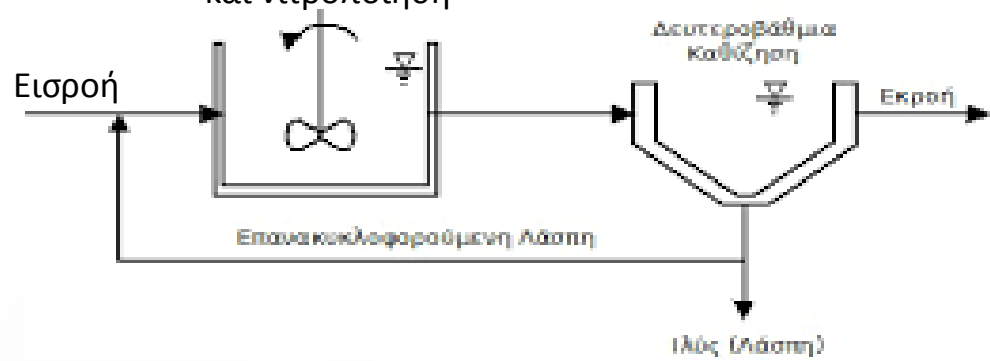
➤ Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης του Αζώτου

- ❑ Το διβάθμιο σύστημα συνήθως αποτελείται από μια αερόβια διεργασία (για τη νιτροποίηση) που ακολουθείται από μια ανοξική διεργασία (για την απονιτροποίηση) που η κάθε μια έχει τη δική της δεξαμενή καθίζησης
- ❑ Για την ανοξική διεργασία της απονιτροποίησης θα πρέπει να προστεθεί ένα οργανικό υπόστρωμα, συνήθως μεθανόλη, για να δημιουργηθεί μια βιολογική απαίτηση για τα νιτρικά
- ❑ Το μονοβάθμιο σύστημα είναι αυτό που χρησιμοποιείται πιο συχνά

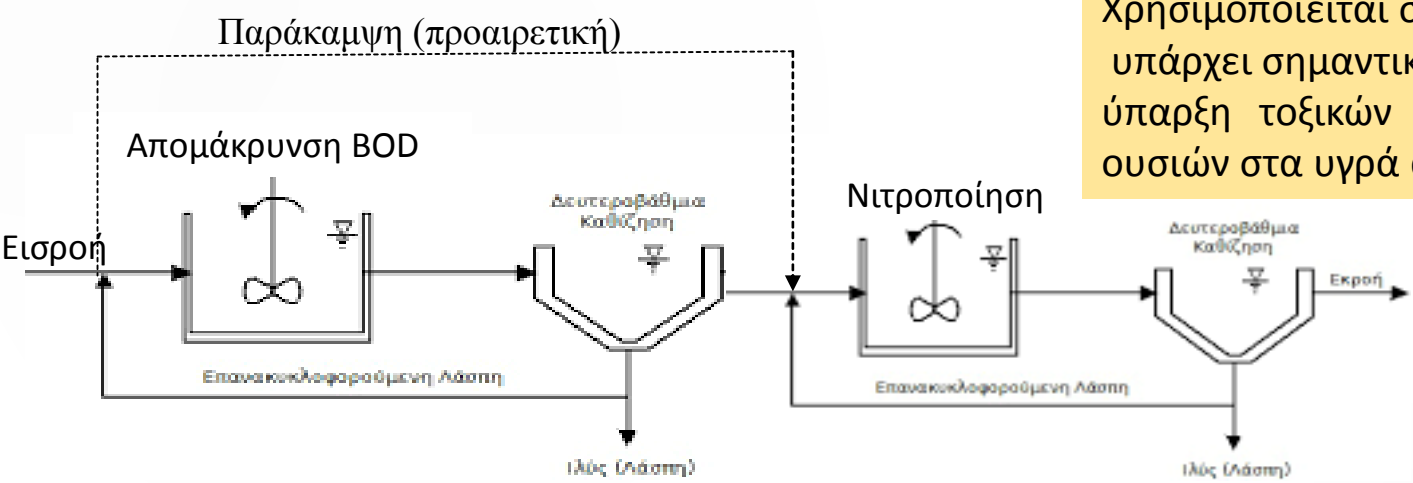
➤ Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης του Αζώτου

☐ ΜΟΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ για βιολογική νιτροποίηση

Συνδιασμένη απομάκρυνση BOD και νιτροποίηση



☐ ΔΙΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ για βιολογική νιτροποίηση



Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει σημαντική πιθανότητα για την ύπαρξη τοξικών και παρεμποδιστικών ουσιών στα υγρά απόβλητα

➤ Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης του Αζώτου

- ❑ Οι μονοβάθμιες διεργασίες βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου ομαδοποιούνται με βάση το εάν η ανοξική ζώνη έχει τοποθετηθεί πριν (προ-ανοξικές) ή μετά (μετά-ανοξικές) την αερόβια ζώνη της νιτροποίησης (ταυτόχρονης νιτροποίησης – απονιτροποίησης)
- ❑ Στην προ-ανοξική, τα νιτρικά που παράγονται στην αερόβια ζώνη ανακυκλοφορούνται στο προ-ανοξικό διαμέρισμα. Χρησιμοποιούν το BOD της εισροής των υγρών αποβλήτων για δότη ηλεκτρονίων

➤ Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης του Αζώτου

- ❑ Οι μετα-ανοξικοί σχεδιασμοί μπορούν να λειτουργήσουν με ή χωρίς μια εξωγενή πηγή άνθρακα. Χωρίς μια εξωγενή πηγή άνθρακα η επεξεργασία εξαρτάται από την ενδογενή αναπνοή της ενεργοποιημένης λάσπης για να παράσχει δότες ηλεκτρονίων για την κατανάλωση των νιτρικών με τη βοήθεια του οξυγόνου
- ❑ Ο ρυθμός απόνιτροποίησης είναι πολύ χαμηλότερος, κατά ένα παράγοντα 3 με 8, σε σύγκριση με τις προ-ανοξικές εφαρμογές (χρήση BOD ως δέκτη ηλεκτρονίων)

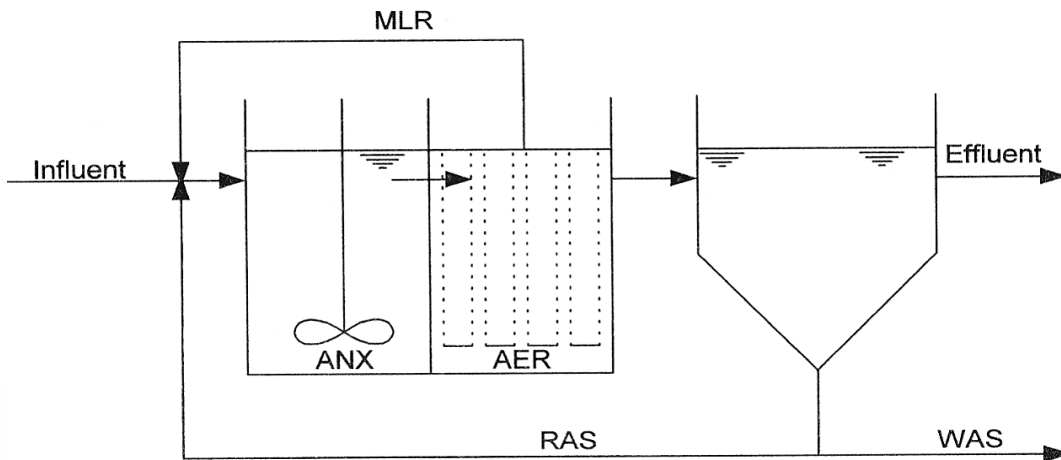
➤ Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης του Αζώτου

- ❑ Οι εφαρμογές της διεργασίας της ταυτόχρονης νιτροποίησης – απονιτροποίησης απαιτούν συνήθως έλεγχο του διαλυτοποιημένου οξυγόνου για να διασφαλισθεί η ταυτόχρονη νιτροποίηση – απονιτροποίηση στην ίδια δεξαμενή
- ❑ Η απονιτροποίηση συμβαίνει στις ανοξικές ζώνες ανάμεσα στα σωματίδια των συσσωματωμάτων εξαιτίας της εξάντλησης του οξυγόνου

➤ Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης Αζώτου

- Διεργασία Ludzak-Ettinger (προ-ανοξική)
- Διεργασία Bardenpho τεσσάρων σταδίων (προ-ανοξικές και μετα-ανοξικές διεργασίες απονιτροποίησης)
- Sequence Batch Reactor activated sludge (SBR)
(Αντιδραστήρας εναλλασσόμενων φάσεων διαλείποντος έργου)-
(μονοβάθμιος αντιδραστήρας – προ-ανοξική)

➤ Διεργασία Ludzak-Ettinger



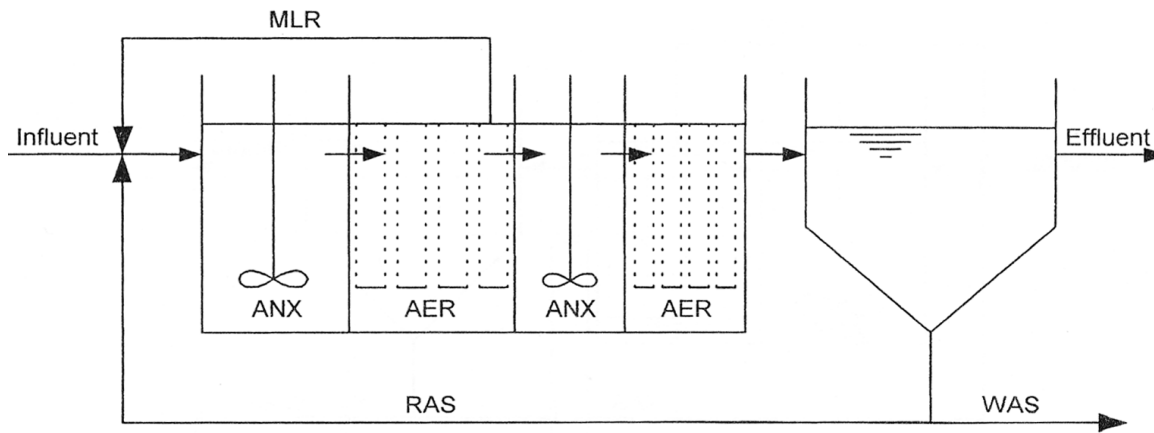
Η εισροή των υγρών αποβλήτων τροφοδοτείται στην ανοξική ζώνη, που ακολουθείται από την αερόβια ζώνη. Η διεργασία στηρίζεται στα νιτρικά που σχηματίσθηκαν στην αερόβια ζώνη και επιστρέφονται διαμέσου της RAS στην ανοξική ζώνη.

- ❑ **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 NO_3^- πίσω στην ανοξική ζώνη για απονιτροποίηση => η απονιτροποίηση περιορίζεται σημαντικά από το λόγο ανακυκλοφορίας της RAS .

➤ Διεργασία Ludzak-Ettinger

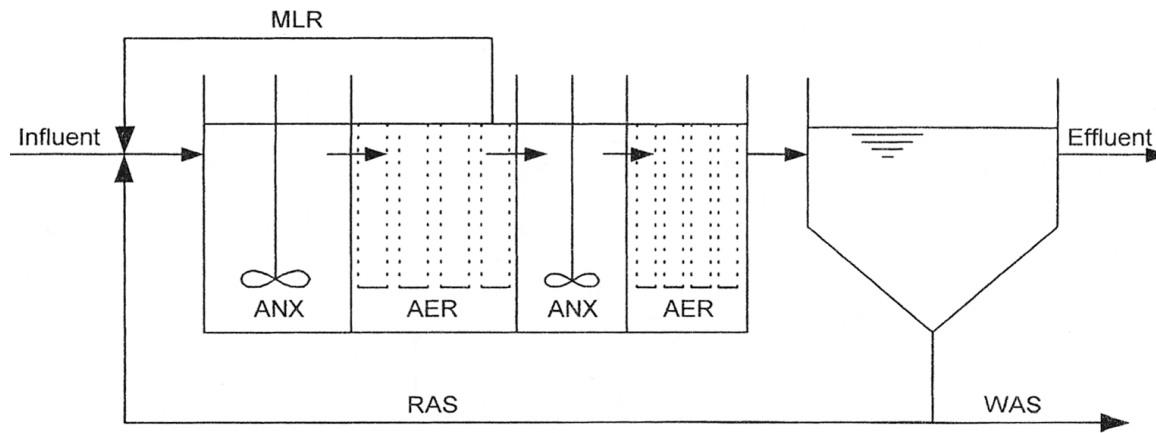
Η ανάγκη για επαναπροσθήκη της βιομάζας του αερόβιου τμήματος στην αρχή του συστήματος (ανοξική ζώνη) περιορίζει την νιτροποιητική του ικανότητα

➤ Διεργασία Bardenpho τεσσάρων σταδίων



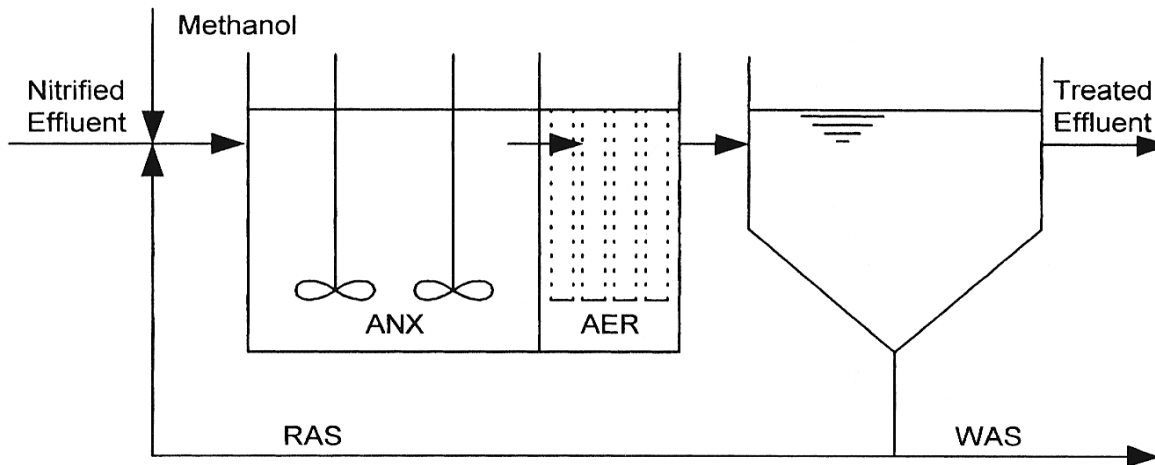
- ❑ Περιέχει μια **επιπλέον ανοξική και αερόβια ζώνη**
- ❑ Η **δεύτερη ανοξική ζώνη** χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των NO_3^- που παράγονται στην προηγούμενη αερόβια ζώνη και μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη απομάκρυνση των NO_3^- από τα απόβλητα
- ❑ Η **τελική αερόβια ζώνη** χρησιμοποιείται για απομάκρυνση του αέριου N από την απονιτροποίηση και οξυγόνωση της βιομάζας του συστήματος πριν την εισαγωγή στην δεξαμενή διαχωρισμού

➤ Διεργασία Bardenpho τεσσάρων σταδίων



- ❑ Ο χρόνος παραμονής του μετα-ανοξικού σταδίου είναι περίπου ίδιος ή μεγαλύτερος από αυτόν που χρησιμοποιείται στην προ-ανοξική ζώνη
- ❑ Στη μετα-ανοξική ζώνη, η συγκέντρωση του $\text{NO}_3\text{-N}$ που αφήνει τη ζώνη αερισμού συνήθως μειώνεται από περίπου 5-7 mg/L σε λιγότερο από 3 mg/L
- ❑ Ο Barnard (1974) παρατήρησε παράλληλη απομάκρυνση φωσφόρου και αυτή είναι και η βάση για το όνομα της διεργασίας (Bar-den-rho)

➤ Separate stage suspended growth denitrification process



- ❑ 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 (αποτελεσματικό υπόστρωμα για την απονιτροποίηση) που θα επιταχύνουν την διαδικασία απονιτροποίησης

Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης Φώσφορου

➤ Βιολογική Απομάκρυνση Φώσφορου

- ❑ Η απομάκρυνση του φωσφόρου γίνεται για τον έλεγχο του ευτροφισμού αφού ο φώσφορος είναι ένα περιοριστικό θρεπτικό συστατικό στα περισσότερα υδατικά συστήματα
- ❑ Τα όρια του φωσφόρου στην εκροή μιας εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων κύμαίνονται από 0.1 – 2.0 mg/L ανάλογα με τη θέση της μονάδας και τις πιθανές επιπτώσεις στον υδάτινο αποδέκτη

➤ Βιολογική Απομάκρυνση Φώσφορου

- ❑ Η πιο διαδεδομένη μέθοδος απομάκρυνσης φωσφόρου είναι η χημική με τη χρήση θειικού αργιλίου ή αλάτων σιδήρου
- ❑ Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου οι μειωμένες δαπάνες σε χημικά και η μικρότερη παραγωγή λάσπης συγκριτικά με τη χημική καθίζηση

➤ Βιολογική Απομάκρυνση Φώσφορου

- ❑ Ο φώσφορος αποτελεί βασικό συστατικό για τη σύνθεση του κυτταρικού ιστού των μικροοργανισμών σε Σ.Ε.Λ. και για τη μεταφορά ενέργειας στο κύτταρο μέσω της τριφωσφορικής αδενοσίνης και των πολυφωσφορικών
- ❑ Όταν παράγεται ενέργεια στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής η διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) μετατρέπεται σε ATP και ενέργεια δεσμεύεται στους φωσφορικούς δεσμούς
- ❑ Καθώς το κύτταρο καταναλώνει ενέργεια, το ATP μετατρέπεται σε ADP με απελευθέρωση φωσφόρου

➤ Βιολογική Απομάκρυνση Φώσφορου

- ❑ Για τα συνηθισμένα ετερότροφα βακτήρια στα Σ.Ε.Λ. η τυπική σύνθεση σε φώσφορο είναι 1.5-2.0%
- ❑ Ωστόσο πολλά βακτήρια μπορούν να αποθηκεύσουν φώσφορο στα κύτταρά τους με τη μορφή εμπλουτισμένων πολυφωσφορικών με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα σε φώσφορο να κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα (20-30% του ξηρού βάρους)
- ❑ Τα πολυφωσφορικά περιέχονται σε σωμάτια μέσα στα κύτταρα μαζί με κατιόντα μαγνησίου, ασβεστίου και καλίου

➤ Βιολογική Απομάκρυνση Φώσφορου

❑ Στη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου, ο φώσφορος στην εισροή είναι ενσωματωμένος στα κύτταρα της βιομάζας και στη συνέχεια απομακρύνεται μέσω της απόρριψης της ιλύος

❑ Οι οργανισμοί που συσσωρεύουν το φώσφορο (Phosphorus Accumulating Organisms, PAO) αυξάνονται και καταναλώνουν φώσφορο σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται διατάξεις αντιδραστήρων που παρέχουν στα PAO ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης έναντι άλλων βακτηρίων

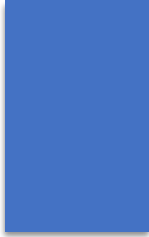
➤ Βιολογική Απομάκρυνση Φώσφορου

- ❑ *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 ανακάμπτουν τα νιτροποιητικά βακτήρια

➤ Βιολογική Απομάκρυνση Φώσφορου

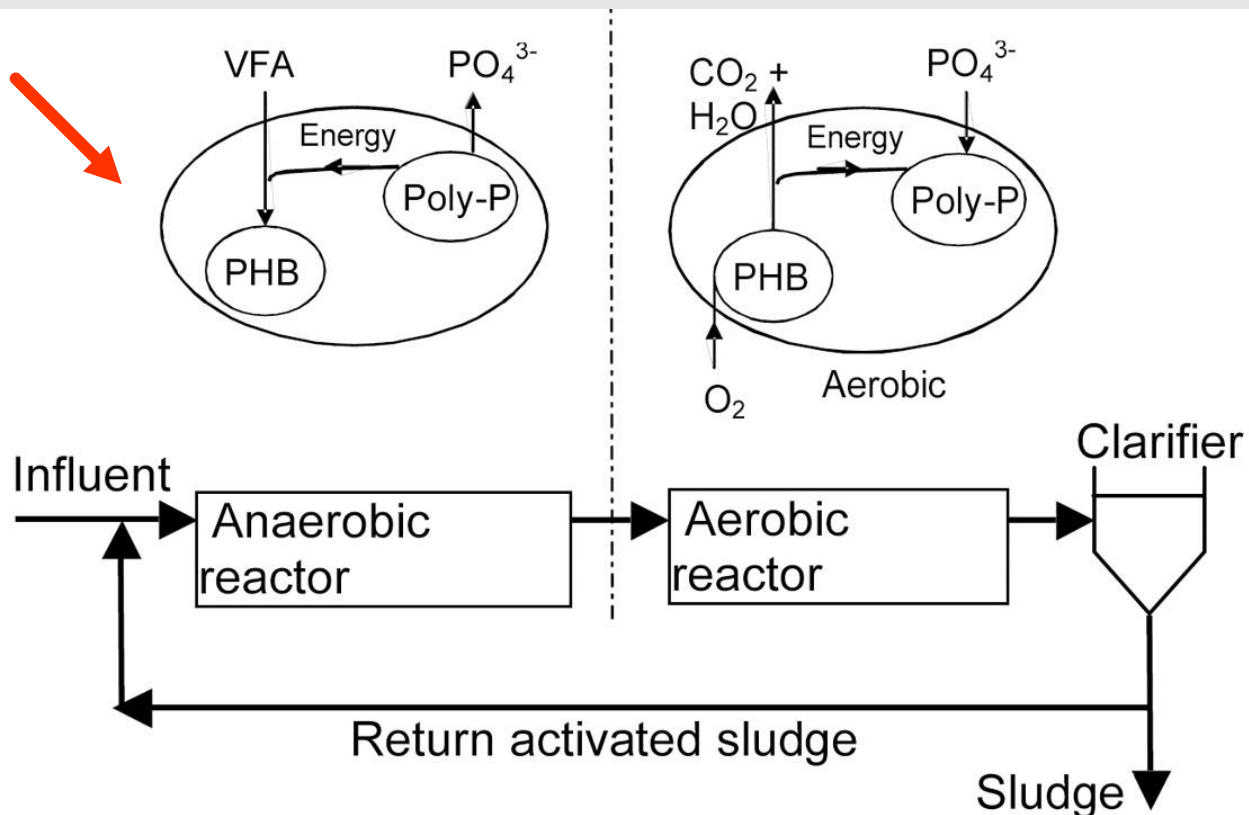
□ *Η απομάκρυνση του φωσφόρου στα βιολογικά συστήματα βασίζεται στις ακόλουθες παρατηρήσεις:*

- Πλήθος βακτηρίων είναι ικανά να αποθηκεύσουν μεγάλες ποσότητες φωσφόρου ως πολυφωσφορικά στα κύτταρα τους
- Σε αναερόβιες συνθήκες τα ΡΑΟ θα αφομοιώσουν τα προϊόντα της ζύμωσης (π.χ. πτητικά λιπαρά οξέα) σε προϊόντα αποθήκευσης μέσα στα κύτταρα με τη συνακόλουθη έκλυση φωσφόρου από τα αποθηκευμένα πολυφωσφορικά
- Σε αερόβιες συνθήκες, παράγεται ενέργεια από την οξειδωση των προϊόντων αποθήκευσης και η αποθήκευση των πολυφωσφορικών στα κύτταρα αυξάνεται



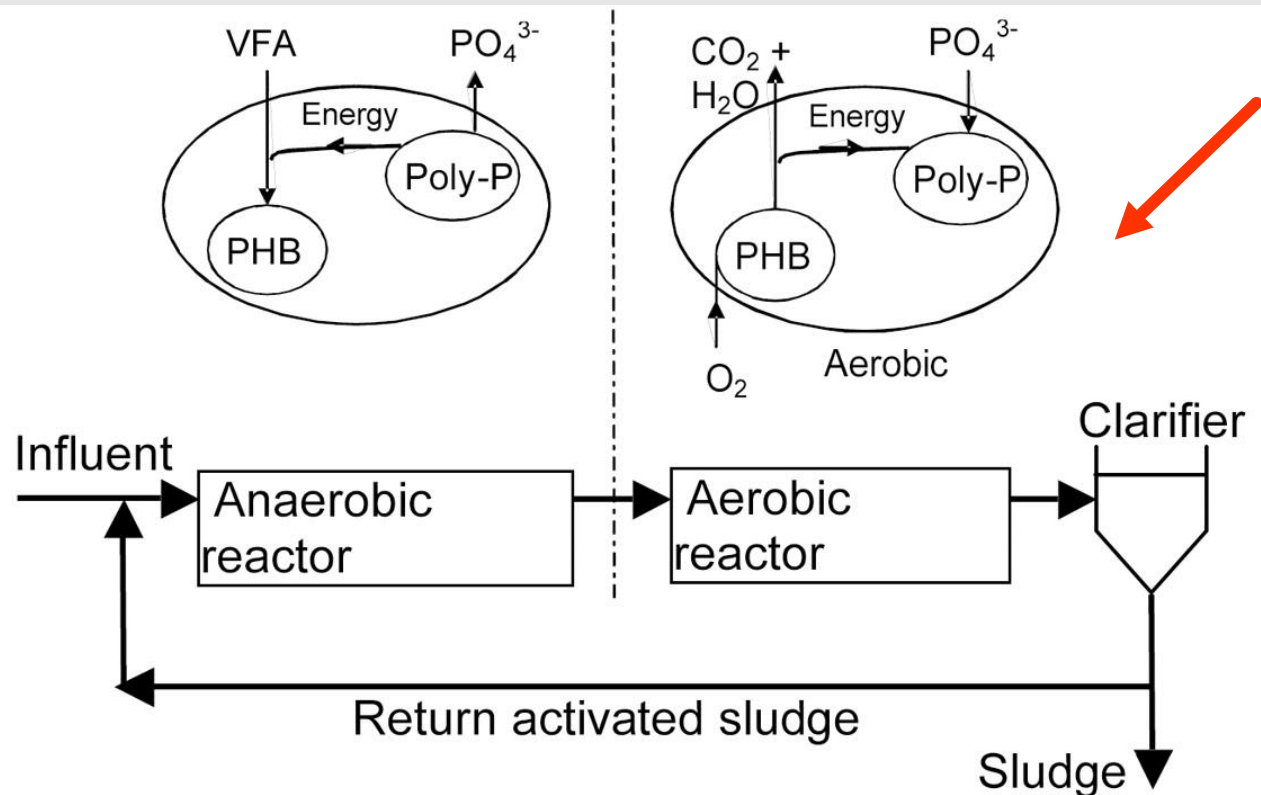
□ Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην Αναερόβια Ζώνη

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

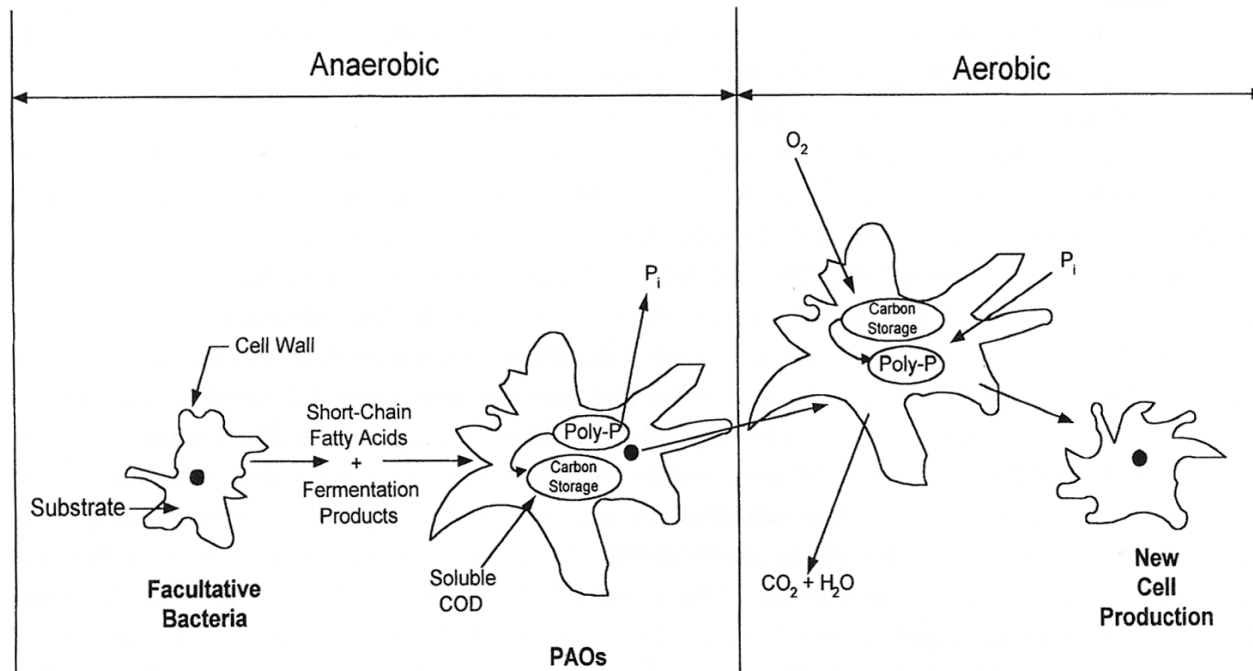
Τα αποθηκευμένο PHB μεταβολίζεται παρέχοντας τον άνθρακα και την ενέργεια από την οξείδωση για την αύξηση των κυττάρων. Κάποιο γλυκογόνο παράγεται όταν το PHB μεταβολίζεται. Η ενέργεια που εκλύεται από την οξείδωση του PHB χρησιμοποιείται για το σχηματισμό πολυφωσφορικών δεσμών στις κυτταρικές αποθήκες, 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.



➤ Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην Αναερόβια Ζώνη

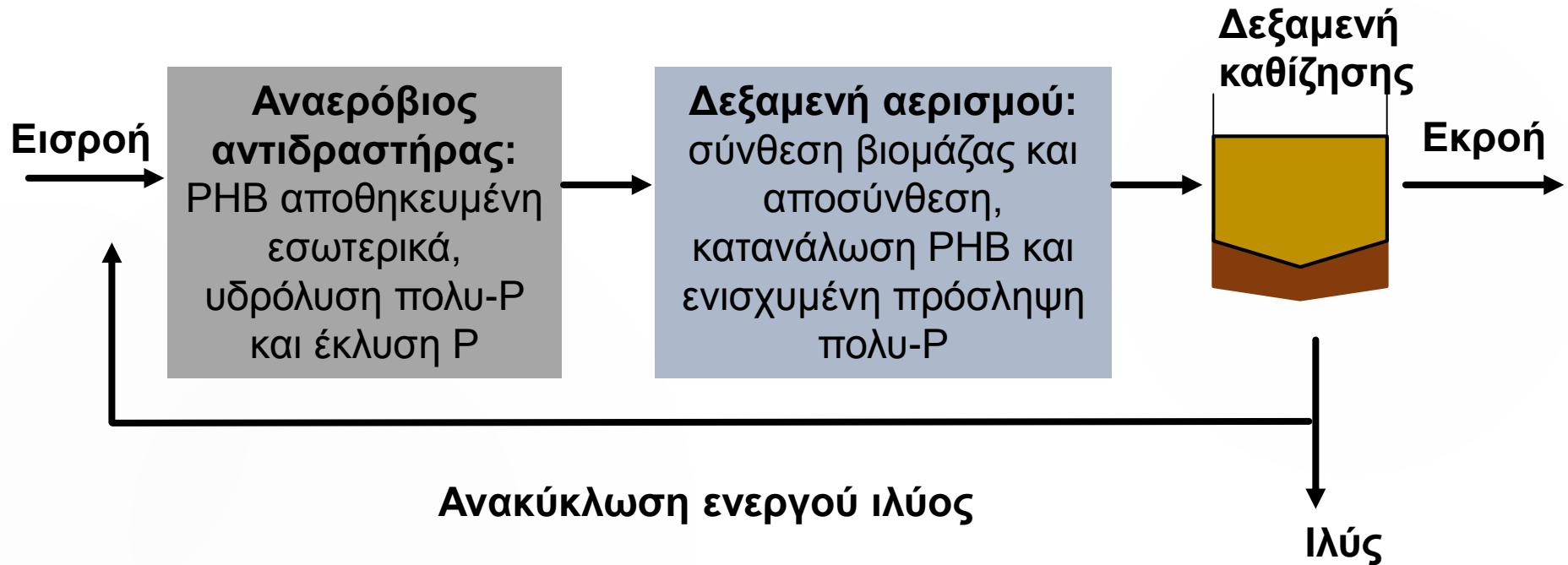
- ❑ Η αναερόβια ζώνη καλείται και «επιλογέας» επειδή παρέχει τις συνθήκες που ευνοούν τον πολλαπλασιασμό των ΡΑΟ, αφού ένα μέρος του εισερχόμενου ΒΟD καταναλώνεται από τα ΡΑΟ κι όχι άλλα ετερότροφα βακτήρια
- ❑ Επειδή τα ΡΑΟ προτιμούν υποστρώματα που είναι προϊόντα ζύμωσης με χαμηλό μοριακό βάρος, η προτιμώμενη πηγή τροφής δε θα ήταν διαθέσιμη χωρίς την αναερόβια ζώνη που παρέχει τη ζύμωση του εισερχόμενου ΒΟD σε οξικό οξύ
- ❑ Εξαιτίας της ικανότητας αποθήκευσης τα ΡΑΟ έχουν διαθέσιμη αρκετή ενέργεια για να αφομοιώσουν το οξικό οξύ στην αναερόβια ζώνη
- ❑ Άλλα ετερότροφα αερόβια βακτήρια δεν έχουν τέτοιο μηχανισμό και δεν βρίσκουν τροφή, ενώ τα ΡΑΟ αφομοιώνουν το COD στην αναερόβια ζώνη

➤ 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%)

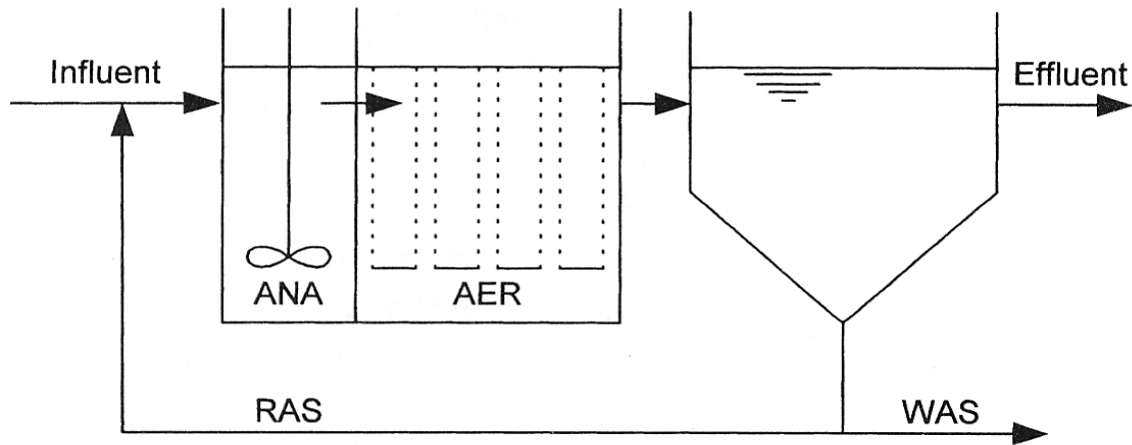
➤ Διεργασία απομάκρυνσης φωσφόρου



➤ Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης Φώσφορου

- ❑ A/O ή Phoredox διεργασία
- ❑ Phostrip διεργασία

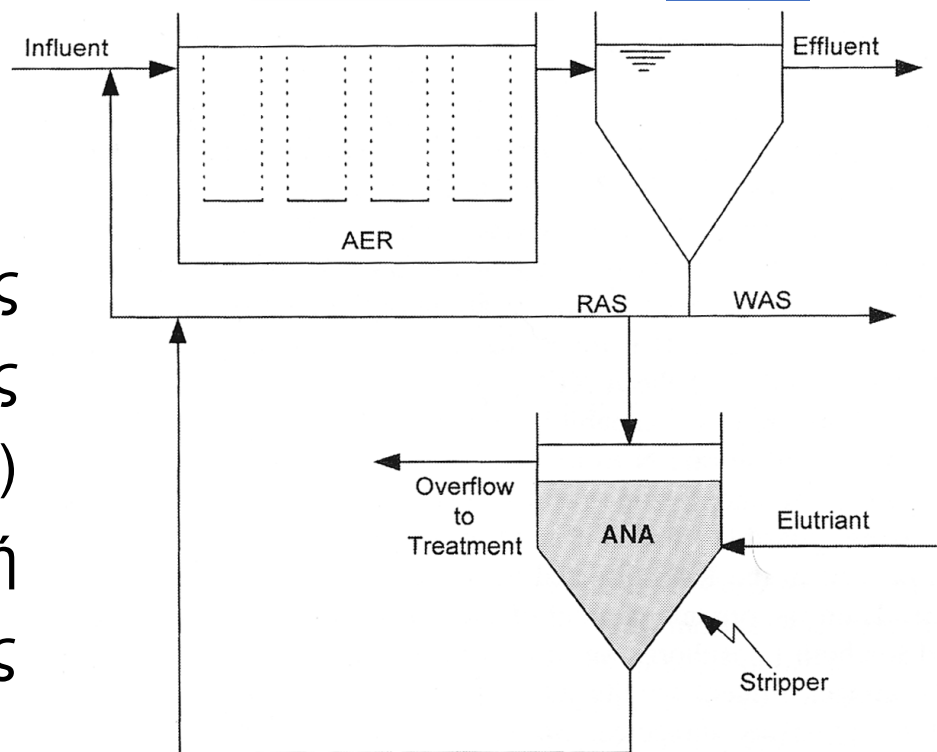
➤ A/O ή Phoredox διεργασία



- ❑ Σε αυτή τη διεργασία δεν υπάρχει νιτροποίηση και ο αναερόβιος χρόνος παραμονής είναι 30min -1h
- ❑ 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

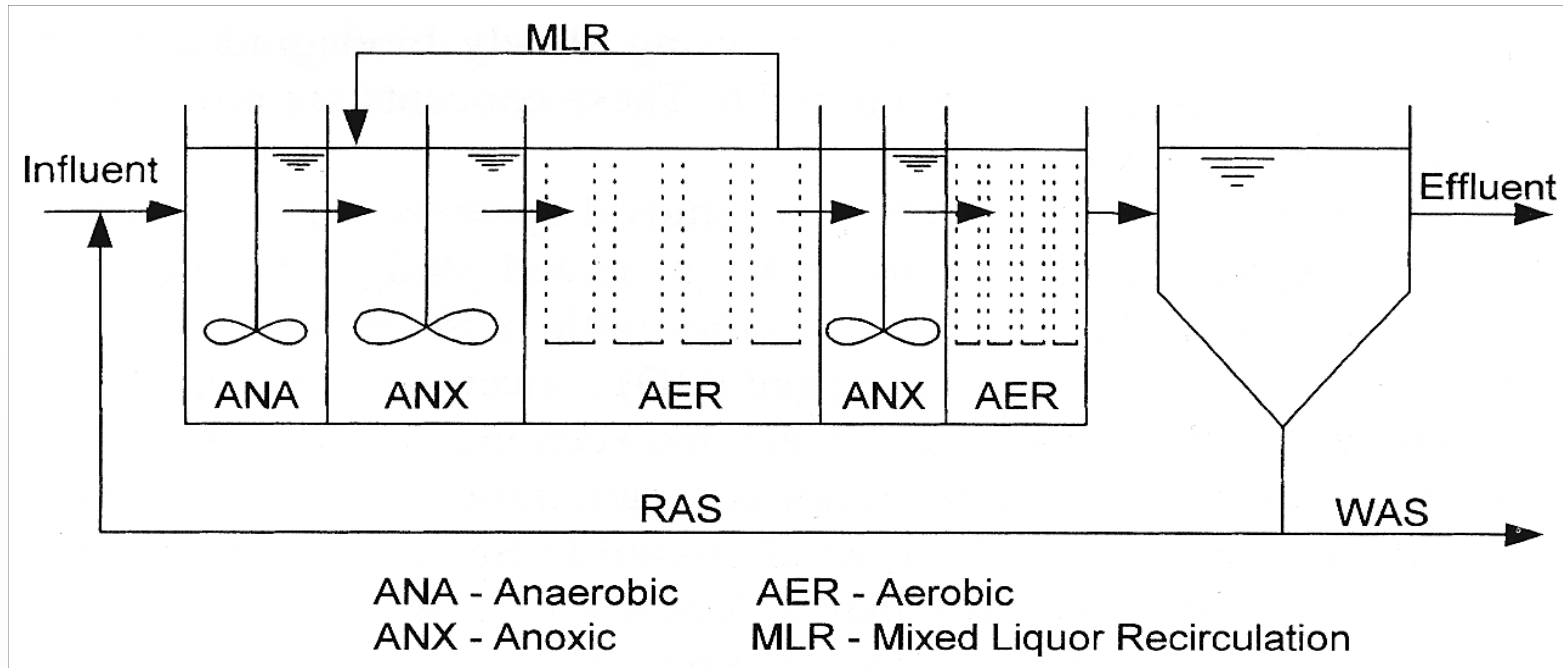
□ Σύστημα ενεργοποιημένης λάσπης όπου το 30-40% της ανακυκλούμενης λάσπης (RAS) μεταφέρεται σε διαχωριστική δεξαμενή με αναερόβιες συνθήκες



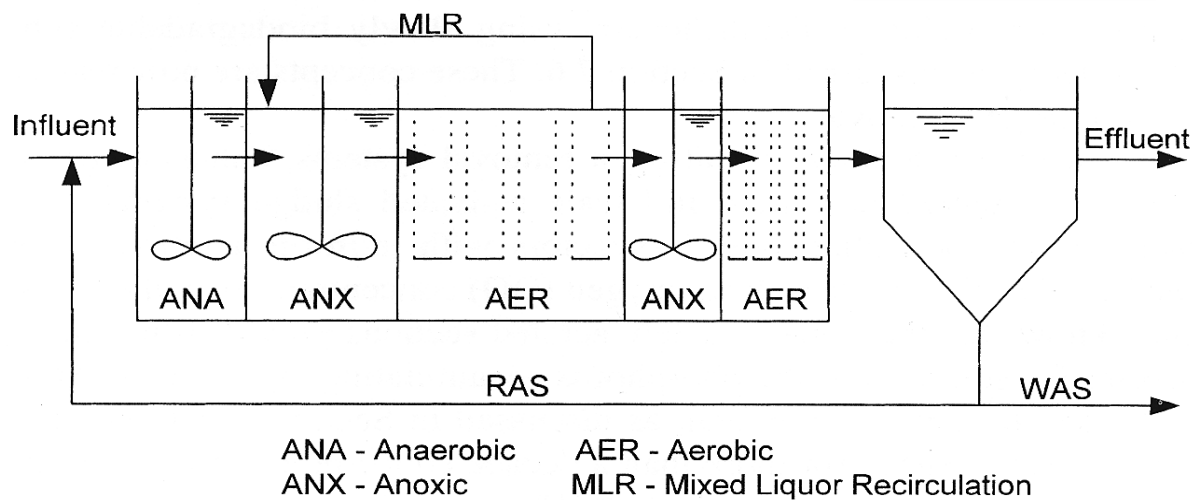
□ Στην αναερόβια δεξαμενή παρέχεται μικρή ποσότητα αποβλήτων (elutriant) για την παροχή των απαραίτητων οργανικών ενώσεων στην βιομάζα των ΡΑΟ ώστε να ελευθερωθεί ο φώσφορος

□ Το υπερκείμενο στην αναερόβια δεξαμενή συλλέγεται και με προσθήκη υδράσβεστου παραλαμβάνεται ο φώσφορος

➤ 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

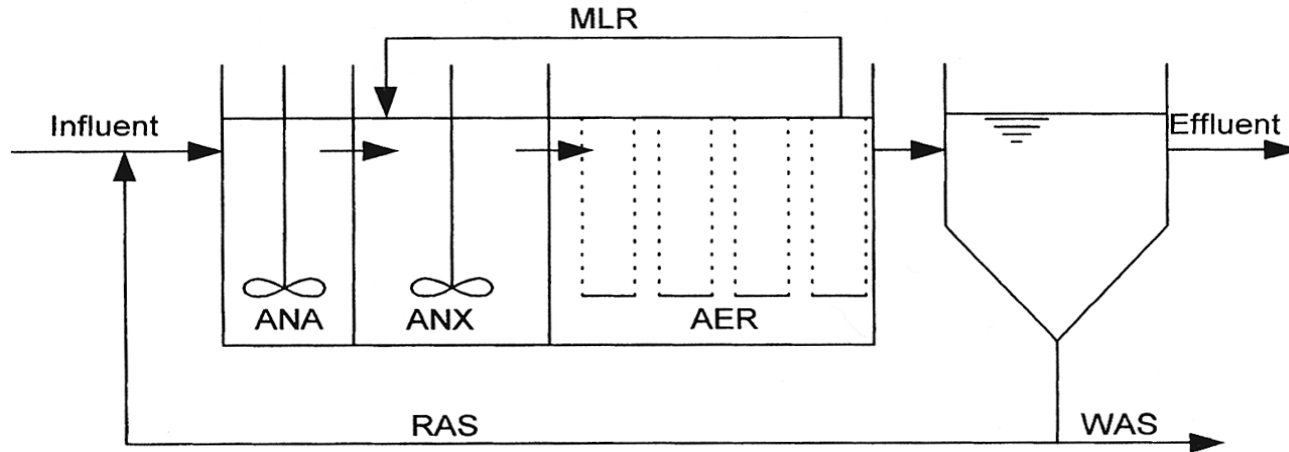
➤ Συνδυασμένα Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης N και P

- ❑ 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

➤ Συνδυασμένα Συστήματα Βιολογικής Απομάκρυνσης N και P

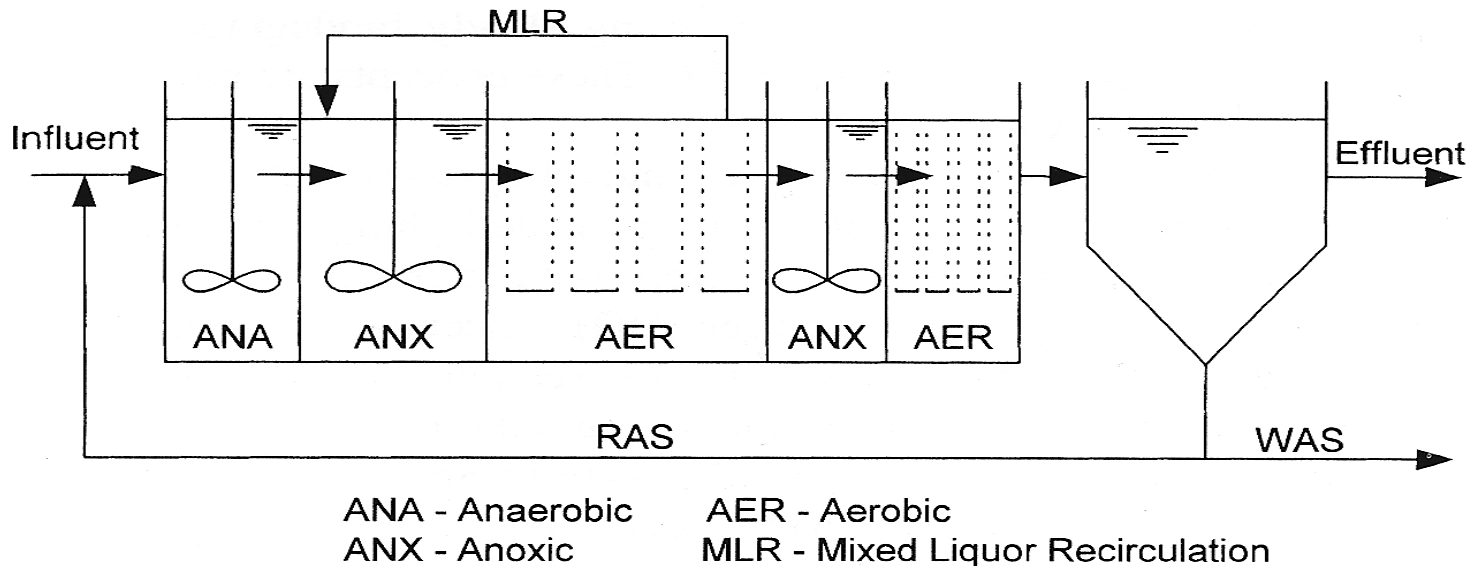
- ❑ Διεργασία A²/O (anaerobic/anoxic/oxic)
- ❑ Διεργασία Bardenpho πέντε σταδίων
- ❑ Διεργασία UCT
- ❑ Διεργασία VIP

➤ Διεργασία A²/O



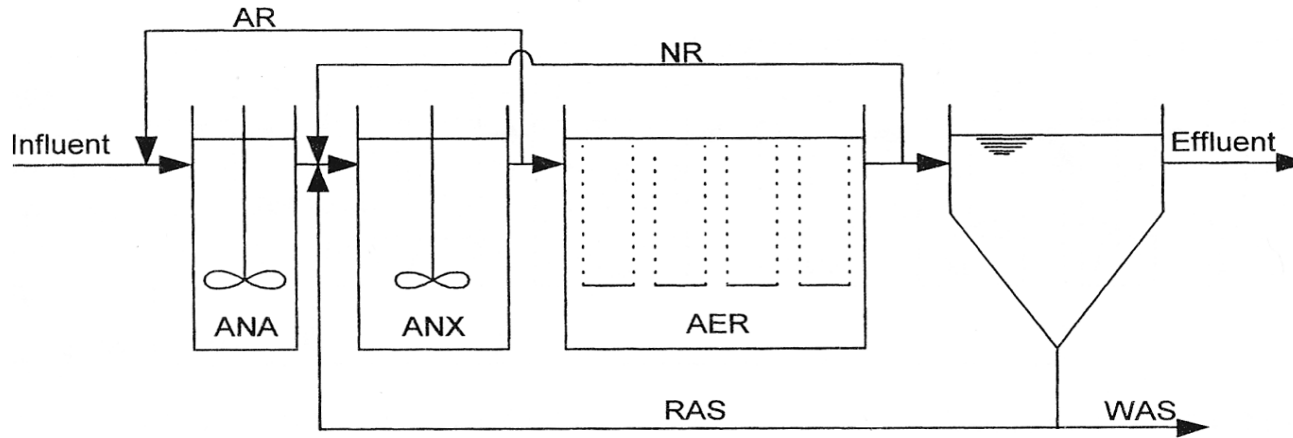
- ❑ Στην ουσία είναι το σύστημα A/O για την απομάκρυνση P στο οποίο έχει προστεθεί μια ενδιάμεση ανοξική ζώνη (χρόνος παραμονής 1h) για την απομάκρυνση των NO_3^- μέσω απονιτροποίησης
- ❑ Η βιομάζα (MLR) από την αερόβια ζώνη επαναπροστίθεται στην ανοξική ζώνη ενώ η ενεργοποιημένη λάσπη (RAS) επαναπροστίθεται στην αναερόβια ζώνη προκαλώντας κάποια μείωση στην ικανότητα του συστήματος να απομακρύνει φώσφορο

➤ Διεργασία Bardenpho πέντε σταδίων



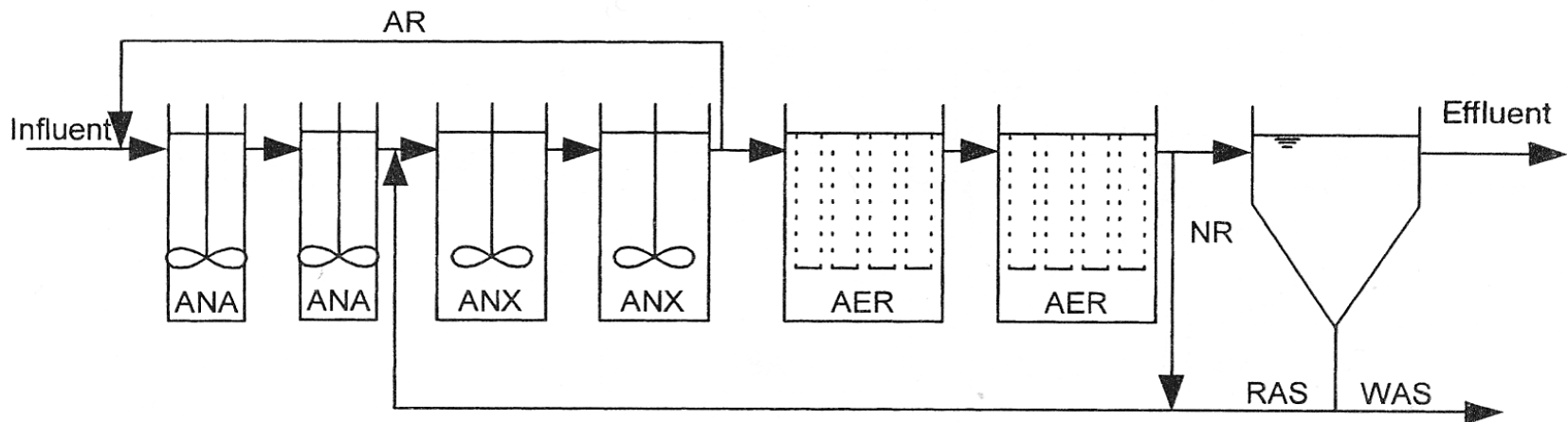
- ❑ Ουσιαστικά είναι το σύστημα Bardenpho για την απομάκρυνση N με την προσθήκη μιας αναερόβιας ζώνης στην αρχή του συστήματος για τον εμπλουτισμό της βιομάζας σε PAO
- ❑ Και σε αυτό το σύστημα η επαναπροσθήκη RAS στην αναερόβια ζώνη περιορίζει σε κάποιο βαθμό την αποτελεσματικότητα του συστήματος στην 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 PAO
- ❑ Επίσης νιτροποιημένη βιομάζα (NR) από το αερόβιο τμήμα προστίθεται στην ανοξική δεξαμενή για αυξημένη απομάκρυνση 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 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

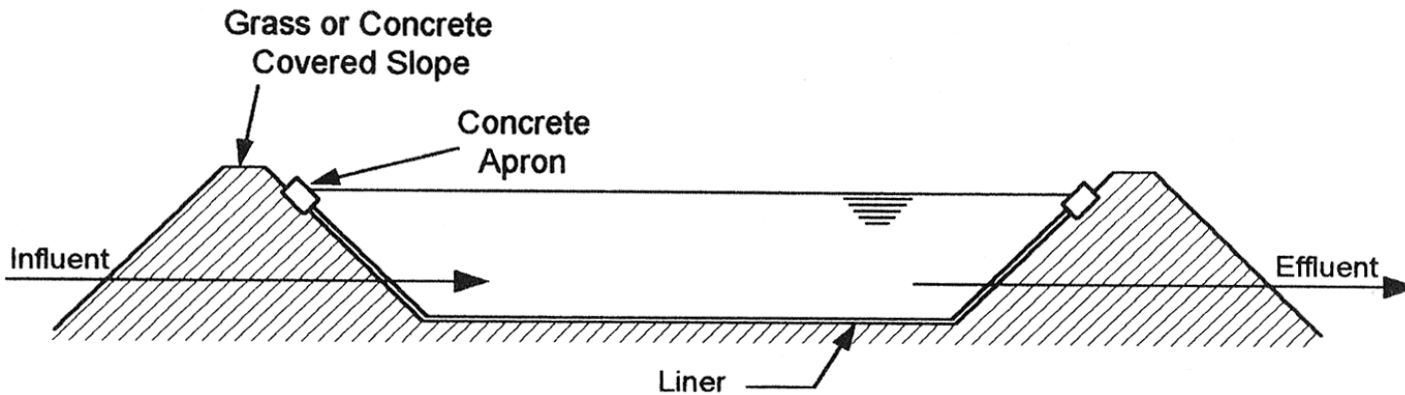


➤ Λίμνες (Lagoons)

- ❑ Από τις πιο παραδοσιακές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται και σήμερα σε περιοχές όπου υπάρχει διαθέσιμη γη και αρκετή ηλιοφάνεια
- ❑ Αποτελούνται συνήθως από σχετικά μικρού βάθους λεκάνες με επίπεδο πυθμένα και κατασκευάζονται από χωμάτινο ανάχωμα σε μορφή κυκλική, τετραγωνική ή συνήθως ορθογωνική



➤ 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

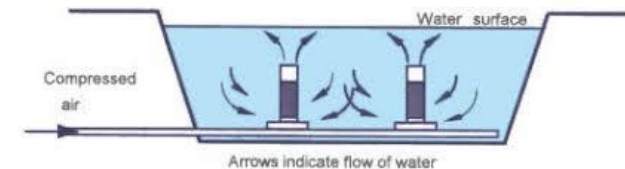
➤ Λίμνες (Lagoons)

- ❑ Λειτουργούν κάτω από φυσικές ή τεχνητές συνθήκες αερισμού ή αναερόβια

- ❑ Οι τεχνητές λίμνες μπορεί να είναι:
 - **Αερόβιες**
 - **Αναερόβιες**
 - **Ταυτόχρονα αερόβιες - αναερόβιες**

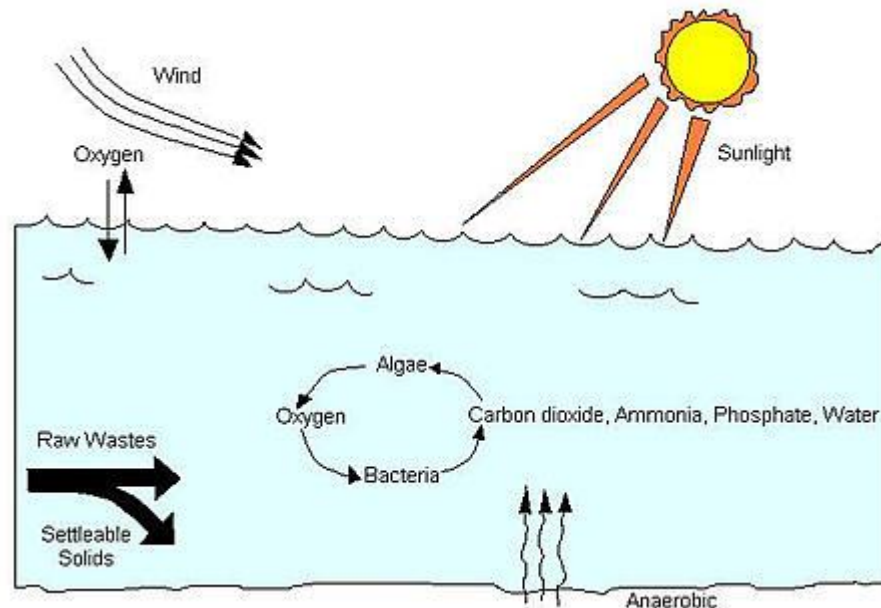
➤ Λίμνες (Lagoons)

- ❑ Ο φυσικός αερισμός στηρίζεται στη διάλυση και διάχυση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου από την ανεπτυγμένη επιφάνεια και στην παραγωγή οξυγόνου με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης από τα άλγη, μέχρι το βάθος που φτάνει το ηλιακό φως
- ❑ Ο τεχνητός αερισμός με συστήματα διάχυσης αέρα και συνηθέστερα με επιφανειακούς αεριστήρες
- ❑ Οι μηχανικοί αεριστήρες χρησιμοποιούνται για να παράσχουν οξυγόνο για τη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και για να κρατήσουν τα βιολογικά στερεά σε αιώρηση



➤ Λίμνες (Lagoons)

- ❑ Οι δεξαμενές με μεγαλύτερο βάθος, εφόσον δεν αερίζονται μηχανικά, παρουσιάζουν είτε μικτή βιολογική δράση (αερόβια κοντά στην επιφάνεια, αναερόβια στον πυθμένα και επαμφοτερίζουσα στη μέση) είτε κυρίως λόγω της φύσης και του υψηλού οργανικού φορτίου, λειτουργούν πρακτικά ως αναερόβιοι αντιδραστήρες



➤ Λίμνες

❑ Πλεονεκτήματα

- Χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος
- Απλή λειτουργία και παρακολούθηση

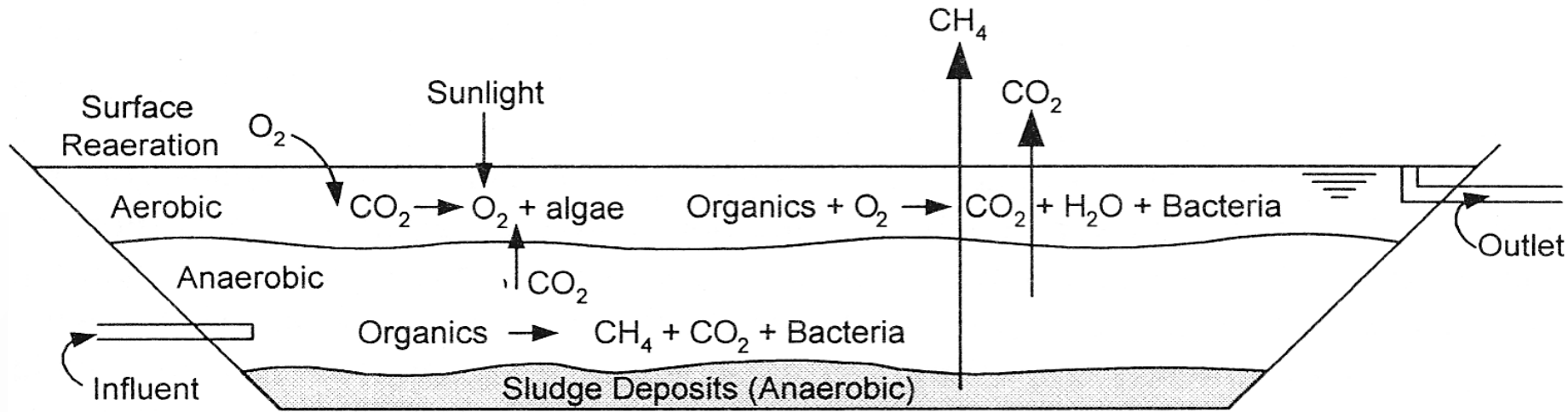
❑ Μειονεκτήματα

- Απαιτούν μεγάλη εδαφική έκταση
- Πιθανά προβλήματα δυσσομιών
- 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 (αερόβια βακτήρια και άλγη σε συμβίωση):

- 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

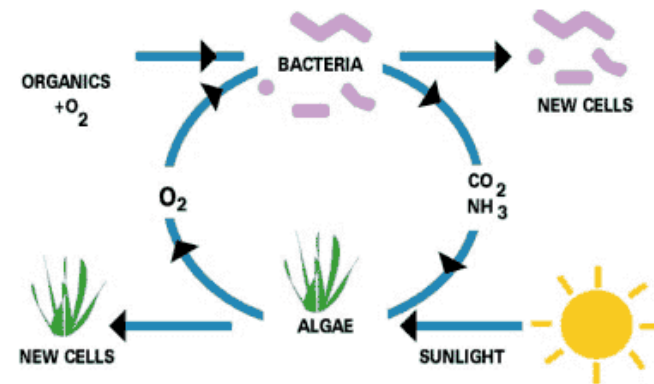
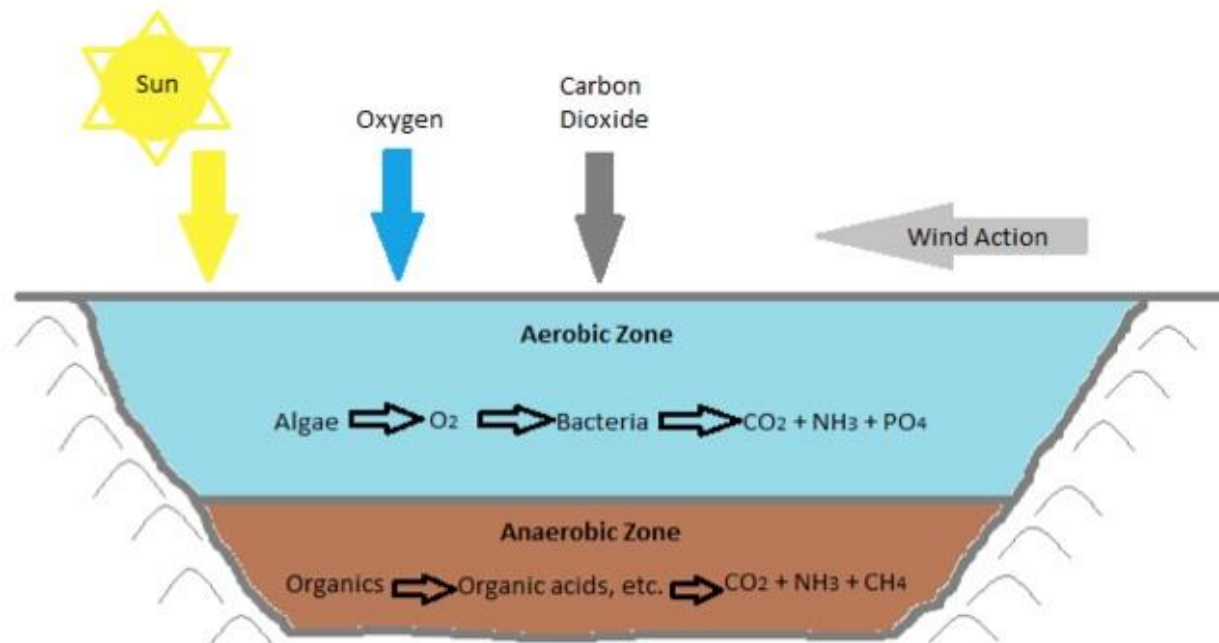


Figure 18: Symbiotic relationship between bacteria and algae in a wastewater

➤ Ταυτόχρονα Αερόβιες – Αναερόβιες Λίμνες

- ❑ Στον πυθμένα επικρατούν αναερόβιες συνθήκες και οι μικροοργανισμοί (αναερόβια βακτήρια) που αναπτύσσονται διασπούν την οργανική ύλη με παραγωγή μεθανίου



➤ Ταυτόχρονα Αερόβιες – Αναερόβιες Λίμνες

Βάθος (m)	1-3
Χρόνος Παραμονής (ημέρες)	7-50
BOD ₅ 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

- ❑ Στις δεξαμενές αυτές επικρατούν αερόβιες συνθήκες σε ολόκληρό το βάθος τους και αναπτύσσονται βακτήρια και άλγη σε αιώρηση
- ❑ Σήμερα έχουν αναπτυχθεί δύο τύποι αερόβιων δεξαμενών:
 - Στον ένα τύπο το βάθος της δεξαμενής είναι μικρό (0.15-0.45m) και επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της παραγωγής αλγών (υψηλής ισχύος αερόβιες λίμνες)
 - Στο δεύτερο τύπο επιδιώκεται η μεγιστοποίηση παραγωγής οξυγόνου και το βάθος φτάνει μέχρι το 1.5 m
- ❑ Για να επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα θα πρέπει να αναδεύονται περιοδικά χρησιμοποιώντας αντλίες ή επιφανειακούς αεριστήρες

➤ Αερόβιες Λίμνες

- ❑ Βασική αρχή στο δεύτερο τύπο 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_2 και H_2O
- ❑ Η αποτελεσματικότητα του συστήματος μπορεί να αυξηθεί με την χρήση πολλών αερόβιων λιμνών σε σειρά
- ❑ Η απόδοση σε ελάττωση BOD_5 φτάνει μέχρι και 95%

➤ 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

➤ Κατηγορίες Λιμνών στην Επεξεργασία Αποβλήτων

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



➤ Αναερόβιες Λίμνες

- ❑ Συστήματα αναερόβιας χώνευσης χαμηλού ρυθμού
- ❑ Χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο και υψηλή συγκέντρωση στερεών
 - Ιδανικές για την επεξεργασία αποβλήτων με υψηλές τιμές BOD (>300mg/L)
- ❑ Συνήθως η αναερόβια δεξαμενή είναι μια βαθιά φυσική λεκάνη με κατάλληλες σωληνώσεις στην είσοδο και την έξοδο
- ❑ Αναερόβιες συνθήκες επιτυγχάνονται λόγω του βάθους τους (1-9 m) αλλά και των υψηλών τιμών BOD των αποβλήτων που διοχετεύονται σε αυτές τις λίμνες

➤ Αναερόβιες Λίμνες

- ❑ Γενικώς οι διαδικασίες επεξεργασίας που λαμβάνουν χώρα είναι αναερόβιες με εξαίρεση ένα πολύ μικρό στρώμα στην επιφάνεια της δεξαμενής
- ❑ Η σταθεροποίηση των αποβλήτων γίνεται με συνδυασμό καθίζησης και αναερόβιας μετατροπής των οργανικών ουσιών σε CO_2 , CH_4 , καθώς και άλλα αέρια, οργανικά οξέα και κυτταρικό ιστό
- ❑ Ο χρόνος παραμονής στις αναερόβιες λίμνες είναι 20-50 ημέρες και η μείωση του BOD μπορεί να φθάσει και το 80%
- ❑ Χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία αποβλήτων πριν την διοχέτευση τους σε αερόβιες-αναερόβιες λίμνες

➤ Διαχωρισμός στερεών

- ❑ Ο διαχωρισμός των στερεών από τις λίμνες αιωρούμενης βιομάζας επιτυγχάνεται συχνά σε μια μεγάλη ρηχή χωμάτινη δεξαμενή καθίζησης σχεδιασμένη γι' αυτό το σκοπό ή σε μια συμβατική εγκατάσταση καθίζησης
- ❑ Στην περίπτωση των χωμάτινων δεξαμενών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες απαιτήσεις:
 - Επαρκής χρόνος παραμονής για την επίτευξη του επιθυμητού βαθμού απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών
 - Ελαχιστοποίηση ανάπτυξης αλγών
 - Έλεγχος οσμών που μπορούν να αναπτυχθούν ως αποτέλεσμα της αναερόβιας αποσύνθεσης της συσσωρευμένης λάσπης.
 - Ελάχιστος χρόνος παραμονής (συνήθως 1 ημέρα)

➤ 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