

Βιολογική επεξεργασία με συστήματα ενεργού ιλύος

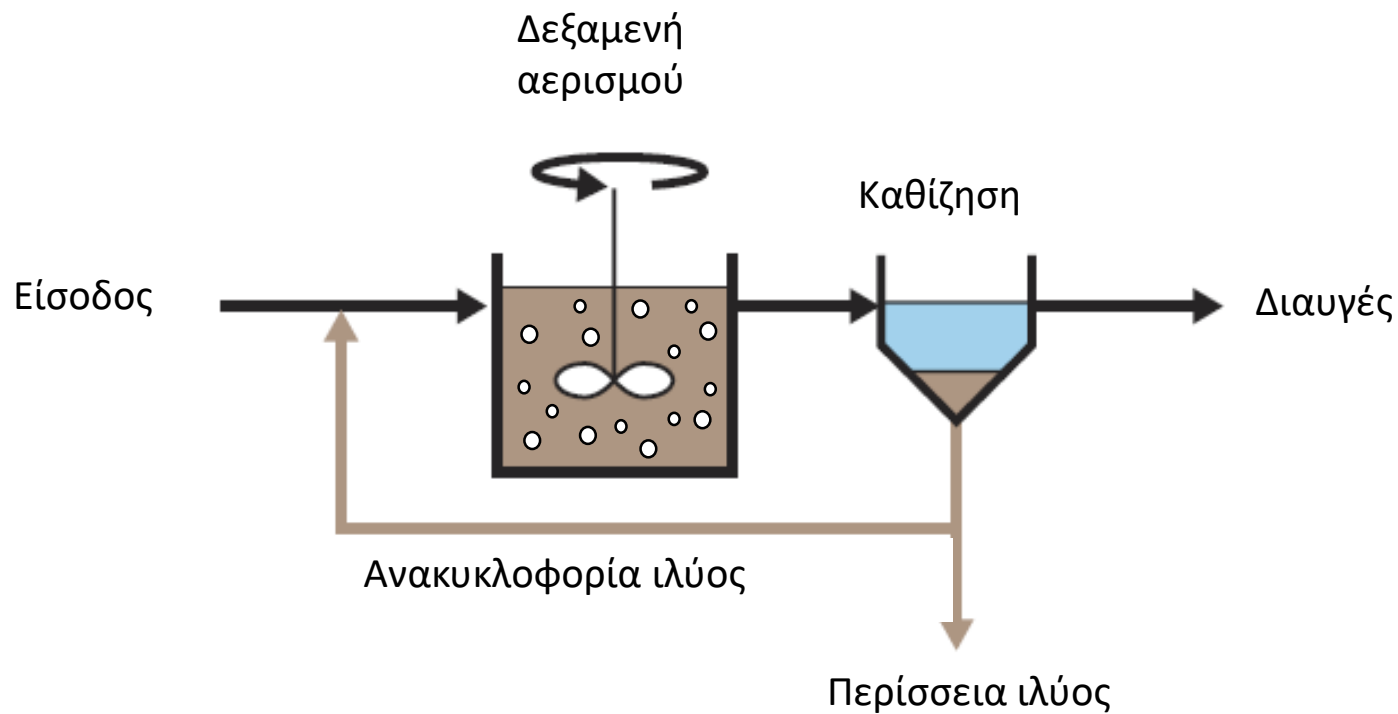
Οξείδωση των οργανικών ουσιών και των αμμωνιακών (NH_4^+) που βρίσκονται σε αιώρηση ή διαλυμένα στα λύματα, από μικροοργανισμούς, παρουσία οξυγόνου, με κύρια προϊόντα διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), νιτρικά (NO_3^-) και βιομάζα. Τα κύρια χαρακτηριστικά των διαφόρων παραλλαγών της διεργασίας είναι:

- Αιώρηση των μικροοργανισμών που αποδομούν τις οργανικές ενώσεις στην δεξαμενή αντίδρασης
- Παροχή αέρα
- Διαχωρισμός των καθιζήσιμων προϊόντων σε συνθήκες σχετικής ηρεμίας
- Ανακυκλοφορία μέρους της καθιζάνουσας ιλύος
- Απόρριψη της περίσσειας ιλύος

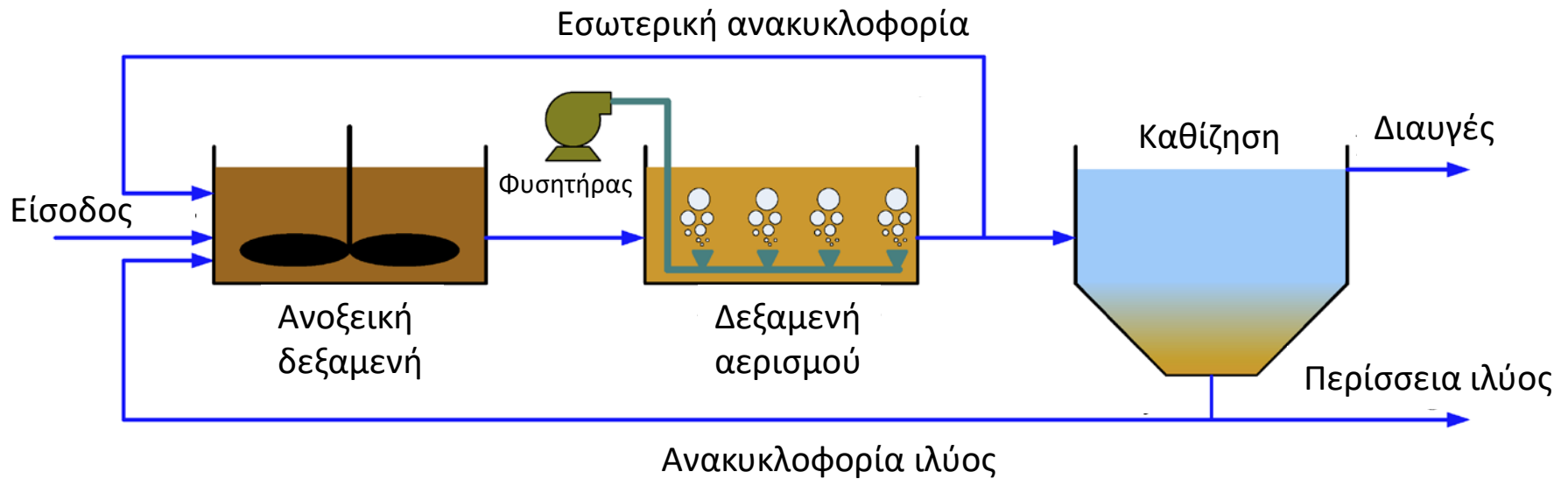
Τα συστήματα ενεργού ιλύος διακρίνονται κατά βάση σε:

- Πλήρους μείξης (complete mix)
- Εμβολικής ροής (plug flow)
- Αλληλοδιαδοχικού διαλείποντος έργου (sequencing batch reactor: SBR)

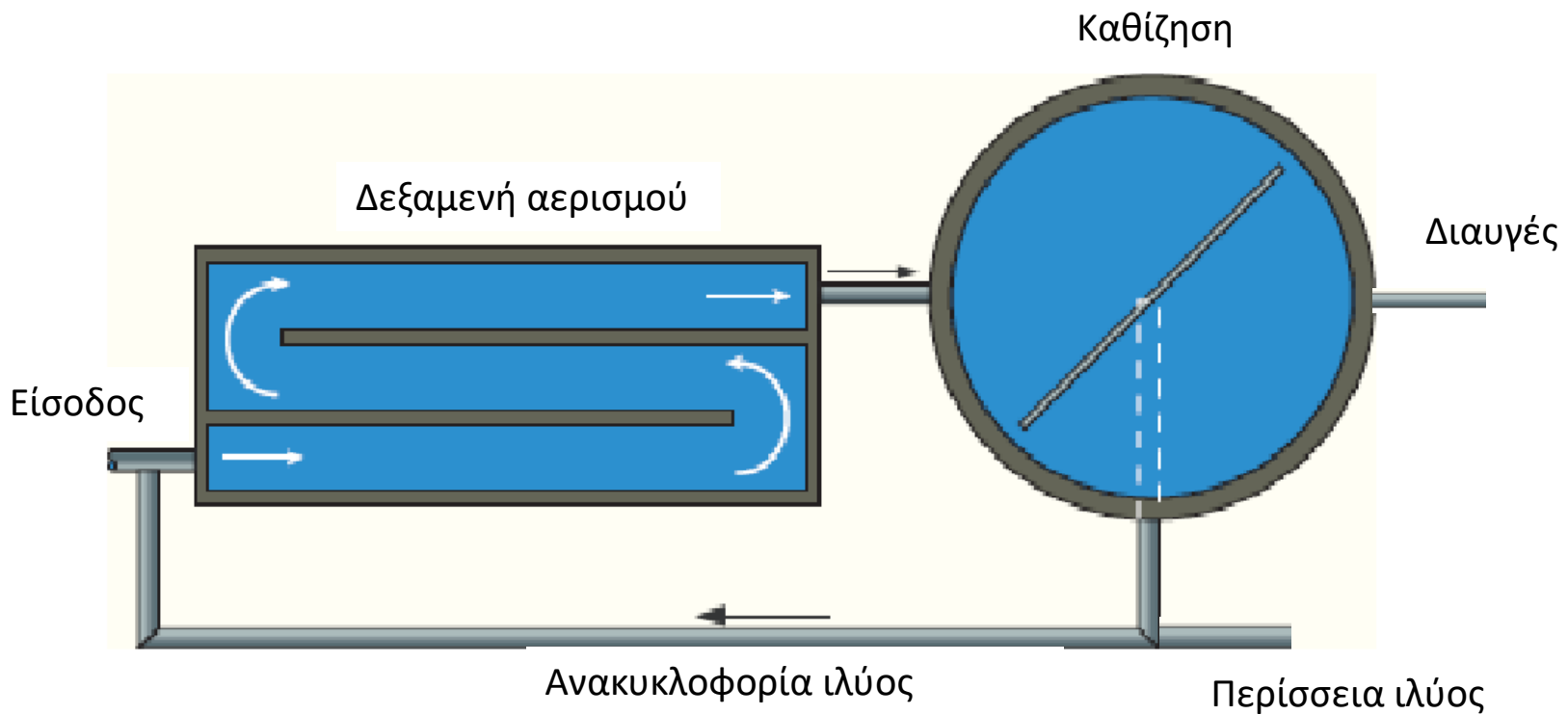
Δευτεροβάθμια επεξεργασία χωρίς απονιτροποίηση



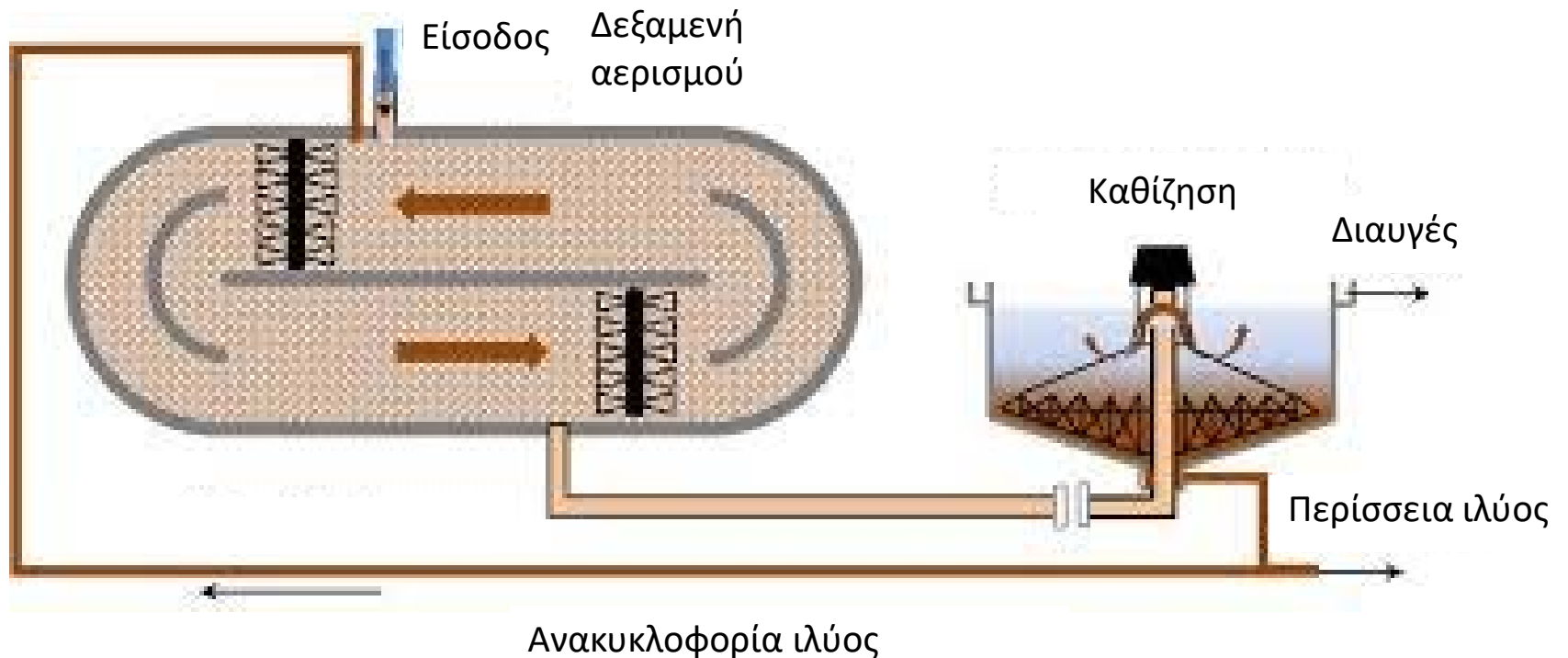
Δευτεροβάθμια επεξεργασία με απονιτροποίηση



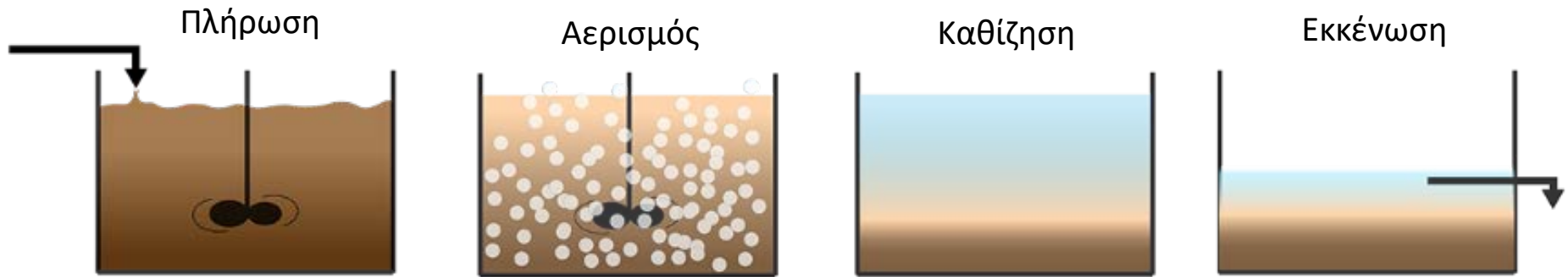
Δευτεροβάθμια επεξεργασία σε αντιδραστήρα εμβολικής ροής



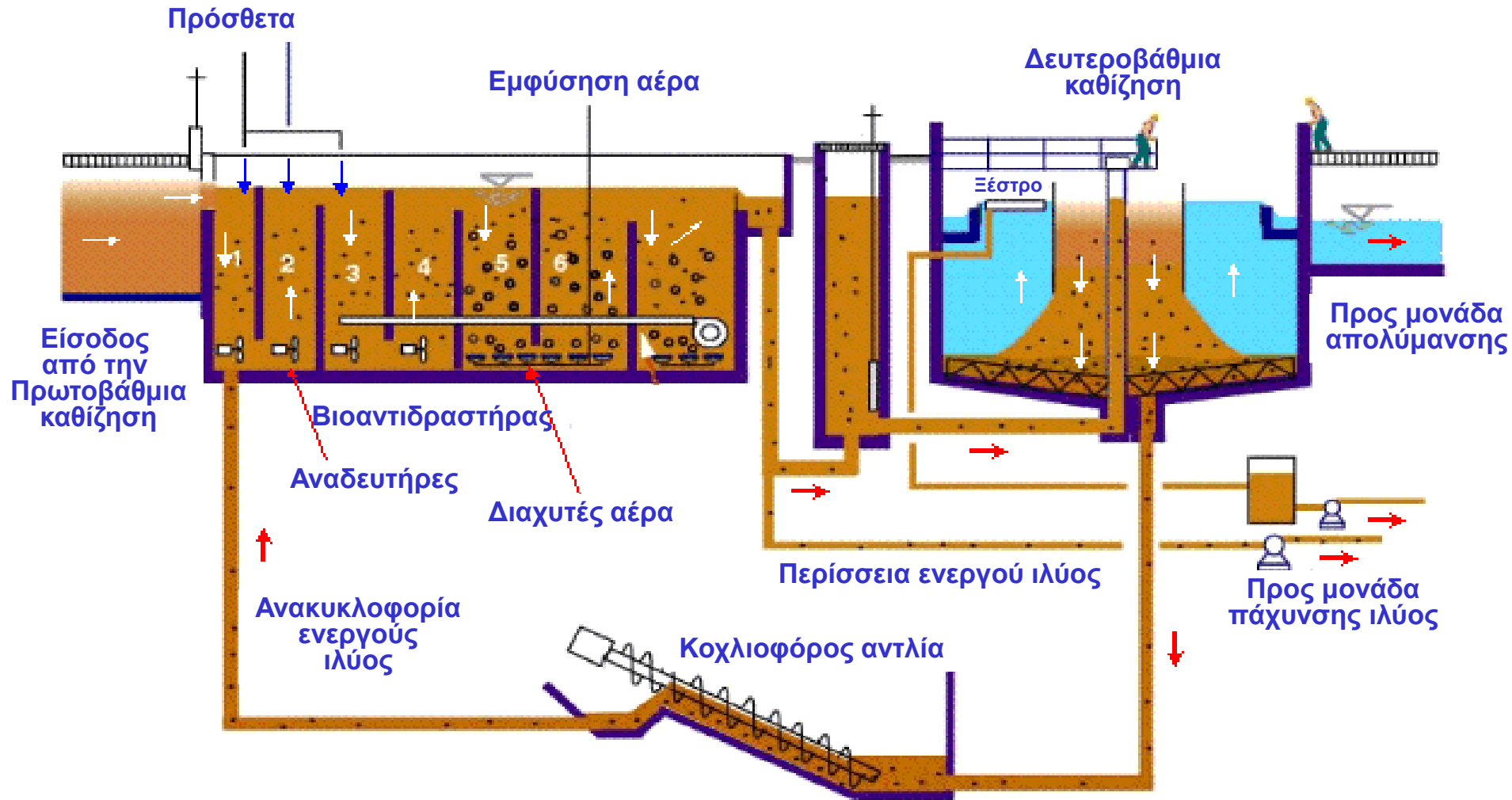
Δευτεροβάθμια επεξεργασία σε σύστημα οξειδωτικής τάφρου



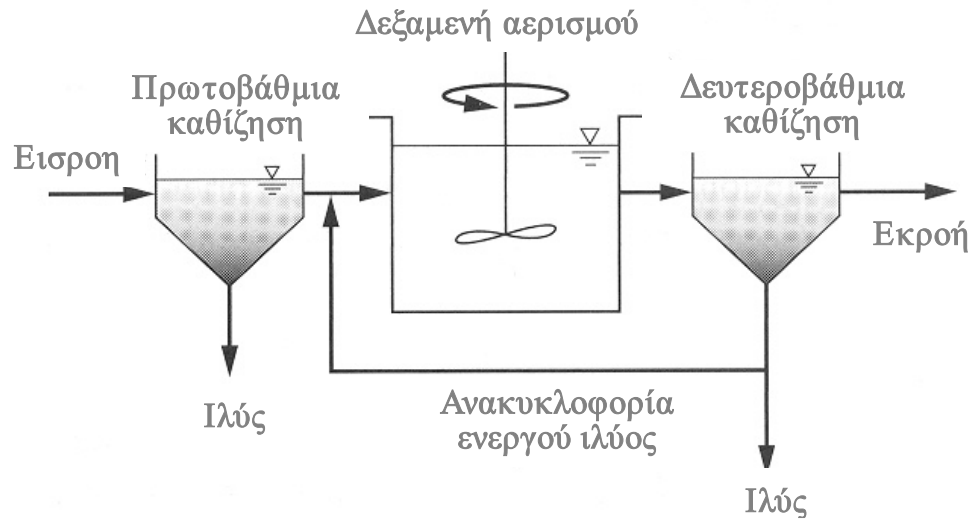
Δευτεροβάθμια επεξεργασία με σύστημα SBR



Σύστημα βιοαντιδραστήρα - Δευτεροβάθμιας καθίζησης



Σύστημα πλήρους μείξης



Το υπερκείμενο της πρωτοβάθμιας καθίζησης και η ανακυκλοφορούσα ιλύς μπορούν να τροφοδοτηθούν σε διάφορα σημεία της δεξαμενής αερισμού. Η συγκέντρωση θρεπτικών, αιωρούμενων στερεών και οξυγόνου είναι σταθερή σε κάθε σημείο της δεξαμενής. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται σε δευτεροβάθμια καθίζηση.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υπάρχει μεγάλη εμπειρία κατασκευής & λειτουργίας
- Κατάλληλο για πολλούς τύπους αστικών λυμάτων
- Μεγάλη ανοχή σε αιφνίδιες διαταραχές και σε τοξικές φορτίσεις
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε τύπος αεριστήρα
- Δεν απαιτούνται τοπικές ρυθμίσεις παροχής οξυγόνου

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

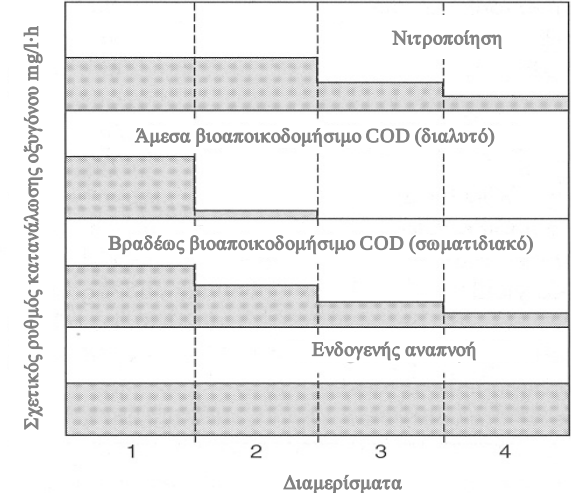
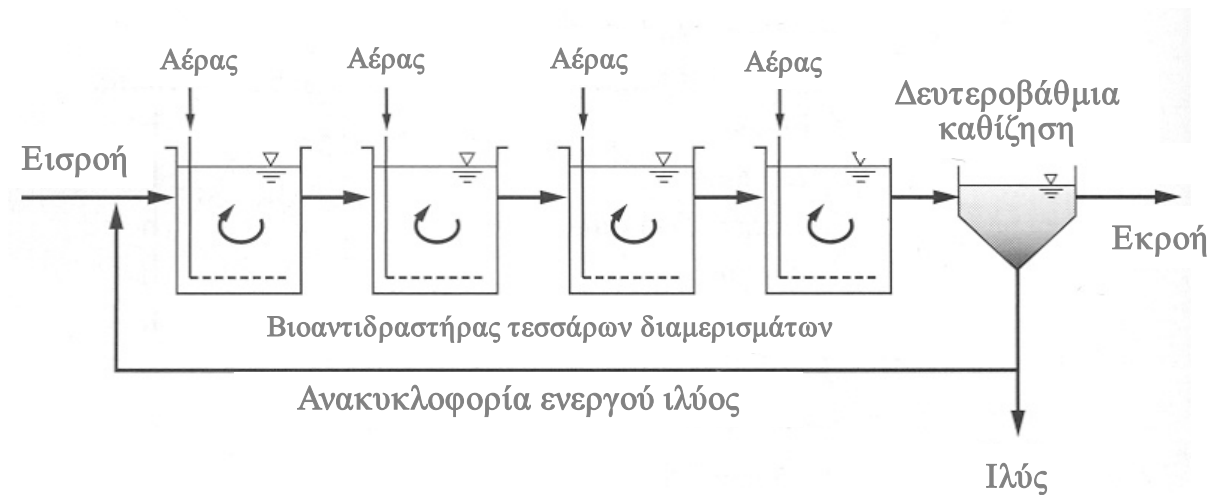
- Επιρρεπής στην ανάπτυξη νηματοειδών μικροοργανισμών, που ευθύνονται για το φαινόμενο διόγκωσης της ιλύος

Σύστημα πλήρους μείξης



Πράγα, Τσεχία

Διαμερισματοποιημένο σύστημα αερισμού



Το σύστημα αποτελείται από περισσότερους του ενός βιοαντιδραστήρες ενεργού ιλύος διατεταγμένους εν σειρά. Το υπερκείμενο της πρωτοβάθμιας καθίζησης και η ανακυκλοφορούσα ιλύς τροφοδοτούνται κατά κανόνα στην είσοδο της πρώτης δεξαμενής, ενώ η παροχή αέρα ελέγχεται σε κάθε διαμέρισμα. Η κατανάλωση οξυγόνου για σύστημα τεσσάρων διαμερισμάτων έχει λόγο κατά προσέγγιση 4:3:2:1. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται σε δευτεροβάθμια καθίζηση.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Παρέχει υψηλό δείκτη ευελιξίας λειτουργίας
Κατάλληλο για πολλούς τύπους αστικών λυμάτων
Μεγάλη ανοχή σε αιφνίδιες διαταραχές και σε τοξικές φορτίσεις
Δυνατότητα νιτροποίησης-απονιτροποίησης

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

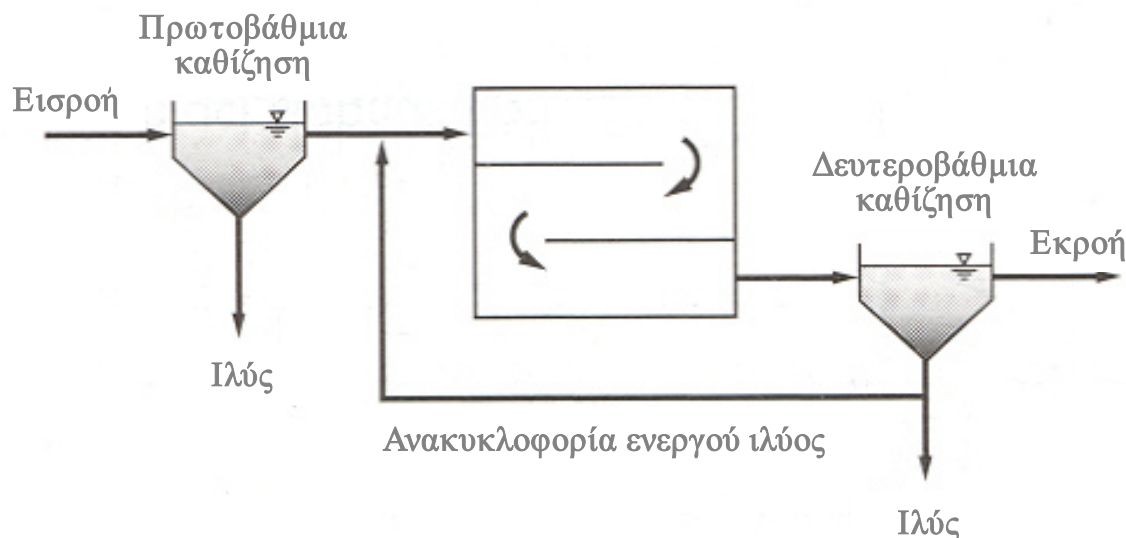
Μεγαλύτερο κόστος κατασκευής σε σχέση με το σύστημα πλήρους ανάμειξης
Σχετικά απαιτητική σε επιμέρους ρυθμίσεις λειτουργία

Διαμερισματοποιημένο σύστημα αερισμού



Ψυττάλεια, Αθήνα

Συμβατικό σύστημα εμβολικής ροής



Το υπερκείμενο της πρωτοβάθμιας καθίζησης και η ανακυκλοφορούσα ιλύς εισέρχονται μαζικά στο αρχικό σημείο. Ο αερισμός μπορεί να επιτευχθεί είτε με διάχυση είτε μηχανικά, και η έντασή του μπορεί να είναι συνάρτηση του μήκους. Συνήθως χρησιμοποιούνται 3-5 διαδρομές. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται σε δευτεροβάθμια καθίζηση.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Υπάρχει μεγάλη εμπειρία κατασκευής & λειτουργίας
Απομάκρυνση περισσότερης αμμωνίας σε σχέση με την διάταξη πλήρους ανάμειξης
Μπορεί να μετατραπεί εκ των υστέρων σε άλλη μορφή (π.χ.: βηματικού τύπου, επαφής και σταθεροποίησης, ανοξικής-αερόβιας διεργασίας)

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

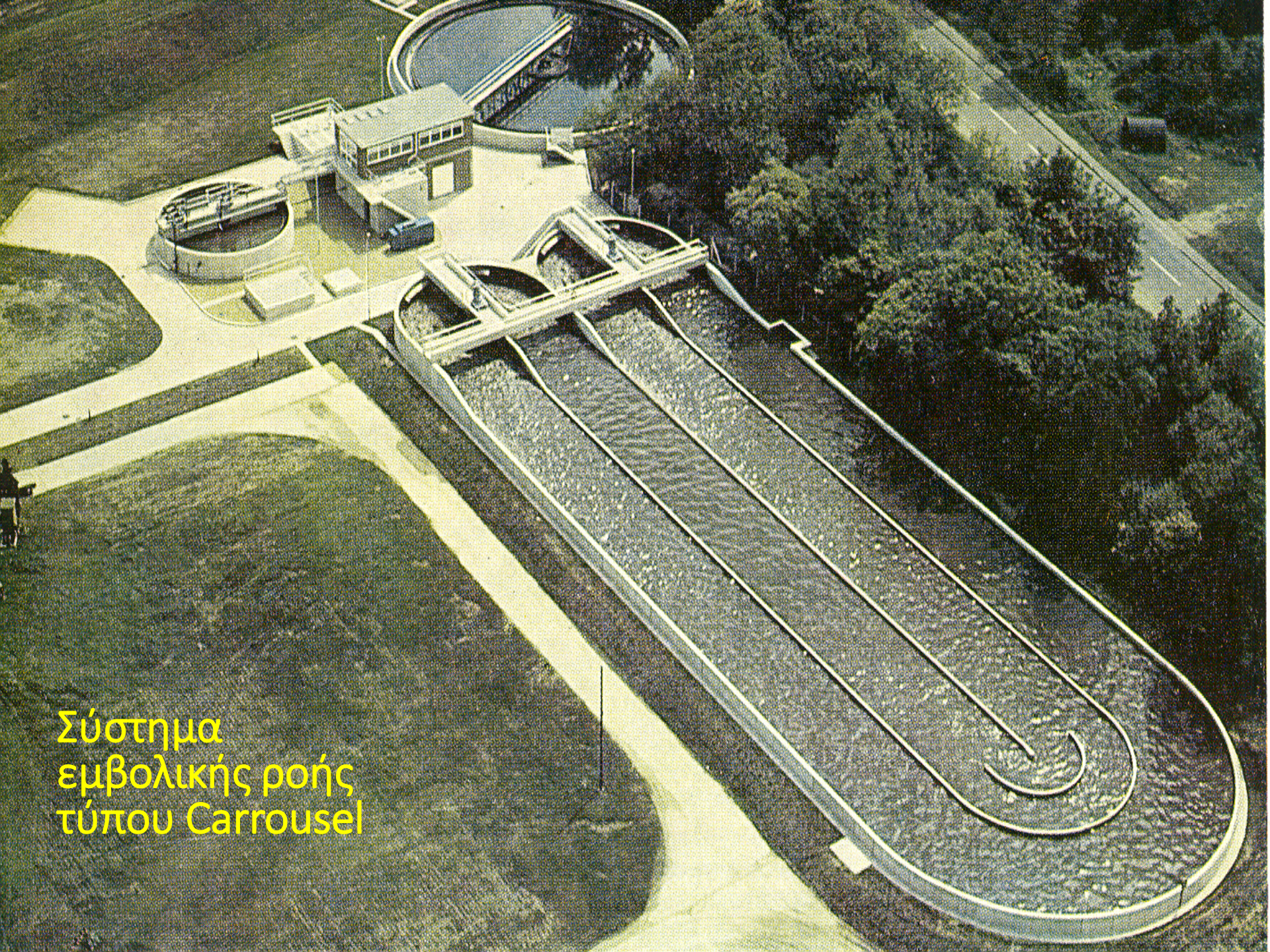
Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή διαφορετικών δόσεων οξυγόνου κατά μήκος της ροής μπορεί να παρουσιάσει δυσκολίες
Μπορεί να καταστεί δύσκολη η παροχή του απαραίτητου οξυγόνου κατά την πρώτη διαδρομή



Σύστημα εμβολικής ροής

Grensboro NC, Η.Π.Α.

Σύστημα
εμβολικής ροής
τύπου Carrousel



Σύστημα εμβολικής ροής

Αερισμός με διαχυτήρες

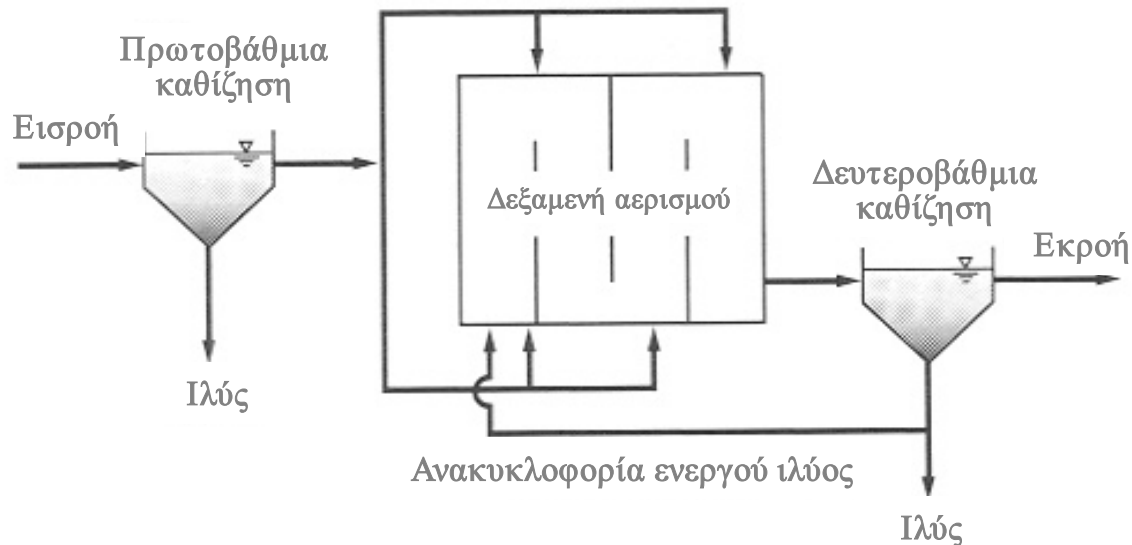


Σύστημα εμβολικής ροής

Αερισμός με αερίορευμα (jet aeration)



Σύστημα βηματικής τροφοδοσίας



Το υπερκείμενο της πρωτοβάθμιας καθίζησης εισέρχεται σε 3-4 διαφορετικά σημεία της κατά τα λοιπά εμβολικής διαδρομής, ενώ η ανακυκλοφορούσα ιλύς εισέρχεται στο αρχικό σημείο. Η ένταση του αερισμού του είναι συνάρτηση του μήκους. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται σε δευτεροβάθμια καθίζηση.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Το εισερχόμενο ρεύμα διανέμεται σε διάφορα σημεία, και έτσι επιτυγχάνεται πιο ομοιόμορφη κατανομή των απαιτήσεων σε οξυγόνο

Σύστημα δεκτικό επιμέρους ρυθμίσεων

Μπορεί να μετατραπεί εκ των υστέρων σε άλλη μορφή (π.χ.: εμβολικής ροής, επαφής και σταθεροποίησης, ανοξικής-αερόβιας διεργασίας)

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Σχετικά πολύπλοκη διεργασία

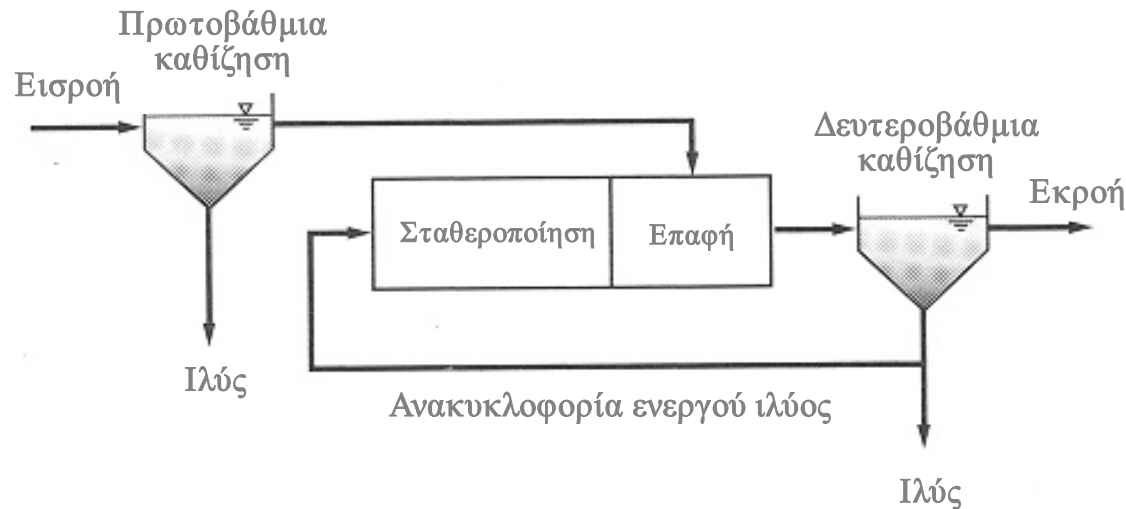
Η διανομή της παροχής εισόδου δεν μπορεί να μετρηθεί επακριβώς

Σχετικά περισσότερες απαιτήσεις σχεδιασμού λειτουργίας και παροχής οξυγόνου

Βηματικής τροφοδοσίας



Σύστημα σταθεροποίησης-επαφής



Η ανακυκλοφορούσα ιλύς εισέρχεται αρχικά σε αεριζόμενη δεξαμενή (χρόνος παραμονής 1-2 h), και στην συνέχεια έρχεται σε επαφή με το υπερκείμενο της πρωτοβάθμιας καθίζησης σε δεύτερη δεξαμενή (χρόνος παραμονής $\frac{1}{2}$ -1 h), με αποτέλεσμα την δριμεία μείωση του διαλυτού BOD. Τα κολλοειδή και μικροσωματιδιακά οργανικά παγιδεύονται στην ενεργό ιλύ και αποικοδομούνται στο στάδιο της σταθεροποίησης. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται σε δευτεροβάθμια καθίζηση.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Απαιτεί σχετικά μικρότερες δόσεις οξυγόνου
Μπορεί να διαχειρισθεί παροχές όμβριων υδάτων
χωρίς απώλεια MLSS

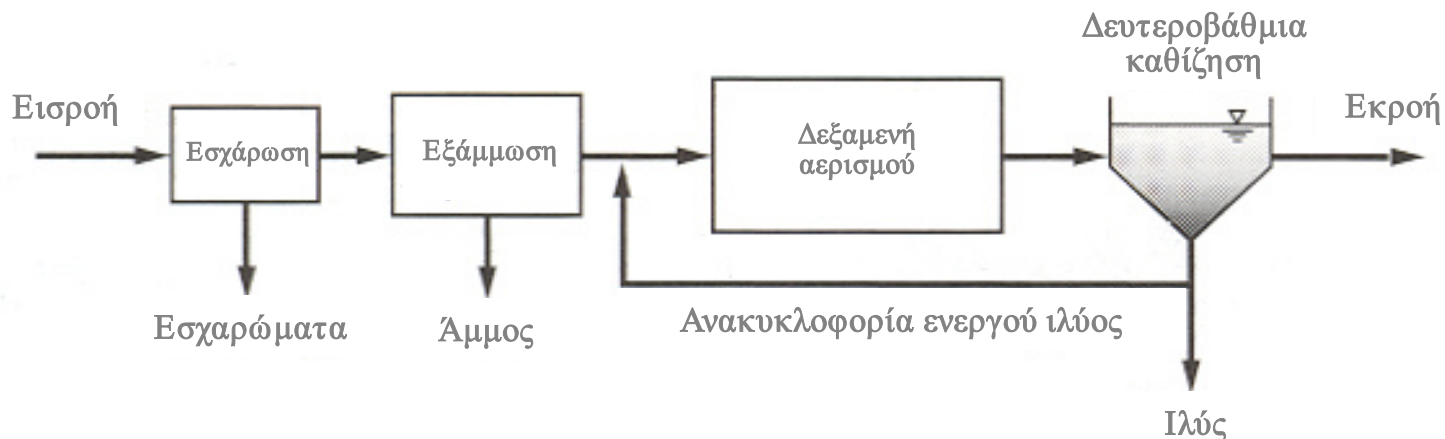
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Έχει ελάχιστη ικανότητα νιτροποίησης
Σχετικά πολύπλοκη λειτουργία

Σύστημα σταθεροποίησης-επαφής



Σύστημα παρατεταμένου αερισμού



Το σύστημα παρουσιάζει ομοιότητες με αυτό της εμβολικής ροής, με κύρια διαφορά ότι λειτουργεί στην φάση της ενδογενούς αναπνοής των μικροοργανισμών, η οποία απαιτεί χαμηλές φορτίσεις σε οργανικά και μακρά φάση αερισμού (χρόνος παραμονής της τάξεως 24 h). Η διεργασία δεν απαιτεί φάση πρωτοβάθμιας καθίζησης. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται σε δευτεροβάθμια καθίζηση.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Δυνατότητα παραγωγής εκροών υψηλής ποιότητας
- Συνήθως δεν απαιτείται πρωτοβάθμια καθίζηση
- Σχετικά απλό στη σχεδίαση και στην λειτουργία
- Μεγάλη ανοχή σε αιφνίδιες διαταραχές και σε τοξικές φορτίσεις
- Παραγωγή σταθεροποιημένης ιλύος

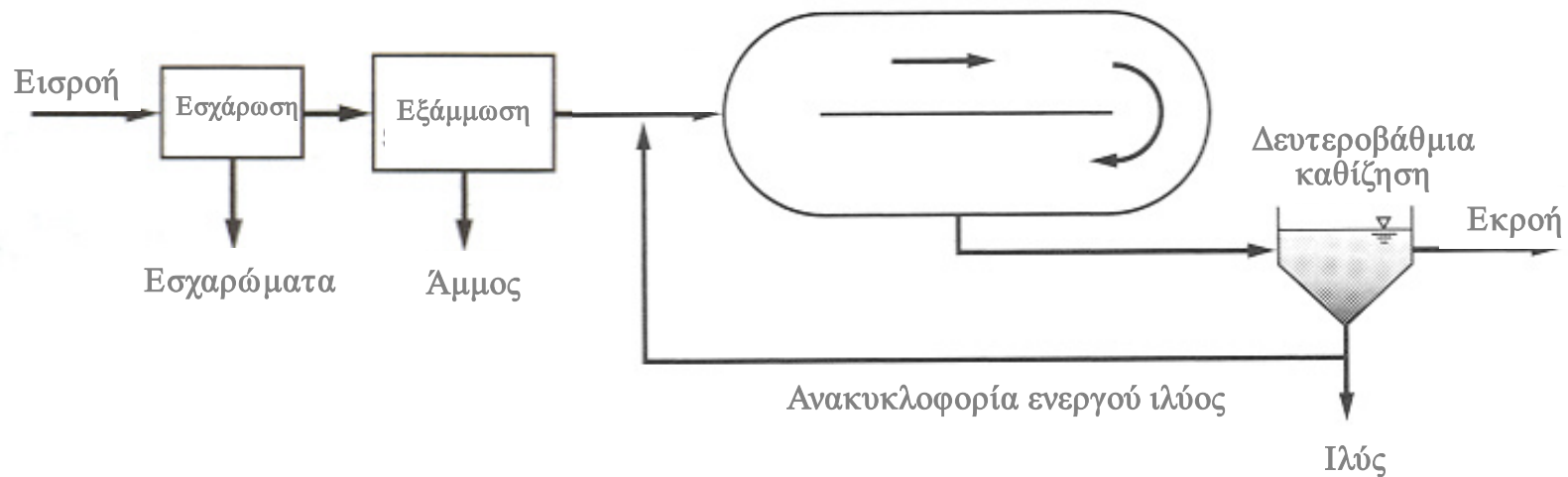
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια αερισμού
- Σχετικά μεγάλες δεξαμενές αερισμού
- Βρίσκει εφαρμογές κυρίως σε μικρού μεγέθους εγκαταστάσεις

Σύστημα παρατεταμένου αερισμού



Σύστημα οξειδωτικής τάφρου



Η οξειδωτική τάφρος συνίσταται από ένα κανάλι ελλειψοειδούς σχήματος, εξοπλισμένο με μηχανικούς αεριστήρες και ισχυρούς αναδευτήρες. Το πρωτογενές απόβλητο μετά από εσχάρωση και εξάμμωση και η ανακυκλοφορούσα ιλύς εισέρχονται, όπου λόγω της ισχυρής ανάδευσης αναμειγνύονται, ενώ τα στερεά κρατούνται σε αιώρηση. Η ταχύτητα ροής στο κανάλι ανέρχεται σε 0,25-0,30 m/s, και έτσι ολοκληρώνεται μία κυκλική πορεία σε 5-15 min. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται σε δευτεροβάθμια καθίζηση.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ιδιαίτερα αξιόπιστη λειτουργία
- Χαμηλότερες απαιτήσεις σε ενέργεια σε σχέση με τον παρατεταμένο αερισμό
- Υψηλής ποιότητας εκροή και σταθεροποιημένη ιλύς
- Καλή ανοχή σε αιφνίδιες διαταραχές και σε τοξικές φορτίσεις

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Σχετικά μεγάλη κατασκευή
- Υψηλότερες απαιτήσεις σε ενέργεια σε σχέση με το σύστημα πλήρους ανάμειξης και εμβολικής ροής
- Δυσκολία επέκτασης της κατασκευής

Οξειδωτική τάφρος

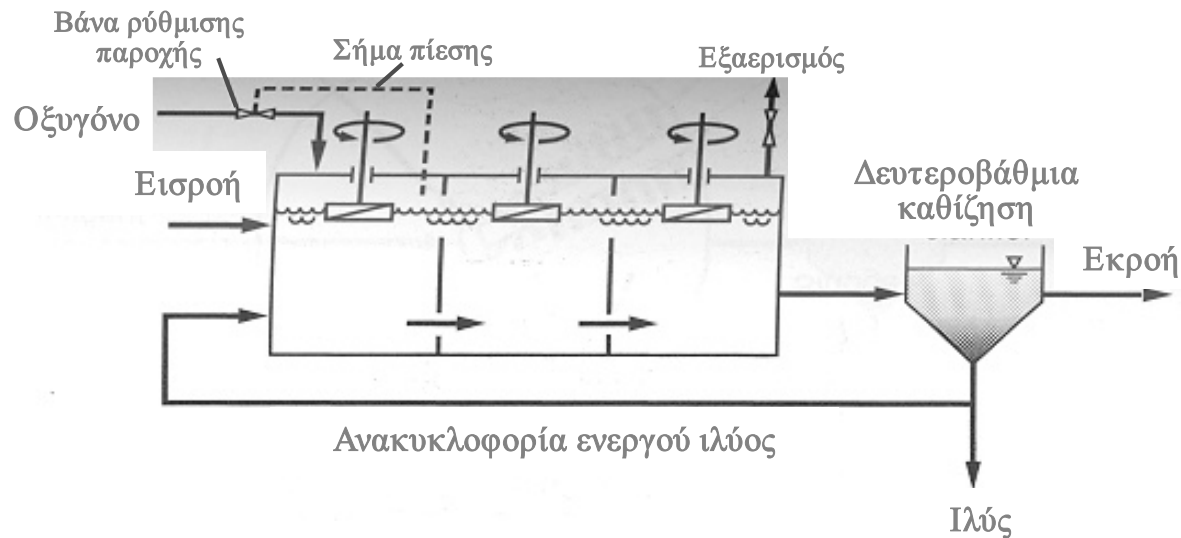


Princeton, New Jersey, Η.Π.Α.

Οξειδωτική τάφρος



Σύστημα παροχής υψηλής καθαρότητας οξυγόνου



Η διεργασία λαμβάνει χώρα σε κλειστό διαμερισματοποιημένο σύστημα. Ο αέρας εμπλουτισμένος σε οξυγόνο εισάγεται στον χώρο εισαγωγής των λυμάτων και ρέει παράλληλα, έτσι ώστε η μερική πίεση του οξυγόνου να μεταβάλλεται από 40-60% στην είσοδο έως 20% στην έξοδο. Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται σε δευτεροβάθμια καθίζηση.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Σχετικά χαμηλές απαιτήσεις σε όγκο δεξαμενής
Παραγωγή ιλύος με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης
Λειτουργία και έλεγχος DO χωρίς μεγάλα προβλήματα
Εφαρμόσιμη σε πολλούς τύπους αποβλήτων

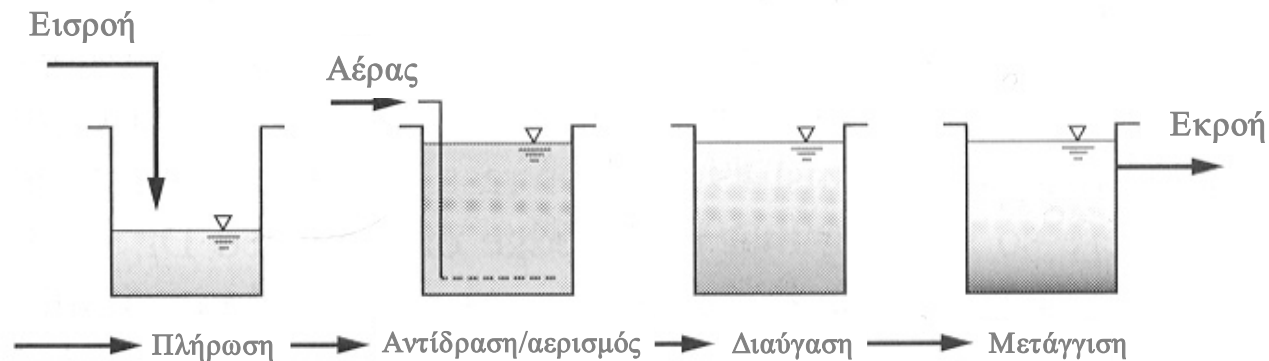
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Περιορισμένη δυνατότητα νιτροποίησης
Σχετικά πιο απαιτητική λειτουργία-συντήρηση
Εμφάνιση αφρών λόγω παραγωγής *Nocardia*
Κίνδυνος έκπλυσης MLSS σε υψηλές φορτίσεις

Σύστημα παροχής υψηλής καθαρότητας οξυγόνου



Αλληλοδιαδοχικού διαλείποντος έργου (SBR)



Χρονική αλληλουχία

Στο σύστημα SBR, η διεργασία λαμβάνει χώρα σε μία δεξαμενή, όπου εκτυλίσσονται όλα τα βήματα του κύκλου της ενεργού ιλύος. Για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος απαιτούνται τουλάχιστον δύο δεξαμενές. Ένας τυπικός κύκλος μπορεί να περιλαμβάνει 3h πλήρωση, 2h αερισμό, ½h διαύγαση και ½h μετάγγιση του υπερκείμενου υγρού. Κατά κανόνα δεν απαιτείται δευτεροβάθμια καθίζηση.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Σχετικά απλή διεργασία, χωρίς απαιτήσεις δευτεροβάθμιας καθίζησης και ανακυκλοφορίας ιλύος
Ευέλικτη διεργασία με δυνατότητα απομάκρυνσης διαφόρων θρεπτικών με κατάλληλους χειρισμούς
Παραγωγή σχετικά διαυγούς υπερκείμενου υγρού

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Σχετικά πιο πολύπλοκη λειτουργία από τις συμβατικές
Υψηλές υδραυλικές φορτίσεις ενέχουν τον κίνδυνο διατάραξης της διεργασίας
Ανάγκη για εξισορρόπηση της εκροής εάν ακολουθεί διήθηση και απολύμανση

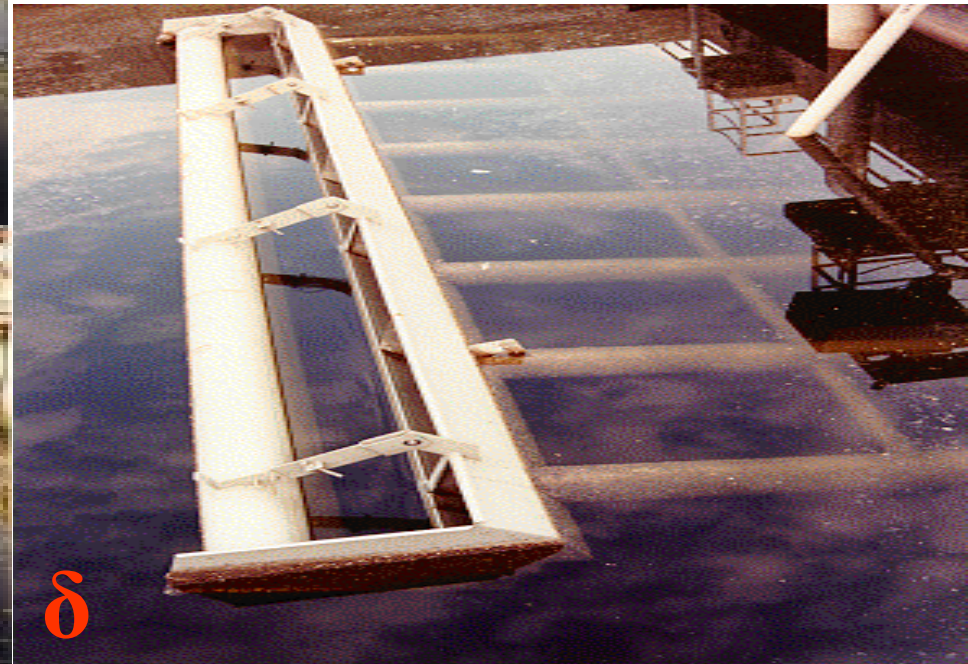
Αλληλοδιαδοχικού διαλείποντος έργου (SBR)

α. Φάση αερισμού

β. Έναρξη φάσης ηρεμίας

γ. Υπερκείμενο έτοιμο προς
μετάγγιση

δ. Σύστημα μετάγγισης διαυγών



Σύστημα αλληλοδιαδοχικού διαλείποντος έργου (SBR)

Khon Kaen, Ταϊλάνδη



Τυπικές τιμές σχεδιασμού για συνήθη συστήματα ενεργού ιλύος

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑ-ΣΤΗΡΑ	SRT (d)	F/M (kg BOD/ kg MLSS)	Kg BOD/ m ³ ·d	MLSS mg/l	τ (h)	RAS (% εισροής)
Υψηλής απόδοσης	Εμβολικής ροής	0.5-2	1,5-2,0	1,2-2,4	200-1000	1,5-3	100-150
Σταθεροποίησης-επαφής	Εμβολικής ροής	5-10	0,2-0,6	1,0-1,3	1000-3000*	0,5-1	50-150
					6000-10000**	2-4	
Υψηλής καθαρότητας οξυγόνου	Εμβολικής ροής	1-4	0,5-1,0	1,3-3,2	2000-5000	1-3	25-50
Συμβατικός εμβολικής ροής	Εμβολικής ροής	3-15	0,2-0,4	0,3-0,7	1000-3000	4-8	25-75
Βηματικής τροφοδοσίας	Εμβολικής ροής	3-15	0,2-0,4	0,7-1,0	1500-4000	3-5	25-75
Πλήρους ανάμειξης	Πλήρους μείξης	3-15	0,2-0,6	0,3-1,6	1500-4000	3-5	25-100
Παρατεταμένου αερισμού	Εμβολικής ροής	20-40	0,04-0,10	0,1-0,3	2000-5000	20-30	50-150
Οξειδωτική τάφρος	Εμβολικής ροής	15-30	0,04-0,10	0,1-0,3	3000-5000	15-30	75-150
SBR	Διαλ/ντος έργου	10-30	0,04-0,10	0,1-0,3	2000-5000	15-40	-
Αντίστροφης ροής (CCAS™)	Εμβολικής ροής	10-30	0,04-0,10	0,1-0,3	2000-4000	15-40	25-75

SRT: Χρόνος κατακράτησης στερών

F/M: Λόγος τροφής προς μικροοργανισμούς

MLSS: Αιωρούμενα στερεά ανάμεικτου υγρού

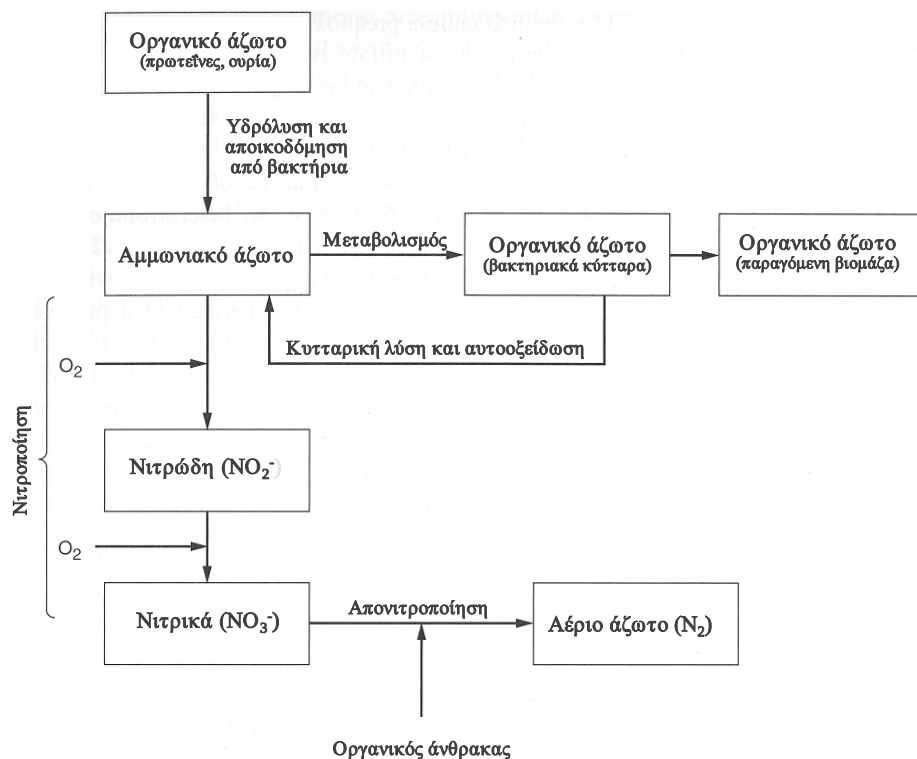
τ: Χρόνος παραμονής

RAS: Ανακυκλοφορία ενεργού ιλύος

* Στην δεξαμενή επαφής

** Στην δεξαμενή σταθεροποίησης

Βιολογική απομάκρυνση αζώτου



Η κατ' αρχήν μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμωνιακό (NH_4^+) και εν συνεχεία η κατά σειρά μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρώδες (NO_2^-), νιτρικό (NO_3^-) και τέλος αέριο άζωτο ($\text{N}_2 \uparrow$). Κατά την πορεία μέρος του αμμωνιακού αζώτου δεσμεύεται στην παραγόμενη βιομάζα.

Νιτροποίηση: Απαιτείται η κατανάλωση οξυγόνου

Απονιτροποίηση: Λαμβάνει χώρα σε συνθήκες απουσίας διαλυμένου οξυγόνου

Τυπικές περιεκτικότητες αστικών λυμάτων σε άζωτο

ΕΙΔΟΣ	ΤΙΜΗ (mg/l)
Ολικό	20-85
Οργανικό	8-35
Αμμωνιακό	12-50
Νιτρικά-νιτρώδη	Ίχνη

Στοιχειομετρία νιτροποίησης

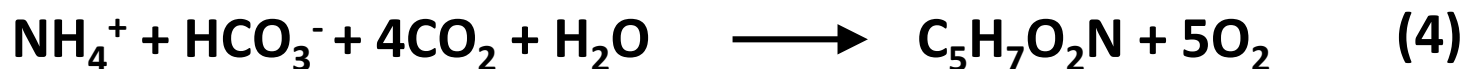
Η μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου (NH_4^+) προς νιτρώδες (NO_2^-) και εν συνεχεία προς νιτρικό (NO_3^-) καταλύεται βιοχημικά από νιτροσομονάδες και νιτροβακτήρια, αντίστοιχα:



Η αλκαλικότητα που καταναλώνεται κατά τις πιο επάνω αντιδράσεις υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση (3) σε 7,14g (ως CaCO_3), ανά γραμμάριο αντιδρώντος αμμωνιακού αζώτου (ως N):

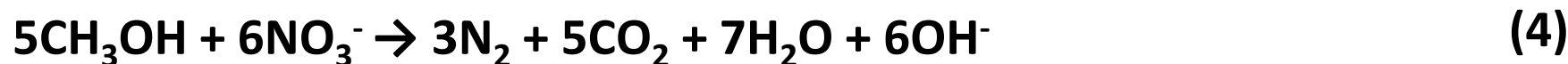
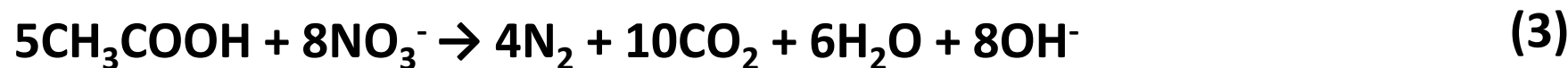
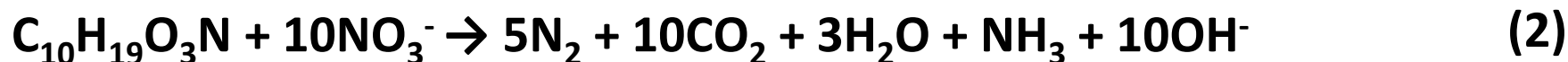


Η μετατροπή αμμωνιακού αζώτου δια την δημιουργία κυτταρικού ιστού δίνεται από την Εξίσωση 4:



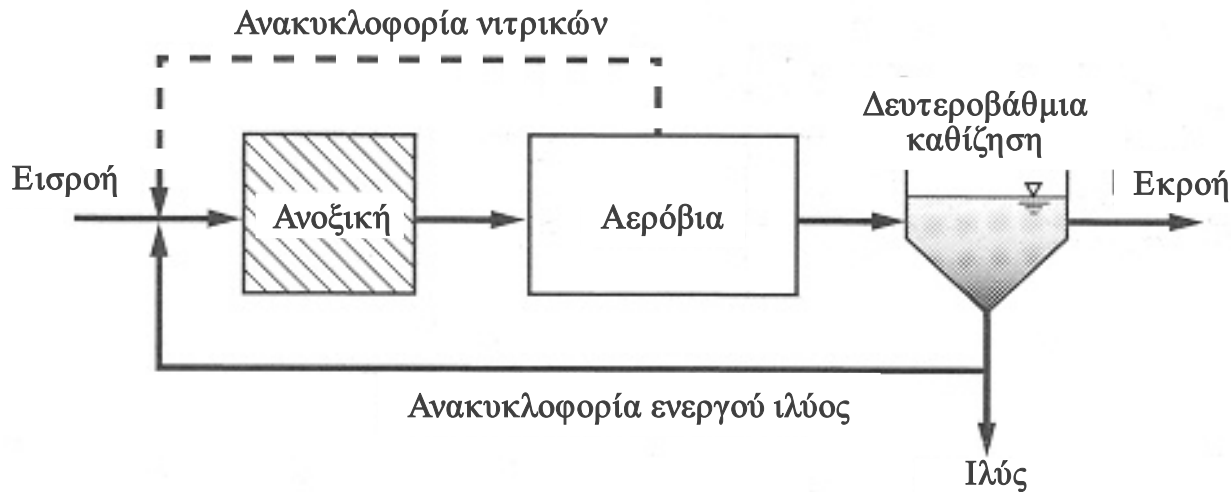
Στοιχειομετρία απονιτροποίησης

Η μετατροπή των νιτρικών (NO_3^-) προς αέριο άζωτο (N_2) καταλύεται βιοχημικά από εξειδικευμένα βακτήρια κατά την αλληλουχία των δράσεων (Εξίσωση (1)). Η αντίδραση απαιτεί την παράλληλη κατανάλωση οργανικής ύλης, η οποία μπορεί να είναι βιομάζα (2) ή άλλη μεταβολίσιμη ουσία (3,4):



Κατά τις πιο επάνω δράσεις παράγονται 3,57 g αλκαλικότητας (ως CaCO_3) ανά γραμμάριο αντιδρώντος νιτρικού αζώτου (ως N)

Συμβατικό προ-ανοξικό σύστημα



Πρόκειται για τα πρώτα συστήματα νιτροποίησης (1962), που με διάφορες παραλλαγές (όπως π.χ. η ανακυκλοφορία νιτρικών - 1977), χρησιμοποιούνται επιτυχώς μέχρι σήμερα. Το απόβλητο τροφοδοτείται σε μια ανοξική ζώνη και ενώ με την έξοδό του εισέρχεται σε αερόβια ζώνη. Τα νιτρικά που παράγονται στην δεύτερη ζώνη ανακυκλοφορούνται είτε μέσω της ενεργού ιλύος είτε και ως υγρό, προς την ανοξική ζώνη όπου αποικοδομούνται προς άζωτο. Δυνατότητα παραγωγής εκροής με περιεκτικότητα σε TN 5-8 mg/l.

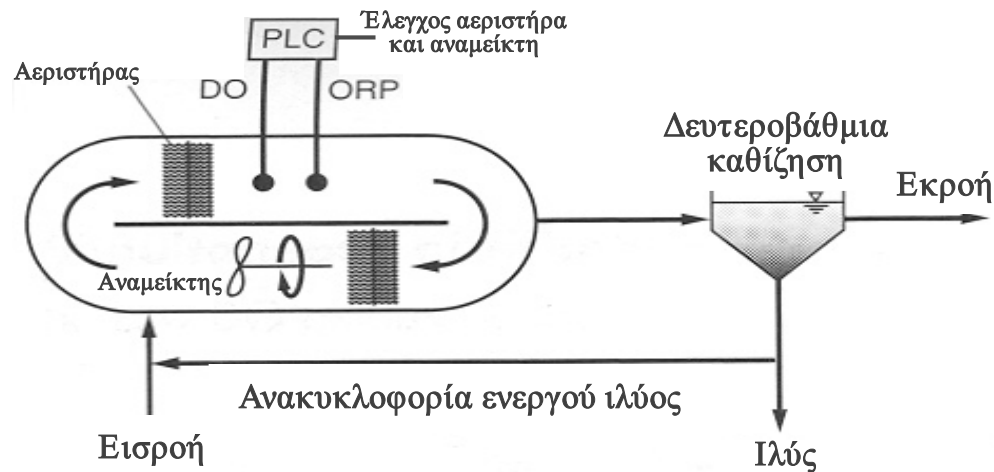
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Μέρος του BOD αποικοδομείται πριν εισέλθει στην αερόβια ζώνη – εξοικονόμηση ενέργειας
Παραγωγή αλκαλικότητας πριν την νιτροποίηση
Εύκολα προσαρμόσιμο σε υπάρχοντα συστήματα

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η απομάκρυνση αζώτου είναι συνάρτηση της ανακυκλοφορίας
Πιθανή εμφάνιση αφρού λόγω *Nocardia*
Απαιτείται συστηματικός έλεγχος του DO

Προ-ανοξικό σύστημα οξειδωτικής τάφρου NITROX™



Κατά τη λειτουργία του συστήματος NITROX™, οι αερόβιες συνθήκες μεταλλάσσονται με ανοξικές εντός της οξειδωτικής τάφρου, με παύση του αερισμού και εκκίνηση του αναμείκτη, ώστε να διατηρείται ροή στο κανάλι. Η διεργασία βασίζεται στον συνεχή έλεγχο του DO και του οξειδοαναγωγικού δυναμικού (ORP). Συνήθως ο αερισμός διακόπτεται τουλάχιστον δύο φορές το 24ωρο για 3-5 ώρες κάθε φορά. Μέρος της ενεργού ιλύος ανακυκλοφορείται στο σημείο εισροής. Δυνατότητα παραγωγής εκροής με περιεκτικότητα σε TN μικρότερη των 10 mg/l.

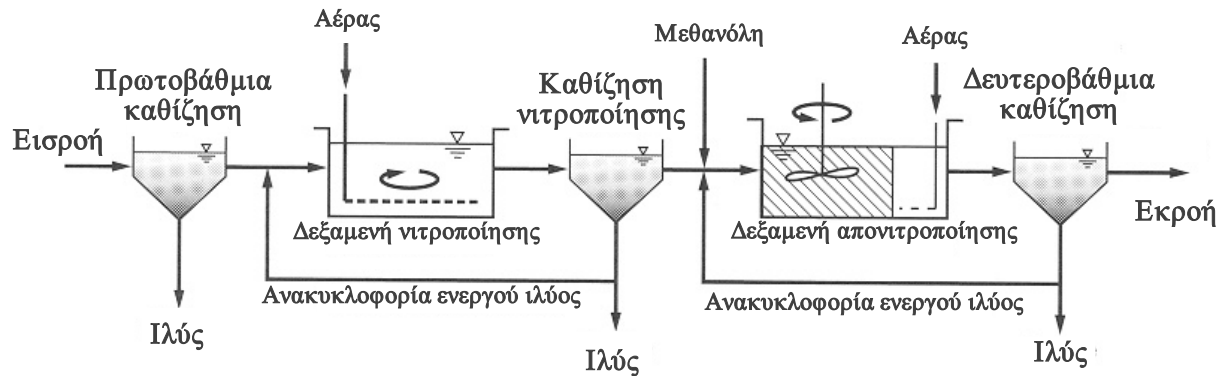
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Ανθεκτικό σε αιφνίδιες αλλαγές της φόρτισης, λόγω του σχετικά μεγάλου όγκου δεξαμενής
Εύκολα προσαρμόσιμο σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις οξειδωτικών τάφρων

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η ποιότητα εξόδου δύναται να επηρεαστεί από την συγκέντρωση αζωτούχων ενώσεων στην είσοδο
Η απόδοση επηρεάζεται από μεταβολές του ρεύματος εισόδου

Μετα-ανοξικό σύστημα διπλής ιλύος



Στο σύστημα αυτό οι πρωτοβάθμιες εκροές εισέρχονται σε δεξαμενή αερισμού για απομάκρυνση του BOD και νιτροποίηση, ακολούθως υφίστανται καθίζηση με ανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος. Στο υπερκείμενο της καθίζησης προστίθεται ποσότητα μεθανόλης, η οποία καταναλώνεται στο στάδιο της απονιτροποίησης κάτω από ανοξικές συνθήκες ($1h < \tau < 3h$). Απαιτούνται περίπου 3-4 g μεθανόλης ανά g NO_2^- . Ακολουθεί αερισμός ($\tau < \frac{1}{2}h$) για απομάκρυνση των φυσαλίδων αζώτου και βελτίωση των χαρακτηριστικών καθιζησιμότητας της ιλύος, μέρος της οποίας ανακυκλοφορεί στην ανοξική δεξαμενή. Το σύστημα μπορεί να επιτύχει ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις αζώτου στην έξοδο.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Σημαντικά χαμηλές συγκεντρώσεις TN στην έξοδο
Μπορεί να συνδυαστεί με σύστημα διήθησης της εκροής

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

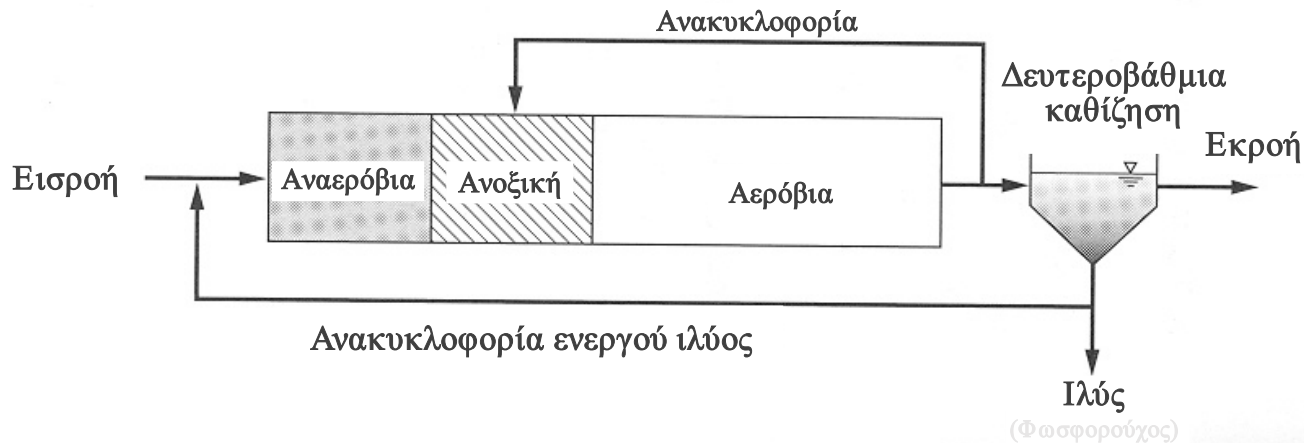
Σχετικά υψηλό κόστος λειτουργίας λόγω της κατανάλωσης μεθανόλης
Απαιτείται σύστημα δοσομέτρησης μεθανόλης
Κίνδυνοι από την αποθήκευση μεθανόλης

Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου

Η βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου συνίσταται στην ικανότητα κάποιων μικροοργανισμών να αποθηκεύουν εντός των κυττάρων τους σχετικά μεγάλες ποσότητες φωσφορούχων ενώσεων. Η διεργασία έχει ως εξής:

- Κάτω από αναερόβιες συνθήκες οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί καταναλώνουν πτητικά λιπαρά οξέα (που δημιουργούνται λόγω ζυμώσεων ή και λόγω υδρόλυσης άλλων οργανικών ενώσεων), παράγοντας και αποθηκεύοντας ενδοκυτταρικά πολυυδροξυβουτυρικό οξύ, χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας πολυφωσφατάσες. Κατά την διεργασία παράγεται νέα βιομάζα καθώς και ποσότητα ορθοφωσφορικού οξέος, το οποίο εκλύεται στον εξωκυτταρικό χώρο.
- Κατά την ανοξική και αερόβια φάση που επακολουθεί, οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί αναπαράγουν τον εαυτό τους, ενώ καταναλώνεται το παραχθέν πολυυδροξυβουτυρικό οξύ, με παράλληλη μετατροπή του διαλυμένου ορθοφωσφορικού προς πολυφωσφατάσες, οι οποίες αποθηκεύονται ενδοκυτταρικά.
- Η απομάκρυνση φωσφόρου επιτυγχάνεται με την απόρριψη των συγκεκριμένων μικροοργανισμών, πλούσιων αποθηκευμένο φωσφόρο, μέσω της καθιζάνουσας βιολογικής ιλύος

Αναερόβιο-ανοξικό-αερόβιο σύστημα (A^2O)



Πρόκειται για παραλλαγή του συστήματος Phoredox, η οποία περιλαμβάνει και μια ανοξική ζώνη μεταξύ της αερόβιας και της αναερόβιας ζώνης. Στην ζώνη αυτή, όπου επικρατούν συνθήκες έλλειψης DO, εισάγονται νιτρικά από ανακυκλοφορία του ανάμεικτου υγρού της αερόβιας δεξαμενής, και έτσι επιτελείται νιτροποίηση. Ο χρόνος παραμονής στην ανοξική δεξαμενή είναι περίπου 1h. Η ενεργός ιλύς ανακυκλοφορεί μετά την καθίζηση στην πρώτη δεξαμενή.

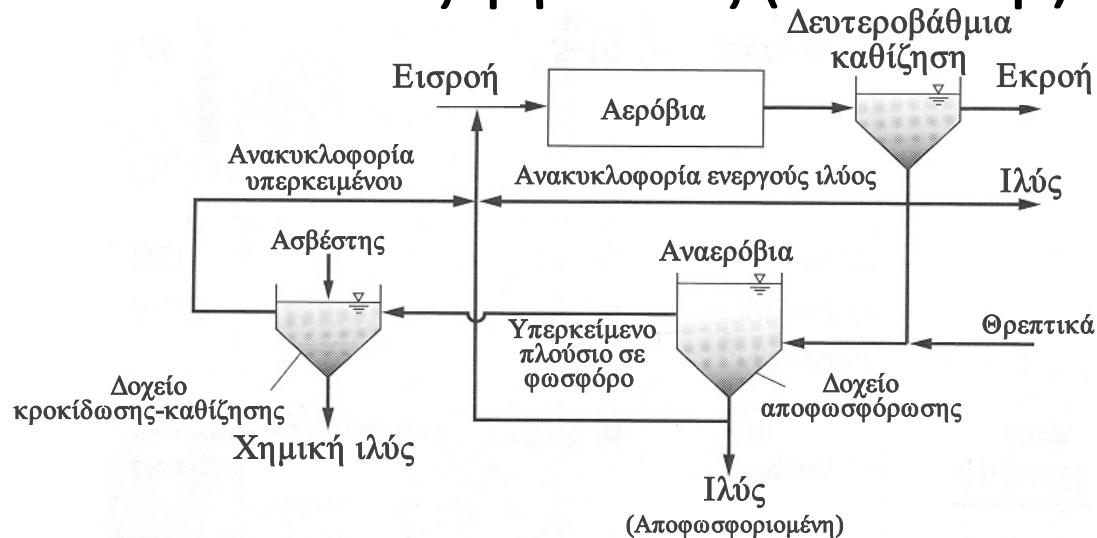
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Ταυτόχρονη απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου
Παράγεται αλκαλικότητα για την νιτροποίηση
Καλά χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας ιλύος
Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η ιλύς που ανακυκλοφορεί στην αναερόβια δεξαμενή περιέχει νιτρικά, τα οποία επηρεάζουν την απομάκρυνση του φωσφόρου
Η απομάκρυνση του αζώτου εξαρτάται από τον εσωτερικό ρυθμό ανακυκλοφορίας
Απαιτεί υψηλότερο λόγο BOD/P από την A/O

Σύστημα συνδυασμένης βιολογικής και χημικής επεξεργασίας (PhoStrip)



Κατά την διεργασία αυτή η περίσσεια της ενεργούς ιλύος τροφοδοτείται σε δεξαμενή πάχυνσης με χρόνο παραμονής 8-12h, όπου αναπτύσσονται μικροοργανισμοί που αποθηκεύουν φωσφόρο. Στον παχυντή διοχετεύεται πρωτογενές απόβλητο, για έκπλυση του φωσφόρου που απελευθερώνεται. Το υπερκείμενο κατεργάζεται χημικά, για την καταβύθιση του φωσφόρου, ενώ η παραγόμενη ιλύς ανακυκλοφορεί στην είσοδο της αερόβιας επεξεργασίας. Δυνατότητα εκροής με $< 1\text{mg/l}$ σε φωσφόρο.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εύκολα προσαρμόσιμο σε υπάρχοντα συστήματα
- Η απομάκρυνση του φωσφόρου είναι ανεξάρτητη από τον λόγο BOD/P
- Σημαντικά χαμηλότερη κατανάλωση χημικών προσθέτων σε σχέση με απλή χημική κατακρήμνιση

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Απαιτείται η κατανάλωση ασβέστη
- Απαιτείται χρήση παχυντή με σχετικά μεγάλη χωρητικότητα
- Προβλήματα από επικαθίσεις του ασβέστη

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 1/4

Οι δύο κύριες βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη ΔΑ είναι:

(α) Οξείδωση οργανικών ουσιών (ταχεία αντίδραση)

(β) Οξείδωση αμμωνιακού αζώτου (= νιτροποίηση) (σχετικά αργή αντίδραση)

Ο όγκος της ΔΑ γίνεται αρχικά με βάση τη νιτροποίηση, γιατί ως πιο αργή απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο παραμονής (άρα μεγαλύτερο όγκο).

Οπότε: Θα πρέπει ο χρόνος παραμονής στερών (SRT) (δηλαδή των μικροοργανισμών) να είναι μεγαλύτερος του καθαρού ρυθμού ανάπτυξης των νιτροποιητών:

$$SRT \geq \frac{1}{\mu_N - k_{nd}} \quad \mu_N = \mu_{\max} \left(\frac{[NH_4^+ - N]}{K_N + [NH_4^+ - N]} \right) \left(\frac{[DO]}{K_O + [DO]} \right)$$


Όπου:

SRT = Χρόνος παραμονής στερεών στη ΔΑ (d)

$\mu_{\max}$ = Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών (d^{-1})

k_{nd} = Ειδικός ρυθμός αποδόμησης των νιτροποιητών (d^{-1})

$\mu_{\max}$ = Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών (d^{-1})

K_N = Σταθερά κορεσμού νιτροποιητών ως προς το αμμωνιακό άζωτο (NH_4^+-N) ($mg\ L^{-1}$)

K_O = Σταθερά κορεσμού νιτροποιητών ως προς το διαλυμένο οξυγόνο(DO) ($mg\ L^{-1}$)

$[NH_4^+-N]$ = Συγκέντρωση αμμωνιακών εντός της ΔΑ ($mg\ L^{-1}$)

$[DO]$ = Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου εντός της ΔΑ ($mg\ L^{-1}$)

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 2/4

Τιμές που λαμβάνουν οι συντελεστές:

Συντελεστής	Μονάδα	Εύρος	Τυπική τιμή
$\mu_{\max}$	d^{-1}		$\mu_{\max}=0,45 \cdot \exp\{0,098 \cdot (T-15)\}$
K_N	$mg\ L^{-1}$	0,50-1,0	0,75
k_{nd}	d^{-1}	0,05-0,15	0,08
K_o	$mg\ L^{-1}$	0,40-0,60	0,50
T	$^{\circ}C$		20

Η $[NH_4^+-N]$ έχει την τιμή εξόδου από το σύστημα (συνήθως $0,5-1,5\ mg\ L^{-1}$)

Η $[DO]$ είναι η συγκέντρωση σχεδιασμού του DO στη ΔΑ ($1,5-2,5\ mg\ L^{-1}$)

Ο ρυθμός παραγωγής βιομάζας στη ΔΑ δίνεται από τη σχέση:

$$W_{TSS} = W_{BOD, απομακρ} \cdot Y \quad Y = \begin{cases} 0,6-0,8 & \text{για συστήματα με ΔΠΚ} \\ 0,8-1,0 & \text{για συστήματα χωρίς ΔΠΚ} \end{cases}$$

Οπότε: Η συνολική μάζα των μικροοργανισμών στη ΔΑ δίνεται από τη σχέση:

$$M_{TSS} = W_{TSS} \cdot SRT$$

Όπου:

W_{TSS} = Ρυθμός παραγωγής βιομάζας ($kg\ d^{-1}$)

$W_{BOD, απομακρ}$ = Ρυθμός απομάκρυνσης (κατανάλωσης) BOD ($kg\ d^{-1}$)

Y = Συντελεστής απόδοσης μετατροπής του BOD σε VSS ($kg\ VSS/kg\ BOD$)

M_{TSS} = Συνολική μάζα μικροοργανισμών στη ΔΑ (kg)

SRT = Χρόνος παραμονής στερεών (d)

ΠΡΟΣΟΧΗ: Στη ΔΑ το σύνολο σχεδόν των TSS είναι μικροοργανισμοί!!!

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 3/4

Η συγκέντρωση μικροοργανισμών (MLSS) εντός της ΔΑ δίνεται από τη σχέση:

$$MLSS = \frac{M_{TSS}}{V_{\Delta A}}$$

Τα MLSS, σε συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος λαμβάνουν τιμές μεταξύ 3000-5000mg L⁻¹. Οπότε, από την πιο πάνω σχέση προκύπτει ο όγκος της ΔΑ (με βάση τη νιτροποίηση).

Ένα σημαντικό μέγεθος στα συστήματα ενεργού ιλύος είναι ο λόγος F/M (food/microorganisms), ο οποίος παίρνει τιμές μεταξύ 0,2-0,5 d⁻¹, και δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q(BOD_{in} - BOD_{out})}{MLSS \cdot V_{\Delta A}}$$

Όπου:

MLSS = Συγκέντρωση μικροοργανισμών στη ΔΑ (mg L⁻¹ ή kg m⁻³)

M_{TSS} = Συνολική μάζα μικροοργανισμών στη ΔΑ (mg ή kg)

V_{ΔΑ} = Όγκος της ΔΑ (m³)

F/M = Λόγος της παροχής BOD προς τη συνολική μάζα των μικροοργανισμών στη ΔΑ (d⁻¹)

Q = Ογκομετρική παροχή στη ΔΑ (m³/d)

BOD_{in} = Συγκέντρωση του BOD στην είσοδο της ΔΑ (mg L⁻¹)

BOD_{out} = Συγκέντρωση του BOD στην έξοδο της ΔΑ (mg L⁻¹)

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 4/4

Ακολουθως υπολογίζεται ο όγκος της ΔΑ με βάση την επιδιωκόμενη μείωση του BOD (δηλαδή το στόχο της συγκέντρωσης του BOD στην έξοδο της εγκατάστασης), κάνοντας χρήση της σχέσης:

$$V_{\Delta A} = \frac{(BOD_{in} - BOD_{out})Q}{k \cdot BOD_{out} MLSS}$$

Εάν ο όγκος που προκύπτει από την είναι μεγαλύτερος από τον όγκο που υπολογίστηκε με βάση τη νιτροποίηση, σημαίνει ότι η διεργασίες ελέγχονται από το ρυθμό οξείδωσης του BOD και όχι των νιτρικών. Οπότε, κρατάμε αυτό τον όγκο ως όγκο της ΔΑ.

Σε κάθε περίπτωση, χρησιμοποιούμε συντελεστή ασφαλείας 1,5-2,0, για το υπολογισμό του όγκου σχεδιασμού της ΔΑ.

Η συγκέντρωση του BOD στην έξοδο της ΔΑ υπολογίζεται από τη πιο κάτω σχέση (χρησιμοποιώντας τον όγκο σχεδιασμού):

$$BOD_{out} = \frac{BOD_{in}}{1 + HRT \cdot k \cdot MLSS}$$

Όπου:

HRT = Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής στη ΔΑ = $Q/V_{\Delta A}$ (d)

k = Ρυθμός απομάκρυνσης του BOD (με εύρος 0,016-0,043 L·mg⁻¹·d⁻¹, τυπική τιμή 0,025 L·mg⁻¹·d⁻¹)

Ανακυκλοφορία ιλύος στη ΔΑ

Ο ρυθμός ανακυκλοφορίας ιλύος ορίζεται ως:

$$r = \frac{Q_R}{Q}$$

Το r σχετίζεται με τα $MLSS$ και τη συγκέντρωση στερεών στην δευτεροβάθμια ιλύ:

$$r = \frac{MLSS}{X_W - MLSS}$$

Συνδυάζοντας τις πιο σχέσεις πάνω προκύπτει:

$$Q_R = Q \frac{MLSS}{X_W - MLSS}$$

Όπου:

r = Ρυθμός ανακυκλοφορίας ιλύος στη ΔΑ (αδιάστατο)

Q = Ογκομετρική παροχή από τη ΔΠΚ προς τη ΔΑ (m^3/d)

Q_R = Ογκομετρική παροχή ανακυκλοφορίας ιλύος από τη ΔΔΚ προς τη ΔΑ (m^3/d)

X_W = Συγκέντρωση στερεών στην δευτεροβάθμια ιλύ ($mg\ m^{-3}$)

$MLSS$ = Συγκέντρωση στερεών στη ΔΑ ($mg\ m^{-3}$)

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (1/3)

Να υπολογίστε τον όγκο της ΔΑ και τον λόγο ανακυκλοφορίας ιλύος (r), σε ΕΕΛ, η οποία λειτουργεί με Q_{av} $6.000 \text{ m}^3/\text{d}$. Η συγκέντρωση του BOD στην έξοδο της ΔΠΚ (BOD_{in}) είναι 300 mg/L , ενώ στην έξοδο της εγκατάστασης η συγκέντρωση του BOD (BOD_{out}) και του νιτρικού αζώτου (NH_4^+-N) πρέπει να είναι μικρότερες των 20 mg/L και $1,5 \text{ mg/L}$, αντίστοιχα.

Αρχικά υπολογίζονται:

Η μαζική παροχή εισόδου του BOD είναι $W_{BOD,in}=1800 \text{ kg/d}$.

Η μαζική παροχή εξόδου του BOD είναι $W_{BOD,out}=120 \text{ kg/d}$.

Ο ρυθμός κατανάλωσης BOD στη ΔΑ είναι $W_{BOD,απομακρ}=1680 \text{ kg/d}$.

Ακολουθώς υπολογίζεται ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών. Θεωρείται ότι η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) εντός της δεξαμενής αερισμού είναι 2 mg/L .

$$\mu_N = 0,45 \cdot \exp\{0,098 \cdot (T - 15^\circ C)\} \cdot \left(\frac{[NH_4^+ - N]}{K_N + [NH_4^+ - N]} \right) \left(\frac{[DO]}{K_O + [DO]} \right) = 0,39 \text{ d}^{-1}$$

Ο χρόνος παραμονής στερεών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SRT \geq \frac{1}{\mu_N - k_{nd}} = \frac{1}{0,39 \text{ d}^{-1} - 0,08 \text{ d}^{-1}} = 3,22 \text{ d}, \text{ για ασφάλεια έστω: } SRT \geq 5 \text{ d}$$

Ο ρυθμός παραγωγής βιομάζας δίνεται από τη σχέση:

$$W_{TSS} = W_{BOD,απομακρ} \cdot Y = 1680 \text{ kg/d} \times 0,7 = 1176 \text{ kg/d}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (2/3)

Η συνολική ποσότητα μικροοργανισμών (W_{TSS}) στην ΔΑ υπολογίζεται ως:

$$M_{TSS} = W_{TSS} \cdot SRT = 1176 \text{ kg/d} \times 5 \text{ d} = 5880 \text{ kg}$$

Οπότε, εάν υποθέσουμε ότι το σύστημα λειτουργεί σε $MLSS = 4000 \text{ mg/L}$, ο ωφέλιμος όγκος της ΔΑ προκύπτει:

$$V_{\Delta A} = \frac{M_{TSS}}{MLSS} = \frac{5880 \text{ kg}}{4 \text{ kg/m}^3} = 1470 \text{ m}^3$$

Ακολουθώς ελέγχεται η συγκέντρωση του BOD_{out} , για τον πιο πάνω όγκο ΔΑ:
($HRT = V/Q = 1470 \text{ m}^3 / 6000 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} = 0,245 \text{ d}$)

$$BOD_{out} = \frac{BOD_{in}}{1 + HRT \cdot k \cdot MLSS} \Rightarrow BOD_{out} = \frac{300 \text{ mgL}^{-1}}{1 + 0,245 \text{ d} \cdot 0,029 \text{ Lmg}^{-1} \text{d}^{-1} \cdot 4000 \text{ mgL}^{-1}} = 10,197 \text{ mgL}^{-1} \text{ (Αποδεκτό)}$$

Τέλος ελέγχεται ο λόγος F/M :

$$\frac{F}{M} = \frac{Q(BOD_{in} - BOD_{out})}{MLSS \cdot V_{\Delta A}} \Rightarrow \frac{F}{M} = \frac{6 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} (300 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^{-3} - 10,97 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^{-3})}{4 \text{ kgm}^{-3} 1470 \text{ m}^3} = 0,29 \text{ d}^{-1} \text{ (Εντός ορίων)}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (3/3)

Για $MLSS = 4000\text{mg/L}$, και $X_W = 12000\text{mg/L}$, η παροχή ανακυκλοφορίας υπολογίζεται ως:

$$Q_R = Q \frac{MLSS}{X_W - MLSS} \Rightarrow Q_R = 6000 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{4000\text{mg} / L}{12000\text{mg} / L - 4000\text{mg} / L} = 3000 m^3 / d$$

Οπότε ο λόγος ανακυκλοφορίας υπολογίζεται ως: $r = \frac{Q_R}{Q} = 0,5$