ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Technical University of Crete

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΡΟΦΙΚΩΝ»

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΑΛ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ
(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)

Β. ΓΚΕΚΑΣ

Ι. ΚΑΡΑΚΑΣΗΣ

ΧΑΝΙΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2004

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3. ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΙ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

4. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΟΡΙΝΘΟΥ-ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ

5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ – ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους αντιμετώπισης της ρύπανσης των υδάτινων πόρων από τα απόβλητα είναι οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων. Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν ως σκοπό τον καθαρισμό (διαχωρισμό) των αστικών αποβλήτων από τα βλαβερά συστατικά που περιέχουν, ώστε αυτά να διατεθούν στο περιβάλλον ακίνδυνα.

Αναφερόμενοι στα βλαβερά συστατικά των αποβλήτων εννοούμε τα ογκώδη αντικείμενα, την άμμο, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων, τα οργανικά-φυσικά συστατικά (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη), τους παθογόνους μικροοργανισμούς και τα θρεπτικά στοιχεία άζωτο και φώσφορος.

Αν τα απόβλητα διοχετευθούν σε ένα υδάτινο αποδέκτη χωρίς επεξεργασία δημιουργούν διάφορα προβλήματα. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν περισσότερο αισθητικά προβλήματα παρά ουσιαστική ρύπανση του υδάτινου φορέα. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί οδηγούν στην μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς. Η παρουσία τους διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα που επιφέρουν στον άνθρωπο όπως πχ δερματικές μολύνσεις. Αυτοί χρησιμοποιούνται συχνά ως το βασικότερο κριτήριο για την καταλληλότητα ή όχι μίας ακτής προς κολύμβηση. Τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος, είναι όμως τα περισσότερο υπεύθυνα για τις σοβαρές καταστάσεις ρύπανσης διότι κάθε υδάτινος φορέας αλλά και τα ίδια τα απόβλητα περιέχουν μικροοργανισμούς που καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων καθώς και το άζωτο και το φώσφορο για να τραφούν και να πολλαπλασιαστούν παράλληλα με την κατανάλωση οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό μέχρι να το εξαντλήσουν. Το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσουν το φαινόμενο του ευτροφισμού που εκδηλώνεται με την υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών στον υδάτινο φορέα, την άσχημη οσμή, την θολότητα των νερών κτλ.

Σύμφωνα με σχετική οδηγία της ΕΟΚ (ΕΕ) μία εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων χαρακτηρίζεται από το βαθμό καθαρισμού ο οποίος καθορίζεται από το ποια από τα βλαβερά συστατικά που προαναφέρθηκαν απομακρύνονται. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται σχεδόν πάντα σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας, οπότε ο καθαρισμός χαρακτηρίζεται σαν πρωτοβάθμιος. Ο δευτεροβάθμιος ή συχνά αποκαλούμενος βιολογικός καθαρισμός αποσκοπεί στην απομάκρυνση και των οργανικών συστατικών και συχνά των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο τριτοβάθμιος αφορά στην απομάκρυνση και των θρεπτικών στοιχείων.

Οι βασικές μονάδες σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων με πρωτοβάθμιο καθαρισμό είναι οι εσχάρες, οι εξαμμωτές και οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Οι εσχάρες είναι μία σειρά από μεταλλικές ράβδους στις οποίες συγκρατούνται τα ογκώδη στερεά. Οι εξαμμωτές είναι ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές στις οποίες δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες ροής που προκαλούν την καθίζηση της άμμου σε αυτές ενώ στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης καθιζάνει και απομακρύνεται μεγάλο μέρος των αιωρούμενων στερεών, 70 %, και μέρος των οργανικών συστατικών, 30 %. Τα αιωρούμενα στερεά που καθιζάνουν στον πυθμένα των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης αποτελούν την πρωτοβάθμια λάσπη.

Μία εγκατάσταση επεξεργασίας με βιολογικό ή δευτεροβάθμιο καθαρισμό επιτυγχάνει όχι μόνο πρωτοβάθμιο αλλά και δευτεροβάθμιο καθαρισμό, δηλαδή σχεδόν πλήρη απομάκρυνση των οργανικών συστατικών με βιολογικές διεργασίες στις οποίες χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί που καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες. Στη συνέχεια οι μικροοργανισμοί απομακρύνονται από τα απόβλητα με καθίζηση ή κάποια άλλη διαδικασία.

Η βιολογική επεξεργασία μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους που χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες ανάλογα με το αν οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε αιώρηση μέσα στα απόβλητα (ενεργός ιλύς, λίμνες) ή προσκολλημένοι σε κάποια επιφάνεια (βιολογικά φίλτρα).

Τα συστήματα ενεργού ιλύος περιλαμβάνουν τη δεξαμενή αερισμού όπου οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες χρησιμοποιώντας οξυγόνο που παρέχεται από διατάξεις αερισμού και τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου οι μικροοργανισμοί καθιζάνουν και απομακρύνονται (δευτεροβάθμια λάσπη). Μέρος της λάσπης αυτής επανακυκλοφορείται στη δεξαμενή αερισμού ενώ το υπόλοιπο οδηγείται στη γραμμή επεξεργασίας λάσπης. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας υπάρχουν διάφορες παραλλαγές του συστήματος ενεργού ιλύος.

Όσον αφορά στις λίμνες, σε αυτές οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες υπό αερόβιες συνθήκες ή υπό αναερόβιες ή με συνδυασμό των δύο αυτών συνθηκών. Το οξυγόνο προστίθεται στις λίμνες είτε με διατάξεις αερισμού (λίμνες αερισμού) είτε μέσα από τη φυσική διαδικασία της φωτοσύνθεσης (λίμνες σταθεροποίησης). Η απομάκρυνση των μικροοργανισμών γίνεται με καθίζηση είτε στις ίδιες τις λίμνες είτε σε ξεχωριστές μονάδες καθίζησης (λίμνες ή δεξαμενές) και απομάκρυνσης (σχάρες, φίλτρα κτλ).

Τέλος, το βιολογικό φίλτρο περιλαμβάνει μία κλίνη με διηθητικό μέσο, πάνω στην επιφάνεια του οποίου είναι προσκολλημένοι οι μικροοργανισμοί και καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες των αποβλήτων που ρέουν μέσα στο φίλτρο χρησιμοποιώντας οξυγόνο από την ατμόσφαιρα και από τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών που αποκολλούνται από την επιφάνεια του διηθητικού μέσου και παρασύρονται από τα απόβλητα.

Ανάλογη διαδικασία παρατηρείται και στους βιολογικούς δίσκους όπου οι μικροοργανισμοί βρίσκονται προσκολλημένοι πάνω σε επίπεδες επιφάνειες(δίσκους) που περιστρέφονται μέσα στη μάζα των αποβλήτων σε ειδικές δεξαμενές.

Μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία τα καθαρισμένα απόβλητα μπορούν να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον εφόσον κριθεί ότι ο αποδέκτης δεν είναι ευαίσθητος ώστε να απαιτείται τριτοβάθμια επεξεργασία. Τα καθαρισμένα απόβλητα υφίστανται μόνο την διαδικασία της απολύμανσης, συνήθως με την προσθήκη απολυμαντικού χλωρίου, για την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε επιμήκεις δεξαμενές και διατίθενται πλέον άφοβα στον υδάτινο αποδέκτη.

Τριτοβάθμια επεξεργασία πραγματοποιείται όταν τα επεξεργασμένα απόβλητα πρόκειται να διοχετευθούν σε έναν υδάτινο αποδέκτη όπου είναι πιθανή η δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού ή όταν αναμένονται προβλήματα στην εγκατάσταση όπως η διόγκωση της λάσπης. Στην τριτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνονται φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες. Στις φυσικές περιλαμβάνονται η απομάκρυνση της αμμωνίας με εκρόφηση, των ολικών στερεών με διήθηση και των διαλυμένων στερεών με ηλεκτροδιάλυση ή αντίστροφη όσμωση. Στις χημικές περιλαμβάνονται η απομάκρυνση των νιτρικών και της αμμωνίας με ιονανταλλαγή, του φωσφόρου με χημική επεξεργασία- καθίζηση και των διαλυμένων οργανικών ουσιών , χλωρίου και βαρέων μετάλλων με ενεργό άνθρακα ενώ στις βιολογικές, η σημαντικότερη είναι η νιτροποίηση- απονιτροποίηση για την απομάκρυνση του αζώτου καθώς και η απομάκρυνση του φωσφόρου.

Η πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια λάσπη μετά τις δεξαμενές καθίζησης υφίστανται συμπύκνωση, σταθεροποίηση και αφυδάτωση- ξήρανση. Η συμπύκνωση αποσκοπεί στην αύξηση του ποσοστού των στερεών που περιέχει η ιλύς και η σταθεροποίηση στη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών και της δυνατότητας της λάσπης να γίνει σηπτική. Η σταθεροποίηση λαμβάνει χώρα αερόβια με τον αερισμό της λάσπης σε δεξαμενές όμοιες με τις δεξαμενές αερισμού ή αναερόβια. Σε μία παραλλαγή της μεθόδου ενεργού ιλύος που καλείται παρατεταμένος αερισμός η αερόβια σταθεροποίηση της λάσπης γίνεται στις ίδιες τις δεξαμενές αερισμού, δεν απαιτούνται δηλαδή χωριστές δεξαμενές αερόβιας σταθεροποίησης. Τέλος, η αφυδάτωση της ιλύος πραγματοποιείται για την απομάκρυνση μεγάλου μέρους του νερού που περιέχει και γίνεται με μηχανήματα όπως οι ταινιοφιλτρόπρεσσες ή με εξάτμιση απλώνοντας τη λάσπη σε κλίνες ξήρανσης. Μετά την αφυδάτωση-ξήρανσή της η λάσπη διατίθεται σε χωματερή ή για λίπασμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΤΟΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

2.1 ΕΡΓΑ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας γίνεται η απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων (εσχάρωση), της άμμου (εξάμμωση) και των λιπών (λιποσυλλογή) από την υγρή μάζα των αποβλήτων, η μέτρηση της παροχής των εισερχόμενων λυμάτων και η υποδοχή των βοθρολυμάτων.

2.1.1. ΕΣΧΑΡΩΣΗ

Σκοπός των εσχαρών ,όπως προαναφέρθηκε, είναι η συγκράτηση σε αυτές και έπειτα η απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων για να προστατευτεί από το φράξιμο και τη φθορά ο ήλεκτρο-μηχανολογικός εξοπλισμός της εγκατάστασης επεξεργασίας. Επίσης σκοπός της εσχάρωσης στα άλλα στάδια επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Η απομάκρυνση των στερών γίνεται με τη συγκράτηση τους σε σχάρες κατά τη διέλευση των αποβλήτων από αυτές.

Βασική παράμετρος των εσχαρών είναι το μέγεθος των διακένων τους, που καθορίζεται από το μέγεθος των στερεών που πρέπει να συγκρατηθούν. Ανάλογα με το μέγεθος των διακένων τους, οι εσχάρες διακρίνονται σε χονδρές, λεπτές και μικροσχάρες.

Οι χονδρές έχουν μέγεθος διακένων 20 –150 mm και συναντώνται στην προεπεξεργασία των αστικών αποβλήτων. Αποτελούνται από μία σειρά από χαλύβδινες ράβδους τοποθετημένες παράλληλα και σε σταθερές αποστάσεις μεταξύ τους. Διακρίνονται σε απλές που καθαρίζονται με τα χέρια και μηχανικές-αυτοκαθαριζόμενες. Οι λεπτές σχάρες χρησιμοποιούνται συνήθως στην επεξεργασία αστικών αποβλήτων που περιέχουν και βιομηχανικά απόβλητα και πολλές φορές σε αντικατάσταση της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Μπορεί να είναι σταθερές ή περιστρεφόμενες. Τέλος, οι μικροσχάρες χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των υπολοίπων αιωρούμενων στερεών μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία και όταν αναμένεται πρόβλημα αυξημένων συγκεντρώσεων στερεών.

Όσον αφορά στα εσχαρίσματα, μετά τη συλλογή τους από τον μηχανισμό καθαρισμού των εσχαρών πέφτουν σε μεταφορική ταινία στο πίσω μέρος των εσχαρών ή με χρήση κλειστού μεταφορικού κοχλία συλλέγονται σε δοχεία αποθήκευσης μέχρι τη μεταφορά τους στον χώρο διάθεσης.

Στοιχεία σχεδιασμού

- Πλάτος καναλιού σχάρας.

Δίνεται από τη σχέση $W=(\rho+\delta)/\delta * Q / (V*h) + W_0$
Όπου W=πλάτος καναλιού σχάρας
ρ= πάχος ράβδων σχάρας
δ= πλάτος διακένων σχάρας
Q= μέγιστη παροχή
V= μέγιστη ταχύτητα ροής στα διάκενα
h=βάθος ροής στη σχάρα
W_0= ανοχή πλάτους για πλευρική στήριξη (0.3 m για επίπεδη και 0 για καμπύλη σχάρα)

- Ταχύτητα ροής.

Η ταχύτητα ροής στο κανάλι και στα διάκενα της σχάρας πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην γίνεται εναπόθεση στερεών στο κανάλι και να μην παρασύρονται στερεά που έχουν συγκρατηθεί στη σχάρα. Η ταχύτητα ροής στο κανάλι της σχάρας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0.4 m/sec και η ταχύτητα στα διάκενα της σχάρας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.6-1.2 m/sec στη μέγιστη παροχή.

- Απώλειες ενέργειας.
- Είδος σχάρας και τρόπος λειτουργίας της.
- Χαρακτηριστικά σχάρας (πάχος ράβδων, πλάτος διακένων).
- Ποσότητα συγκρατούμενων στερεών, τρόπος απομάκρυνσης και διάθεσής τους.

2.1.2. ΕΞΑΜΜΩΣΗ-ΛΙΠΟΣΥΛΛΟΓΗ

Σκοπός της εξάμμωσης είναι η απομάκρυνση των κόκκων άμμου, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων σωματιδίων γεωλογικής ή όχι υφής, με διάμετρο μεγαλύτερη των 200 μm που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη διότι η παρουσία τους προκαλεί προβλήματα, όπως εναπόθεση φερτών υλών στον πυθμένα των αγωγών, φράξιμο των σωληνώσεων, μείωση της απόδοσης των επομένων μονάδων επεξεργασίας κτλ.
Η εξαμμωση γίνεται σε ειδικές δεξαμενές (εξαμμωτές) με τη δημιουργία των καταλλήλων συνθηκών ροής που ευνοούν την καθίζηση και απομάκρυνση της άμμου (και των άλλων ανόργανων σωματιδίων) αλλά όχι και των οργανικών στερεών.
Η λιποσυλλογή έχει ως σκοπό την απομάκρυνση των ελαίων και λιπών για την αποφυγή προβλημάτων στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας.

2.1.2.1 Εξαμμωτές

Τα δύο βασικά είδη εξαμμωτών είναι οι εξαμμωτές με σταθερή ταχύτητα ροής και οι αεριζόμενοι εξαμμωτές οι οποίοι συνδυάζονται και με λιποσυλλέκτες.

1. Εξαμμωτές με σταθερή ταχύτητα ροής, με αναλογικό υπερχειλιστή- Στοιχεία σχεδιασμού

Πρόκειται για επιμήκη και ρηχά κανάλια στα οποία η ταχύτητα ροής παραμένει σταθερή (περίπου 0.3 m/sec) ανεξάρτητα από τις μεταβολές της παροχής των λυμάτων. Έτσι, οι συνθήκες καθίζησης παραμένουν αμετάβλητες και εξασφαλίζουν πάντα το επιθυμητό ποσοστό απομάκρυνσης της άμμου.
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν δύο τύποι εξαμμωτών: κανάλι εξαμμωτή ορθογωνικής διατομής με αναλογικό υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο του και κανάλι εξαμμωτή παραβολικής διατομής με στένωση τύπου Parshall στο κατάντη άκρο του.

Τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού είναι τα εξής:

- Διαστάσεις εξαμμωτή – χαρακτηριστικά διατομής
- Διατομή ελέγχου
- Χρόνος παραμονής
- Επιφανειακή φόρτιση (ταχύτητα καθίζησης)
- Ταχύτητα ροής
- Μέγεθος, ποσοστό και ποσότητα απομακρυνόμενης άμμου- διάθεση

Αν θεωρήσουμε έναν εξαμμωτή ορθογωνικής διατομής με αναλογικό υπερχειλιστή, η συνήθης πρακτική ως προς τον σχεδιασμό είναι η εξής :
Ο όγκος του εξαμμωτή υπολογίζεται μέσω του υδραυλικού χρόνου παραμονής ο οποίος είναι συνήθως θ=0.75-1.5 min στην παροχή αιχμής (μέγιστη ωριαία παροχή Q_h) και ισχύει $V=\theta * Q_h$
Οι αεριζόμενοι εξαμμωτές έχουν βάθος H=0.6-1.5 m και πλάτος b=0.4-1.5 m. Η μέση ταχύτητα οριζόντιας ροής πρέπει για όλες τις παροχές να είναι σταθερή και περίπου ίση με u=0.3 m/sec.
Το μήκος του εξαμμωτή υπολογίζεται από τη σχέση $L=\alpha\ (u/u_s)\ \max H$, όπου
α= συντελεστής ασφαλείας για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες ροής στην είσοδο και έξοδο του εξαμμωτή, α=1.25-1.5
maxH=μέγιστο βάθος ροής στον εξαμμωτή

u_s=ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων άμμου που αναμένεται να απομακρυνθούν.
u=ταχύτητα ροής στον εξαμμωτή, συνήθως 0.2-0.4 m/sec
Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (x,y) του αναλογικού υπερχειλιστή υπολογίζονται αφού αρχικά επιλεχθεί ένα πλάτος b για τον εξαμμωτή. Τότε
x^2y=0,001147 b^2 και
y=Q/0.3b
Συνήθως χρησιμοποιείται ένας δίδυμος εξαμμωτής. Σε κανονική λειτουργία λειτουργεί μόνο ο ένας και στον άλλο γίνεται η απομάκρυνση της άμμου, συνήθως με φτυάρια. Η απομόνωση των εξαμμωτών γίνεται με κατάλληλα θυροφράγματα που τοποθετούνται μόνο στο ανάντη άκρο των εξαμμωτών ενώ στο κατάντη άκρο τους πρέπει πάντα να υπάρχει ελεύθερη ροή. Στον αναλογικό υπερχειλιστή υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης διάταξης υπερήχων για τη μέτρηση της παροχής.

2. Αεριζόμενοι εξαμμωτές- Στοιχεία σχεδιασμού

Οι αεριζόμενοι εξαμμωτές είναι ορθογωνικές αεριζόμενες δεξαμενές στις οποίες ο αέρας εισάγεται με διαχυτήρες κατά μήκος της μίας πλευράς με αποτέλεσμα τη δημιουργία ελικοειδούς ροής. Η κατάλληλη ταχύτητα περιστροφής που επιτρέπει την απομάκρυνση της άμμου επιτυγχάνεται με ρύθμιση της παροχής του αέρα. Η ταχύτητα δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλη ώστε να αποφεύγεται ο συμπαρασυρμός της άμμου με τη ροή αλλά ούτε πολύ μικρή καθώς τότε μαζί με την άμμο απομακρύνονται και διάφορα οργανικά στερεά. Η άμμος καθιζάνει στον πυθμένα και συσσωρεύεται σε χοάνη ή χοάνες από όπου απομακρύνεται. Η άμμος που καθιζάνει έχει χαρακτηριστικά που εξαρτώνται έντονα από το είδος και την απόδοση του εξαμμωτή, το είδος και την κατάσταση του αποχετευτικού συστήματος και την παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων.
Η απομάκρυνση της άμμου από τις χοάνες συλλογής της προς το χώρο στράγγισης της γίνεται με αντλίες άμμου ή αεραντλίες. Τέλος, η αποθήκευση της άμμου γίνεται σε δοχεία όμοια με αυτά των εσχαρισμάτων. Η τελική διάθεση της άμμου μπορεί να γίνει σε χωματερές ή σε δρόμους ως υλικό επίχωσης ή επιφανειακής κάλυψης.
Η επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής, συνήθως 0.3 m/sec, επιτυγχάνεται με κατάλληλη ρύθμιση της παροχής του αέρα και με σωστό σχεδιασμό της γεωμετρίας της δεξαμενής, ώστε να αποφεύγονται οι βραχυκυκλώσεις και οι αδρανείς περιοχές.
Το βασικότερο πλεονέκτημα των αεριζόμενων εξαμμωτών είναι ότι συνδυάζονται με λιποσυλλέκτες. Κατά μήκος των εξαμμωτών και παράλληλα σε αυτούς μπορεί να δημιουργηθούν περιοχές ηρεμίας- λιποσυλλογής (πλάτους 0.8-1.2 m), όπου θα συγκεντρώνονται στην επιφάνεια τα λίπη, οι αφροί και οι άλλες επιπλέουσες ουσίες.

Τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού είναι τα εξής:

- Διαστάσεις εξαμμωτή
- Παροχή αέρα και ταχύτητα περιστροφής
- Χρόνος παραμονής
- Τεχνικά στοιχεία (εξοπλισμός, διαχυτήρες, αεροσυμπιεστής, τρόπος απομάκρυνσης άμμου κτλ)
- Μέγεθος, ποσοστό και ποσότητα απομακρυνόμενης άμμου- διάθεση

Ο όγκος του εξαμμωτή υπολογίζεται με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής που είναι συνήθως θ=2-5 min, με τυπική τιμή ίση με 3 min.
Οι αεριζόμενοι εξαμμωτές έχουν βάθος H=2-5 m, μήκος L=7.5-20 m και πλάτος b=2.5-4 m. Για να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές συνθήκες ροής συνιστάται να ισχύουν οι σχέσεις b/H=1-5 και L/b=0.4-5. Συνιστάται επίσης η μέση ταχύτητα οριζόντιας ροής να είναι μικρότερη από 0.1 m/sec και η μέγιστη υδραυλική επιφανειακή φόρτιση να βρίσκεται στο διάστημα 50-60 m/h.
Όσον αφορά στην παροχή αέρα, οι συνηθισμένες τιμές είναι 9-18 m^3/h ανά μέτρο μήκους εξαμμωτή. Ο αερισμός παρέχεται συνήθως από λοβοειδείς φυσητήρες που λειτουργούν συνεχώς και τοποθετούνται σε απόσταση 0.45-0.9 m από τον πυθμένα του εξαμμωτή.
Σχετικά με τα τεχνικά στοιχεία, η διάταξη εισροής πρέπει να είναι κατάλληλα τοποθετημένη ώστε τα απόβλητα να εισάγονται με ορθή γωνία ως προς τη διεύθυνση της ροής και να μπαίνουν αμέσως σε περιστροφική κίνηση για να μη δημιουργούνται αδρανείς περιοχές. Ο πυθμένας είναι διαμορφωμένος με επιμήκη χοάνη τραπεζοειδούς διατομής, βάθους 0.9 m και με απότομες πλευρές προς την πλευρά των διαχυτήρων, ώστε η άμμος που καθιζάνει στον πυθμένα να παρασύρεται προς τη χοάνη. Η ταχύτητα που απαιτείται για αυτό είναι 0.23 m/sec στον πυθμένα ή 0.3 m/sec αντίστοιχα στην επιφάνεια. Από τη χοάνη η άμμος απομακρύνεται με αντλίες, με συνδυασμό ξέστρου και άντλησης ή με άλλες μηχανικές μεθόδους.

Άλλα είδη εξαμμωτών που δεν χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα είναι οι τετραγωνικοί εξαμμωτές, οι εξαμμωτές περιστροφικής ροής και οι αμμοπαγίδες τύπου Pista.

Όσον αφορά στην διαχείριση των λιπών, τα λίπη που επιπλέουν στις επιφάνειες λιποσυλλογής, οδηγούνται σε παρακείμενο φρεάτιο λιπών με κατάλληλη διάταξη. Η διάταξη αυτή μπορεί να είναι ένα επιφανειακό ξέστρο προσαρμοσμένο σε μεταλλική κινούμενη γέφυρα ή συνδυασμός επιφανειακού διαχυτήρα – κινητού υπερχειλιστή εκροής που οδηγεί τα επιφανειακά λίπη στο φρεάτιο συλλογής των λιπών. Εκεί, γίνεται με κατάλληλη διάταξη σωληνώσεων 'Τ' η απομάκρυνση των νερών, ενώ τα λίπη παραμένουν στην επιφάνεια και απομακρύνονται με απορρόφηση.

2.1.2.2 Λιποσυλλέκτες

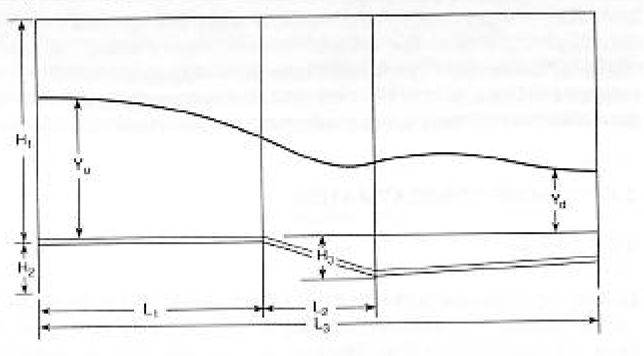
Όταν τα απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες λιπαρών και ελαιωδών ουσιών, απαιτείται μετά την εξάμμωση και κάποια μονάδα λιποσυλλογής. Οι λιποσυλλέκτες είναι απλές δεξαμενές τυπικού χρόνου παραμονής 3-5 min και με δυναμικότητα αποθήκευσης 40 L λίπους ανά 1L/sec παροχή. Η απομάκρυνση των ελαιωδών είναι διαχωρισμός υγρού- υγρού ενώ η απομάκρυνση των λιπαρών είναι διαχωρισμός υγρού- στερεού. Τόσο τα ελαιώδη όσο και τα λιπαρά συστατικά είναι ελαφρύτερα από το νερό και επιπλέουν. Η υπερχείλιση, που πολλές φορές υποβοηθείται με ένα επιφανειακό ξέστρο κυρίως για τα λιπαρά, είναι η μέθοδος απομάκρυνσης των προσμίξεων αυτών ενώ η απορροή του 'καθαρισμένου νερού' γίνεται από σημείο σε αρκετό βάθος.

2.1.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ

Σκοπός της μέτρησης παροχής είναι ο υπολογισμός της παροχής που διέρχεται από την εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, με βάση την οποία ρυθμίζεται η λειτουργία σημαντικών μονάδων.
Με το σήμα της παροχής ρυθμίζεται συνήθως η λειτουργία της διάταξης συλλογής, απομάκρυνσης και στράγγισης της άμμου του αεριζόμενου εξαμμωτή, των αντλιών ανακυκλοφορίας και των μονάδων που χρησιμοποιούν χημικά.
Η μέτρηση της παροχής γίνεται σε ανοικτούς ή κλειστούς αγωγούς. Ο πιο συνηθισμένος τύπος διάταξης μέτρησης της παροχής σε ανοικτούς αγωγούς είναι ο δίαυλος με στένωση Parshall. Στους κλειστούς αγωγούς η παροχή μετράται με την εισαγωγή στη ροή διάταξης που δημιουργεί πτώση πίεσης (πχ. σωλήνας Venturi, σωλήνας Pitot) από την οποία υπολογίζεται η παροχή με μαγνητικές, ηχητικές ή και άλλες μεθόδους.
Στον δίαυλο Parshall η παροχή Q υπολογίζεται από το βάθος ροής ανάντη της στένωσης Y_u (βλ. ακόλουθο σχήμα) σύμφωνα με την εξίσωση $Q= Y_u^n *k$. Η μέτρηση του βάθους ροής Y_u γίνεται συνήθως με υπερήχους. Ο συντελεστής k είναι σε συνάρτηση του πλάτους της στένωσης w που αποτελεί το χαρακτηριστικό μέγεθος του διαύλου. Γνωρίζοντας λοιπόν το πλάτος στένωσης w, μπορούμε μέσω του πίνακα 2.1 να υπολογίσουμε τους συντελεστές k και n.

<u>Πίνακας 2.1</u>

w (mm)	min Q (L/s)	max Q (L/s)	min Y_u (m)	max Y_u (m)	k (-)	n (-)	Y_u/Y_d (%)
25.4	0.09	5.4	0,015	0,21	0.0604	1.55	50
50.8	0.18	13.2	0,015	0,24	0.1207	1.55	50
76.2	0.77	32.1	0,030	0,33	0.1771	1.55	50
152.4	1.50	111.0	0,030	0,45	0.3812	1.58	60
228.6	2.50	251.0	0,030	0.61	0.5354	1.53	60
304.8	3.32	457.0	0,030	0,76	0.6906	1.522	70
457.2	4.80	695.0	0,030	0,76	1.056	1.538	70
609.6	12.10	937.0	0,046	0,76	1.424	1.550	70



2.1.4. ΥΠΟΔΟΧΗ ΒΟΘΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

Σκοπός της υποδοχής βοθρολυμάτων είναι η παραλαβή των βοθρολυμάτων από τα βυτιοφόρα, η αποθήκευσή τους και η διοχέτευση τους στην εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων χωρίς να δημιουργούνται περιβαλλοντικές επιπτώσεις και διαταραχές στη λειτουργία της εγκατάστασης.
Η διάταξη υποδοχής των βοθρολυμάτων αποτελείται από τα εξής:

- Χώρος εκκένωσης των βοθρολυμάτων
- Φρεάτια υποδοχής με διατάξεις στεγανής σύνδεσης με τις σωληνώσεις των βυτιοφόρων
- Δεξαμενή εξισορρόπησης βοθρολυμάτων
- Αντλίες βοθρολυμάτων για την τροφοδότηση της εγκατάστασης με βοθρολύματα από τη δεξαμενή εξισορρόπησης

Ενδεικτικά αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά των βοθρολυμάτων:

Παράμετρος	**Όρια (mg/l)**	**Τυπική τιμή (mg/l)**
BOD_5	2000-30000	6000
TS	4000-100000	40000
SS	2000-200000	15000
VSS	1200-14000	7000
TN	100-1600	700
NH_3-N	100-800	400
TP	50-800	250
Λίπη	5000-10000	8000
Βαριά μέταλλα	100-1000	300

.

<u>2.2 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ- ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ</u>

<u>*2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ*</u>

Σκοπός της πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, οργανικών και ανόργανων, μεγέθους 0.1-0.001 mm. Η απομάκρυνση αυτή σκοπεύει στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου (BOD και SS) που προορίζεται για τις επόμενες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας ή τον τελικό αποδέκτη, εφόσον η επεξεργασία που γίνεται είναι μόνο πρωτοβάθμια.
Μία δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης μπορεί να είναι κυκλική με ακτινωτή ροή προς την περιφέρεια, ορθογωνική με ροή κατά μήκος της μεγάλης πλευράς ή ανεστραμμένη κωνική με λοξή ροή από την κορυφή προς τα πάνω και έξω και αποτελείται από τη διάταξη εισροής, τη διάταξη εκροής που αποτελείται από έναν υπερχειλιστή στις κυκλικές δεξαμενές ή και περισσότερους στις ορθογωνικές δεξαμενές και τη διάταξη συλλογής των επιπλεόντων και της λάσπης. Τα επιπλέοντα στερεά οδηγούνται για χώνευση ή αφυδάτωση μαζί με την πρωτοβάθμια λάσπη.
Η κατασκευή δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης απαιτείται πάντα πριν από τα βιολογικά φίλτρα ή βιολογικούς δίσκους ώστε να αποφεύγεται το φράξιμο τους. Αντίθετα μπορεί να παραλειφθεί όταν επακολουθεί παρατεταμένος αερισμός, αερόβια χώνευση λάσπης ή λίμνες, όταν η λάσπη πρόκειται να επεξεργασθεί μακριά από την εγκατάσταση και όταν αναμένονται προβλήματα οσμών.
Η χρήση μεγάλων χρόνων παραμονής ή μικρών επιφανειακών φορτίσεων στο σχεδιασμό των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης έχει πολύ μικρή επίδραση πάνω από ορισμένες τιμές στην αύξηση της απόδοσης και μπορεί να οδηγήσει σε αντιοικονομική κατασκευή. Έτσι, είναι προτιμότερη η αυξημένη φόρτιση των επόμενων μονάδων επεξεργασίας από ότι η αυξημένη διαστασιολόγηση των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης.
Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι από τις πιο συμφέρουσες οικονομικά μονάδες επεξεργασίας για απομάκρυνση SS και BOD σε σχέση με την απόδοσή τους.

<u>*2.2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ*</u>

- Επιφανειακή φόρτιση και χρόνος παραμονής

Ο σχεδιασμός των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης βασίζεται στην επιφανειακή φόρτιση και τον χρόνο παραμονής για μία επιθυμητή απομάκρυνση στερεών, που προκύπτουν από πειραματική ανάλυση της καθίζησης των στερεών ενός συγκεκριμένου αποβλήτου. Εάν δεν υπάρχουν πειραματικά στοιχεία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τιμές που έχουν προκύψει από την εμπειρία στην επεξεργασία αστικών αποβλήτων.

- Ταχύτητα ροής στον πυθμένα των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης

Η ταχύτητα ροής στον πυθμένα δεν πρέπει να υπερβαίνει μία κρίσιμη τιμή για την οποία τα στερεά που έχουν καθιζήσει αρχίζουν να παρασύρονται σε αιώρηση. Η κρίσιμη αυτή ταχύτητα μπορεί να υπολογισθεί ως $U_{SCR}=0.4\ [(s-1)d]^{0.5}$, όπου s η ειδική βαρύτητα του σωματιδίου και d η διάμετρός του (mm). Είναι 9-15 φορές μεγαλύτερη της ταχύτητας καθίζησης, συνήθως της τάξης των 0.02 m/sec.

- Φόρτιση υπερχειλιστή

Συνήθως είναι 125-500 m^3/m μήκους, d και δεν έχει μεγάλη επίδραση στην απόδοση των δεξαμενών.

- Απομάκρυνση SS και BOD

Η απομάκρυνση των SS είναι συνήθως 50-70 % και έχει συσχετισθεί με διάφορες παραμέτρους όπως η επιφανειακή φόρτιση q, ο χρόνος παραμονής θ και η αρχική συγκέντρωση S_0 των SS, με τις ανάλογες εμπειρικές – ημιεμπειρικές σχέσεις. Ενδεικτικά αναφέρουμε:

$R_1 = 0.82exp(-0.08q)$

$R_2 = (0.00043S_0+0.51)[1-exp(-0.7θ)]$

$R_3 = 1-[1/(1.1(logS_0θ^{logS/10})]$

Η απομάκρυνση του BOD είναι συνήθως 25-40 %.

- Χαρακτηριστικά και ποσότητες πρωτοβάθμιας λάσπης

Η ποσότητα της πρωτοβάθμιας λάσπης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αποβλήτου, την απόδοση της δεξαμενής καθίζησης και τα χαρακτηριστικά της λάσπης (συγκέντρωση, ειδική βαρύτητα κτλ)

Η παροχή της λάσπης Q (στερεά και νερό, m^3/d) υπολογίζεται από τη σχέση

$Q= M/(1000\ C_λ\ s)$, όπου

M= η μάζα των αποβλήτων που απομακρύνονται, kg/d

$C_λ$= συγκέντρωση στερεών λάσπης

s= ειδική βαρύτητα λάσπης

- Γεωμετρία και διαστάσεις
- Συγκέντρωση και ποσότητα στερεών (ή BOD) στην εισροή και την εκροή
- Τεχνικά στοιχεία (κατασκευή, εξοπλισμός, διατάξεις εισροής- εκροής, διάταξη συλλογής και απομάκρυνσης λάσπης κτλ)

Η μάζα των στερών που καθιζάνουν (λάσπη) υπολογίζεται με βάση τη μάζα των στερεών στην εισροή της δεξαμενής και το ποσοστό απομάκρυνσης τους.

Στην περίπτωση που η λάσπη από τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης επιστρέφει στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης για πύκνωση, πρέπει η ποσότητά της να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας λάσπης από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Τέλος, οι ποσότητες των επιπλεόντων που συλλέγονται στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης διαφέρουν από εγκατάσταση σε εγκατάσταση και είναι συνήθως μικρότερες από $7l/10^3m^3$ αποβλήτων.

2.3 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ-ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

2.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός του συστήματος ενεργού ιλύος είναι η απομάκρυνση των διαλυμένων οργανικών ουσιών των αποβλήτων με βιοχημικές διαδικασίες.
Οι κύριες συνιστώσες ενός συστήματος ενεργού ιλύος είναι :
(α) Βιολογικός αντιδραστήρας που είναι κυρίως η δεξαμενή αερισμού, όπου οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται σε αιώρηση αναπτύσσονται καταναλώνοντας τα συστατικά των αποβλήτων (οργανικές ουσίες, αμμωνία κτλ.).
Το περιεχόμενο ενός βιολογικού αντιδραστήρα ενεργού ιλύος είναι ένα αιώρημα ενεργής βιομάζας (ενεργός ιλύς) από συσσωματωμένες κροκίδες από μικροοργανισμούς, νερό, αδρανή στερεά, βιοδιασπάσιμα και μη βιοδιασπάσιμα, διαλυμένα, αιωρούμενα και κολλοειδή συστατικά.
(β) Δεξαμενή καθίζησης, όπου καθιζάνουν και διαχωρίζονται οι μικροοργανισμοί από τα υγρά απόβλητα.
Η βασική ιδέα της μεθόδου στηρίζεται στην επιστροφή της βιομάζας από τον πυθμένα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης στη δεξαμενή αερισμού, με στόχο την διατήρηση υψηλής συγκέντρωσης μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού. Η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού είναι μία λειτουργική παράμετρος ελέγχου, η οποία επιτρέπει τη ρύθμιση της λειτουργίας της διεργασίας. Έτσι, η ελεγχόμενη αυξομείωση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτυγχάνεται απόκριση σε μεταβαλλόμενες συνθήκες εισόδου.
Ένα σύστημα ενεργού ιλύος μπορεί να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει και άλλους βιολογικούς αντιδραστήρες όπως πχ. ανοξικές δεξαμενές για απονιτροποίηση, αναερόβιες δεξαμενές και δεξαμενές επιλογής βακτηριδίων.

2.3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ

Τα βασικά μεγέθη που υπολογίζονται στο σχεδιασμό της ενεργού ιλύος είναι :

- Ο όγκος της δεξαμενής αερισμού
- Η ποσότητα της παραγόμενης περίσσειας λάσπης (με βάση την οποία σχεδιάζονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λάσπης)
- Η ποσότητα του απαιτούμενου οξυγόνου (με βάση την οποία σχεδιάζεται το σύστημα αερισμού)

Τα δεδομένα είναι:

- Η παροχή αποβλήτων Q, m^3/d
- Το BOD της εισροής S_0, mg/l
- Τα μη πτητικά αιωρούμενα στερεά (NVSS) της εισροής, X_{ONV}, mg/l
- Οι σταθερές k, Y , k_d, a, b, προσδιορισμένες πειραματικά ή εκλεγμένες από τη βιβλιογραφία. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ισχύουν:

$k=- r_s/(X_V*S)$ και $r_x=-Yr_s-k_dX_V$, όπου
r_s= μεταβολή της συγκέντρωσης των οργανικών ουσιών ανά μονάδα χρόνου
X_V= συγκέντρωση μικροοργανισμών που καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες
S= συγκέντρωση οργανικών ουσιών που απομένουν
k=σταθερά, (συγκέντρωση *χρόνος)$^{-1}$ και έχει συνήθεις τιμές
0.016 – 0.043 mg.l-d^{-1}.
r_x=μεταβολή της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών ανά μονάδα χρόνου
Y=σταθερά σύνθεσης, μάζα παραγόμενων μικροοργανισμών ανά μάζα καταναλούμενων οργανικών ουσιών. Λαμβάνει τιμές 0.4-0.8 kg VSS/kg BOD_5, (Metcalf & Eddy, 2003).

K_d= σταθερά αποσύνθεσης, μάζα μικροοργανισμών που καταστρέφονται / συνολική μάζα μικροοργανισμών και μονάδα χρόνου. Λαμβάνει τιμές 0.06 – 0.15 d^{-1}, (Metcalf & Eddy, 2003).
a=σταθερά, μάζα O_2 / μάζα καταναλούμενων οργανικών ουσιών. Οι τιμές του a είναι 0.5 – 0.7 kg O_2/kg απομακρυνόμενου BOD_5.
b= σταθερά, μάζα O_2 / συνολική μάζα μικροοργανισμών και μονάδα χρόνου. Οι τιμές του b είναι 0.05 – 0.15 d^{-1}.

- Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά της εκροής: διαλυμένο BOD_5, S, mg/l και αιωρούμενα στερεά X_e, mg/l

Ο σχεδιασμός γίνεται ως εξής:

1. Εκλέγονται η συγκέντρωση των MLVSS στη δεξαμενή αερισμού, X_V, η συγκέντρωση των στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης, X_{UV} και η ηλικία της ιλύος $θ_c$.
   Παράλληλα, λαμβάνονται τιμές από την βιβλιογραφία για τις σταθερές a, b, k, Y, k_d.
   Ο όγκος της δεξαμενής αερισμού μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση $V=Y*(S_0-S)*Q / (1/θ_c+k_d)*X_V$
   Τότε, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής θ είναι ίσος με θ=V/Q και μπορεί επίσης να υπολογιστεί.
2. Υπολογίζεται η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος ΔΧ και τα MLSS, X ως εξής:
   $ΔX=Y*(S_0-S)*Q-k_d*X_V*V+Q*X_{ONV}-QX_e$
   και
   $X_{NV}=X_{ONV}*(θ_c/θ)$
   Άρα, $X= X_{NV}+X_V$
3. Υπολογίζεται το Q_W (m^3/d), δηλαδή η παροχή της περίσσειας της ιλύος: $Q_W=ΔX / X_U$, όπου $X_u=X_{UV} / λ$ και λ=MLVSS / MLSS
4. Υπολογίζεται η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου, R:
   $R= a*(S_0-S)*Q+b*X_V*V$
5. Υπολογίζεται ο λόγος επανακυκλοφορίας r
   $r=X_V / (X_{UV}-X_V)$
6. Υπολογίζεται η παροχή ανακυκλοφορίας Q_R: $r = Q/ Q_R$
7. Υπολογίζεται και ελέγχεται το BOD της εκροής ως το άθροισμα του διαλυμένου S και εκείνου που οφείλεται στα στερεά $S_{στ}$

**Εναλλακτικός τρόπος σχεδιασμού παρουσιάζεται και επεξηγείται στο κεφάλαιο 5.

2.3.3 ΑΕΡΙΣΜΟΣ-ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Σκοπός του αερισμού στην ενεργό ιλύ είναι η παροχή της ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την κατανάλωση των οργανικών ουσιών και η ανάμιξη στη δεξαμενή αερισμού ώστε οι μικροοργανισμοί να μην καθιζάνουν στον πυθμένα και να υπάρχει ομοιόμορφη συγκέντρωση των μικροοργανισμών, του οξυγόνου και των οργανικών ουσιών σε όλο τον όγκο της δεξαμενής αερισμού.
Ο αερισμός πραγματοποιείται είτε με αεροσυμπιεστές που διοχετεύουν τον αέρα σε ειδικές διατάξεις σχηματισμού φυσαλίδων που καλούνται αεριστήρες, είτε με μηχανικές διατάξεις που προκαλούν την ανάδευση του υγρού και καλούνται επιφανειακοί-μηχανικοί αεριστήρες.

Α. ΔΙΑΧΥΤΗΡΕΣ-ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στην διαδικασία σχεδιασμού τα δεδομένα είναι τα εξής;

- Η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου R, kg O_2/d όπως υπολογίσθηκε στο σχεδιασμό της ενεργού ιλύος.
- Ο όγκος της δεξαμενής αερισμού V, m^3 όπως υπολογίσθηκε στο σχεδιασμό της ενεργού ιλύος
- Η θερμοκρασία των αποβλήτων T, ºC
- Το υψόμετρο της εγκατάστασης για τη διόρθωση των συγκεντρώσεων κορεσμού του οξυγόνου
- Η απαιτούμενη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου DO στη δεξαμενή αερισμού , mg/l

Ακολουθείται η εξής μεθοδολογία:

1. Εκλέγεται το είδος του διαχυτήρα και σημειώνονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά του μεγέθη, δοσμένα από τον κατασκευαστή:

(α) Παροχή αέρα ανά διαχυτήρα, stm^3/min
(β) Απόδοση N μεταφοράς οξυγόνου διαχυτήρα για τη συγκεκριμένη παροχή

2. Διορθώνεται η απόδοση N' για τις συνθήκες σχεδιασμού μέσω καταλλήλων σχέσεων.
3. Υπολογίζεται ο αριθμός των διαχυτήρων που απαιτούνται σαν τον λόγο R/N'.
4. Καθορίζεται η διάταξη των διαχυτήρων και ελέγχονται οι αποστάσεις. Εάν είναι εκτός των ορίων (15 cm ελάχιστο και 60-70 cm μέγιστο) εκλέγεται άλλη παροχή αέρα και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.
5. Υπολογίζεται η συνολική παροχή αέρα σαν το γινόμενο του αριθμού των διαχυτήρων επί την παροχή αέρα ανά διαχυτήρα.
6. Υπολογίζεται η ισχύς του αεροσυμπιεστή μέσω κατάλληλης σχέσης.
7. Υπολογίζεται και ελέγχεται ο βαθμός ανάμιξης.
8. Υπολογίζεται η απόδοση ε για τις συνθήκες σχεδιασμού με βάση την σχέση

ε= (μάζα απορροφούμενου από τα απόβλητα O_2/μονάδα χρόνου)/μάζα παρεχόμενου στα απόβλητα O_2/ μονάδα χρόνου.

B. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΙ ΑΕΡΙΣΤΗΡΕΣ-ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα είναι τα ίδια όπως και στους διαχυτήρες.
Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Εκλέγεται το είδος του αεριστήρα και λαμβάνονται από τους κατασκευαστές τα παρακάτω στοιχεία:

(α) Απόδοση μεταφοράς οξυγόνου Ν, kg O_2/kWh σαν συνάρτηση του βαθμού ανάμιξης, W/m^3.

(β) Η ακτίνα επιρροής του αεριστήρα σαν συνάρτηση της ισχύος του.

2. Εκλέγεται η απόδοση Ν και διορθώνεται για τις συνθήκες σχεδιασμού.
3. Υπολογίζεται η απαιτούμενη ισχύς σαν τον λόγο R / (24*N)
4. Υπολογίζεται ο βαθμός ανάμιξης και συγκρίνεται με αυτόν που αντιστοιχεί στο Ν που εκλέχθηκε, από τα δεδομένα του κατασκευαστή. Εάν οι δύο βαθμοί ανάμιξης δεν συμπίπτουν η διαδικασία επαναλαμβάνεται.
5. Εκλέγεται ο αριθμός των αεριστήρων και η ισχύς του καθένα.
6. Για την ισχύ του κάθε αεριστήρα που εκλέχθηκε στο προηγούμενο βήμα βρίσκεται η ακτίνα επιρροής από τα δεδομένα του κατασκευαστή και γίνεται η διάταξή τους στη δεξαμενή αερισμού.

*Στο κεφάλαιο 5 όπου πραγματοποιείται σχεδιασμός εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, παρουσιάζεται εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού όσον αφορά στις απαιτήσεις αερισμού.

2.3.4 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Σκοπός των δεξαμενών καθίζησης είναι (i) η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών (βιομάζα και αδρανή στερεά)των δεξαμενών αερισμού ώστε η εκροή του συστήματος να είναι απαλλαγμένη από στερεά που συμβάλλουν στο συνολικό BOD και (ii) η συμπύκνωση των στερεών ώστε να διατηρείται εύκολα η επιθυμητή υψηλή συγκέντρωση των MLSS στη δεξαμενή αερισμού με την ανακυκλοφορία και να είναι οικονομική η επεξεργασία της περίσσειας λάσπης εξαιτίας του μικρότερου όγκου της. Οι δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης μπορεί να είναι κυκλικές, ορθογωνικές ή τετράγωνες. Τα βάθη τους γενικά είναι 3-5 m.
Σκοπός του αντλιοστασίου λάσπης είναι η ανακυκλοφορία- επιστροφή του ανάμικτου υγρού (βιομάζας) από τις δεξαμενές καθίζησης όπου καθίζησε προς τις δεξαμενές αερισμού με τις αντλίες ανακυκλοφορίας για να αυξηθεί η συγκέντρωση των μικροοργανισμών MLVSS σε υψηλά επίπεδα και να αποφευχθεί η συσσώρευση της λάσπης στις δεξαμενές καθίζησης. Επίσης, το αντλιοστάσιο λάσπης χρησιμεύει στην απομάκρυνση από το σύστημα δεξαμενή αερισμού-δεξαμενή καθίζησης μέρους της λάσπης με τις αντλίες περίσσειας λάσπης για να μην αυξάνεται συνέχεια η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στις δεξαμενές αερισμού (λόγω της ανακυκλοφορίας) και να διατηρείται στην επιθυμητή σταθερή τιμή.
Τέλος, τα νερά με τα επιπλέοντα στερεά και τους αφρούς από τις δεξαμενές καθίζησης καταλήγουν στα φρεάτια αφρών.

2.3.4.1 Παράμετροι σχεδιασμού

- Επιφανειακή φόρτιση και φόρτιση στερεών

Οι τυπικές τους τιμές για το σχεδιασμό των δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης δίνονται από τον πίνακα 6.1 στα Παραρτήματα. Η επιφάνεια της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης υπολογίζεται για τη μέση και μέγιστη παροχή και εκλέγεται για το σχεδιασμό η μεγαλύτερη. Για μικρές εγκαταστάσεις η επιφάνεια υπολογίζεται για τη μέγιστη παροχή.

- Φόρτιση υπερχειλιστή

Η φόρτιση του υπερχειλιστή δεν επηρεάζει την απόδοση της δεξαμενής τόσο όσο οι άλλες παράμετροι σχεδιασμού. Γενικά πρέπει να είναι τέτοια ώστε η ταχύτητα ροής προς τον υπερχειλιστή να είναι 3.7-7.3 m/h.

2.3.4.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού

1. Υπολογίζεται η εισροή στερών λόγω βαρύτητας $SF_g=C_iV_i$ και κατασκευάζεται η καμπύλη εισροής στερεών, δηλαδή η καμπύλη του C,mg/l ως συνάρτηση του SF_g, kg/m^2-h.
2. Υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια $A=Q*(1+r))C_0/ SF_L$, όπου C_0 η συγκέντρωση στερεών στην εισροή της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης και $C_o=X=X_V+X_{NV}$ που έχουν βρεθεί κατά το σχεδιασμό του συστήματος ενεργού ιλύος. Το r και το Q (παροχή στη δεξαμενή καθίζησης) είναι επίσης γνωστά από τον σχεδιασμό του συστήματος ενεργού ιλύος.
   Από την καμπύλη εισροής στερεών, τιμές της οποίας παρατίθενται στο κεφάλαιο των παραρτημάτων στον πίνακα 6.2, προκύπτει η επιτρεπόμενη SF_g για C_U=συγκέντρωση της πυκνωμένης λάσπης στον πυθμένα της δεξαμενής. Η SF_L είναι η μέγιστη εισροή στερεών που είναι δυνατό να δεχθεί η δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης.
3. Ελέγχεται η επιφάνεια για διαύγαση (απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών του ανάμικτου υγρού)
   Η επιφανειακή φόρτιση για την επιφάνεια που υπολογίστηκε είναι :

ΕΦ= Q/ A και αντιστοιχεί σε μία δεδομένη ταχύτητα καθίζησης. Με τη βοήθεια πειραματικών δεδομένων βρίσκεται η συγκέντρωση των MLSS που αντιστοιχεί στην ταχύτητα αυτή V_i. Τότε γίνεται έλεγχος εάν αυτή η συγκέντρωση υπερβαίνει ή όχι την συγκέντρωση των MLSS που δέχεται η δεξαμενή καθίζησης.

4. Υπολογίζεται ο χρόνος παραμονής αφού επιλεχθεί ένα βάθος D. Τότε, θ= AD/Q

Συνοψίζοντας τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού ενός συστήματος ενεργού ιλύος είναι τα κάτωθι:

- Είδος ενεργού ιλύος
- Είδος ροής και διαστάσεις δεξαμενής αερισμού
- Συγκέντρωση και ποσότητα BOD εισροής (συνολικό) και BOD εκροής (διαλυμένο και συνολικό) συστήματος
- Απόδοση απομάκρυνσης BOD
- Χρόνος παραμονής, χρόνος παραμονής στερεών θ_C=XV/ΔX, δηλαδή ο λόγος της συνολικής μάζας των μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού δια της μάζας των απομακρυνόμενων από το σύστημα μικροοργανισμών.
- Συγκέντρωση MLSS και MLVSS στη δεξαμενή αερισμού
- Λόγος F/M, δηλαδή λόγος τροφής προς μικροοργανισμούς. Ορίζεται σαν το πηλίκο της μάζας του BOD που διατίθεται στους μικροοργανισμούς (τροφή) ανά μονάδα χρόνου δια της συνολικής μάζας των μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού. Οπότε: $F/M= Q^*(BOD_{εισόδου})/X^*V$, όπου Q η παροχή λυμάτων εισόδου, V ο όγκος της δεξαμενής αερισμού και X η συγκέντρωση των MLVSS.
- Παροχή επανακυκλοφορίας Q_R = Q/r , όπου Q η παροχή εισροής και r ο λόγος επανακυκλοφορίας.
- Ποσότητα και συγκέντρωση στερεών και παροχή περίσσειας λάσπης. Τα στερεά διακρίνονται σε VSS (οργανικά) και NVSS (αδρανή) και το άθροισμά τους στη δεξαμενή αερισμού είναι τα MLSS. Τα VSS είναι αυτά που παράγονται στη δεξαμενή αερισμού και υπολογίζονται από τη σχέση $X=Y(S_0-S)/[\theta(k_d+1/\theta_C)]$, όπου τα παραπάνω μεγέθη έχουν ερμηνευθεί προηγούμενα αλλά και αυτά που εισέρχονται στο σύστημα από άλλα στάδια επεξεργασίας. Τα NVSS δεν συμμετέχουν σε καμία βιολογική διαδικασία και συσσωρεύονται στο σύστημα σύμφωνα με τη σχέση: $X_{NV}=X_{NV}^{εισροή}*(\theta_c/\theta)$.
    - Απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου R που δίνεται από τη σχέση $R=a(S_0-S)Q+Bxv$
    - Μέθοδος αερισμού, απόδοση και χαρακτηριστικά συστήματος αερισμού τα οποία έχουν επεξηγηθεί στην παράγραφο 2.3.3.
    - Απαιτούμενη ισχύς και βαθμός ανάμιξης τα οποία έχουν επεξηγηθεί στην παράγραφο 2.3.3.
    - Διαστάσεις δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης (διάμετρος, βάθος στην περιφέρεια, κλίση πυθμένα),
    - Επιφανειακή φόρτιση (ταχύτητα καθίζησης)
    - Συγκέντρωση στερεών λάσπης στον πυθμένα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης X_{UV}.
    - Συγκέντρωση και ποσότητα στερεών στην εκροή X_e
    - Τεχνικά στοιχεία (κατασκευή, εξοπλισμός, σύστημα αερισμού, διαχυτήρες, επιφανειακοί αεριστήρες κτλ).

2.3.5 ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Πρόκειται για μία παραλλαγή του συστήματος ενεργού ιλύος. Κύρια χαρακτηριστικά της παραλλαγής αυτής είναι οι χαμηλές οργανικές φορτίσεις και οι μεγάλες ηλικίες ιλύος, δηλαδή η λειτουργία στη φάση του ενδογενούς μεταβολισμού καθώς επίσης οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις των MLSS (Αιωρούμενα Στερεά Πτητικού Υγρού)και οι μεγάλοι υδραυλικού χρόνοι παραμονής. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για μικρές παροχές και χρησιμοποιείται χωρίς πρωτοβάθμια καθίζηση. Κύρια χαρακτηριστικά της είναι η ανθεκτικότητα στις αυξομειώσεις των παροχών και παρουσία τοξικών, οι αυξημένες απαιτήσεις σε οξυγόνο, οι μικρές ποσότητες λάσπης που παράγονται (λάσπη σχετικά σταθεροποιημένη), ο αυξημένος όγκος της δεξαμενής αερισμού λόγω των μεγάλων χρόνων παραμονής και η σχετικά χαμηλή απόδοση σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Η δεξαμενή αερισμού είναι συνήθως πλήρους ανάμιξης και ο αερισμός γίνεται με διαχυτήρες ή επιφανειακούς αεριστήρες. Ο παρατεταμένος αερισμός μπορεί με κατάλληλο σχεδιασμό να επιτύχει υψηλό βαθμό νιτροποίησης διότι τα νιτροποιητικά βακτήρια ενεργοποιούνται σε υψηλές τιμές θ_C και με pH που κυμαίνεται από 7.2 έως 8.5 περίπου.
Μία συνηθισμένη περίπτωση εφαρμογής του παρατεταμένου αερισμού είναι η οξειδωτική τάφρος. Τα απόβλητα εισέρχονται σε ρηχή τάφρο βάθους 1-2 m και κινούνται περιφερειακά και αερίζονται από ένα οριζόντιο περιστρεφόμενο αεριστήρα (βούρτσα). Η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη από 0.3-0.4 m/sec για να αποφεύγεται η καθίζηση των MLSS ((Αιωρούμενα Στερεά Πτητικού Υγρού) στον πυθμένα. Η οξειδωτική τάφρος αποτελεί μία απλή και αποδοτική μέθοδο επεξεργασίας που δεν επηρεάζεται από τις αυξομειώσεις του οργανικού φορτίου και είναι ιδιαίτερα οικονομική λόγω των λιγότερων εκσκαφών. Η οξειδωτική τάφρος έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών και έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές της όπως η τάφρος με διακοπτόμενη εκροή (οπότε λειτουργεί και σαν δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης) ή τα σύστημα τάφρων που επιτυγχάνουν και απομάκρυνση αζώτου.

2.3.5.1 Συνιστώσες

Οι βασικές συνιστώσες ενός συστήματος παρατεταμένου αερισμού μπορεί να είναι οι ακόλουθες:

►Δεξαμενές αερισμού με διατάξεις αερισμού.
Σκοπός των δεξαμενών αερισμού είναι η βιολογική απομάκρυνση από την υγρή μάζα των αποβλήτων των διαλυμένων οργανικών ενώσεων άνθρακα (BOD) και των ενώσεων αζώτου και φωσφόρου με μικροοργανισμούς. Οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται σε αερόβιες συνθήκες, δεσμεύουν στην κυτταρική τους μάζα τις ενώσεις αυτές και τις μετατρέπουν σε στερεή βιομάζα η οποία στη συνέχεια απομακρύνεται στη δεξαμενή καθίζησης από την υγρή μάζα των αποβλήτων.
Οι δεξαμενές αερισμού μπορεί να είναι ορθογωνικής, κυκλικής ή σύνθετης κάτοψης (οξειδωτική τάφρος) και ο όγκος της επιλέγεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή νιτροποίηση, η επιθυμητή απομάκρυνση του BOD καθώς και η επιθυμητή σταθεροποίηση της παραγόμενης λάσπης.

►Δεξαμενές καθίζησης με διατάξεις απομάκρυνσης της λάσπης, οι οποίες έχουν μελετηθεί στην παράγραφο 2.3.4.

►Αντλιοστάσια λάσπης για την πραγματοποίηση της ανακυκλοφορίας και της διάθεσης της περίσσειας λάσπης, η λειτουργία του οποίου επεξηγείται στην παράγραφο 2.3.4.

►Ανοξικές δεξαμενές με διατάξεις ανάμιξης.
Σκοπός των ανοξικών δεξαμενών ή περιοχών είναι η πραγματοποίηση της απονιτροποίησης, δηλαδή η μετατροπή των νιτρικών σε αέριο άζωτο που εκλύεται στην ατμόσφαιρα απομακρυνόμενο έτσι από την υγρή μάζα των αποβλήτων. Οι μικροοργανισμοί της βιομάζας που πραγματοποιούν την απονιτροποίηση αναπτύσσονται σε ανοξικές συνθήκες (απουσία οξυγόνου-παρουσία νιτρικών)και με ικανή ποσότητα οργανικών ενώσεων. Οι διατάξεις ανάμιξης χρησιμεύουν στη διατήρηση των στερών της βιομάζας σε αιώρηση, αλλά χωρίς να αερίζεται η βιομάζα. Οι ανοξικές δεξαμενές μπορεί να είναι χωριστές δεξαμενές ορθογωνικής ή κυκλικής κάτοψης ή τμήματα ενιαίων δεξαμενών που προηγούνται ή ακολουθούν τη δεξαμενή αερισμού.
Ο όγκος τους υπολογίζεται από τη σχέση: V=N/μX, όπου μ η ταχύτητα απονιτροποίησης που αλλάζει ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, N η ποσότητα των NO_3-N σε kg/d και X η συγκέντρωση της βιομάζας.

►Αντλιοστάσια ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού για την πραγματοποίηση της ανακυκλοφορίας του ανάμικτου υγρού.
Οι αντλίες του αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού τοποθετούνται σε χωριστό αντλιοστάσιο ή είναι βυθισμένες στη δεξαμενή αερισμού. Η επιστροφή της ανακυκλοφορίας του ανάμικτου υγρού γίνεται ανάντη της ανοξικής δεξαμενής.

►Αναερόβιες δεξαμενές με διατάξεις ανάμιξης.
Σκοπός των δεξαμενών αυτών είναι η πραγματοποίηση του πρώτου σταδίου της βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου, κατά το οποίο ο φώσφορος εκλύεται από τα πολυφωσφορικά βακτηρίδια για να δεσμευτεί από αυτά στη συνέχεια κατά το δεύτερο αερόβιο στάδιο στη δεξαμενή αερισμού.
Οι διατάξεις ανάμιξης χρησιμεύουν στη διατήρηση των στερεών της βιομάζας σε αιώρηση, χωρίς να αερίζεται η βιομάζα.
Οι αναερόβιες δεξαμενές είναι όμοιες με τις ανοξικές και συνήθως χωρίζονται σε διαμερίσματα. Συνήθως διαστασιολογούνται με έναν υδραυλικό χρόνο παραμονής θ ίσο με 1-1.5 h λαμβάνοντας υπόψη και την ανακυκλοφορία της λάσπης οπότε ο όγκος τους είναι ίσος με V=θQ(1+R).

►Δεξαμενές επιλογής βακτηριδίων με διατάξεις ανάμιξης ή αερισμού.
Στις δεξαμενές επιλογής βακτηριδίων επικρατούν συνθήκες που αποθαρρύνουν την ανάπτυξη των νηματοειδών βακτηριδίων και ενθαρρύνουν την ανάπτυξη των βακτηριδίων που σχηματίζουν κροκίδες οι οποίες καθιζάνουν εύκολα στις δεξαμενές καθίζησης. Οι κατάλληλες συνθήκες μπορεί να είναι αερόβιες, ανοξικές ή αναερόβιες, οπότε επιλέγεται και ο κατάλληλος εξοπλισμός αερισμού ή/ και ανάμιξης.
Συνήθως ο χρόνος παραμονής σε μία δεξαμενή επιλογής βακτηριδίων είναι της τάξης των 10 min οπότε ο όγκος τους V προκύπτει V=θ Q (1+R).

Στη συνέχεια, και ειδικότερα στο κεφάλαιο 5, σχεδιάζεται σύστημα παρατεταμένου αερισμού, όπου η δευτεροβάθμια επεξεργασία δομείται σε σχέσεις και εξισώσεις ξένης βιβλιογραφίας και συγκεκριμένα από τους Metcalf % Eddy, 2003.

2.4 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

2.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών με τα νερά του αποδέκτη, στα οποία διοχετεύονται τα απόβλητα. Είναι το μοναδικό στάδιο στην επεξεργασία των αποβλήτων με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας.
Η περισσότερο διαδεδομένη και δοκιμασμένη μέθοδος απολύμανσης σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων είναι η χλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο. Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χλωρίωση έχει το βασικό μειονέκτημα της δυσμενούς επίδρασης του χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον όπου διοχετεύονται τα χλωριωμένα απόβλητα. Η επίδραση αυτή εκδηλώνεται άμεσα στις διάφορες μορφές ζωής λόγω της τοξικότητας του χλωρίου ή έμμεσα με το σχηματισμό οργανοχλωριούχων ενώσεων, από την αντίδραση του χλωρίου με τις οργανικές των αποβλήτων που πιθανολογείται ότι είναι καρκινογόνες. Είναι λοιπόν προφανές ότι στο υδάτινο περιβάλλον δεν πρέπει να διοχετεύονται μεγάλες ποσότητες χλωρίου, που προκύπτουν από αλόγιστη χρήση του στη διαδικασία της χλωρίωσης.
Σήμερα γίνονται διάφορες προσπάθειες για τη βελτίωση της απόδοσης της χλωρίωσης ώστε να αποφεύγεται η ανεξέλεγκτη χρήση και σπατάλη του χλωρίου. Στις προσπάθειες αυτές ανήκουν ορισμένες τεχνικές όπως η χρησιμοποίηση υπολειμματικού χλωρίου αλλά και περισσότερο δραστικά μέτρα όπως η αποχλωρίωση με διοξείδιο του άνθρακα ή με ενεργό άνθρακα και η μη λειτουργία ή παράλειψη εγκατάστασης χλωρίωσης όταν η δυνατότητα φυσικής μείωσης των παθογόνων μικροοργανισμών στο υδάτινο περιβάλλον, οι τοπικές συνθήκες και η χρήση του αποδέκτη το επιτρέπουν.
Άλλες δραστικές και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις μέθοδοι απολύμανσης είναι η οζόνωση και η απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία.

2.4.2 ΧΛΩΡΙΩΣΗ

Το πιο συνηθισμένο απολυμαντικό μέσο είναι το υποχλωριώδες νάτριο. Διατίθεται στο εμπόριο σε υγρή μορφή με περιεκτικότητα χλωρίου κατά βάρος μικρότερη από 15%.
Η βασική θεωρητική αντίδραση κατά τη διοχέτευση υποχλωριώδους νατρίου στο νερό είναι η ακόλουθη:

$$NaOCl + H_2O \rightarrow HOCl + NaOH$$

Το υποχλωριώδες νάτριο με το νερό σχηματίζει HOCl το οποίο είναι η βασικότερη μορφή του χλωρίου που δρα ως απολυμαντικό μέσο στη διαδικασία και το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως *ελεύθερο χλώριο.*
Το χλώριο που προστίθεται στην πορεία της διαδικασίας αντιδρά με τα αμμωνιακά άλατα και την αμμωνία που περιέχονται στα απόβλητα. Οι ενώσεις αυτές αποτελούν το *ενωμένο χλώριο* και είναι επίσης απολυμαντικές αλλά σε μικρότερο βαθμό από το ελεύθερο χλώριο.
Το σύνολο του ελεύθερου και του ενωμένου χλωρίου αποτελεί το υ*πολειμματικό χλώριο.*

2.4.3 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΧΛΩΡΙΩΣΗΣ

Η επαφή του NaOCl με τα λύματα γίνεται στη δεξαμενή χλωρίωσης που καλείται και δεξαμενή επαφής. Η δεξαμενή αυτή πρέπει να εξασφαλίζει τον απαραίτητο χρόνο επαφής με τα απόβλητα ώστε να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός βαθμός απομάκρυνσης των παθογόνων μικροοργανισμών.
Για τον προσδιορισμό του απαραίτητου χρόνου παραμονής θ ισχύει:
$E/E_0 = (1+0.23\ C\ \theta)^{-3}$, όπου
E_0 και E= οι συγκεντρώσεις των κολοβακτηριδίων στην είσοδο και έξοδο της δεξαμενής επαφής αντίστοιχα και
C= η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου στην έξοδο της δεξαμενής χλωρίωσης.
Επίσης ισχύει: $\theta=V_{\text{δεξαμενής χλωρίωσης}}/Q$
Συνήθως για αστικά απόβλητα ο χρόνος παραμονής είναι 20-30 min στην παροχή αιχμής. Η μέση συγκέντρωση του χλωρίου στη δεξαμενή χλωρίωσης είναι ίση με 5-8 mg/l. Η ταχύτητα ροής στη δεξαμενή χλωρίωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2-4 m/min για να μη γίνεται καθίζηση των αιωρούμενων στερεών. Παράλληλα πρέπει να υπάρχει ένας παρακαμπτήριος αγωγός ο οποίος επιτρέπει την εκκένωση της δεξαμενής χλωρίωσης για τον καθαρισμό της από τα στερεά που καθίζησαν.
Η διοχέτευση του NaOCl γίνεται συνήθως στο φρεάτιο εισόδου της δεξαμενής χλωρίωσης όπου επιχειρείται η δημιουργία έντονης τύρβης για την επίτευξη θεωρητικά ακαριαίας ανάμιξης του NaOCl με τα απόβλητα.
Οι δεξαμενές χλωρίωσης έχουν συνήθως μαιανδρική κάτοψη με μεγάλους λόγους μήκος:πλάτος, ώστε να επιτυγχάνεται σε αυτές ομοιόμορφη, παράλληλη ροή που έχει διαπιστωθεί ότι επιδρά ευεργετικά στην απόδοση της χλωρίωσης.

2.4.3.1 Βασικά στοιχεία σχεδιασμού χλωρίωσης

- Διαστάσεις δεξαμενής επαφής

Με δεδομένες τη μέγιστη, ελάχιστη και μέση παροχή καθώς και τη μέγιστη και μέση δόση χλωρίου και τον χρόνο επαφής στη μέγιστη παροχή (από κανονισμούς), υπολογίζεται ο όγκος της δεξαμενής επαφής V = Qt. Εκλέγεται το βάθος ροής D και υπολογίζεται η επιφάνεια. Στη συνέχεια, εκλέγονται το μήκος και το πλάτος και βάσει αυτών η δεξαμενή χωρίζεται σε λωρίδες συγκεκριμένου αριθμού και πλάτους για να επιτυγχάνεται σωληνοειδής ροή.
Επίσης ελέγχεται η ταχύτητα ροής στη δεξαμενή επαφής για την ελάχιστη παροχή $u= Q_{min}/A$ με A το εμβαδόν διατομής ίσο με A=D*(πλάτος μίας λωρίδας).
Υπολογίζεται η απαιτούμενη ικανότητα του χλωριωτή
Cl_2/d = (μέγιστη δόση χλωρίου)*Q_{max}
Και η ημερήσια κατανάλωση χλωρίου
Cl_2/d = (μέση δόση χλωρίου)*$Q_{\text{μέση}}$

- Χρόνος παραμονής στη μέγιστη παροχή
- Δόση και ποσότητα χλωρίου

Σημειώνουμε στο σημείο αυτό ότι έχει διαπιστωθεί πως η απόδοση της χλωρίωσης είναι συνάρτηση του γινομένου (χρόνος επαφής)*(συγκέντρωση χλωρίου) εφόσον παραμένουν αμετάβλητοι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την χλωρίωση όπως είναι το pH των αποβλήτων και η χημική τους σύσταση, τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, ο αριθμός και το είδος των μικροοργανισμών.

- % μείωση των κολοβακτηριδίων η οποία προκύπτει από διάφορα μοντέλα απολύμανσης πχ. $N/N_0 = e^{-kt}$ ή $N/N_0 =(e^{-kc})^a$ όπου

N= αριθμός μικροοργανισμών σε χρόνο t
N_0= αριθμός μικροοργανισμών σε χρόνο t=0
c= συγκέντρωση απολυμαντικού χλωρίου
k, n= σταθερές που υπολογίζονται πειραματικά.

$a = t^n$

- Τεχνικά στοιχεία (κατασκευή, είδος χλωρίου, εξοπλισμός κτλ).

2.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΛΑΣΠΗΣ

2.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γραμμή επεξεργασίας της λάσπης είναι μαζί με τη γραμμή επεξεργασίας των αποβλήτων, οι γραμμές επεξεργασίας σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων. Η γραμμή επεξεργασίας της λάσπης είναι πιο ουσιαστική γιατί σε αυτήν γίνεται η επεξεργασία όλων των ουσιών που απομακρύνθηκαν από τα απόβλητα στη γραμμή επεξεργασίας αποβλήτων. Η σπουδαιότητα της επεξεργασίας της λάσπης γίνεται αντιληπτή από το γεγονός ότι αν και ο όγκος της είναι 1 % περίπου του συνολικού όγκου των αποβλήτων απαιτεί το 25 έως 50 % του συνολικού κόστους κατασκευής – λειτουργίας μίας εγκατάστασης.
Σαν λάσπη εννοούμε όλα τα στερεά τα οποία έχουν απομακρυνθεί ή παραχθεί και απομακρυνθεί από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των απόβλητων, όπως η προεπεξεργασία (εσχαρίσματα, άμμος), η πρωτοβάθμια επεξεργασία (πρωτοβάθμια λάσπη) και δευτεροβάθμια επεξεργασία (περίσσεια ενεργού ιλύος κτλ).
Οι στόχοι της επεξεργασίας λάσπης είναι καταρχήν η μείωση του όγκου της ώστε να μειωθεί το κόστος επεξεργασίας της και έπειτα η μετατροπή της σε μία αδρανή, σταθερή βιολογικά μάζα ώστε η διάθεσή της στο περιβάλλον να είναι ακίνδυνη.
Η γραμμή επεξεργασίας της λάσπης περιλαμβάνει:

- Προεπεξεργασία
- Πάχυνση
- Σταθεροποίηση
- Απολύμανση
- Χημική επεξεργασία
- Αφυδάτωση
- Θερμική ξήρανση
- Λιπασματοποίηση
- Διαδικασίες υψηλής θερμοκρασίας
- Διάθεση

Ο κατάλληλος συνδυασμός των διαφόρων μονάδων επεξεργασίας λάσπης εκλέγεται μετά από τεχνικοοικονομική ανάλυση των εναλλακτικών λύσεων για τη συγκεκριμένη περίπτωση σε σχέση πάντα με τη γραμμή επεξεργασίας των αποβλήτων καθώς και την απαιτούμενη για τελική διάθεση ποιότητα της λάσπης.

2.5.2 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Οι διαδικασίες που συνιστούν την φάση της προεπεξεργασίας της λάσπης είναι η εξάμμωση, η μίξη διαφόρων ειδών λάσπης και η αποθήκευση.
Σκοπός της εξάμμωσης είναι η απομάκρυνση της άμμου για να μη δημιουργούνται προβλήματα συσσώρευσης της στις διάφορες μονάδες επεξεργασίας και ιδιαίτερα στα διάφορα μηχανικά μέρη (αντλίες, μηχανικά μέσα πύκνωσης – αφυδάτωσης κτλ).
Παρόλο που η απομάκρυνση της άμμου όπως έχει ήδη επισημανθεί γίνεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στο στάδιο της προεπεξεργασίας στη γραμμή επεξεργασίας των αποβλήτων, η παρουσία της στη λάσπη δεν θεωρείται ασυνήθιστη και έτσι, η απομάκρυνσή της γίνεται συνήθως με υδροκυκλώνες υπό την επίδραση φυγόκεντρης δύναμης.
Σκοπός της μίξης συνήθως πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας λάσπης είναι η δημιουργία ομοιόμορφης λάσπης, πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό για ορισμένες

μεθόδους επεξεργασίας όπως είναι η σταθεροποίηση και η αφυδάτωση. Η μίξη επιτυγχάνεται στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης ύστερα από επαναφορά της δευτεροβάθμιας λάσπης στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, σε διάφορες μονάδες επεξεργασίας της λάσπης με ανάμιξη ή μεγάλους χρόνους παραμονής (αερόβια, αναερόβια χώνευση), στους αγωγούς μεταφοράς ή και σε ειδικές δεξαμενές μίξης.
Τέλος, με την αποθήκευση επιτυγχάνεται ο περιορισμός της διαφοράς φάσης στη λειτουργία μεταξύ της γραμμής επεξεργασίας αποβλήτων και της γραμμής επεξεργασίας της λάσπης και η ομοιόμορφη φόρτιση των διαφόρων μονάδων επεξεργασίας της λάσπης. Η παραγωγή λάσπης είναι συνεχής σε όλο τη διάρκεια της ημέρας στη γραμμή επεξεργασίας αποβλήτων ενώ η επεξεργασία και διάθεση της γίνεται μόνο ορισμένες ώρες της ημέρας. Όσον αφορά στην ομοιόμορφη φόρτιση είναι σημαντική για την απόδοση ορισμένων διαδικασιών όπως η σταθεροποίηση, η μηχανική αφυδάτωση και η θερμική επεξεργασία.
Η αποθήκευση μπορεί να γίνεται σε μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, σε μονάδες επεξεργασίας λάσπης ή και σε ειδικές για αυτό μονάδες. Στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων η αποθήκευση γίνεται στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης, στις δεξαμενές αερισμού σε συνδυασμό με την δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης και στις λίμνες. Στις μονάδες επεξεργασίας λάσπης η αποθήκευση γίνεται στους πυκνωτές βαρύτητας, στους αερόβιους και αναερόβιους χωνευτές και στις κλίνες ξήρανσης. Οι ειδικές μονάδες αποθήκευσης της λάσπης διακρίνονται σε αυτές για αποθήκευση υγρής λάσπης και σε αυτές για αποθήκευση αφυδατωμένης λάσπης. Μορφές αποθήκευσης της υγρής λάσπης είναι οι αερόβιες – αναερόβιες ή αναερόβιες λίμνες λάσπης, οι αεριζόμενες λίμνες λάσπης ή και ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης όπου μπορεί να περιλαμβάνεται και μίξη. Μορφές αποθήκευσης της αφυδατωμένης λάσπης είναι οι λίμνες ξήρανσης, ειδικές αποθήκες – σιλό ή και σωροί στο ύπαιθρο.

2.5.3 ΠΑΧΥΝΣΗ

Μέσω της πάχυνσης της λάσπης, πραγματοποιείται μείωση του όγκου της που επιτυγχάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών της, απομακρύνοντας μέρος του νερού που περιέχει. Η μείωση του όγκου της λάσπης επιφέρει σημαντική μείωση του κόστους των μονάδων επεξεργασίας. Οι μέθοδοι πάχυνσης είναι με βαρύτητα, με επίπλευση σε δεξαμενές και με μηχανικά μέσα (φυγοκέντρηση).

2.5.4 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ

Η σταθεροποίηση της λάσπης συνεπάγεται τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών και της δυνατότητας της λάσπης να γίνει σηπτική. Οι κυριότερες μέθοδοι σταθεροποίησης είναι η αναερόβια και αερόβια χώνευση ή και οι λίμνες σταθεροποίησης, η επεξεργασία με ασβέστη ή χλώριο και η θερμική επεξεργασία.

2.5.5 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

Η απολύμανση αποσκοπεί στην καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών ή στην εξουδετέρωση της δυνατότητας τους να μολύνουν ώστε να μην κινδυνεύει η δημόσια υγεία από τη διάθεση της λάσπης. Η ανάγκη για απολύμανση της λάσπης ξεκινά από τη δυνατότητα χρήσης της για διάφορους σκοπούς όπως λίπασμα, εμπλουτισμός του εδάφους κτλ.

Η απολύμανση γίνεται με χημικά μέσα (χλώριο, όζον, άσβεστη κτλ), με παρατεταμένη αποθήκευση πάνω από 60 ημέρες για σταθεροποιημένη λάσπη, με θερμική επεξεργασία (παστερίωση στους 70^{o}, θερμική ξήρανση, καύση, αποτέφρωση), με λιπασματοποίηση και με ακτινοβολία υψηλής ενέργειας.

2.5.6 ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της χημικής επεξεργασίας είναι η κατάλληλη προετοιμασία και επεξεργασία της λάσπης για αν γίνει η αφυδάτωση (ή πάχυνση) περισσότερο αποδοτική δίνοντας στα στερεά της λάσπης τη δυνατότητα να συσσωματώνονται και να απελευθερώνουν το νερό ευκολότερα. Η κυριότερη μέθοδος είναι η προσθήκη χημικών (χλωριούχος σίδηρος, ασβέστης, θειικός σίδηρος και οργανικά πολυμερή) ενώ άλλες μέθοδοι είναι η θερμική επεξεργασία και η έκπλυση.

2.5.7 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

Μέσω της αφυδάτωσης επιτυγχάνεται η αύξηση της συγκέντρωσης των στερών της λάσπης σε υψηλά επίπεδα, με την απομάκρυνση της υγρασίας. Η λάσπη μετά την αφυδάτωση είναι σε μη υγρή κατάσταση και με μειωμένο όγκο, γεγονός που καθιστά τη μεταφορά της ευκολότερη και φθηνότερη, μειώνει το κόστος της επεξεργασίας που τυχόν έπεται και δεν προκαλεί ρύπανση λόγω αποστράγγισης αν διατίθεται στο έδαφος. Η αφυδάτωση γίνεται είτε με φυσική εξάτμιση και αποστράγγιση του νερού της λάσπης (κλίνες και λίμνες ξήρανσης) ή με διάφορα μηχανικά μέσα (φυγοκέντρηση, φίλτρα).

2.5.8 ΘΕΡΜΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ

Σκοπός της θερμικής ξήρανσης είναι η μείωση της υγρασίας που περιέχεται στη λάσπη σε επίπεδα κάτω του 10 %, με κάποιας μορφής θέρμανση. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι μηχανικές και περιλαμβάνουν ταχείς και περιστροφικούς ξηραντές και αποτεφρωτές ενώ οι ίδιες εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιούνται και για καύση της λάσπης.

2.5.9 ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ

Μέσω της λιπασματοποίησης η λάσπη μετατρέπεται σε λίπασμα για τον εμπλουτισμό του εδάφους. Αν και η εφαρμογή της λάσπης στο έδαφος σαν λίπασμα έχει ευεργετικά αποτελέσματα κυρίως λόγω των θρεπτικών συστατικών που περιέχει, η λιπασματοποίηση δεν έχει εφαρμοστεί εκτεταμένα εξαιτίας του σχετικά μεγάλου κόστους της και της περιορισμένης αγοράς για το τελικό προϊόν. Η λιπασματοποίηση γίνεται μετά από αφυδάτωση είτε σε ανοιχτούς χώρους ή με μηχανικά μέσα και μπορεί να γίνεται ταυτόχρονα και με στερεά απόβλητα.

2.5.10 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Οι διαδικασίες υψηλής θερμοκρασίας επιτυγχάνουν την καύση της λάσπης και τη μετατροπή της σε αδρανή τελικά προϊόντα και αέρια και οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η αποτέφρωση, η καύση με περιορισμένο αέρα, η καύση με άλλα υλικά και η καύση για επανάκτηση διαφόρων χρήσιμων υλικών.
Οι διαδικασίες αυτές απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας, ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα και απαιτούν πολυδάπανες εγκαταστάσεις και εξειδικευμένο προσωπικό. Παρόλα αυτά επιτυγχάνουν μεγάλη μείωση του όγκου της λάσπης κι καταστρέφουν τα τοξικά συστατικά της.

2.5.11 ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ

Η τελική διάθεση της λάσπης μπορεί να γίνει στο έδαφος, στη θάλασσα ή στον αέρα (σαν αέριο από καύση) με σκοπό τη χρήση για κάποια ωφέλεια (λίπασμα, ανάκτηση χρήσιμων υλικών) ή την απλή απόρριψη της. Ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης της λάσπης καθορίζονται τα απαιτούμενα στάδια επεξεργασίας της ώστε η διάθεση να είναι περιβαλλοντολογικά ασφαλής και οικονομικά συμφέρουσα.

2.5.12 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΑΣΠΗΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Στα συστήματα παρατεταμένου αερισμού η παραγόμενη λάσπη εξαιτίας των μεγάλων ηλικιών λάσπης είναι σταθεροποιημένη και περιέχει ποσοστό οργανικών στερεών 50 έως 60 %. Επομένως, η περίσσεια της λάσπης δεν απαιτεί πρόσθετη σταθεροποίηση αλλά μόνο μείωση του όγκου της που γίνεται με τις διεργασίες της πάχυνσης και της αφυδάτωσης.
Η πάχυνση αποσκοπεί στη μείωση του όγκου της λάσπης με απομάκρυνση μέρους του νερού που περιέχει και στη βελτίωση των χαρακτηριστικών της για να είναι περισσότερο αποτελεσματική η αφυδάτωσή της.
Η αφυδάτωση αποσκοπεί στην αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών που περιέχει σε πολύ υψηλά επίπεδα ώστε να μεταφερθεί και να διατεθεί στο χώρο διάθεσης οικονομικότερα και ευκολότερα και χωρίς να προκαλεί ρύπανση του εδάφους (αν διατεθεί σε αυτό) εξαιτίας της αποστράγγισης.

2.5.12.1 Πάχυνση

Η πάχυνση της λάσπης γίνεται συνήθως με έναν από τους ακόλουθους τρόπους: με βαρύτητα σε δεξαμενές πάχυνσης, με επίπλευση σε δεξαμενές ή με μηχανικά μέσα.

- *Πάχυνση με βαρύτητα*

Η πάχυνση της λάσπης γίνεται σε δεξαμενές πάχυνσης όμοιες με τις δεξαμενές καθίζησης αλλά με πολύ μικρότερες διαμέτρους, μεγαλύτερα βάθη (πλευρικό βάθος= 3.5-4 m) και μεγαλύτερες κλίσεις πυθμένα (1:6-1:4) για να διευκολύνεται η συσσώρευση και συμπύκνωση της λάσπης στη χοάνη συλλογής.
Η λάσπη εισάγεται στη δεξαμενή πάχυνσης από κατάλληλη διάταξη, καθιζάνει και συμπυκνώνεται. Στη συνέχεια, συλλέγεται με κατάλληλο ξέστρο που φέρει κατακόρυφες ράβδους οι οποίες περιστρέφονται μαζί με το ξέστρο και αναδεύουν ελαφρά τη λάσπη απελευθερώνοντας το νερό και τα αέρια, βοηθώντας έτσι στην πάχυνση της. Τα νερά που αφαιρούνται από τη λάσπη κατά την πάχυνση υπερχειλίζουν με περιμετρικό υπερχειλιστή και οδηγούνται ανάντη της βιολογικής επεξεργασίας με την παρεμβολή του αντλιοστασίου στραγγιδίων ή με βαρύτητα, όταν αυτό είναι δυνατό.
Η διαστασιολόγηση των δεξαμενών πάχυνσης, δηλαδή ο υπολογισμός της ολικής επιφάνειας πάχυνσης Α και του ολικού όγκου πάχυνσης V γίνεται με βάση εμπειρικές τιμές σχεδιασμού για τη φόρτιση στερεών ΦΣ, την επιφανειακή φόρτιση ΕΦ και τον υδραυλικό χρόνο παραμονής θ, που ορίζονται ως εξής:
$ΦΣ = T_λ / A$
$ΕΦ = Q / A$
$Θ = Q / V$
Οι δεξαμενές πάχυνσης για συστήματα παρατεταμένου αερισμού σχεδιάζονται για φόρτιση στερεών 30 – 40 kg SS/ m^2-d ενώ ο χρόνος παραμονής δεν πρέπει να είναι συνήθως μεγαλύτερος από 18 –24 h.
Η παροχή της παχυμένης λάσπης και των υπερχειλίσεων είναι ίσες αντίστοιχα με

$$Q_{πλ} = ΔT_λ / C$$
$$Q_{υγρών} = Q_λ - Q_{πλ}$$

Οι δεξαμενές πάχυνσης δεν συνιστώνται σε συστήματα παρατεταμένου αερισμού που έχουν σχεδιαστεί να επιτυγχάνουν και βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου. Στην τελευταία περίπτωση προτείνεται η χρησιμοποίηση μηχανικών μέσων επίπλευσης.

- *Πάχυνση με επίπλευση*

Η πάχυνση της λάσπης γίνεται σε δεξαμενές επίπλευσης όπου η εισερχόμενη λάσπη (που περιέχει πεπιεσμένο αέρα) παρασύρεται στην επιφάνεια από τις απελευθερωμένες φυσαλίδες αέρα. Στην επιφάνεια συμπυκνώνεται και απομακρύνεται με κατάλληλη διάταξη.
Για συστήματα παρατεταμένου αερισμού, οι δεξαμενές επίπλευσης σχεδιάζονται (όπως και οι δεξαμενές πάχυνσης), για φόρτιση στερών 2 – 5 kg/m^2-h και 5 – 10 kg/m^2-h με τις μεγαλύτερες τιμές για λάσπες με δείκτη όγκου ιλύος< 125 ml/g και επιφανειακή φόρτιση 2 m^3/m^2-h χωρίς πολυμερή και 2 – 5 m^3/m^2-h με πολυμερή.
Οι δόσεις των πολυμερών (όταν αυτά χρησιμοποιούνται) είναι 0.003 – 001 kg/kg αιωρούμενων στερεών με τις μικρότερες τιμές για λάσπες με δείκτη όγκου ιλύος <125 mg/l. Η συγκέντρωση σε στερεά της παχυμένης λάσπης αναμένεται να είναι 3 – 5.5 % για δείκτη όγκου ιλύος <125 mg/l και 2 – 4.5 % για δείκτη όγκου ιλύος >125 mg/l με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται όταν χρησιμοποιούνται πολυμερή.
Εξαιτίας του υψηλού του κόστους οι δεξαμενές επίπλευσης δεν χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα παρατεταμένου αερισμού.
*Όσον αφορά στον δείκτη όγκου ιλύος SVI, αναφέρουμε ότι αυτός χρησιμοποιείται σαν δείκτης γενικής εκτίμησης για τα χαρακτηριστικά καθίζησης της βιομάζας και εκφράζει τον όγκο που καταλαμβάνει η λάσπη που καθίζησε (σε ml) στο σύνολο της μάζας των αποβλήτων (1000 g). Απόβλητα με μικρές τιμές SVI θεωρείται ότι δεν παρουσιάζουν προβλήματα καθιζησιμότητας.

- *Πάχυνση με μηχανικά μέσα*

Σε περιπτώσεις συστημάτων παρατεταμένου αερισμού με βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου συνιστάται η πάχυνση με μηχανικά μέσα.
Οι δύο βασικότερες μέθοδοι πάχυνσης με μηχανικά μέσα είναι (α) με περιστρεφόμενο κύλινδρο και (β) με ταινίες βαρύτητας .
Τα βασικά τμήματα ενός συστήματος μηχανικής πάχυνσης είναι τα ακόλουθα:

(i) Αντλίες περίσσειας λάσπης για την τροφοδοσία των παχυντών. Οι αντλίες είναι συνήθως κοχλιωτές, ξηρού τύπου, περιστροφικές και μεταβλητής παροχής.
(ii) Εγκατάσταση προετοιμασίας πολυμερούς, που περιλαμβάνει αναρρόφηση της σκόνης πολυηλεκτρολύτη (σε μορφή σκόνης), δοσομέτρηση της σκόνης, προδιάλυση σε αναδευόμενη δεξαμενή, αραίωση και ωρίμανση σε αναδευόμενη δεξαμενή και τροφοδοσία των παχυντών με κατάλληλες δοσομετρικές αντλίες μεταβαλλόμενης παροχής, σε αναλογία με την ποσότητα της περίσσειας λάσπης. Η εγκατάσταση αυτή συνιστάται συνήθως να είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, με τη δυνατότητα ορισμένα τμήματά της να λειτουργούν χειροκίνητα.
(iii) Διάταξη ανάμιξης του διαλύματος πολυμερούς με την περίσσεια λάσπης.
(iv) Κυρίως τμήμα του μηχανικού παχυντή (περιστρεφόμενος κύλινδρος ή ταινίες βαρύτητας).
(v) Διάταξη έκπλυσης του μηχανικού παχυντή και
(vi) Διάταξη μεταφοράς της παχυμένης λάσπης προς την εγκατάσταση αφυδάτωσης. Όταν και η αφυδάτωση γίνεται με μηχανικά μέσα υπάρχει η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης της πάχυνσης με την αφυδάτωση χωρίς την απαίτηση διάταξης μεταφοράς (πχ. αντλίας).

Ο παχυντής τύπου περιστρεφόμενου κυλίνδρου αποτελείται κυρίως από τον περιστρεφόμενο κύλινδρο, που είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα που έχει οπές περίπου 1 mm. Εναλλακτικά, ο περιστρεφόμενος κύλινδρος μπορεί να είναι ένα κυλινδρικό πλέγμα πάνω στο οποίο τοποθετείται πλαστικό φύλλο ή ύφασμα με μικρές οπές. Ο κύλινδρος περιστρέφεται με κινητήρα μεταβλητής ταχύτητας με τη βοήθεια κεντρικού άξονα ή στηριζόμενος πάνω σε περιστρεφόμενους τροχούς. Το μίγμα λάσπης – πολυμερούς εισάγεται στον κύλινδρο και το νερό στραγγίζει ανάμεσα στα κενά της κυλινδρικής πλευρικής επιφάνειας και συλλέγεται στο κάτω μέρος της διάταξης έξω από τον κύλινδρο. Παράλληλα, το εσωτερικό και εξωτερικό μέρος της κυλινδρικής επιφάνειας πλένεται για να καθαριστούν οι οπές και έτσι να διατηρείται υψηλή απόδοση.

Ο παχυντής τύπου ταινίας βαρύτητας αποτελείται κυρίως από μία οριζόντια ταινία με πόρους πάνω στην οποία τοποθετείται το μίγμα λάσπης – πολυμερούς και κατανέμεται ομοιόμορφα με τη βοήθεια πλαστικών οδηγών – προεξοχών που βρίσκονται πάνω στην ταινία. Καθώς η ταινία γυρίζει αργά, το νερό του μίγματος λάσπης – κροκιδωτικών στραγγίζει ανάμεσα στους πόρους της ταινίας και συλλέγεται.

Η διεργασία της μηχανικής πάχυνσης βελτιστοποιείται μεταβάλλοντας την παροχή της λάσπης, τον ρυθμό περιστροφής του κυλίνδρου ή την ταχύτητα κίνησης της ταινίας αλλά κυρίως τη δόση των κροκιδωτικών. Και αυτό γιατί το μεγαλύτερο μέρος του νερού απομακρύνεται στη διαδικασία με βαρύτητα.

Η συγκέντρωση της παχυμένης λάσπης αναμένεται να είναι 5 - 8 % και των στραγγιδίων 0.03 – 0.1 %.

Η επιλογή των ταινιών βαρύτητας ή των περιστρεφόμενων κυλίνδρων γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά της λάσπης και τα χαρακτηριστικά των ταινιών βαρύτητας ή των περιστρεφόμενων κυλίνδρων, όπως αυτά αναφέρονται στα φυλλάδια των κατασκευαστών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι ταινίες βαρύτητας συνήθως έχουν μήκος από 1.0 έως 3.0 m και η κύρια παράμετρος σχεδιασμού τους είναι η ικανότητα αφυδάτωσης ανά 1 m ταινίας, που είναι της τάξης των 35 m^3/h ανά m ταινίας. Θεωρώντας ότι η λειτουργία των ταινιών βαρύτητας ή των περιστρεφόμενων κυλίνδρων είναι ασυνεχής για α ώρες /ημέρα και β ημέρες ανά εβδομάδα, υπολογίζεται η απαιτούμενη ικανότητα τους σε m^3/h: $Q = 7\ Q_\lambda / (\alpha\beta)$,όπου η παροχή της παχυμένης λάσπης υπολογίζεται στην παράγραφο «πάχυνση με βαρύτητα».

2.5.12.2 Αφυδάτωση

Η αφυδάτωση της λάσπης γίνεται συνήθως με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:
(α) με μηχανικά μέσα ή
(β) με κλίνες ξήρανσης.

- *Αφυδάτωση με μηχανικά μέσα – Ταινιοφιλτρόπρεσσες*

Η αφυδάτωση της λάσπης με μηχανικά μέσα είναι πολύ διαδεδομένη τα τελευταία χρόνια εξαιτίας κυρίως (i) του περιορισμένου χώρου που απαιτεί και (ii) του περιορισμού στο ελάχιστο των περιβαλλοντικών οχλήσεων (κυρίως οσμών) με την πραγματοποίηση της αφυδάτωσης μέσα σε κλειστό χώρο με σύστημα εξαερισμού ή και απόσμησης.

Το πιο συνηθισμένο μηχανικό μέσο αφυδάτωσης είναι η ταινιοφιλτρόπρεσσα. Αποτελείται κυρίως από ατέρμονες ιμάντες – ταινίες ανάμεσα στις οποίες διέρχεται η λάσπη και συμπιέζεται. Στην αρχή της ταινιοφιλτρόπρεσσας ένα μέρος του νερού της λάσπης διηθείται με βαρύτητα, όπως και γίνεται και με τις ταινίες βαρύτητας, και στη συνέχεια το υπόλοιπο μέρος με συμπίεση ανάμεσα στις ταινίες. Συχνά και για να αυξηθεί η απόδοση της ταινιοφιλτρόπρεσσας οι ταινίες αλλάζουν διευθύνσεις σχηματίζοντας με τη βοήθεια κατάλληλων οδηγών – κυλίνδρων διατάξεις σχήματος S.

Τα βασικά τμήματα ενός συστήματος ταινιοφιλτρόπρεσσας είναι αντίστοιχα με εκείνα των μηχανικών μέσων πάχυνσης και είναι :

(i) Αντλίες παχυμένης λάσπης για την τροφοδοσία της ταινιοφιλτρόπρεσσας.
(ii) Εγκατάσταση προετοιμασίας πολυμερούς.
(iii) Διάταξη ανάμιξης του πολυμερούς και της παχυμένης λάσπης.
(iv) Κυρίως τμήμα της ταινιοφιλτρόπρεσσας εφοδιασμένο με συστήματα τάνυσης των ιμάντων και ρύθμισης ταχύτητας των ιμάντων αλλά και με διατάξεις οδηγών για την ομοιόμορφη κατανομή της λάσπης στην ταινία.
(v) Διάταξη έκπλυσης της ταινιοφιλτρόπρεσσας όπου μπορεί να χρησιμοποιηθούν και τα επεξεργασμένα απόβλητα της εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων.
(vi) Διάταξη μεταφοράς της αφυδατωμένης λάσπης προς τον προσωρινό χώρο εναπόθεσής της. Η αφυδατωμένη λάσπη καταλήγει σε μεταφορική ταινία ή ελικοειδή μεταφορέα που βρίσκεται στην έξοδο της ταινιοφιλτρόπρεσσας η οποία την οδηγεί σε στεγασμένο χώρο αποθήκευσης.
(vii) Ο χώρος αποθήκευσης ο οποίος διαμορφώνεται κατάλληλα ώστε να διευκολύνεται η φόρτωση της αφυδατωμένης λάσπης στα μέσα μεταφοράς της προς τον χώρο τελικής διάθεσης της.

Τα τμήματα αυτά εγκαθίστανται σε κατάλληλο κτίριο εφοδιασμένο με διάταξη μηχανικού εξαερισμού ή και απόσμησης.
Σε περίπτωση που η μηχανική αφυδάτωση συνδυάζεται με μηχανική πάχυνση τα περισσότερα από τα παραπάνω τμήματα είναι κοινά. Επιπλέον, απαιτείται να υπάρχει πλήρης συμβατότητα και των δύο διατάξεων.
Συνήθως η λειτουργία του συστήματος μηχανικής αφυδάτωσης (ή και μηχανικής πάχυνσης – μηχανικής αφυδάτωσης) είναι πλήρως αυτοματοποιημένη αλλά και χειροκίνητη αν χρειαστεί. Ιδιαίτερη σημασία έχει και η ύπαρξη της αυτόματης διάταξης αποσύνδεσης της λειτουργίας της ταινιοφιλτρόπρεσσας όταν η στάθμη της λάσπης στην ταινιοφιλτρόπρεσσα υπερβεί κάποιο όριο λόγω πχ. υπερφόρτισης της ταινιοφιλτρόπρεσσας, μικρής ταχύτητας ιμάντων ή ανεπαρκούς τροφοδότησης πολυμερούς.
Η ταινιοφιλτρόπρεσσα επιτυγχάνει συγκέντρωση αφυδατωμένης λάσπης ($C_{ΑΦ.Λ}$) μέχρι περίπου 16 – 20 % και απαιτεί δόση πολυμερών 0.001 – 0.006 kg/kg αιωρούμενων στερεών.
Η επιλογή της κατάλληλης ταινιοφιλτρόπρεσσας γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά της λάσπης και τα χαρακτηριστικά της ταινιοφιλτρόπρεσσας όπως αυτά αναφέρονται στα φυλλάδια των κατασκευαστών. Μία ταινιοφιλτρόπρεσσα έχει συνήθως μήκος 1 – 3 m και μία εκ των παραμέτρων σχεδιασμού της είναι η ικανότητα αφυδάτωσης ανά 1 m πλάτους ταινίας που κυμαίνεται από 11 μέχρι 14 m^3/h ανά m πλάτους ταινιοφιλτρόπρεσσας. Η ικανότητα αφυδάτωσης μπορεί να εκφραστεί και ως φόρτιση στερεών που είναι συνήθως 150 – 200 kg/h ανά 1 m πλάτους ταινιοφιλτρόπρεσσας.
Η διάταξη έκπλυσης της ταινιοφιλτρόπρεσσας πρέπει να έχει συνήθως ικανότητα ίση με το 50- 100 % της ικανότητας της ταινιοφιλτρόπρεσσας.
Η παροχή της αφυδατωμένης λάσπης και των υπερχειλίσεων (θεωρώντας 100 % απομάκρυνση στερεών) είναι ίσες αντίστοιχα με
$Q_{ΑΦ.Λ} = ΔT_{λάσπης} / C_{ΑΦ.Λ}$
$Q_{υπ.ΑΦ.Λ} = Q_{ΠΧ} – Q_{ΑΦ.Λ}$
όπου η παροχή $Q_{ΠΛ}$ είναι η παροχή της παχυμένης λάσπης.

- *Αφυδάτωση σε κλίνες ξήρανσης*

Η αφυδάτωση της λάσπης σε κλίνες ξήρανσης συνιστάται για μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας και ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχει πρόβλημα διαθέσιμου χώρου.
Οι συμβατικές κλίνες ξήρανσης είναι συνήθως ορθογωνικής κάτοψης, πλάτους 5 – 20 m (συνήθως 8 m) και μήκους 15 – 50 m (συνήθως 15 – 20 m). Ο πυθμένας και τα τοιχώματα των κλινών ξήρανσης κατασκευάζονται από ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο πυθμένας έχει κατάλληλη κλίση προς τον κεντρικό άξονα της κλίνης για τη συλλογή των στραγγιδίων σε διάτρητο σωλήνα στράγγισης (περίπου 150 mm) που βρίσκεται κατά μήκος του κεντρικού άξονα της κλίνης. Οι σωλήνες στράγγισης όλων των κλινών καταλήγουν σε σωλήνα που μεταφέρει τα στραγγίδια στο αντλιοστάσιο στραγγιδίων ή ανάντη της βιολογικής επεξεργασίας με βαρύτητα, όταν αυτό είναι δυνατό.
Πάνω στον πυθμένα των κλινών τοποθετούνται κατά σειρά στρώση 200 – 450 mm χαλικιών (μεγέθους 16 – 32 mm), στη συνέχεια στρώση 100 – 250 mm άμμου (μεγέθους μέχρι 8 mm και στην επιφάνεια στρώση λάσπης σε ύψος 200 – 300 mm.
Η τροφοδοσία κάθε κλίνης με λάσπη γίνεται με σύστημα χειροκίνητης βάνας και εύκαμπτου σωλήνα. Η πλήρωση μίας κλίνης με λάσπη ολοκληρώνεται πριν αρχίσει η πλήρωση της επομένης. Σε κανένα τμήμα της κλίνης δεν τοποθετείται νέα λάσπη αν πριν δεν έχει αφυδατωθεί και απομακρυνθεί η λάσπη που υπήρχε στο τμήμα αυτό.
Οι διαδικασίες αφυδάτωσης στις κλίνες ξήρανσης είναι οι ακόλουθες:

(i) Διήθηση του νερού της λάσπης μέσα στις κλίνες που διαρκεί περίπου 1 – 3 ημέρες και έχει ως αποτέλεσμα συγκεντρώσεις στερεών $C_{ΑΦ}$ 15 – 25 % περίπου. Το ποσοστό του νερού που απομακρύνεται με διήθηση είναι 20 – 55 % του συνολικού και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λάσπης, κυρίως τη συγκέντρωση της.

(ii) Εξάτμιση του νερού που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα των ανέμων της περιοχής. Η εξάτμιση είναι μία διαδικασία σημαντικά πιο αργή από τη διήθηση.

Η απομάκρυνση των στερεών της αφυδατωμένης λάσπης γίνεται από τη μπροστινή πλευρά των κλινών που είναι κλειστή με ελαφρές, κινητές θυρίδες, οι οποίες αφαιρούνται κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης της λάσπης από το μηχανικό φορτωτή. Για την πρόσβαση του μηχανικού φορτωτή σε όλη την έκταση της κλίνης υπάρχουν κατάλληλα επιστρωμένοι διάδρομοι.
Τα βασικά πλεονεκτήματα των κλινών ξήρανσης είναι το χαμηλό αρχικό κόστος, η απλή λειτουργία, η πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας, το ότι η λειτουργία τους δεν επηρεάζεται από μεταβολές των χαρακτηριστικών της λάσπης, το ότι δεν απαιτούν συνήθως προσθήκη χημικών και το ότι μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αφυδατωμένης λάσπης από τις μηχανικές μεθόδους (συνήθως μεγαλύτερες από 20 %).
Τα βασικά μειονεκτήματα τους είναι η έλλειψη επαρκών στοιχείων για τον ορθολογικό σχεδιασμό και πλήρη τεχνικοοικονομική ανάλυσή τους, η περιορισμένη εφαρμογή τους μόνο για σταθεροποιημένες λάσπες (λόγω της έκλυσης δυσοσμιών), η πιθανότητα δημιουργίας αισθητικών προβλημάτων σε κατοικημένες περιοχές, οι μεγαλύτερες απαιτήσεις σε επιφάνεια σε σχέση με τις μηχανικές μεθόδους και η επίπονη εργασία που απαιτείται για την απομάκρυνση της αφυδατωμένης λάσπης.
Οι κλίνες ξήρανσης διαστασιολογούνται με βάση την επιφανειακή τους φόρτιση $ΦΣ_{ΚΞ}$ που για συστήματα παρατεταμένου αερισμού είναι συνήθως 0.25 – 0.50 kg αιωρούμενων στερεών / m^2-d.
Από τη $ΦΣ_{ΚΞ}$ προκύπτει η ολική επιφάνεια των κλινών ξήρανσης $A_{ΚΞ}$ ίση με
$A_{ΚΞ} = ΔΤ_λ / ΦΣ_{ΚΞ}$
Η παροχή της αφυδατωμένης λάσπης και των υπερχειλίσεων υπολογίζονται από τίς εξισώσεις:
$Q_{ΑΦ} = ΔΤ_λ / C_{ΑΦ}$
$Q_{υπΑΦ} = Q_{ΠΧ} – Q_{ΑΦ}$

Θεωρώντας ότι η λάσπη κατανέμεται στις κλίνες ξήρανσης σε στρώση ύψους Η υπολογίζεται ο μέσος χρόνος παραμονής θ στις κλίνες ξήρανσης από την εξίσωση:
$\theta = A_{K\Xi} * H / Q_{A\Phi}$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρουσία ενώσεων αζώτου και φωσφόρου στα υγρά απόβλητα προκαλεί ρύπανση στους αποδέκτες και πρέπει επομένως να λαμβάνονται μέτρα για την απομάκρυνση των ενώσεων αυτών στις μονάδες επεξεργασίας.
Κατ' αρχήν, το άζωτο και ο φώσφορος προκαλούν ευτροφισμό, τα νιτρικά και τα νιτρώδη είναι επικίνδυνα για την υγεία ενώ η αμμωνία έχει υψηλή απαίτηση σε οξυγόνο, παρεμποδίζει την χλωρίωση και είναι τοξική για τους υδρόβιους οργανισμούς.
Οι περισσότερες συμβατικές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι δυνατό να βελτιωθούν ή να συμπληρωθούν και να περιλάβουν διεργασίες απομάκρυνσης του αζώτου και του φωσφόρου.

<u>Προέλευση αζώτου στα ΥΑ</u>

Το άζωτο στα απόβλητα προέρχεται τόσο από τη χημική βιομηχανία όσο και από πηγές "βιολογικές", όπως είναι ο άνθρωπος, τα ζώα και η βιομηχανική παραγωγή της τροφής.
Η βιομηχανία λιπασμάτων παράγει αμμωνία, νιτρικό οξύ, νιτρικό αμμώνιο, θειικό αμμώνιο και ουρία. Τα απόβλητα των βιομηχανιών αυτών περιέχουν μεγάλες ποσότητες αζωτούχων ενώσεων. Η βιομηχανία εκρηκτικών υλών χρησιμοποιεί νιτρικό οξύ ως κύρια πρώτη ύλη για την παραγωγή διαφόρων υλικών όπως νιτροκυτταρίνη, τρινιτροτολουόλη (TNT) , νιτρογλυκερίνη κτλ.
Το νιτρικό οξύ χρησιμοποιείται επίσης στην κατεργασία των μετάλλων για τον καθαρισμό της μεταλλικής επιφάνειας από σκουριές και στη βιομηχανία φυτοφαρμάκων για την παραγωγή αρσενικού μολύβδου.
Μία άλλη πηγή αποβλήτων που περιέχουν αμμωνία είναι η βιομηχανία εξευγενισμού του άνθρακα όπου παράγεται κωκ από τον γαιάνθρακα. Το κωκ χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία και κυρίως στην παραγωγή χάλυβα. Η διαδικασία εξανθράκωσης παράγει αμμωνία και νέο επιπλέον αριθμό οργανικών ενώσεων. Μετά την εξάντληση των αποθεμάτων του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, ένα μεγάλο ποσοστό της βιομηχανίας θα εξαρτηθεί από τον άνθρακα τόσο ως πρώτη ύλη όσο και για την ενέργεια. Η χρήση του άνθρακα για πρώτη ύλη της οργανικής χημικής βιομηχανίας συνήθως απαιτεί τον εξευγενισμό του άνθρακα (εξανθράκωση -παραγωγή κωκ) και αυτό θα έχει ως συνέπεια την αύξηση των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων που θα παράγουν αμμωνία.
Η παραγωγή ανθρακικού νατρίου (σόδα) με τη μέθοδο "Solvay" που είναι πλέον η κλασική μέθοδος βιομηχανικής παραγωγής της, χρησιμοποιεί αμμωνία ως ενδιάμεσο χημικό και προκαλεί τη δημιουργία ρεύματος υγρών αποβλήτων που περιέχουν αμμωνία.
Άλλες πηγές υγρών βιομηχανικών αποβλήτων που περιέχουν αμμωνία αποτελούν οι εγκαταστάσεις ψύξεως ,όπου το θερμοδυναμικό υγρό είναι η αμμωνία, και ορισμένες βιομηχανίες συνθετικών υφάνσιμων ινών.
Οι κυριότερες πηγές οργανικού αζώτου είναι τα οικιακά υγρά απόβλητα, τα υγρά απόβλητα από την ενσταυλισμένη κτηνοτροφία, και υγρά απόβλητα υψηλά σε πρωτεΐνες από τη βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων. Το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία από ετερότροφα βακτήρια πριν φθάσουν τα απόβλητα στο σημείο αποβολής ή στην μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Το 90% του αζώτου που περιέχεται στα οικιακά υγρά απόβλητα πριν φθάσει στη μονάδα επεξεργασίας απαντάται υπό μορφή αμμωνίας ή σε χημική μορφή που μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε αμμωνία, πχ ουρία.
Τα οικιακά υγρά απόβλητα παρουσιάζουν μικρά ποσά ρυπαντικού φορτίου σε σύγκριση με τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα λόγω της αραίωσης που γίνεται με το

νερό του μπάνιου κλπ. Τα οικιακά υγρά απόβλητα περιέχουν τυπικά 35-50 mg/l αμμωνιακό άζωτο και έχουν ανθρακογενές BOD περίπου 200-350 mg/l. Για νιτροποίηση της αμμωνίας με συγκέντρωση 35-50 mg/l η απαίτηση σε οξυγόνο είναι 150-220 mg/l και έτσι η ολική απαίτηση σε οξυγόνο που οφείλεται τόσο στις ανθρακούχες όσο και στις αζωτούχες ενώσεις είναι 350-500 mg/l από τα οποία το 30-40% οφείλονται στην αμμωνία. Η αραίωση είναι πολύ μικρότερη στην περίπτωση της εκτροφής ζώων και το πρόβλημα εκεί είναι τόσο το ισχυρό οργανικό φορτίο όσο και η υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο. Στα σφαγεία και στα εργοστάσια επεξεργασίας κρέατος, τα υγρά απόβλητα είναι πολύ ισχυρά και μερικά ρεύματα έχουν BOD_5 10^5 mg/l . Αυτά τα υγρά απόβλητα, ακόμα και μετά την αραίωση από άλλα ρεύματα λιγότερο πυκνά, έχουν τελικό BOD 2000-3000 mg/l. Επίσης άζωτο περιέχουν και τα υγρά απόβλητα από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του γάλακτος.
Ρύπανση από άζωτο είναι δυνατόν να προκληθεί και από φυσικές αιτίες. Μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικού αζώτου μετατρέπονται σε ενώσεις του αζώτου με φυσικούς τρόπους. Η διεργασία αυτή ονομάζεται «σταθεροποίηση του αζώτου». Και το άζωτο που σταθεροποιείται με φυσικούς τρόπους είναι περίπου διπλάσιο από το άζωτο που χρησιμοποιεί η χημική βιομηχανία.
Το μεγαλύτερο ποσοστό του αζώτου σταθεροποιείται από μικροοργανισμούς ενώ περίπου 15% από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις στην ατμόσφαιρα. Πολλά βακτήρια αερόβια και αναερόβια σταθεροποιούν το άζωτο όπως και ορισμένα φωτοσυνθετικά μ/φ. Τα κυανοφύκη έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν το άζωτο κατ΄ ευθείαν από την ατμόσφαιρα. Η δυνατότητα αυτή είναι πολύ ενδιαφέρουσα για τη γεωργία και αν η ενετική μπορούσε να παράγει λιπάσματα που αντί να περιέχουν άζωτο, θα είχαν τη δυνατότητα να δεσμεύουν το άζωτο της ατμόσφαιρας και να το μεταφέρουν έτσι στο έδαφος για χρήση από τα φυτά, θα ήταν δυνατή η αποφυγή χρήσης των ανόργανων λιπασμάτων.
Από την πλευρά της ρύπανσης όμως η δέσμευση του αζώτου παράγει βιομάζα η οποία όταν αποσυντίθεται δίνει απόβλητα με υψηλές συγκεντρώσεις σε άζωτο.

Οι μορφές του αζώτου οι οποίες είναι συνηθέστερες στα υγρά απόβλητα και που απαιτούν επεξεργασία είναι η αμμωνία (NH_4^+), τα νιτρικά (NO_3^-) και το οργανικό άζωτο υπό μορφή αμινών και άλλων αζωτούχων ενώσεων.

3.2 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αμμωνία και το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε νιτρώδη και νιτρικά από τους μικροοργανισμούς Nitrosomonas και Nitro-bacter αντίστοιχα.
Τα βακτήρια αυτά είναι χημειοσυνθετικά αυτότροφα και προκαλούν αυτές τις οξειδώσεις για την ανάληψη της ενέργειας που εκλύεται.
Η αμμωνία πρώτα οξειδώνεται προς νιτρώδες από το Nitrosomonas.

$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 4H^+ + 2H_2O + 2NO_2^- + \Delta E \quad (1)$$

Άλλοι μικροοργανισμοί που έχουν τη δυνατότητα οξείδωσης της αμμωνίας προς νιτρώδη είναι οι Nitrosococcus, Nitrosocystis και Nitrosotloea αν και αυτά είναι μικρότερης σημασίας στα συστήματα υγρών αποβλήτων.
Η θεωρητική απαίτηση για βιοχημική οξείδωση της αμμωνίας προς νιτρώδη υπολογίζεται από την στοιχειομετρία της παραπάνω αντίδρασης σε 3,43 kg οξυγόνου ανά kg άζωτο της αμμωνίας που οξειδώνεται.
Τα νιτρώδη στη συνέχεια οξειδώνονται προς νιτρικά από τα Nitro-bacter σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2\,NO_3^- + \Delta E \qquad (2)$$

Η θεωρητική απαίτηση για την οξείδωση προς νιτρικά είναι σύμφωνα με τη στοιχειομετρία της αντίδρασης αυτής 1,14 kg O_2 ανά kg αζώτου των νιτρικών που οξειδώνονται.
Από τα πειράματα μέτρησης BOD εκτιμήθηκε ότι το απαιτούμενο οξυγόνο για νιτροποίηση ήταν 3,22 kg οξυγόνου για κάθε kg NH_4-N για να οξειδωθεί η αμμωνία προς NO_2 και 1,11 kg οξυγόνου για κάθε kg NO_2 για οξείδωση προς NO_3. Αυτή η μετρημένη ποσότητα είναι ελαφρώς μικρότερη από τη θεωρητική τιμή των (3,43 + 1,14=4,57 kg) και αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι ένα μικρό μέρος του αζώτου αφομοιώνεται ως κυτταρική μάζα.
Η βακτηριακή μάζα αποδίδεται από τον τύπο $C_5H_7O_2N$. Το W.R.C.-Water Research Center, England ανέπτυξε σχέσεις για την περιγραφή της δημιουργίας βιομάζας κατά τη νιτροποίηση. Για την πρώτη βαθμίδα που είναι η οξείδωση της αμμωνίας προς νιτρώδη έδωσε την εξίσωση:

$$15\,CO_2 + 13\,NH_4^+ \rightarrow 10\,NO_2^- + 3\,C_5H_7O_2N + 23\,H^+ + 4\,H_2O$$

και για τη δεύτερη βαθμίδα :

$$5\,CO_2 + NH_4^+ + 10\,NO_2^- + 2\,H_2O \rightarrow 10\,NO_3^- + C_5H_7O_2N + H^+$$

Η ενέργεια που απαιτείται για την πρώτη από τις δύο αυτές αντιδράσεις παρέχεται από την αρχική αντίδραση (1) και η ενέργεια που απαιτείται για την δεύτερη από τις δύο αυτές αντιδράσεις παρέχεται από την αντίδραση (2). Η γενική αντίδραση νιτροποίησης και σύνθεσης της βιομάζας είναι δυνατόν να παρασταθεί για κάθε στάδιο από τις εξής εξισώσεις:

$$5\,CO_2 + 55\,NH_4^+ + 76\,O_2 \rightarrow 54\,NO_2^- + C_5H_7O_2N + 109\,H^+ + 52\,H_2O$$

$$5\,CO_2 + NH_4^+ + 400NO_2^- + 195\,O_2 + 3/2\,H_2O \rightarrow 400\,NO_3^- + C_5H_7O_2N$$

Σύμφωνα με αυτές τις σχέσεις η οξείδωση 1 kg NH_3-N από αυτότροφα βακτήρια παράγει 150 g βιομάζας στη πρώτη βαθμίδα και 20 g βιομάζας στην δεύτερη βαθμίδα. Η βιομάζα αυτή περιέχει το 2 % του αζώτου της αμμωνίας.

3.2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Οι σημαντικότερες παράμετροι που επηρεάζουν τη νιτροποίηση είναι η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, το pH, η αλκαλικότητα, το οργανικό και αμμωνιακό φορτίο του υποστρώματος στην ιλύ και η ηλικία της ιλύος.

- *Θερμοκρασία*

Είναι γενικά παραδεκτό ότι η άριστη θερμοκρασία για τη νιτροποίηση κυμαίνεται από 28^o έως 32^o. Με τη μείωση της θερμοκρασίας υπάρχει σημαντική μείωση στην ταχύτητα της αντίδρασης. Πρακτικά δεν υφίσταται νιτροποίηση σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 45^o και μικρότερες των 5^o. Ο απαιτούμενος χρόνος παρακράτησης για ικανοποιητική νιτροποίηση μπορεί να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερος κατά το χειμώνα από ότι κατά το καλοκαίρι. Αυτό μπορεί να απαιτεί κατά την διάρκεια του χειμώνα τη λειτουργία των ΜΕΥΑ (Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων)σε μεγαλύτερες ηλικίες ιλύος ή μεγαλύτερες τιμές MLSS (Αιωρούμενα Στερεά Ανάμικτου Υγρού) για να διατηρούμε το επιθυμητό επίπεδο νιτροποίησης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε τη διατήρηση των νιτροποιών βακτηρίων στο σύστημα ενεργού ιλύος και ως εκ τούτου την απομάκρυνση της αμμωνίας ακόμη και σε χαμηλές ταχύτητες νιτροποίησης που παρατηρούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες.

- *Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)*

Το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου που δίνει τη μέγιστη ταχύτητα νιτροποίησης έχει συζητηθεί από πολλούς ερευνητές. Αρχικά πίστευαν ότι η μέγιστη νιτροποίηση λάμβαναν χώρα σε επίπεδα DO 3 mg/l και άνω. Έχει αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει παρεμπόδιση για συγκεντρώσεις 1.5 mg/l και άνω. Ενώ επίπεδα μικρότερα του 0.5 έχουν αρνητική επίδραση στη νιτροποίηση επειδή τα βακτήρια νιτροποίησης είναι υποχρεωτικώς αερόβια.

Η επίδραση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου θεωρείται ότι ακολουθεί μία σχέση τύπου Monod:

$$\mu = \mu_m\, C/(K_C+C)$$

όπου

C: η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, mg/l

K_C: ο συντελεστής κορεσμού (0.15-2.0 mg/l)

Έχει επίσης προταθεί και μία άλλη μορφή συσχετισμού της ειδικής ταχύτητας αύξησης με τη συγκέντρωση του οξυγόνου:

$$\mu = \mu_0\, (1-K_0/C)$$

όπου

μ_0: η ειδική ταχύτητα αύξησης όταν το οξυγόνο δεν είναι περιοριστικός παράγοντας, s^{-1}

K_0: η ελάχιστη συγκέντρωση οξυγόνου στην οποία λαμβάνει χώρα η νιτροποίηση και $K_0=0.29\, e^{0.042(T-25)}$

- *pH*

Σε γενικές γραμμές, η ταχύτητα νιτροποίησης μειώνεται σε pH 6.3-6.7. Η ταχύτητα όμως είναι σταθερή σε pH 7.5-8.5.

- *Αλκαλικότητα*

Η αλκαλικότητα καταστρέφεται κατά την οξείδωση της αμμωνίας επειδή κατά την χημική αντίδραση

$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 4H^+ + 2H_2O + 2NO_2^-$$

ελευθερώνονται H^+. Περίπου 7.2 mg αλκαλικότητας εκφρασμένα ως $CaCO_3$ καταστρέφεται ανά mg NH_3-N που οξειδώνεται. Επομένως, για να διατηρείται η άριστη περιοχή του pH για την οξείδωση της αμμωνίας σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος, χρειάζεται ν υπάρχει ρυθμιστική ικανότητα για να ελέγχεται η διαδικασία. Το βέλτιστο pH για νιτροποίηση είναι λίγο πάνω από το 8.

- *Φορτίο υποστρώματος και ηλικία ιλύος*

Για τα αστικά υγρά απόβλητα, ένα φορτίο μεγαλύτερο του 0.4-0.6 kg BOD_5 ανά kg MLVSS (πτητικά αιωρούμενα στερεά ανάμικτου υγρού) και ημέρα ή ηλικία ιλύος μικρότερη των τεσσάρων ημερών επιδρούν αρνητικά στη νιτροποίηση. Βιομηχανικά υγρά απόβλητα μπορεί επίσης να απαιτούν μικρότερα οργανικά φορτία και μεγαλύτερες ηλικίες ιλύος. Ένας άλλος τρόπος έκφρασης του φορτίου και της επίπτωσης του στη νιτροποίηση είναι το φορτίο του αμμωνιακού αζώτου (NH_3-N) της ενεργού ιλύος. Μάλιστα, φαίνεται ότι υπάρχει ένα όριο 0.45-0.66 kg NH_3-N πέραν του οπίου η διεργασία της νιτροποίησης εμποδίζεται από ην ίδια την αμμωνία.

3.2.3 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η ταχύτητα νιτροποίησης εξαρτάται από τον αριθμό των μικροοργανισμών που εκτελούν την νιτροποίηση και την ειδική ταχύτητα αύξησής τους. Στην ιλύ των εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος, οι νιτροποιοί μικροοργανισμοί αποτελούν ένα μικρό ποσοστό του συνόλου των μικροοργανισμών, συνήθως μικρότερο του 5 %. Εάν η νιτροποίηση πραγματοποιείται σε χωριστή βαθμίδα επεξεργασίας, τότε η ιλύς έχει πολύ περισσότερους νιτροποιούς μικροοργανισμούς, μέχρι και 10 %

Το πραγματικό ποσοστό των νιτροποιών μικροοργανισμών στη βιολογική ιλύ εξαρτάται από τις σχετικές τιμές του ανθρακογενούς και νιτρογενούς υποστρώματος. Η συγκέντρωση του νιτρογενούς υποστρώματος εκφράζεται από την παράμετρο TKN (Total Kjeldahl Nitrogen). Η σχέση του ανθρακογενούς προς το νιτρογενές υπόστρωμα εκφράζεται από τον λόγο BOD / TKN.

Αν και το TKN εκφράζει και το άζωτο που περιέχεται στις οργανικές ενώσεις και όχι μόνο της αμμωνίας, που είναι το άμεσο υπόστρωμα αύξησης των νιτροποιών αποτελεί αξιόπιστη παράμετρο εκτίμησης του δυναμικού αύξησης των νιτροποιών βακτηρίων. Όταν ο λόγος BOD / TKN είναι μικρός έχουμε ευνοϊκές συνθήκες αύξησης των νιτροποιών μικροοργανισμών, ενώ αντίθετα όταν είναι μεγάλος ευνοείται η αύξηση των ετερότροφων μικροοργανισμών που αποδομούν τις οργανικές ενώσεις. Επομένως, από μόνος του ο λόγος BOD / TKN θα μας δείξει εάν σε μία μονάδα βιολογικής επεξεργασίας θα έχουμε υψηλές ή χαμηλές ταχύτητες νιτροποίησης.

3.2.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι νιτροποιοί μικροοργανισμοί αυξάνονται με χαμηλότερη ταχύτητα σε σχέση με τους ετερότροφους μικροοργανισμούς και είναι περισσότερο ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως το pH, τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, τη θερμοκρασία και τις ουσίες παρεμπόδισης.
Η νιτροποίηση επομένως απαιτεί μεγαλύτερους χρόνους παραμονής της ιλύος από ότι η ανθρακογενής αποδόμηση και λαμβάνει χώρα σε συστήματα χαμηλής ταχύτητας. Επίσης, τα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας επιτρέπουν την καλύτερη αύξηση των νιτροποιών διότι δεν γίνεται απομάκρυνση της βιομάζας εντός ορισμένου χρόνου.
Οι εγκαταστάσεις νιτροποίησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Σε εκείνες που η νιτροποίηση λαμβάνει χώρα συνδυασμένα με την αποδόμηση του ανθρακογενούς υποστρώματος και σε εκείνες που η νιτροποίηση γίνεται σε χωριστό στάδιο επεξεργασίας.
Οι εγκαταστάσεις όπου η νιτροποίηση διεξάγεται συνδυασμένη με την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων έχουν απλούστερο σχεδιασμό και χαμηλότερο κόστος. Ο σχεδιασμός είναι παρόμοιος με εκείνον πολλών μονάδων που βρίσκονται σήμερα σε λειτουργία. Πολλές φορές είναι δυνατό αλλάζοντας τις λειτουργικές παραμέτρους να εκτελέσουμε νιτροποίηση σε υπάρχουσες μονάδες, κυρίως όταν υπάρχουν περιθώρια στην δυναμικότητα. Για να γίνει η νιτροποίηση σε μία βαθμίδα μειώνουμε το οργανικό φορτίο και επομένως έχουμε μη αποδοτική χρήση της εγκατάστασης που μετράται με το BOD που απομακρύνεται στην μονάδα του χρόνου και του όγκου. Πάντως, τα συστήματα χαμηλής ταχύτητας έχουν ως πλεονέκτημα την παραγωγή λιγότερων στερεών και επομένως την μικρότερη απαίτηση για επεξεργασία ιλύος.
Το πρόβλημα με την συνδυασμένη αποδόμηση των οργανικών και τη νιτροποίηση στην περίπτωση της ενεργού ιλύος είναι ότι η χρήση χαμηλού οργανικού φορτίου και οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής της ιλύος έχουν ως αποτέλεσμα τις μεγάλες συγκεντρώσεις ιλύος στη δεξαμενή αερισμού. Οι συγκεντρώσεις της ιλύος όμως περιορίζονται τόσο από τις δυνατότητες της δεξαμενής καθίζησης όσο και από την δυνατότητα αερισμού να προμηθεύσει το απαιτούμενο οξυγόνο για την αποδόμηση των οργανικών, τη νιτροποίηση και την οξείδωση της ιλύος (ενδογενής αναπνοή).
Το χαμηλό οργανικό φορτίο που είναι η μόνη λύση αποκτάται με τις χαμηλές τροφοδοσίες των υγρών αποβλήτων προς το σύστημα με αποτέλεσμα τους μεγάλους χρόνους παρακράτησης. Η κατάσταση γίνεται ακόμη πιο δύσκολη όταν συμβεί κάποια παρεμπόδιση της αύξησης των νιτροποιών βακτηρίων όπως πχ. με την χαμηλή θερμοκρασία.
Για τα συστήματα πλήρους ανάμιξης ενεργού ιλύος αναφέρονται τιμές για το οργανικό φορτίο 0.25 kg BOD/(kg MLVSS-d) με ηλικία ιλύος τουλάχιστον 7 ημέρες για θερμοκρασία γύρω στους 18^o C. Για τα συστήματα βιολογικών φίλτρων το οργανικό φορτίο για να επιτευχθεί η νιτροποίηση αναφέρεται ως 0.12 kg BOD/(m^3 στρώματος-d). Το όριο αυτό είναι κοντά στο φορτίο των βιολογικών φίλτρων χαμηλής ροής. Επομένως στα βιολογικά φίλτρα χαμηλής ροής έχουμε νιτροποίηση.
Στις διαδικασίες όπου γίνεται χωριστά η αποδόμηση των οργανικών ενώσεων και χωριστά η νιτροποίηση, υπάρχει το πλεονέκτημα της βελτιστοποίησης και των δύο διαδικασιών, τόσο ως προς το σχεδιασμό όσο κι κατά τη λειτουργία. Ο διαχωρισμός των δύο διεργασιών έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη σταθεροποίηση της διαδικασίας. Στην πρώτη βαθμίδα, όπου γίνεται η αποδόμηση των οργανικών ενώσεων, ή η εκδήλωση του ανθρακογενούς BOD, εμφανίζονται υψηλές ταχύτητες βιολογικής δράσης. Συγχρόνως, αποδομούνται και ουσίες που παρεμποδίζουν την αύξηση των νιτροποιών. Στο δεύτερο στάδιο η ταχύτητα είναι κατάλληλη για τη νιτροποίηση και η ιλύς έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση νιτροποιών μιας και έχει μειωθεί η σχέση BOD / TKN. Το μειονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι βέβαια το υψηλότερο κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

Πάντως σε πολλές μονάδες που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία είναι δυνατό να γίνουν τόσο μεταβολές στην λειτουργία όσο και προσθήκες στις εγκαταστάσεις για να επιτυγχάνεται η νιτροποίηση. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται ειδική μελέτη και πολλές φορές και εργαστηριακές δοκιμές.

3.2.5 ΡΥΘΜΟΣ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Ο ρυθμός νιτροποίησης μ_N μπορεί να εκφραστεί από μία εξίσωση κινητικής Monod δεύτερης τάξης (Στάμου, 1995) ως ακολούθως:

$\mu_N = \mu_{max} *AM/(K_N+AM)*DO/(K_{DO}+DO)$, όπου

DO= η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου
AM= η αμμωνία στην εκροή της δεξαμενής αερισμού
K_N= συντελεστής που μπορεί να τεθεί ίσος με 0.5 mg/l
K_{DO}= συντελεστής με συνιστώμενες τιμές από 1 έως 1.3 mg/l.
μ_{max}= ο μέγιστος ρυθμός αύξησης των νιτροποιητικών βακτηρίων

Στο κεφάλαιο 5, κατά τον σχεδιασμό εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, χρησιμοποιούνται τιμές που συνιστώνται από την ξένη βιβλιογραφία (Metcalf & Eddy,2003)* και επεξηγούνται εναλλακτικές εξισώσεις.

3.3 ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

3.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πρόκειται για τη διεργασία κατά την οποία το άζωτο των νιτρικών ανάγεται προς ατμοσφαιρικό με σύγχρονη έκλυση μικρών ποσοτήτων υποξειδίου του αζώτου (N_2O) και μονοξειδίου του αζώτου (NO). Η διεργασία αυτή γίνεται από μικροοργανισμούς κατά την οποία τα νιτρικά υποκαθιστούν το οξυγόνο σε συνθήκες χαμηλής διαθεσιμότητας οξυγόνου.
Πλην των νιτρικών, που είναι δέκτης των ηλεκτρονίων , οι μικροοργανισμοί χρειάζονται και οξειδώσιμο υπόστρωμα για απόκτηση ενέργειας. Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί απονιτροποίησης, είναι ετερότροφοι επαμφοτερίζοντες. Περιλαμβάνουν τα γένη Pseudomonas, Micrococcus, Achromobacter, Alcagenes και Bacillus. Έχουν αναφερθεί και άλλα είδη.

3.3.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στην απονιτροποίηση δεν είναι δυνατό να αναφερθούμε σε συγκεκριμένα βακτήρια, όπως συμβαίνει στη νιτροποίηση. Ο σχεδιασμός και τη λειτουργία, επομένως, βασίζονται σε εμπειρικές πληροφορίες;.
Το πρώτο στάδιο αναγωγής των νιτρικών είναι η μετατροπή τους σε νιτρώδη:

$$NO_3^- + 2e^- \rightarrow NO_2^-$$

Τα επόμενα στάδια αναγωγής είναι λιγότερο τεκμηριωμένα, κατά την οποία διακρίνονται εναλλακτικές διαδρομές. Υπάρχουν δύο μηχανισμοί σχηματισμού υποξειδίου του αζώτου:

$$2\ NO_2^- + 4\ e^- \rightarrow 2\ NO + 2H_2O$$

$$2\ NO_2^- + 4\ e^- \rightarrow 2\ (NOH) \rightarrow (NOH)_2 \rightarrow N_2O + H_2O$$

Το υποξείδιο του αζώτου στη συνέχεια δίνει άζωτο.
Η συνολική στοιχειομετρία της απονιτροποίησης δίνεται από την εξίσωση:

$$5\ CH_3OH + 6\ NO_3^- \rightarrow 5\ CO_2 + 3\ N_2 + 6\ OH^- + 7\ H_2O$$

Όπως φαίνεται στις παραπάνω εξισώσεις τα NO_3^- είναι ο τελικός δέκτης ηλεκτρονίων ενώ οι οργανικές ενώσεις που οξειδώνονται αποτελούν τους δότες ηλεκτρονίων. Όταν υπάρχει οξυγόνο, αυτό δρα ανταγωνιστικά και έχοντας μεγαλύτερη προτίμηση στα ηλεκτρόνια, υπερισχύει των νιτρικών ως δέκτης ηλεκτρονίων, αναστέλλοντας την απονιτροποίηση.
Η απονιτροποίηση πραγματοποιείται κάτω από αναερόβιες συνθήκες.

3.3.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

- *Θερμοκρασία*

Όπως όλες οι βιοχημικές δράσεις έτσι και η απονιτροποίηση εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το pH. Από την χημική εξίσωση

$$5\ CH_3OH + 6\ NO_3^- \rightarrow 5\ CO_2 + 3\ N_2 + 6\ OH^- + 7\ H_2O$$

φαίνεται ότι η απονιτροποίηση προκαλεί άνοδο του pH. Έχουμε καθαρή παραγωγή υδροξυλίων-ένα mole υδροξυλίων για κάθε mole νιτρικών- με αποτέλεσμα την άνοδο του pH. Έχει υπολογιστεί ότι η αλκαλικότητα που παράγεται κατά την απονιτροποίηση είναι περίπου η μισή από εκείνη που αναλώνεται κατά την νιτροποίηση.

- *Πηγή άνθρακα κατά την απονιτροποίηση*

Για να γίνει η απονιτροποίηση απαιτούνται άνθρακας ως πηγή ηλεκτρονίων και μία πηγή ενέργειας. Η επιλογή της πηγής άνθρακα μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον σχεδιασμό της διαδικασίας και γίνεται με πολλούς τρόπους.

- *Συνθετική πηγή άνθρακα*

Η πιο κοινή πηγή άνθρακα είναι η μεθανόλη. Η μεθανόλη βέβαια αποτελεί μία πρώτη ύλη που κοστίζει σχετικά ακριβά, γι΄ αυτό και η χρήση της περιορίζεται κυρίως σε εργαστηριακές δοκιμές. Επιπλέον, έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλες συνθετικές πηγές άνθρακα όπως η γλυκόζη, η αιθανόλη, η σακχαρόζη κτλ.
Η χρήση της περισσεύουσας ιλύος από βιολογικές διεργασίες ως πηγή οργανικού άνθρακα είναι μία πρακτική που έχει εφαρμοστεί στην απονιτροποίηση.

- *Υγρά Βιομηχανικά Απόβλητα*

Πολλές βιομηχανικές διεργασίες παράγουν απόβλητα με ισχυρά οργανικά φορτία και χαμηλές συγκεντρώσεις αζώτου. Τα απόβλητα αυτά είναι κατάλληλα ως πηγή άνθρακα κατά την απονιτροποίηση. Για να γίνει αυτός ο συνδυασμός θα πρέπει να γίνεται επεξεργασία των υγρών αποβλήτων κοντά στη βιομηχανία της οποίας τα απόβλητα είναι κατάλληλα ως πηγή άνθρακα.

- *Ακατέργαστα Υγρά Απόβλητα*

Η χρήση των ακατέργαστων υγρών αποβλήτων ως πηγή άνθρακα για την απονιτροποίηση είναι η πιο αποδοτική μέθοδος απονιτροποίησης σε ένα σύστημα όπου απαιτείται νιτροποίηση και απονιτροποίηση. Η ανακύκλωση των νιτροποιημένων υγρών αποβλήτων στην αρχή της ΜΕΥΑ (Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων) και η επαφή τους με τα εισερχόμενα ακατέργαστα υγρά απόβλητα κάτω από αναερόβιες συνθήκες έχει ως αποτέλεσμα την αναγωγή των νιτρικών. Ένα μέρος του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων χρησιμοποιείται ως πηγή άνθρακα.

3.3.4 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Ο Α. Σταμου (1995) προτείνει την ακόλουθη σχέση προσδιορισμού της ταχύτητας απονιτροποίησης μ_{DN}:

$\mu_{DN} = \mu_{DN,C} * 1.09^{T-20} * (1-DO)$, όπου

$\mu_{DN,C}$=ο ειδικός ρυθμός απονιτροποίησης που εξαρτάται από τη μέθοδο απομάκρυνσης του αζώτου.

DO= η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην ανοξική ζώνη (mg/l).

3.4 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

3.4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

Η βιολογική απομάκρυνση του αζώτου γίνεται με τις διαδικασίες της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι απομάκρυνσης του αζώτου είναι οι ακόλουθες:

- *Μέθοδος ανακυκλοφορίας (με προ- απονιτροποίηση)*
- *Μέθοδος απονιτροποίησης με εξωτερική πηγή άνθρακα*
- *Μέθοδος εναλλασσόμενης νιτροποίησης- απονιτροποίησης (μέθοδος Bio-Denitro)*
- *Μέθοδος ταυτόχρονης απονιτροποίησης*

Η τελευταία μέθοδος εφαρμόζεται στην εν λόγω εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού. Στη μέθοδο αυτή οι διαδικασίες της νιτροποίησης και απονιτροποίησης γίνονται στην ίδια δεξαμενή, ως συνήθως, σε οξειδωτικές τάφρους. Αμέσως κατάντη των αεριστήρων, δηλαδή στην περιοχή αερισμού (ΔΑ), γίνεται η νιτροποίηση και στη συνέχεια μακριά από τους αεριστήρες ακολουθεί η ανοξική περιοχή (ΑΟΔ), όπου γίνεται η απονιτροποίηση.
Πηγή άνθρακα στην ΑΟΔ είναι τα κύτταρα των βακτηριδίων (ενδογενής μεταβολισμός). Κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι οι μικρές ταχύτητες απονιτροποίησης, που μπορεί να οδηγήσουν σε απαίτηση μεγαλύτερων όγκων ΑΟΔ σε σχέση με τη μέθοδο ανακυκλοφορίας.
Αξίζει να σημειωθεί ότι σε συστήματα ενεργού ιλύος το ζήτημα της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου προκαλεί σύγχυση λόγω του γεγονότος ότι η μετρημένη συγκέντρωση του μεγαλύτερου μέρους του διαλυμένου οξυγόνου δεν αντιπροσωπεύει την πραγματική συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μέσα στο συσσωμάτωμα της ενεργού ιλύος. Κάτω από συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου, μπορεί να πραγματοποιηθεί απονιτροποίηση στην εσωτερική κροκίδα, ενώ νιτροποίηση πραγματοποιείται στην εξωτερική κροκίδα. Επίσης σε δεξαμενές ενεργού ιλύος που λειτουργούν με χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, υφίστανται και αερόβιες και αναερόβιες ζώνες εξαρτώμενες από τις συνθήκες ανάμιξης και την απόσταση από το σημείο αερισμού, έτσι ώστε τόσο η νιτροποίηση όσο και η απονιτροποίηση μπορούν να πραγματοποιηθούν στην ίδια δεξαμενή. Υπό αυτές τις συνθήκες, η απομάκρυνση του αζώτου που λαμβάνει χώρα σε μία μονή δεξαμενή αερισμού αναφέρεται σε ταυτόχρονη νιτροποίηση και απονιτροποίηση. Παρόλο που και η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση πραγματοποιούνται σε μειωμένους ρυθμούς όπως καταδεικνύεται από την επίδραση του διαλυμένου οξυγόνου, εάν είναι ικανοποιητικές οι τιμές της μέσης ηλικίας της βιομάζας και του υδραυλικού χρόνου παραμονής η απομάκρυνση του αζώτου μπορεί να είναι σημαντική.
Οι Rittman και Langeland (1985) ανέφεραν περισσότερη από 90 % απομάκρυνση του αζώτου μέσω νιτροποίησης και απονιτροποίησης σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αστικών νερών σε συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου κατώτερες του 0.5 mg/l και με τιμές υδραυλικού χρόνου παραμονής μεγαλύτερες των 25 h.

Στη διεθνή βιβλιογραφία (Metcallf – Eddy, 2003) αναφέρονται αναλυτικά και άλλες μέθοδοι βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου οι οποίες παρατίθενται στη συνέχεια.

Οι σχηματικές τους απεικονίσεις παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.2 των Παραρτημάτων.

ΠΡΟ-ΑΝΟΞΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

1. *Ludzack-Ettinger*

Η πρώτη ιδέα για την προανοξική βιολογική απομάκρυνση του αζώτου ήταν μία ακολουθία ανοξικής –αερόβιας λειτουργίας από τους Ludzack και Ettinger. Το εισερχόμενο υγρό τροφοδοτούνταν σε μία ανοξική ζώνη την οποία ακολουθούσε μία αερόβια ζώνη. Η διαδικασία βασίζεται στα νιτρικά που σχηματίζονται στην αερόβια ζώνη και επιστρέφονται μέσω της επιστρέφουσας ενεργού ιλύος στην ανοξική ζώνη. Επειδή τα μόνα νιτρικά που τροφοδοτούν την ανοξική ζώνη είναι αυτά στην επιστρέφουσα ενεργό ιλύ, η απονιτροποίηση περιορίζεται περισσότερο από τον ρυθμό της ανακύκλωσης της επιστρέφουσας ενεργού ιλύος. Εντούτοις, πιο πρόσφατα η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε με αυξημένους ρυθμούς ανακύκλωσης της επιστρέφουσας ενεργού ιλύος ώστε να παρεμποδιστεί η ανύψωση της ιλύος στις δευτερεύουσες δεξαμενές καθίζησης λόγω της απονιτροποίησης.

2. *Τροποποιημένη Ludzack-Ettinger (MLE)*

Πρόκειται για μία από τις πιο συνηθισμένες διαδικασίες για την βιολογική απομάκρυνση του αζώτου. O Barnard (1973) βελτίωσε τον κλασικό σχεδιασμό των Ludzack-Ettinger, δίνοντας έμφαση στην εσωτερική ανακύκλωση για να τροφοδοτηθούν περισσότερα νιτρικά στην ανοξική ζώνη κατευθείαν από την αερόβια ζώνη. Τόσο ο ρυθμός απονιτροποίησης όσο και η αποδοτικότητα της απομάκρυνσης του αζώτου αυξήθηκαν. Ο ρυθμός εσωτερικής ανακύκλωσης κυμαίνεται από 2 έως 4. Με αρκετό εισερχόμενο BOD και ανοξικό χρόνο επαφής, αυτοί οι ρυθμοί ανακύκλωσης έχουν ως αποτέλεσμα μία μέση συγκέντρωση $N\text{-}NO_3$ στην εκροή από 4 έως 7 mg/l στην επεξεργασία δημοτικών λυμάτων. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ προσαρμόσιμη και μπορεί εύκολα να οδηγήσει στην εκροή σε τιμές ολικού αζώτου μικρότερες των 10 mg/l.
Ένας λόγος BOD / TKN ίσος με 4/1 στο εισερχόμενο υγρό είναι συνήθως αρκετός για αποτελεσματική μείωση των νιτρικών με διαδικασίες προ-ανοξικές. Οι τυπικοί χρόνοι παραμονής στην ανοξική δεξαμενή για τη διαδικασία MLE κυμαίνονται από 2 έως 4 h, αλλά όταν η ανοξική ζώνη είναι διαιρεμένη σε 3 ή 4 στάδια σε σειρά οι κινητικοί ρυθμοί απονιτροποίησης αυξάνονται και ο απαιτούμενος ολικός χρόνος παραμονής μπορεί τότε να είναι 50 έως 70 % του σχεδιασμού για ένα στάδιο. Άλλη τροποποίηση της MLE, με τον όρο eMLE, χρησιμοποιεί μία επιπλέον σειρά δεξαμενών ανοξικών / αερισμού για να προωθηθεί η απομάκρυνση του αζώτου.

3. *Step feed*

Οι προ-ανοξικές ζώνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης στην διαδικασία Step feed για την απομάκρυνση του αζώτου. Επειδή οι διαδικασίες Step feed συνήθως προσαρμόζονται σε δεξαμενές πολλαπλού περάσματος και πλήρως διαβαθμισμένες, χρησιμοποιούνται γενικά συμμετρικά ανοξικά / αερόβια στάδια. Εντούτοις, μη συμμετρικοί σχεδιασμοί με μικρότερα αρχικά στάδια ανοξικά/ αερόβια μπορούν να επωφεληθούν περισσότερο των υψηλών συγκεντρώσεων MLSS στα αρχικά στάδια, λόγω της λιγότερης αραίωσης της επιστρέφουσας ενεργού ιλύος, με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Το τελικό τμήμα της ροής στην τελευταία ανοξική / αερόβια ζώνη είναι κρίσιμο καθώς τα νιτρικά που παράγονται στην αερόβια ζώνη από αυτή την ροή δε θα μειωθούν και έτσι, θα καθορίσουν στην τελική εκροή την συγκέντρωση των νιτρικών N-NO_3. Είναι πιθανές συγκεντρώσεις νιτρικών μικρότερες των 8 mg/l.

4. *Ακολουθία αντιδραστήρων διαλείποντος έργου (batch) (SBR)*

Το σύστημα SBR εφαρμόζει προανοξική απονιτροποίηση χρησιμοποιώντας BOD στο εισερχόμενο υγρό. Η ανάδευση χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της περιόδου πλήρωσης, για να υπάρχει επαφή μεταξύ του ανάμικτου υγρού και των εισερχόμενων λυμάτων. Για πολλές οικιακές εφαρμογές, ανάλογα με την δυναμικότητα των λυμάτων, μία ικανοποιητική ποσότητα BOD και περιόδου πλήρωσης μπορεί να απομακρύνει σχεδόν όλα τα νιτρικά που παραμένουν στο ανάμικτο υγρό μετά τα βήματα καθίζησης και στράγγισης της εκροής. Μερική απομάκρυνση νιτρικών προκύπτει επίσης από κατά τη διάρκεια των περιόδων μη αεριζόμενης καθίζησης και στράγγισης της εκροής.
Η ξεχωριστή ανάδευση οδηγεί σε ελαστικότητα ως προς τη λειτουργία και είναι χρήσιμη για την ανοξική λειτουργία κατά την διάρκεια της περιόδου αερισμού καθώς και για την αναερόβια ή ανοξική επαφή κατά την διάρκεια της περιόδου πλήρωσης. Η ανάδευση χωρίς αερισμό κατά την περίοδο πλήρωσης είναι αποτελεσματική στη βελτίωση των ιδιοτήτων καθίζησης της λάσπης μαζί με την απομάκρυνση του αζώτου. Έχουν αναφερθεί συγκεντρώσεις νιτρικών στην εκροή μικρότερες των 5 mg/l.

5. *Bio-Denitro*

Η διαδικασία Bio-Denitro αναφέρεται επίσης σαν μία τεχνολογία εναλλακτικής χρήσης των δεξαμενών για απονιτροποίηση, για αποδόμηση οργανικού φορτίου και για νιτροποίηση. Η διαδικασία αναπτύχθηκε στη Δανία για την απομάκρυνση του αζώτου και έχει εφαρμοσθεί σε περισσότερες από 75 πλήρως διαβαθμισμένες εγκαταστάσεις όπου παράγεται ολικό άζωτο στην εκροή με συγκεντρώσεις μικρότερες των 8 mg/l. Η τεχνολογία χρησιμοποιεί τουλάχιστον δύο οξειδωτικές τάφρους σε μία διάταξη από σειρές στην οποία ποικίλλουν τόσο η λειτουργία της ακολουθίας όσο και η λειτουργία των ζωνών αερισμού και των ανοξικών ζωνών. Υπάρχουν βυθισμένοι αναδευτήρες ώστε για ορισμένες φάσεις της λειτουργίας, η δεξαμενή να αναδεύεται μόνο και όχι να αερίζεται. Η δεξαμενή εξακολουθεί να δέχεται εισερχόμενο υγρό και λειτουργεί σαν μία προανοξική ζώνη. Παρόμοια με την διαδικασία SBR, τα νιτρικά είναι διαθέσιμα από μία προηγούμενη αερόβια λειτουργία νιτροποίησης. Εκτός από ην απονιτροποίηση στις προανοξικές ζώνες, η μείωση των νιτρικών είναι εφικτή κατά τη διάρκεια της αερόβιας λειτουργίας, ανάλογα με το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου. Μία τυπική διάρκεια των φάσεων A, B, C και D είναι 1.5, 0.5, 1.5 και 0.5 h αντίστοιχα.

6. *Nitrox*

Στη διαδικασία Nitrox , η λειτουργία οξειδωτικής τάφρου μεταβάλλεται από αερόβια σε ανοξική κατάσταση λειτουργίας, με παύση του αερισμού και λειτουργία ενός βυθισμένου αναδευτήρα για να διατηρηθεί η ταχύτητα. Η διαδικασία εξαρτάται από τη χρήση του δυναμικού οξείδωσης- μείωσης για (1) να καθοριστεί πότε τα νιτρικά εξαντλούνται κατά την διάρκεια της ανοξικής λειτουργίας και (2)να ξαναρχίσει ο αερισμός. Σε επιλεγμένους χρόνους, οι αεριστήρες παύουν να λειτουργούν και ο αναδευτήρας εκκινά. Όταν εξαντλούνται τα νιτρικά στην περίοδο παύσης του αερισμού, το δυναμικό οξείδωσης- μείωσης μειώνεται κατά ένα πολύ μεγάλο βαθμό. Τα δεδομένα για το δυναμικό οξείδωσης- μείωσης ερμηνεύονται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος ξεκινά τον αερισμό. Μία τυπική συνθήκη λειτουργίας για την διαδικασία Nitrox, είναι η παύση της λειτουργίας των αεριστήρων τουλάχιστον δύο φορές καθημερινά, συνήθως το πρωί όταν το φορτίο αυξάνεται και ξανά στις πρώτες βραδινές ώρες. Ο χρόνος παύσης για την εξάντληση των νιτρικών συνήθως είναι 3 έως 5 h ανάλογα με το φορτίο και την ποσότητα των νιτρικών στην οξειδωτική τάφρο. Έχουν παρατηρηθεί συγκεντρώσεις N-NO_3 μικρότερες των 8 mg/l και συγκεντρώσεις NH_4-N που κυμαίνονται από 1 έως 1.5 mg/l.

<u>ΜΕΤΑ-ΑΝΟΞΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ</u>

7. *<u>Single sludge</u>*

Στη διαδικασία αυτή, η απομάκρυνση του αζώτου επιτεύχθηκε στη διαδικασία ενεργού ιλύος με την προσθήκη μίας αναδευόμενης ανοξικής δεξαμενής ύστερα από αερόβια νιτροποίηση. Απαιτείται μεγάλος χρόνος παραμονής στην μετά-ανοξική δεξαμενή ώστε να πραγματοποιηθεί υψηλή αποδοτικότητα απομάκρυνσης αζώτου, επειδή ο ρυθμός απονιτροποίησης είναι ανάλογος του ρυθμού ενδογενούς αναπνοής στο ανάμικτο υγρό.

8. *<u>Bardenpho (4-στάδια)</u>*

Τόσο η προ-ανοξική όσο και η μετά-ανοξική απονιτροποίηση συγχωνεύονται στην διαδικασία Bardenpho η οποία αναπτύχθηκε και εφαρμόσθηκε σε εγκαταστάσεις της Νότιας Αφρικής στα μέσα του 1970, πριν εφαρμοσθεί και στις ΗΠΑ το 1978. Ο χρόνος κράτησης του μετά –ανοξικού σταδίου είναι περίπου ο ίδιος ή μεγαλύτερος από αυτόν που χρησιμοποιείται για την προ-ανοξική ζώνη. Στην μετά –ανοξική ζώνη, η συγκέντρωση των νιτρικών που εγκαταλείπουν την ζώνη αερισμού είναι τυπικά μειωμένη από 5 έως 7 mg/l σε λιγότερο από 3 mg/l. Κατά την διάρκεια δοκιμής σε πειραματική εγκατάσταση με υψηλότερης δυναμικότητας υγρά, βρέθηκε από τον Barnard ότι η βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου πραγματοποιήθηκε τόσο καλά όσο και η απομάκρυνση του αζώτου, κι έτσι προέκυψε κι η ονομασία της διαδικασίας (Barnard-denitrification-phosphorus).

9. *<u>Οξειδωτική τάφρος</u>*

Ανάλογα με τον σχεδιασμό του αερισμού και το μήκος της οξειδωτικής τάφρου, οι ανοξικές ζώνες απονιτροποίησης μπορούν να εφαρμοσθούν σε οξειδωτικές τάφρους με σκοπό την βιολογική απομάκρυνση του αζώτου σε μία μόνο δεξαμενή. Μετά τον αεριστήρα υπάρχει μία αερόβια ζώνη και καθώς το ανάμικτο υγρό ρέει προς τα κάτω, πέρα από τον αεριστήρα, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μειώνεται λόγω της κατανάλωσης οξυγόνου από τη βιομάζα. Σε ένα σημείο όπου το διαλυμένο οξυγόνο εξαντλείται, δημιουργείται μία ανοξική ζώνη στο κανάλι της τάφρου και τα νιτρικά χρησιμοποιούνται για ενδογενή αναπνοή από το ανάμικτο υγρό. Το περισσότερο από το αποδομήσιμο BOD έχει καταναλωθεί ήδη στην αερόβια ζώνη. Εξαιτίας των μεγάλων όγκων δεξαμενής και των μεγάλων χρόνων παραμονής ιλύος στη διαδικασία οξείδωσης, υπάρχει αρκετή χωρητικότητα για τη διευκόλυνση της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης. Ο έλεγχος του διαλυμένου οξυγόνου είναι απαραίτητος, ωστόσο, για την διατήρηση ενός όγκου στην ανοξική ζώνη αρκετού για να διαπιστωθεί σημαντική απομάκρυνση αζώτου.

10. <u>Δύο στάδια με μία εξωτερική πηγή άνθρακα</u>

Μία προσέγγιση που ήταν περισσότερο δημοφιλής τη δεκαετία του 1970 και που είναι σποραδικά χρησιμοποιούμενη σήμερα είναι ένας σχεδιασμός μετά-ανοξικός με εξωτερική πηγή άνθρακα, συνήθως μεθανόλη. Η ενεργός ιλύς στην ανοξική ζώνη αναδεύεται και ακολουθεί ένας μικρός χρόνος αερισμού (<30 min) για να εκροφηθούν οι φυσαλίδες του αερίου αζώτου από το συσσωμάτωμα-κροκίδα και για να παρέχει αερόβιες συνθήκες ώστε να βελτιωθεί ο διαχωρισμός υγρού- στερεών στη δεξαμενή καθίζησης. Η μεθανόλη αποτελεί ένα συχνά χρησιμοποιημένο υπόστρωμα επειδή είναι πιο αποτελεσματική από άλλα υποστρώματα για απονιτροποίηση σε όρους κόστους ανά μονάδα νιτρικών που απομακρύνεται. Αν και το απόλυτο κόστος της μπορεί να είναι υψηλότερο από ότι είναι της γλυκόζης, η μεθανόλη είναι λιγότερο ακριβή συνολικά διότι έχει μία σχετικά χαμηλή απόδοση βιομάζας. Αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της μεθανόλης οξειδώνεται για να προκύψει ένα μεγαλύτερο ποσοστό νιτρικών που χρησιμοποιούνται ανά g παρεχόμενου υποστρώματος. Τυπικοί λόγοι μεθανόλης στην απομάκρυνση νιτρικών είναι 3 έως 4 g/g εξαρτώμενοι από την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο εισερχόμενο υγρό και από τον χρόνο παραμονής ιλύος στο ανοξικό σύστημα. Μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής ιλύος έχουν μεγαλύτερες ποσότητες βιομάζας που οξειδώνεται από ενδογενή αναπνοή, που καταναλώνει νιτρικά, κι έτσι η εισερχόμενη μεθανόλη στο ποσοστό των νιτρικών μπορεί να είναι χαμηλότερη. Η χρήση της μεθανόλης απαιτεί ειδική αποθήκευση και μέτρα παρακολούθησης καθώς είναι ένα εύφλεκτο υπόστρωμα. Επειδή είναι εύφλεκτη, εξετάζονται άλλα υποστρώματα όπως το οξικό άλας.

<u>ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ-ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ</u>

11. <u>Οξειδωτική τάφρος με χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου</u>

Οι οξειδωτικές τάφροι που έχουν επαρκή όγκο διαθέσιμο, μπορούν να παρέχουν τόσο τη νιτροποίηση όσο και την απονιτροποίηση σε χαμηλότερους ρυθμούς κάτω από συνθήκες χαμηλού διαλυμένου οξυγόνου. Μία οξειδωτική τάφρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου κάτω των 0.5 mg/l με αυτόματο ή χειροκίνητο έλεγχο στο διαλυμένο οξυγόνο. Όπου χρησιμοποιούνται πολλαπλοί αεριστήρες, διατηρείται χαμηλό έως το μηδέν διαλυμένο οξυγόνο διαμέσου του καναλιού. Πέρα από τον έλεγχο στο διαλυμένο οξυγόνο, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδοι, μία από τις οποίες είναι η Sym-Bio που χρησιμοποιεί μέτρηση NADH.

Η διαδικασία Sym-Bio χρησιμοποιεί ένα επιστημονικό όργανο και για το διαλυμένο οξυγόνο και για το NADH για τον έλεγχο της ταυτόχρονης νιτροποίησης/ απονιτροποίησης. Τα περιεχόμενα βακτήρια της μειωμένης μορφής του NADH (coenzyme nicotinamide adenine dinucleotide) μετρώνται από την εκπομπή φθορισμού μετά από έκθεση σε υπεριώδη εκπομπή φωτός, από το επιστημονικό όργανο του NADH. Το NADH παίζει σημαντικό ρόλο στις αντιδράσεις των βακτηρίων που αφορούν στη μεταφορά του υδρογόνου. Κάτω από πιο χαμηλές συνθήκες, ο λόγος NADH / NAD θα αυξηθεί στα κύτταρα των βακτηρίων. Το επιστημονικό όργανο για το NADH μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να πετύχει ταυτόχρονη νιτροποίηση- απονιτροποίηση με (1) παρακολούθηση των αλλαγών στο NADH στην ενεργό ιλύ και (2) έλεγχο της λειτουργίας των συστημάτων ενεργού ιλύος τα οποία λειτουργούν σε χαμηλές έως και το μηδέν συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Η διαδικασία βασίζεται σε μία σειρά από βήματα. Το διαλυμένο οξυγόνο είναι λιγότερο και όταν ο λόγος NADH/ NAD φθάσει μία τιμή λειτουργίας, το διαλυμένο οξυγόνο αυξάνεται σε ένα υψηλότερο επίπεδο για ένα προκαθορισμένο διάστημα. Στην εκροή, έχουν επιτευχθεί συγκεντρώσεις NO_3-N και NH_4-N μικρότερες των 3 και 1 mg/l αντίστοιχα.

12. Orbal

Στη διαδικασία Orbal, τα κανάλια λειτουργούν σε σειρές με συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου πολύ χαμηλή έως και μηδέν (DO<0.3 mg/l) στο πρώτο κανάλι, 0.5 έως 1.5 mg/l στο δεύτερο κανάλι και μία μεγαλύτερη συγκέντρωση (2 έως 3 mg/l) στο τρίτο κανάλι. Το πρώτο κανάλι δέχεται το εισερχόμενο υγρό και την επιστρέφουσα ενεργό ιλύ και γενικά περιλαμβάνει περίπου τα 3/2 του ολικού όγκου της δεξαμενής. Οι όγκοι του δεύτερου και του τρίτου καναλιού είναι περίπου το 1/3 και το 1/6 του ολικού όγκου της δεξαμενής αντίστοιχα. Η ανακύκλωση του ανάμικτου υγρού από το ενδότερο κύκλωμα προς το εξωτερικό επιτρέπει την απονιτροποίηση των νιτρικών που προέρχονται από τη νιτροποίηση στα ενδότερα κανάλια. Εναλλαγές της διαδικασίας περιλαμβάνουν λειτουργία με και χωρίς εσωτερική ανακύκλωση από το τρίτο προς το πρώτο κανάλι. Έχει προταθεί ένα ποσοστό προμήθειας οξυγόνου περίπου 50 % της εκτιμώμενης απαίτησης σχεδιασμού για την ενίσχυση της διαδικασίας ταυτόχρονης νιτροποίησης- απονιτροποίησης στην πρώτη ζώνη.

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΖΩΤΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗΣ ΙΛΥΟΣ

13. Sharon

Η διαδικασία Sharon, μία διαδικασία επεξεργασίας πλευρικού ρεύματος έχει αναπτυχθεί με σκοπό την απομάκρυνση του αζώτου βιολογικά από ροές ανακύκλωσης, μέσω αφυδάτωσης αναερόβια επεξεργασμένων στερεών. Το ρεύμα ανακύκλωσης χαρακτηρίζεται επίσης από μία σχετικά υψηλή θερμοκρασία και υψηλό pH. Η διαδικασία εκμεταλλεύεται τις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας στις κινητικές της νιτροποίησης, που ευνοεί την πιο γρήγορη ανάπτυξη των βακτηρίων που οξειδώνουν την αμμωνία και την παρεμπόδιση των βακτηρίων που οξειδώνουν τα νιτρώδη. Τότε χρησιμοποιείται ένας μικρός χρόνος παραμονής (1 έως 2 ημέρες) για τη διευκόλυνση κυρίως της παραγωγής νιτρωδών με λειτουργία αερισμού on-off που παρέχει μία ανοξική περίοδο λειτουργίας για την μείωση των νιτρωδών. Η μεθανόλη προστίθεται κατά την διάρκεια της ανοξικής περιόδου για να προμηθεύσει έναν δότη ηλεκτρονίων για την μείωση των νιτρωδών. Εναλλακτικά, το ρεύμα των νιτρωδών μπορεί να επιστραφεί στα αρχικά στάδια για να προμηθεύσει ένα δέκτη ηλεκτρονίων για έλεγχο των οσμών.

3.4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΑΖΩΤΟΥ

Σε γενικές γραμμές, οι προ-ανοξικές διαδικασίες έχουν τα εξής πλεονεκτήματα: αρχικά, εξοικονομείται ενέργεια – το BOD απομακρύνεται πριν την αερόβια ζώνη και η αλκαλικότητα παράγεται πριν τη νιτροποίηση.

Ειδικότερα, η μέθοδος MLE είναι πολύ προσαρμόσιμη σε συστήματα ενεργού ιλύος και είναι εφικτή συγκέντρωση ολικού αζώτου 5 έως 8 mg/l. Στους περιορισμούς της μεθόδου, μπορούμε να επισημάνουμε ότι η ικανότητα απομάκρυνσης αζώτου είναι συνάρτηση της εσωτερικής ανακύκλωσης καθώς και ότι απαιτείται έλεγχος του διαλυμένου οξυγόνου πριν την ανακύκλωση.

Ακολουθεί η μέθοδος Step feed όπου παρατηρούμε ότι πρόκειται για μία προσαρμόσιμη μέθοδο σε συστήματα ενεργού ιλύος, είναι εφικτή συγκέντρωση ολικού αζώτου 5 έως 8 mg/l και με την εσωτερική ανακύκλωση είναι πιθανές συγκεντρώσεις αζώτου κάτω των 5 mg/l. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι η ικανότητα απομάκρυνσης αζώτου είναι μία συνάρτηση της κατανομής της ροής καθώς και ότι πρόκειται για διαδικασία πολυπλοκότερη της MLE διότι απαιτεί έλεγχο διάσπασης της ροής για τη βελτίωση της διαδικασίας.
Επίσης απαιτείται έλεγχος του διαλυμένου οξυγόνου σε κάθε ζώνη αερισμού.

Όσον αφορά στην ακολουθία αντιδραστήρων διαλείποντος έργου μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής: η διαδικασία είναι εύκολη ως προς τη λειτουργία της και είναι εφικτή συγκέντρωση ολικού αζώτου 5 έως 8 mg/l. Επιπλέον, τα στερεά του ανάμικτου υγρού δεν μπορούν να καθιζάνουν από υδραυλικά σοκ διότι παρέχεται εξισορρόπηση της ροής. Τέλος, ικανοποιητική χρονικά καθίζηση παρέχει μικρή συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών στην εκροή.
Στους περιορισμούς της διαδικασίας περιλαμβάνεται καταρχήν το γεγονός ότι είναι πιο περίπλοκος ο σχεδιασμός της και ότι η ποιότητα της εκροής εξαρτάται από την εγκατάσταση στράγγισης. Έπειτα, απαιτούνται πλεονάζουσες μονάδες για λειτουργική αξιοπιστία εκτός αν το σύστημα αερισμού μπορεί να διατηρηθεί χωρίς να αδειάζει (εξαντλεί) την δεξαμενή αερισμού.

Στη Bio-Denitro διαδικασία εκτός του ότι είναι εφικτή συγκέντρωση ολικού αζώτου 5 έως 8 mg/l , ο μεγάλος όγκος του αντιδραστήρα είναι ανθεκτικός σε ισχυρά φορτία. Πρόκειται όμως για ένα πολύπλοκο λειτουργικά σύστημα και απαιτούνται δύο αντιδραστήρες οξειδωτικών τάφρων, γεγονός που αυξάνει το κόστος κατασκευής.

Η διαδικασία Nitrox, είναι μία εύκολη και οικονομική μέθοδος η οποία μπορεί να αναβαθμίσει υπάρχουσες διαδικασίες οξειδωτικών τάφρων. Ακόμα, ο μεγάλος όγκος του αντιδραστήρα είναι ανθεκτικός σε ισχυρά φορτία.
Παρά ταύτα, η ικανότητα απομάκρυνσης του αζώτου περιορίζεται από υψηλότερες συγκεντρώσεις ολικού αζώτου στην εισροή. Επίσης, η πραγματοποίηση της μεθόδου επηρεάζεται από εισερχόμενες ποικιλομορφίες.

Στη συνέχεια, στη μέθοδο Bardenpho 4 σταδίων παρατηρούμε το πλεονέκτημα της ικανότητας επίτευξης επιπέδων αζώτου στην εκροή μικρότερων των 3 mg/l. Από την άλλη πλευρά, αφενός απαιτούνται μεγάλοι όγκοι αντιδραστήρα και αφετέρου η δεύτερη ανοξική δεξαμενή έχει χαμηλή αποδοτικότητα.

Όσον αφορά στις οξειδωτικές τάφρους, αξίζει να σημειωθεί ότι ο πολύ μεγάλος όγκος του αντιδραστήρα είναι ανθεκτικός σε ποικιλίες φορτίου χωρίς να επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα της εκροής. Ακόμα, είναι δυνατή συγκέντρωση ολικού αζώτου στην εκροή μικρότερη των 10 mg/l. Όμως, η ικανότητα απομάκρυνσης αζώτου σχετίζεται με την ειδίκευση του προσωπικού και με μεθόδους ελέγχου.

Ακολούθως, στην κατηγορία των μετά-ανοξικών μεθόδων με προσθήκη άνθρακα, παρατηρούμε ότι είναι μέθοδοι ικανές να επιφέρουν στην εκροή επίπεδα αζώτου λιγότερα των 3 mg/l.
Εντούτοις, το κόστος λειτουργίας είναι μεγαλύτερο λόγω της αγοράς της μεθανόλης και απαιτείται έλεγχος της τροφοδοσίας μεθανόλης.

Τέλος, στην περίπτωση της ταυτόχρονης νιτροποίησης – απονιτροποίησης διαπιστώνεται επίσης χαμηλό επίπεδο αζώτου στην εκροή (μικρότερο όριο 3mg/l), εξοικονομείται σημαντικό ποσό ενέργειας και παράγεται αλκαλικότητα. Επιπλέον, η διαδικασία μπορεί να συγχωνευθεί σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις χωρίς καινούρια κατασκευή.
Οι περιορισμοί της κατηγορίας αυτής περιλαμβάνουν αρχικά το γεγονός ότι απαιτείται σύστημα ελέγχου της διαδικασίας και έπειτα εξειδικευμένη λειτουργία λόγω του μεγάλου όγκου του αντιδραστήρα.

3.5 ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

3.5.1 ΠΗΓΕΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Οι ενώσεις φωσφόρου είναι χαρακτηριστικές ενώσεις των ζώντων οργανισμών και εκλύονται με τη διάσπαση των κυττάρων, έτσι τα ανθρώπινα απόβλητα, τα απόβλητα ζώων και τα απόβλητα βιομηχανιών επεξεργασίας βιολογικών υλικών όπως τα τρόφιμα είναι οι κύριες πηγές φωσφόρου.
Τα απορρυπαντικά για οικιακή και βιομηχανική χρήση συχνά περιέχουν φωσφορικά για την αύξηση της δραστικότητας του προϊόντος. Έτσι ο φώσφορος των οικιακών αποβλήτων *προέρχεται κατά 50 %* από τα *απορρυπαντικά* και *κατά 50 % από τα ανθρώπινα υγρά απόβλητα.*
Τα βιομηχανικά απόβλητα περιέχουν επίσης ποσότητες βιολογικού φωσφόρου και φωσφόρου απορρυπαντικών.
Η βιομηχανία φωσφορικών λιπασμάτων παράγει επίσης απόβλητα που περιέχουν ανόργανο φώσφορο υπό τη μορφή των φωσφορικών. Τέλος, φώσφορος χρησιμοποιείται και στη βιομηχανία επεξεργασίας μετάλλων καθώς επίσης και στον καθαρισμό του νερού για την παραγωγή ατμού.

3.5.2 ΜΟΡΦΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Ο φώσφορος στα υγρά απόβλητα υπάρχει υπό τη μορφή *ορθοφωσφορικών, πολυφωσφορικών* και *οργανικών ενώσεων του φωσφόρου.*
Τα *ορθοφωσφορικά* υπάρχουν σε πολλές διαφορετικές χημικές μορφές σε ισορροπία μεταξύ τους :

PO_3^{-4} Φωσφορικά
HPO_4^{-2} Όξινα φωσφορικά
$H_2PO_4^-$ Δισόξινα φωσφορικά
$H_3PO_4^-$ Αδιάστατο φωσφορικό οξύ

Τα πολυφωσφορικά περιέχουν μορφές όπως:
$P_2O_7^{-4}$
$P_3O_{10}^{-5}$
$P_3O_9^{-3}$
Είναι συμπυκνωμένες μορφές φωσφόρου και χρησιμοποιούνται στα απορρυπαντικά, συντίθενται όμως και από ζώντες οργανισμούς. Η σύνθεση των πολυφωσφορικών από τους ζώντες οργανισμούς αποτελεί το κλειδί της απομάκρυνσης των φωσφορικών με βιολογικές μεθόδους.
Τα πολυφωσφορικά σχηματίζουν ορθοφωσφορικά όταν υδρολύονται τελείως και οι οργανικές ενώσεις του φωσφόρου σχηματίζουν επίσης ορθοφωσφορικά όταν αποσυντίθενται.
Και οι τρεις μορφές του φωσφόρου είναι παρούσες στα οικιακά υγρά απόβλητα.
Επίσης, φώσφορος εισέρχεται στις διαδικασίες επεξεργασίας με το υπερκείμενο υγρό της ιλύος.
Κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας, οργανικές ενώσεις του φωσφόρου καθώς και το μεγαλύτερο μέρος των πολυφωσφορικών μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά.

3.5.3.ΦΥΣΙΚΟ-ΧΗΜΙΚΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Τα φωσφορικά καθιζάνουν με την προσθήκη υδρασβέστου ή ενώσεων αλουμινίου και σιδήρου, τα γνωστά κροκιδωτικά. Τα ιζήματα διαχωρίζονται με καθίζηση σε δεξαμενές καθίζησης. Η διεργασία αυτή απομακρύνει κυρίως τα φωσφορικά καθώς τα πολυφωσφορικά απομακρύνονται δυσκολότερα.
Κατά την προσθήκη υδρασβέστου, τα ιόντα του ασβεστίου και τα ορθοφωσφορικά σχηματίζουν αδιάλυτο *υδροξυ-απατίτη* $Ca_5(OH)(PO_4)_3$. Για τη δράση αυτή απαιτείται υψηλό pH. Εάν ακολουθεί βιολογική επεξεργασία πρέπει να γίνει διόρθωση του pH.
Τα ιόντα του αργιλίου προστίθενται με τη μορφή του ένυδρου θειικού αργιλίου (Alum) για το σχηματισμό ιζήματος φωσφορικού αργιλίου.
Η διεργασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του pH και την προσθήκη θειικών ανιόντων στο νερό. Εναλλακτικά το αργίλιο προστίθεται με τη μορφή του αργιλικού νατρίου που έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ιζήματος φωσφορικού αργιλίου, την αύξηση του Ph και την προσθήκη ιόντων νατρίου.
Άλατα σιδήρου που χρησιμοποιούνται στην ιζηματοποίηση του φωσφόρου είναι τριχλωριούχος σίδηρος (Ferric), διχλωριούχος σίδηρος (Ferrous) και θειικός σίδηρος. Η προσθήκη τους έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του pH και την εμφάνιση του αντίστοιχου ιόντος. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται υγρά απόβλητα που περιέχουν σίδηρο, όπως τα όξινα υγρά της χαλυβουργίας.
Τα κροκιδωτικά είναι δυνατό να προστεθούν σε διάφορα στάδια των βιολογικών διεργασιών:

- Κατά την πρωτοβάθμια καθίζηση
- Πριν τη δεξαμενή αερισμού
- Στη δεξαμενή αερισμού
- Πριν την τελική διαύγαση
- Μετά την τελική καθίζηση / διαύγαση

Όταν χρησιμοποιείται υδράσβεστος, λόγω του προβλήματος του pH, αυτή χρησιμοποιείται μόνο στην πρωτοβάθμια καθίζηση. Η κροκίδωση πριν την πρωτοβάθμια καθίζηση υποβοηθά την καθίζηση των στερεών και μειώνει το φορτίο της αερόβιας επεξεργασίας που ακολουθεί.
Το μειονέκτημα της απομάκρυνσης του φωσφόρου στην πρωτοβάθμια καθίζηση είναι ότι ο φώσφορος σε αυτό το στάδιο μπορεί να μην είναι υπό τη μορφή ορθοφωσφορικών και επομένως να μην απομακρυνθεί. Ο φώσφορος αυτός θα μετατραπεί σε ορθοφωσφορικά κατά την αερόβια επεξεργασία.
Η κροκίδωση μετά τη βιολογική επεξεργασία επί πρόσθετα ή εναλλακτικά της κροκίδωσης κατά την πρωτοβάθμια δίνει το πλεονέκτημα, πέρα από την απομάκρυνση του φωσφόρου, την ύπαρξη μιας εφεδρικής διεργασίας στην περίπτωση που υπερχειλίζουν στερεά από την δευτεροβάθμια καθίζηση που είναι δυνατόν να συμβεί όταν υπάρχει κάποια λειτουργική ανωμαλία. Ο φώσφορος θα έχει επίσης μετατραπεί εξ ολοκλήρου σε ορθοφωσφορικά.
Η προσθήκη κροκιδωτικών στη δεξαμενή αερισμού βοηθά την καθίζηση που ακολουθεί. Βέβαια, η επικρατούσα τύρβη στη δεξαμενή αερισμού δε βοηθά στην ανάπτυξη του ιζήματος, γι' αυτό το καλύτερο σημείο προσθήκης είναι μεταξύ της δεξαμενής αερισμού και της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης.

3.5.4 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

3.5.4.1 Μηχανισμός βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου

Συστήματα με αναερόβια φρεάτια έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα τα τελευταία 15 έτη για την βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου και τον περιορισμό της αύξησης των νηματοειδών βακτηρίων υπεύθυνων για προβλήματα διόγκωσης της ιλύος και αφρισμού σε μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βιολογικής επεξεργασίας. Η ακολουθία αερόβιων- αναερόβιων συνθηκών υποβοηθά την αύξηση αερόβιων βακτηρίων τα οποία έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν φώσφορο ενδοκυτταρικά σε ποσοστά που ξεπερνούν τις απαιτούμενες ποσότητες αύξησης. Τα βακτήρια αυτά πολυφωσφορικά ή πολύ-P βακτήρια και κάτω από αναερόβιες συνθήκες έχουν την ικανότητα να απορροφούν απλές οργανικές ενώσεις, όπως πτητικά οργανικά οξέα και να τις αποθηκεύουν ενδοκυτταρικά υπό τη μορφή οργανικών πολυμερών. Η ενέργεια που απαιτείται για την προσρόφηση και αποθήκευση των ουσιών αυτών παρέχεται από την υδρόλυση ενδοκυτταρικών, υψηλής ενέργειας, πολυφωσφορικών ενώσεων. Για το λόγο αυτό κάτω από αναερόβιες συνθήκες παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των ορθοφωσφορικών στο ανάμικτο υγρό και ελάττωση της συγκέντρωσης απλών οργανικών ενώσεων. Στη συνέχεια, πολυφωσφορικά βακτήρια εισέρχονται στην κύρια δεξαμενή αερισμού έχοντας προσροφήσει και αποθηκεύσει σε βάρος των υπολοίπων αερόβιων βακτηρίων την πλειονότητα των διαλυτών οργανικών ενώσεων. Κάτω από αερόβιες συνθήκες τα βακτήρια αυτά παράγουν ενέργεια οξειδώνοντας τις αποθηκευμένες οργανικές ενώσεις τις οποίες χρησιμοποιούν για σύνθεση νέας βιομάζας, προσρόφηση και αποθήκευση ορθοφωσφορικών. Σε συστήματα ενεργού ιλύος τα οποία διαθέτουν αναερόβιο επιλογέα κάτω από αερόβιες συνθήκες παρατηρείται σημαντική συγκέντρωση ορθοφωσφορικών και πολύ μικρή μεταβολή της συγκέντρωσης διαλυτών οργανικών ενώσεων.
Η παρουσία νιτρωδών, νιτρικών και οξυγόνου στην αναερόβια ζώνη έχει αρνητική επίδραση στη βιολογική απομάκρυνση καθώς έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της οργανικής τροφής η οποία μπορεί να απορροφηθεί από πολυφωσφορικά βακτήρια. Βάσει της κινητικής θεωρίας απονιτροποίησης και οξείδωσης οργανικού φορτίου, κάθε γραμμάριο νιτρικών απαιτεί περίπου 5,6 gr οργανικής τροφής (COD) για την αναγωγή του σε άζωτο ενώ κάθε γραμμάριο οξυγόνου απαιτεί περίπου 2 gr COD. Για αυτούς τους λόγους, κυρίως σε περιπτώσεις όχι ισχυρών λυμάτων, πρέπει να αποφεύγεται η εισαγωγή νιτρικών και οξυγόνου στην αναερόβια ζώνη.
Συστήματα τα οποία περιλαμβάνουν αναερόβιο φρεάτιο και είναι σχεδιασμένα ώστε να αποφεύγονται οι αρνητικές επιδράσεις της εισροής νιτρικών, νιτρωδών και οξυγόνου στην αναερόβια φάση, μπορούν να παράγουν βιομάζα που περιέχει φώσφορο σε ποσοστά 5-10 %, δηλαδή 2-5 φορές υψηλότερο της ποσότητας που περιέχεται σε τυπικά συστήματα ενεργού ιλύος. Ο βαθμός απομάκρυνσης φωσφόρου σε εγκαταστάσεις βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου εξαρτάται από την ποσότητα της παραγόμενης ιλύος και το ποσοστό φωσφόρου στη βιομάζα και ανέρχεται σε 80-90 %.

3.5.4.2 Συστήματα βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου

Διάφορα συστήματα βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου έχουν προταθεί μέχρι σήμερα. Όλες οι καθαρά βιολογικές μέθοδοι απομάκρυνσης φωσφόρου χαρακτηρίζονται από μία αρχική αναερόβια ζώνη (απουσία οξυγόνου και νιτρικών), όπου τα υγρά απόβλητα έρχονται σε επαφή με ιλύ ανακυκλοφορίας.
Η μέθοδος «Bardenpho» συνίσταται στη συγκέντρωση του φωσφόρου στα κύτταρα των μικροοργανισμών όταν τα τελευταία βρίσκονται σε περιβάλλον αερόβιο μετά από ένα διάστημα αναερόβιας παραμονής με απουσία νιτρικών. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κατά τη λειτουργία μίας αναερόβιας βαθμίδας πριν την απονιτροποίηση. Η πλούσια σε φώσφορο ιλύς πρέπει να αφυδατώνεται άμεσα διότι εάν αναπτυχθούν

αναερόβιες διεργασίες απελευθερώνεται ο φώσφορος στο υγρό. Η μεταφορά του φωσφόρου στην ιλύ προσδίδει σε αυτή χαρακτηριστικά λιπάσματος.
Ορισμένα συστήματα εφαρμόζουν ένα συνδυασμό βιολογικής και χημικής απομάκρυνσης φωσφόρου και μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης φωσφόρου (≈ 90 %).
Η μέθοδος «Phostrip» είναι μία βελτιωμένη μέθοδος ενεργού ιλύος όπου οι μικροοργανισμοί δρουν κατ΄ αναλογία του διαλυτικού σε μία διαδικασία εκχύλισης διαλύτου. Μέρος της ιλύος κρατείται κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε ειδικό δοχείο για 10 h. Η ιλύς κάτω από τις αναερόβιες συνθήκες εκλύει τον αποθηκευμένο φώσφορο. Η ιλύς επιστρέφει στη δεξαμενή αερισμού ενώ το υγρό με τον φώσφορο οδηγείται σε δεξαμενή καθίζησης όπου προστίθεται υδράσβεστος για την απομάκρυνση του φωσφόρου.
Η εφαρμογή του συστήματος δεν επηρεάζεται από το διαλυμένο οξυγόνο εφόσον η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην αερόβια ζώνη είναι άνω του 1 mg/l. Σε τιμές pH κατώτερες του 6,5 η αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης του φωσφόρου μειώνεται κατά ένα πολύ μεγάλο βαθμό.
Σε συστήματα βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου, πρέπει να είναι διαθέσιμες αρκετές ποσότητες κατιόντων μαζί με πολυφωσφορικά. Τα συνιστώμενα ποσοστά μαγνησίου, καλίου και ασβεστίου είναι 0.71, 0.5 και 0.25 αντίστοιχα. Έτσι, για την συγκέντρωση με τιμή 10 mg/l διαλυτού φωσφόρου απαιτούνται 5.6, 6.3 και 3.2 mg/l μαγνησίου, καλίου και ασβεστίου αντίστοιχα. Οι σχετικές ποσότητες αυτών των κατιόντων μαζί με τα πολυφωσφορικά είναι 0.28, 0.26 και 0.09 mole/mole φωσφόρου αντίστοιχα. Τα περισσότερα δημοτικά υγρά λύματα έχουν αρκετές ποσότητες από αυτά τα ανόργανα στοιχεία αλλά πρέπει να διασφαλίζονται ικανοποιητικές ποσότητες σε βιομηχανικές εφαρμογές ή εργαστηριακά πειράματα.

3.5.4.3 Σκοπός της βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου - Πλεονεκτήματα

Η απομάκρυνση του φωσφόρου πραγματοποιείται γενικά με σκοπό να παρεμποδιστεί το φαινόμενο του ευτροφισμού διότι ο φώσφορος είναι ένα περιοριστικό θρεπτικό στα περισσότερα συστήματα. Η χημική απομάκρυνση όπου χρησιμοποιούνται τα κροκιδωτικά είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την απομάκρυνση του φωσφόρου. Παρόλα αυτά, από τις αρχές της δεκαετίας του 80 εφαρμόστηκε η βιολογική του απομάκρυνση η οποία σημείωσε επιτυχία και έτσι συνεχίζεται η εφαρμογή της. Τα κύρια πλεονεκτήματα από την βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου είναι το μειωμένο κόστος που προέρχεται από την χημική του απομάκρυνση καθώς και η μειωμένη παραγωγή λάσπης εν συγκρίσει με αυτήν που παράγεται κατά την αντίστοιχη χημική διαδικασία.

3.5.4.4 Διαδικασίες για την βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου

Την τελευταία εικοσαετία, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες βιολογικές διαδικασίες ώστε να επιτευχθεί η βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου και όλες περιλαμβάνουν τα βασικά βήματα μίας αναερόβιας ζώνης που ακολουθείται από μία αερόβια ζώνη. Για την πραγματοποίηση δηλαδή της απομάκρυνσης του φωσφόρου απαιτείται αναερόβια επαφή μεταξύ της ενεργού ιλύος και των εισερχόμενων λυμάτων πριν από την αερόβια αποδόμηση. Άλλες τροποποιήσεις από τη βασική διαδικασία περιλαμβάνουν: (1) συνδυασμό της αναερόβιας/ αερόβιας ακολουθίας με ποικίλους σχεδιασμούς βιολογικής απομάκρυνσης αζώτου (2) ανακύκλωση του ανάμικτου υγρού στην αναερόβια ζώνη από μία κατάντη ανοξική ζώνη (3) πρόσθεση πτητικών λιπαρών οξέων στην αναερόβια ζώνη (4) χρήση πολλαπλών σταδίων αναερόβιους και αερόβιους αντιδραστήρες.
Η εναλλασσόμενη έκθεση σε αναερόβιες συνθήκες μπορεί να επιτευχθεί στην κύρια διαδικασία βιολογικής επεξεργασίας ή στο ρεύμα της επιστρέφουσας ιλύος.

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου είναι τρεις. Ο όρος *Phoredox* χρησιμοποιήθηκε το 1975 για να αντιπροσωπεύσει κάθε διαδικασία με μία ακολουθία αναερόβιας/ αερόβιας ζώνης. Από τότε, έχουν υπάρξει και διαφορετικές διαδικασίες όπως A/O^{TM} (αναερόβια/ αερόβια μόνο) και A^2O^{TM} (αναερόβια/ ανοξική/ αερόβια) . Η A/O^{TM} είναι παρόμοια μέθοδος με την διαδικασία *Phoredox* .
Η κύρια διαφορά μεταξύ της διαδικασίας *Phoredox* (A/O) και των διαδικασιών A^2O^{TM} είναι ότι δεν προκύπτει η νιτροποίηση στην *Phoredox* (A/O). Χαμηλές μέσες ηλικίες βιομάζας (θ_C) χρησιμοποιούνται για να παρεμποδίσουν της έναρξη της νιτροποίησης. Επιθυμητές τιμές είναι από 2 έως 3 ημέρες στους 20° C και 4 έως 5 ημέρες στους 10° C ώστε να πραγματοποιηθεί βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου χωρίς νιτροποίηση. Για εφαρμογές όπου απαιτείται η νιτροποίηση, η διαδικασία πρέπει επίσης να περιλαμβάνει βιολογική απονιτροποίηση ώστε να προληφθεί η είσοδος μεγάλων ποσών νιτρικών στον αναερόβιο αντιδραστήρα μέσω της εσωτερικής ανακύκλωσης. Ετεροτροφικά βακτήρια χρησιμοποιούν τα νιτρικά ώστε να καταναλώσουν το βιοαποδομήσιμο κλάσμα COD στην αναερόβια ζώνη, οπότε υπάρχει λιγότερη ποσότητα COD διαθέσιμη για τα βακτήρια που αποθηκεύουν τον φώσφορο και κατά συνέπεια μειώνεται η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου.
Η διαδικασία A^2O^{TM} καθώς και η UCT (University of Cape Town) αποτελούν δύο βασικά είδη συστημάτων όπου οι αναερόβιες συνθήκες επιτυγχάνονται στην κύρια βιολογική διαδικασία και χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση νιτρικών με βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου. Στην διαδικασία A^2O η ανακύκλωση της επιστρέφουσας ενεργού ιλύος, που περιλαμβάνει νιτρικά, κατευθύνεται στην αναερόβια ζώνη. Στη διαδικασία UCT η ανακύκλωση της επιστρέφουσας ενεργού ιλύος κατευθύνεται σε μία ανοξική ζώνη και η ανακύκλωση του ανάμικτου υγρού στην αναερόβια ζώνη σχεδιάζεται ώστε να ακολουθεί την ανοξική ζώνη όπου η συγκέντρωση των νιτρικών είναι ελάχιστη. Η διαδικασία αυτή καθώς και άλλες παρόμοιες, χρησιμοποιούνται γενικά όταν η προσθήκη νιτρικών θα έχει σημαντική επιρροή στην πραγματοποίηση της βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου.
Η μέθοδος Phostrip συνδυάζει βιολογικές και χημικές διαδικασίες για την απομάκρυνση του φωσφόρου. Ένα μέρος επιστρέφουσας ενεργού ιλύος πλούσιας σε φώσφορο κατευθύνεται σε μία αναερόβια δεξαμενή όπου ο φώσφορος ελευθερώνεται στη διάλυση. Τότε, η εκροφημένη βιομάζα επιστρέφει στην δεξαμενή αερισμού. Στη διαδικασία αυτή, η αποδοτικότητα της απομάκρυνσης του φωσφόρου εξαρτάται λιγότερο από τις συγκεντρώσεις του βιοαποδομήσιμου COD από ότι άλλες διαδικασίες βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου.

Οι παράμετροι σχεδιασμού για τις διαδικασίες βιολογικής επεξεργασίας-απομάκρυνσης φωσφόρου περιλαμβάνουν:

- Τα χαρακτηριστικά του υγρού
- Τον χρόνο αναερόβιας επαφής
- Την μέση ηλικία της ιλύος ($θ_C$)
- Μέθοδο κατεργασίας του υπολείμματος λάσπης
- Δυνατότητα χημικής προσθήκης

3.5.4.5 Διαδικασίες ελέγχου

Η πραγματοποίηση των διαδικασιών βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου δεν αφορά μόνο στην τοποθέτηση μίας αναερόβιας ζώνης μπροστά από την αερόβια ζώνη σε συστήματα ενεργού ιλύος ή και στο ποσοστό του βιοαποδομήσιμου COD στο υπό επίδραση υγρό. Η εκτέλεση της διαδικασίας επηρεάζεται από έναν αριθμό λειτουργικών συνθηκών συμπεριλαμβανομένων (1)της αποτελεσματικότητας της απομάκρυνσης νιτρικών σε διαδικασίες όπου πραγματοποιείται νιτροποίηση (2)της μέσης ηλικίας της ιλύος ($θ_C$) (3)του ελέγχου στο διαλυμένο οξυγόνο για εισροή στην αναερόβια ζώνη (4)του φωσφόρου σε ρεύματα ανακύκλωσης και (5)της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών στην απορροή του συστήματος.

3.5.4.6 Μέθοδοι βελτίωσης της αποτελεσματικότητας στη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου

Η πραγματοποίηση των συστημάτων που εξετάζουμε εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υγρού και από τις διαδικασίες ελέγχου και λειτουργίας. Για υγρά με σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις βιοαποδομήσιμου COD , οι συγκεντρώσεις διαλυτού φωσφόρου μπορεί να υπερβαίνουν τα 1 ή και 2 mg/l ενώ συγκεντρώσεις κάτω του 0.5 ή 1 mg/l έχουν σημειωθεί για πιο «ισχυρά» υγρά. Μέθοδοι για τη βελτίωση της εκτέλεσης στην καθ’ όλα απομάκρυνση φωσφόρου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Μείωση στον χρόνο παρακράτησης της ιλύος ($θ_C$)
- Προσθήκη αλάτων αλουμινίου ή σιδήρου στην πρωτοβάθμια επεξεργασία
- Μείωση του ποσοστού των νιτρικών και /ή την είσοδο οξυγόνου στην αναερόβια ζώνη
- Παροχή συμπληρωματικού οξικού άλατος με άμεση ανάδευση ή με ζύμωση της αρχικής λάσπης.

Δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να παρέχουν επιπρόσθετο βιοαποδομήσιμο COD για την βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου είναι η εισαγωγή μίας εξωτερικής πηγής άνθρακα ή η παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων από τη ζύμωση της λάσπης στην πρώτη δεξαμενή καθίζησης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, ένας αντιδραστήρας ζύμωσης παρέχει χρόνο παραμονής και ανάδευση της πρώτης λάσπης και τα πτητικά λιπαρά οξέα ελευθερώνονται μέσα από την πρώτη δεξαμενή καθίζησης σαν τροφή στην δευτεροβάθμια επεξεργασία αναερόβιας ζώνης. Επίσης έχει προταθεί μία πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης μεγαλύτερου βάθους για να παρέχει αρκετό χρόνο κατακράτησης για την πρωτοβάθμια λάσπη προς υδρόλυση και ζύμωση οξέος. Η λάσπη που κυκλοφορεί κατάντη ανακυκλώνεται

για να ελευθερώσει πτητικά λιπαρά οξέα στο υγρό ρεύμα. Τιμές του χρόνου παρακράτησης της ιλύος που κυμαίνονται μεταξύ 3 και 5 ημερών και εξαρτώνται από τη θερμοκρασία χρησιμοποιούνται γενικά ώστε να μην ξεπεραστεί το σημείο όπου μπορεί να ξεκινήσει η δραστηριότητα της μεθανογένεσης. Σε τιμές χρόνων παρακράτησης της ιλύος μεγαλύτερων των 4 ή 5 ημερών, η μεθανογένεση μπορεί να είναι αρκετά υψηλή για την κατανάλωση των πτητικών λιπαρών οξέων. Η παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων κυμαίνεται από 0.1 έως 0.2 g πτητικών λιπαρών οξέων / g πτητικών αιωρούμενων στερεών. Οι ζυμωτές- βακτήρια μπορούν να προσθέσουν μία συμπληρωματική συγκέντρωση 10 έως 20 mg/l στο υπό επίδραση υγρό ενώ έχει παρατηρηθεί ότι όταν λειτουργούν ζυμωτές- βακτήρια προκύπτουν πιο σταθερές συγκεντρώσεις διαλυτού φωσφόρου στην απορροή.
Ένα καλό παράδειγμα αλλαγής διαδικασίας που μπορεί να βελτιώσει την πραγματοποίηση βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου έχει παρουσιαστεί για μία εγκατάσταση στην Kelowna, British Columbia η οποία ήταν μία από τις πρώτες επιτυχίες με ζύμωση της πρωτοβάθμιας λάσπης. Χρησιμοποιείται η τροποποιημένη μέθοδος Bardenpho. Η πρώτη αλλαγή ήταν η ζύμωση της πρωτοβάθμιας λάσπης σε δεξαμενές που λειτουργούσαν σαν παχυντές λάσπης με μακρούς χρόνους παραμονής. Η συγκέντρωση πτητικών λιπαρών οξέων στην απορροή προς ζύμωση κυμαινόταν από 110 έως 140 mg/l και ύστερα από ανάμιξη με την πρώτη απορροή προέκυπτε συγκέντρωση 9 .έως 10 mg/l. Τα επιπρόσθετα πτητικά λιπαρά οξέα μείωναν την μέση συγκέντρωση του φωσφόρου στην απορροή από περίπου 1,5 στο 0.5 mg/l. Αργότερα προστέθηκε αλουμίνα πριν τις δευτεροβάθμιες δεξαμενές καθίζησης σε μια δοσολογία περίπου 8 mg/l ώστε να ελαττωθεί περαιτέρω η συγκέντρωση του φωσφόρου στην απορροή. Με προ-ζύμωση αλλά και προσθήκη αλουμινίου η συγκέντρωση του φωσφόρου στην απορροή είχε μέση τιμή λιγότερη από 0.2 mg/l για περίοδο ενός περίπου έτους (09/1989-08/1990). Κατά τη διάρκεια του έτους 1993, η προσθήκη του αλουμινίου διακόπηκε και τα δύο τελευταία ανοξικά-αερόβια στάδια του συστήματος Bardenpho τέθηκαν εκτός λειτουργίας όταν επιτράπηκε μία υψηλότερη συγκέντρωση νιτρικών στην απορροή. Με την αφαίρεση αυτή τα δύο τελευταία στάδια είχαν σαν αποτέλεσμα έναν μικρότερο χρόνο παραμονής της ιλύος για τη διαδικασία και η μέση συγκέντρωση του φωσφόρου στην απορροή μειώθηκε στο 0.1 mg/l. Το άλλο πλεονέκτημα από την αφαίρεση της δεύτερης ανοξικής ζώνης ήταν ότι για την αφαίρεση νιτρικών οι χρόνοι κατακράτησης ήταν μεγαλύτεροι από τους απαιτούμενους. Η δεύτερη ανοξική ζώνη θεωρήθηκε ότι προκαλούσε ανεπιθύμητη δευτερεύουσα απελευθέρωση φωσφόρου.

3.5.4.7 Εναλλακτικές διαδικασίες για την βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου

Τόσο για την απομάκρυνση του φωσφόρου όσο και για αυτή του αζώτου έχουν χρησιμοποιηθεί ποικίλες τροποποιήσεις από τη βασική Phoredox διαδικασία. Οι περισσότερες αφορούν στους διαφορετικούς σχεδιασμούς που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση του ποσοστού της νιτρικής τροφής στην αναερόβια ζώνη, μερικές αναφέρονται σε χαμηλούς χρόνους παραμονής της ιλύος και άλλες αφορούν την χρήση πολλαπλών σταδίων για την αναερόβια, την αερόβια και την ανοξική ζώνη.

3.5.4.7.1 Περιγραφή διαδικασιών περιορισμένης ανάπτυξης για την απομάκρυνση του φωσφόρου

1. *Phoredox (A/O)*

Η βασική ιδέα σε αυτή την περίπτωση αποτελεί η αναερόβια ζώνη η οποία ακολουθείται από μία αερόβια ζώνη. Ο Barnard (1974) ήταν ο πρώτος που διευκρίνισε την ανάγκη για αναερόβια επαφή μεταξύ της ενεργού ιλύος και του υπό επεξεργασία υγρού πριν από την αερόβια αποικοδόμηση με σκοπό την εκπλήρωση της βιολογική απομάκρυνσης του φωσφόρου. Κατά αυτό τη λογική προέκυψε ο όρος διαδικασία Phoredox. Η διαδικασία A/O είναι μία καινοτόμος εκδοχή και η κύρια διαφορά είναι η χρήση πολλαπλών τοποθετημένων αερόβιων και αναερόβιων αντιδραστήρων. Σε αυτές τις διαδικασίες δεν υφίσταται νιτροποίηση και ο αναερόβιος χρόνος παραμονής είναι 30 min έως 1 h . Ο χρόνος παραμονής της ιλύος στην αερόβια ζώνη είναι 2 h έως 4 h ανάλογα με την θερμοκρασία.

2. *A^2O*

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία τροποποίηση της διαδικασίας A/O και παρέχει μία ανοξική ζώνη για την απονιτροποίηση. Η περίοδος παραμονής στην ανοξική ζώνη είναι κατά προσέγγιση 1 h. Η ανοξική ζώνη είναι ελλιπής ως προς το διαλυμένο οξυγόνο αλλά το χημικά προορισμένο οξυγόνο στη μορφή των νιτρικών ή νιτρωδών εισάγεται με την ανακύκλωση του νιτροποιημένου ανάμικτου υγρού από το αερόβιο τμήμα. Η χρήση της ανοξικής ζώνης ελαχιστοποιεί την ποσότητα της νιτρικής τροφής στην αναερόβια ζώνη στην επιστρέφουσα ενεργό ιλύ.

3. *Τροποποιημένη Bordenpho (5 στάδια)*

Η διαδικασία Bardenpho μπορεί να τροποποιηθεί για τη συνδυασμένη απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου. Η ακολουθία των σταδίων και η μέθοδος ανακύκλωσης είναι διαφορετικές από την διαδικασία A^2/O. Το σύστημα 5 σταδίων παρέχει αναερόβια, ανοξικά και αερόβια στάδια για την απομάκρυνση του αζώτου, του φωσφόρου και του άνθρακα. Υφίσταται επίσης ένα δεύτερο ανοξικό στάδιο για επιπρόσθετη απονιτροποίηση με τη χρήση των νιτρικών που παράγονται στο αερόβιο στάδιο (σαν δέκτες ηλεκτρονίων) και του ενδογενή οργανικού άνθρακα (σαν δότης ηλεκτρονίων). Το τελικό αερόβιο στάδιο χρησιμοποιείται για να ελαχιστοποιήσει την απελευθέρωση του φωσφόρου στην τελική δεξαμενή καθίζησης και για να εκροφηθεί το υπολειμματικό αέριο άζωτο από τη διάλυση. Το ανάμικτο υγρό από την πρώτη αερόβια ζώνη ανακυκλώνεται στην ανοξική ζώνη. Η διαδικασία 5 σταδίων χρησιμοποιεί μεγαλύτερο χρόνο παραμονής ιλύος (10 έως 20 ημέρες) από ότι η μέθοδος A^2/O και κατά αυτό τον τρόπο αυξάνει την οξειδωτική ικανότητα του άνθρακα.

4. *UCT (κανονική και τροποποιημένη)*

Η διαδικασία αυτή αντιπροσωπεύει την αντίστοιχη διαδικασία επεξεργασίας του πανεπιστήμιου του Cape Town στην Νότια Αφρική όπου και αναπτύχθηκε. Η διαδικασία UCT αναπτύχθηκε για να ελαχιστοποιήσει την επίδραση των νιτρικών σε πιο «ασθενή» υγρά κατά την είσοδο στην αναερόβια ζώνη επαφής. Η ποσότητα των νιτρικών στην αναερόβια ζώνη είναι κρίσιμη στην αποδοτικότητα της βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου. Η μέθοδος μοιάζει με την μέθοδο A^2/O με δύο εξαιρέσεις. Η επιστρέφουσα ενεργός ιλύς ανακυκλώνεται στο ανοξικό στάδιο αντί στο αερόβιο στάδιο και η εσωτερική ανακύκλωση είναι από το ανοξικό στάδιο προς το αναερόβιο στάδιο. Με την επιστροφή την ενεργού ιλύος στο ανοξικό στάδιο, περιορίζεται η εισαγωγή των νιτρικών στο αναερόβιο στάδιο και ως εκ τούτου βελτιώνεται η κατανάλωση του φωσφόρου στο αναερόβιο στάδιο. Το είδος της εσωτερικής ανακύκλωσης προάγει αυξημένη χρήση οργανικών στο αναερόβιο στάδιο. Το ανάμικτο υγρό από το ανοξικό στάδιο περιέχει διαλυτό BOD αλλά λίγα νιτρικά. Επειδή το ανάμικτο υγρό έχει χαμηλότερη συγκέντρωση, ο αναερόβιος χρόνος παραμονής πρέπει να είναι μεγαλύτερος από αυτόν στη διαδικασία Phoredox και βρίσκεται στην περιοχή από 1 h έως 2h.

Στην τροποποιημένη UCT διαδικασία που παρουσιάζεται στο δεύτερο διάγραμμα, η επιστρέφουσα ενεργός ιλύς κατευθύνεται σε έναν ανοξικό αντιδραστήρα ο οποίος δεν δέχεται παροχή από νιτρικά εσωτερικής ανακύκλωσης. Τα νιτρικά μειώνονται σε αυτή τη δεξαμενή και το ανάμικτο υγρό από τον αντιδραστήρα ανακυκλώνεται στην αναερόβια δεξαμενή. Η δεύτερη ανοξική δεξαμενή έπεται της πρώτης ανοξικής δεξαμενής και δέχεται παροχή από νιτρικά εσωτερικής ανακύκλωσης από την δεξαμενή αερισμού για να παρέχει το μέγιστο ποσοστό απομάκρυνσης νιτρικών.

5. *VIP*

Η μέθοδος VIP (Virginia Initiative Plant) είναι παρόμοια με τη διαδικασία A^2/O και την UCT εκτός από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τα συστήματα ανακύκλωσης. Στην μέθοδο αυτή, όλες οι ζώνες αποτελούνται από τουλάχιστον δύο πλήρως αναμεμιγμένα κελιά σε σειρά. Η επιστρέφουσα ενεργός ιλύς αποβάλλεται στην είσοδο της ανοξικής ζώνης κατά μήκος με την νιτροποιημένη ανακύκλωση από την αερόβια ζώνη. Το ανάμικτο υγρό από την ανοξική ζώνη επιστρέφει στην αρχή της αναερόβιας ζώνης. Η μέθοδος αυτή σχεδιάζεται επίσης σαν ένα σύστημα υψηλού ρυθμού που λειτουργεί με πολύ μικρότερους χρόνους παραμονής ιλύος οι οποίοι μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητα της βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου. Ο συνδυασμένος χρόνος παραμονής ιλύος από την αναερόβια και τις ανοξικές ζώνες είναι γενικά 1.5 έως 3 ημέρες, ενώ οι τιμές του υδραυλικού χρόνου παραμονής στην αναερόβια και τις ανοξικές ζώνες είναι τυπικά 60 min έως 90 min η κάθε μία. Η ζώνη αερισμού σχεδιάζεται για τη νιτροποίηση.

6. *Διαδικασία Johannesburg*

Η διαδικασία που προέρχεται από το αντίστοιχο μέρος στη Νότια Αφρική, είναι μία εναλλακτική μέθοδος της UCT ή της τροποποιημένης UCT και στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της τροφοδοσίας νιτρικών στην αναερόβια ζώνη και να μεγιστοποιήσει την απομάκρυνση του φωσφόρου για πιο «ασθενή» υγρά απόβλητα. Η επιστρέφουσα ενεργός ιλύς κατευθύνεται σε μία ανοξική ζώνη όπου ο χρόνος παραμονής είναι αρκετός για να μειωθούν τα νιτρικά στο ανάμικτο υγρό πριν αυτό τροφοδοτηθεί στην αναερόβια ζώνη. Η μείωση των νιτρικών κατευθύνεται από τον ρυθμό της ενδογενούς αναπνοής του ανάμικτου υγρού και ο χρόνος παραμονής στην ανοξική ζώνη εξαρτάται από τη συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού , τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση των νιτρικών στο ρεύμα επιστροφής της ιλύος. Συγκρινόμενη με τη μέθοδο UCT, μπορεί να διατηρηθεί μία υψηλότερη συγκέντρωση MLSS (αιωρούμενα στερεά ανάμικτου υγρού) στην αναερόβια ζώνη όπου ο χρόνος παραμονής είναι περίπου 1 h.

7. *SBR με βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου*

Αν απομακρύνεται αρκετή ποσότητα νιτρικών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του SBR, μπορεί να αναπτυχθεί μία περίοδος αναερόβιας αντίδρασης κατά τη διάρκεια και μετά από του τέλος της μεθόδου SBR. Χρησιμοποιείται μία ανοξική περίοδος λειτουργίας αφού περάσει ένας ικανοποιητικός αερόβιος χρόνος για τη νιτροποίηση και παραγωγή νιτρικών. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυκλικά ανοξικές και αερόβιες περίοδοι κατά τη διάρκεια της περιόδου αντίδρασης. Τότε η συγκέντρωση των νιτρικών ελαχιστοποιείται και πολύ λίγη ποσότητα νιτρικών είναι ικανή να ανταγωνιστεί για το βιοαποδομήσιμο COD στο τέλος και στην αρχική περίοδο αντίδρασης. Έτσι, παρουσιάζονται αναερόβιες συνθήκες στο τέλος και στην αρχική περίοδο αντίδρασης, ώστε μπορεί να πραγματοποιηθεί αποθήκευση του βιοαποδομήσιμου COD από βακτήρια που αφομοιώνουν τον φώσφορο αντί της κατανάλωσης βιοαποδομήσιμου COD από βακτήρια που μειώνουν τα νιτρικά.

8. *Phostrip*

Η διαδικασία Phostrip αποτελεί στην ουσία μία διαδικασία αναερόβια/ αερόβια. Η αναερόβια κατάσταση δημιουργείται με την παρακράτηση επιστρέφουσας ενεργού ιλύος για αρκετό διάστημα σε έναν παχυντή βαρύτητας με χρόνους παραμονής γενικά στην περιοχή των 8 έως 12 h. Ο ελευθερωμένος φώσφορος υφίσταται έκπλυση συνήθως με την προσθήκη πρωτοβάθμιας εκροής ή ανεπεξέργαστου υγρού. Η υπερχείλιση από τη δεξαμενή εκρόφησης επεξεργάζεται τότε χημικά για την απομάκρυνση του φωσφόρου και η επιστρέφουσα ενεργός ιλύς κατευθύνεται στην αερόβια δεξαμενή. Ο ασβέστης χρησιμοποιείται συνήθως σαν χημικό για να κατακρημνίσει το φώσφορο από την υπερχείλιση στη δεξαμενή εκρόφησης. Η δόση του ασβεστίου που απαιτείται για να αυξήσει το pH για την απομάκρυνση του φωσφόρου είναι μία συνάρτηση της αλκαλικότητας του υγρού και όχι της ποσότητας του φωσφόρου που υπάρχει. Εάν αντί αυτού χρησιμοποιούνται άλατα του αλουμινίου, η δόση είναι ανάλογη με την ποσότητα του ελευθερωμένου φωσφόρου. Αν και εφαρμόζεται χημική κατεργασία για την απομάκρυνση του φωσφόρου, υφίσταται μία σημαντική απομάκρυνση φωσφόρου στο υπόλειμμα ιλύος λόγω της ανάπτυξης των βακτηρίων που αποθηκεύουν τον φώσφορο. Η πραγματοποίηση της απομάκρυνσης του φωσφόρου θα περιοριζόταν με την νιτροποίηση.

Επισημαίνουμε στο σημείο αυτό ότι οι σχηματικές απεικονίσεις των παραπάνω οκτώ μεθόδων παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.3 των Παραρτημάτων.

3.5.4.8 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των διαδικασιών απομάκρυνσης φωσφόρου

1. *Phoredox (A/O)*

Πρόκειται για μία διαδικασία η οποία εν συγκρίσει με τις υπόλοιπες κρίνεται σχετικά απλή. Οδηγεί δε μία ικανοποιητική απομάκρυνση του φωσφόρου και παράγει καλής ποιότητας ιλύ καθίζησης. Ο χρόνος παραμονής είναι σχετικά μικρός και ο λόγος BOD/P είναι ο μικρότερος δυνατός.
Οι περιορισμοί αναφέρονται στο γεγονός ότι η απομάκρυνση του φωσφόρου αποκλίνει εάν πραγματοποιηθεί νιτροποίηση. Είναι διαθέσιμη περιορισμένη διαδικασία ελέγχου.

2. *A^2/O*

Στη διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται απομάκρυνση τόσο του φωσφόρου όσο και του αζώτου. Παρέχεται αλκαλικότητα για τη νιτροποίηση, αποθηκεύεται ενέργεια και παράγεται καλής ποιότητας ιλύς καθίζησης. Τέλος, η λειτουργία είναι σχετικά απλή. Από την άλλη πλευρά, λόγω του γεγονότος ότι η επιστρέφουσα ενεργός ιλύς που περιέχει νιτρικά ανακυκλώνεται στην αναερόβια ζώνη, η ικανότητα απομάκρυνσης του φωσφόρου επηρεάζεται. Ακόμα, η απομάκρυνση του αζώτου αναστέλλεται από τον ρυθμό εσωτερικής ανακύκλωσης και απαιτείται υψηλότερος λόγος BOD/P από ότι στην διαδικασία Phoredox.

3. *UCT*

Στην περίπτωση αυτή, μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής: μειώνεται το φορτίο των νιτρικών στην αναερόβια ζώνη οπότε αυξάνεται η ικανότητα απομάκρυνσης φωσφόρου. Για πιο «ασθενή» υγρά, είναι δυνατόν να επιτευχθεί βελτιωμένη απομάκρυνση φωσφόρου. Τέλος, η απομάκρυνση των αζώτου είναι ικανοποιητική και παράγεται καλής ποιότητας ιλύς καθίζησης.
Σαν περιορισμό στην διαδικασία αυτή θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι απαιτείται επιπλέον (επιπρόσθετο) σύστημα ανακύκλωσης καθώς και ότι πρόκειται για πιο πολύπλοκη διαδικασία.

4. *VIP*

Στη μέθοδο VIP, όπως και στην προηγούμενη μέθοδο, μειώνεται το φορτίο των νιτρικών στην αναερόβια ζώνη οπότε αυξάνεται η ικανότητα απομάκρυνσης φωσφόρου. Παράγεται καλής ποιότητας ιλύς καθίζησης και απαιτείται μικρότερος λόγος BOD/P από ότι στην UCT.

5. *Bardenpho (5 στάδια)*

Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να προκύψουν 3 έως 5 mg/l TN (ολικό άζωτο) σε μη φιλτραρισμένη (διυλισμένη) εκροή και παράγεται καλής ποιότητας ιλύς καθίζησης. Εντούτοις, η απομάκρυνση του φωσφόρου είναι λιγότερο αποτελεσματική και απαιτούνται μεγαλύτεροι όγκοι δεξαμενών.

6. *SBR*

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι αρχικά ότι επιτυγχάνεται απομάκρυνση τόσο του φωσφόρου όσο και του αζώτου. Η διαδικασία είναι εύκολη ως προς τη λειτουργία της και επιδέχεται αλλαγές. Αδρανής καθίζηση μπορεί να παράγει μικρότερης συγκέντρωσης ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) στην εκροή.

Παρόλα αυτά πρόκειται για μέθοδο πιο πολύπλοκη όσον αφορά στην απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου, ο σχεδιασμός της είναι περίπλοκος και είναι πιο κατάλληλη για μικρότερες παροχές. Απαιτείται καταρχήν μεγαλύτερος όγκος από ότι στην SBR για την απομάκρυνση του αζώτου μόνο και έπειτα ειδικευμένη υποστήριξη. Τέλος, η ποιότητα της εκροής εξαρτάται από την ικανότητα στράγγισης .

7. *Phostrip*

Η μέθοδος είναι εύκολα προσαρμόσιμη σε συστήματα ενεργού ιλύος καθώς και είναι εύκαμπτη με την έννοια ότι η απομάκρυνση του φωσφόρου δεν ελέγχεται από τον λόγο BOD/P. Επίσης, είναι δυνατόν στην εκροή να παρατηρηθούν συγκεντρώσεις ορθοφωσφορικών μικρότερες του 1 mg/L. Τέλος, σημειώνεται η σημαντικά μειωμένη χρήση χημικών.

Μερικοί από τους περιορισμούς είναι οι εξής: καταρχήν, απαιτείται η προσθήκη ασβέστου για την κατακρήμνιση του φωσφόρου. Επιπλέον, απαιτείται περισσότερο διαλυμένο οξυγόνο για να εμποδίσει την απελευθέρωση του φωσφόρου στον τελικό καθαριστή. Είναι απαραίτητη ακόμα η επιπρόσθετη ικανότητα στη δεξαμενή για εκρόφηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΟΡΙΝΘΟΥ-ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ

4.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΟΡΙΝΘΟΥ-ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ

Η κοινή Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων των πόλεων Κορίνθου και Λουτρακίου, έχει χωροθετηθεί νοτιοδυτικά και σε απόσταση λίγων μέτρων από την διώρυγα του Ισθμού Κορίνθου, από την πλευρά της Πελοποννήσου. Τα λύματα φθάνουν στην εγκατάσταση μέσω ενδιάμεσων αντλιοστασίων ανύψωσης και καταθλιπτικών αγωγών, που οδεύουν παράλληλα με την διώρυγα του Ισθμού για την γραμμή Κορίνθου, ή υπεράνω αυτής μέσω λυματογέφυρας για την γραμμή Λουτρακίου. Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται στον Κορινθιακό κόλπο, μέσω υποθαλάσσιου αγωγού το χερσαίο τμήμα του οποίου οδεύει παράλληλα με την διώρυγα, σε μέσο βάθος 20 m και απόσταση 410 m από την πλησιέστερη ακτή.

Η εγκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ως δίδυμο έργο με λειτουργική αυτοτέλεια των δύο γραμμών ή ως ενιαίο έργο, δυνατότητες που παρέχονται μέσω ελεγχόμενων υδραυλικών διασυνδέσεων.

Ο σχεδιασμός του έργου καλύπτει τον χρονικό ορίζοντα 2010 με συνολικό (και για τις δύο γραμμές) μέγιστο εξυπηρετούμενο πληθυσμό 90000 κατοίκων, ενώ έχει προβλεφθεί μελλοντική επέκταση, για πληθυσμό 180000 κατοίκων. Τα έργα προεπεξεργασίας λυμάτων, κτιριακά έργα και έργα υποδομής έχουν κατασκευασθεί για την μελλοντική φάση.

Η επεξεργασία περιλαμβάνει προεπεξεργασία και δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων για απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και αζώτου, απολύμανση (χλωρίωση) των επεξεργασμένων λυμάτων και επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος, που περιλαμβάνει πάχυνση βαρύτητας και αφυδάτωση σε ταινιοφιλτρόπρεσσα. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία γίνεται με την μέθοδο παρατεταμένου αερισμού ενεργού ιλύος, σε οξειδωτικές τάφρους, συστήματος Carrousel. Στον τύπο Carrousel χρησιμοποιούνται αεριστήρες κατακόρυφου άξονα
τύπου Simcar. Η οξυγονωτική ικανότητα εξαρτάται από τη διάμετρο του αεριστήρα, την ταχύτητα περιστροφής του και το βύθισμά του.

Αυτή τη στιγμή λειτουργούν ανεξάρτητα οι δυο γραμμές επεξεργασίας, και μόνον η αφυδάτωση ιλύος γίνεται από κοινού.

Η λειτουργία της γραμμής Κορίνθου άρχισε το 1998, αρχικά αποκλειστικά με λύματα προερχόμενα από την πόλη της Κορίνθου και για μερικούς μήνες για τα λύματα και των δύο πόλεων, ενώ στις αρχές του 2000 άρχισε η ανεξάρτητη λειτουργία της γραμμής Λουτρακίου.

Το σύστημα επεξεργασίας λυμάτων της ΕΕΛ Κορίνθου-Λουτρακίου περιλαμβάνει προεπεξεργασία, δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων για απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και αζώτου, απολύμανση των επεξεργασμένων λυμάτων και επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία γίνεται με την μέθοδο παρατεταμένου αερισμού ενεργού ιλύος, σε οξειδωτικές τάφρους, συστήματος Carrousel.
Η εγκατάσταση υπό τις παροντικές συνθήκες λειτουργίας, μπορεί να θεωρηθεί ως δίδυμο έργο με λειτουργική αυτοτέλεια των δύο γραμμών. Μόνον η αφυδάτωση ιλύος γίνεται από κοινού.

4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το έργο κάθε πόλεως περιλαμβάνει δύο γραμμές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας και έχει σχεδιαστεί με απαιτούμενα χαρακτηριστικά επεξεργασμένων λυμάτων (απόφαση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων):

BOD_5^{tot}	< 20 mg/l
COD^{tot}	< 80 mg/l
SS_{out}	< 25 mg/l
TN	< 10 mg/l
NH_4-N	$\leq$ 2,0 mg/l

Ο σχεδιασμός έχει γίνει με τα δεδομένα του πίνακα 4.1 για τα λύματα προς επεξεργασία και τα χαρακτηριστικά επεξεργασμένων λυμάτων του πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.1: Δεδομένα Σχεδιασμού για τα Λύματα προς Επεξεργασία

Παράμετρος	Χειμερινή Περίοδος	Θερινή Περίοδος
Ισοδύναμος Πληθυσμός (e.p.)	36000	45000
Ημερήσια Παροχή Λυμάτων (m^3/d)	7712	9640
Παροχή Ωριαίας Αιχμής (m^3/h)	734	918
BOD_5 (mg/l)	280	280
SS (mg/l)	322	322
TN (mg/l)	45	45
TP (mg/l)	16	16
T (° C)	13	18

Πίνακας 4.2: Ποιότητα Εκροής Σχεδιασμού

Παράμετρος	Χειμερινή Περίοδος	Θερινή Περίοδος
BOD_5^{sol} (mg/l)	6,0	4,0
BOD_5^{tot} (mg/l)	12,0	10,0
SS (mg/l)	20,0	20,0
NH_4-N (mg/l)	0,3	0,5
NO_3-N (mg/l)	10,0	10,0
TN (mg/l)	10,3	10,5

4.3 ΈΡΓΑ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα έργα προεπεξεργασίας κάθε γραμμής περιλαμβάνουν εσχάρωση, μέτρηση παροχής εισερχόμενων λυμάτων σε διαύλους Venturi και εξάμμωση-απολίπανση. Οι καταθλιπτικοί αγωγοί των λυμάτων κάθε πόλης φθάνουν στο αντίστοιχο φρεάτιο εισόδου, το οποίο διαθέτει πιεζοθραυστική διάταξη για την ελάττωση της ταχύτητας εισόδου των λυμάτων στην μονάδα εσχάρωσης (τα εισερχόμενα λύματα προσκρούουν σε τοιχίο τοποθετημένο απέναντι από την έξοδο των καταθλιπτικών αγωγών και στη συνέχεια διέρχονται κάτω από θυρίδα και οδηγούνται μέσω κατάλληλης διαμόρφωσης προς το κανάλι τροφοδοσίας των εσχαρών). Στα φρεάτια εισόδου έχουν τοποθετηθεί υπερχειλιστές ασφαλείας, για την υπερχείλιση στην επόμενη μονάδα.

Πριν τις μηχανικά καθαριζόμενες εσχάρες και για την προστασία τους από την προσέγγιση σε αυτές ογκωδών αντικειμένων, έχουν τοποθετηθεί χειρωνακτικά καθαριζόμενες χονδροεσχάρες, διάκενου ράβδων 50 mm. Η λειτουργία της διάταξης καθαρισμού των μηχανικά καθαριζόμενων εσχαρών, οι οποίες παρουσιάζουν διάκενο ράβδων 15 mm, και είναι κεκλιμένες υπό γωνία 60° ως προς την οριζόντια, ενεργοποιείται κατόπιν μέτρησης της διαφοράς στάθμης των λυμάτων ανάντη-κατάντη των εσχαρών. Με κατάλληλα τοποθετημένα θυροφράγματα, μπορεί να γίνει εκτροπή των λυμάτων, σε κανάλι τοποθετημένο ανάμεσα στα κανάλια των μηχανικά καθαριζόμενων εσχαρών των δύο γραμμών, για την περίπτωση συντήρησης-επισκευής εσχάρας. Η αποθήκευση των εσχαρισμάτων γίνεται συνήθως σε κλειστούς κάδους απορριμμάτων, συμβατών με αυτούς της αποκομιδής των στερεών απορριμμάτων του Δήμου. Η τελική τους διάθεση γίνεται συνήθως σε χωματερές.

Η μονάδα εξάμμωσης-απολίπανσης, αποτελεί δίδυμη αεριζόμενη δεξαμενή εξάμμωσης ελικοειδούς ροής, με πλευρικούς απολιπαντές. Ο αερισμός γίνεται μέσω τριών λοβοειδών φυσητήρων, έναν για κάθε γραμμή και έναν εφεδρικό, και διαχυτήρων μεσαίου μεγέθους φυσαλίδας. Κάθε δεξαμενή διαθέτει ανεξάρτητη

γέφυρα που μεταφέρει αφ' ενός αεραντλία για την αναρρόφηση του αιωρήματος νερού-άμμου από τον πυθμένα της δεξαμενής εξάμμωσης και την απόθεσή του σε κανάλι με πυθμένα μεγάλης κλίσης τοποθετημένο στην εξωτερική πλευρά της κάθε δεξαμενής και αφ' ετέρου επιφανειακό σαρωτή για την σάρωση των επιπλεόντων λιπών και την απόθεσή τους σε φρεάτιο συλλογής. Το αιώρημα νερού-άμμου μετά την εκροή του από το κανάλι μεγάλης κλίσης τροφοδοτείται σε κοχλιωτό διαχωριστή άμμου, όπου επιτυγχάνεται διαχωρισμός και πλύση-αφυδάτωση των απορριπτόμενων αδρανών στερεών. Τα υγρά που διαχωρίζονται τόσο στον διαχωριστή άμμου, όσο και στο φρεάτιο συλλογής λιπών ανακυκλοφορούνται μέσω του δικτύου στραγγιδίων στην είσοδο της δεξαμενής εξάμμωσης.
Με κατάλληλα τοποθετημένα θυροφράγματα στην είσοδο της μονάδας, είναι δυνατή η απομόνωση και εκκένωση της μίας δεξαμενής και η εκτροπή των λυμάτων, ώστε τα λύματα και των δύο γραμμών μετά την εσχάρωση και την μέτρηση παροχής, να οδηγηθούν στην μία μονάδα εξάμμωσης-απολίπανσης.
Στο άκρο κάθε διώρυγας εξάμμωσης, τα απαλλαγμένα από αδρανή στερεά και λίπη λύματα υπερχειλίζουν σε φρεάτιο, από το οποίο στη συνέχεια οδηγούνται με βαρύτητα στο αντίστοιχο φρεάτιο μερισμού των δεξαμενών βιολογικών διεργασιών. Υπάρχει δυνατότητα ενοποίησης των εκροών των δύο δεξαμενών εξάμμωσης-απολίπανσης, κι ακόλουθης εκτροπής των λυμάτων σε μία από τις δύο γραμμές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, ή επαναμερισμό τους και στις δύο, με την επικοινωνία των φρεατίων υπερχείλισης των δύο γραμμών. Επίσης υπάρχει δυνατότητα εκτροπής των λυμάτων από τα φρεάτια υπερχείλισης των δεξαμενών εξάμμωσης-απολίπανσης, σε κοινό φρεάτιο, από το οποίο μέρος ή το σύνολο των λυμάτων μπορεί να εκτραπεί προς το φρεάτιο εκβολής του έργου (by pass).

4.4 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία για την απομάκρυνση οργανικού φορτίου και αζώτου, γίνεται όπως αναφέρθηκε με την μέθοδο ενεργού ιλύος - παρατεταμένου αερισμού, σε οξειδωτικές τάφρους, τύπου Carrousel.

4.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η οξειδωτική τάφρος αποτελεί παραλλαγή του συστήματος ενεργού ιλύος, ελκυστική οικονομικά για την επεξεργασία αστικών λυμάτων για μικρούς και μέτριους πληθυσμούς, και σε μερικές περιπτώσεις βιομηχανικών αποβλήτων. Βάση του συστήματος αποτελεί ένα ατέρμον κανάλι, συνήθως οβάλ σχήματος, που περιέχει το ανάμικτο υγρό, του οποίου ο αερισμός, η ανάδευση και η προώθηση ροής μέσα στο κανάλι επιτυγχάνονται με συστήματα μηχανικού αερισμού. Το βάθος άρα και το μέγεθος οξειδωτικής τάφρου περιορίζεται από την ικανότητα του συστήματος αερισμού να διατηρήσει σε αιώρηση και να προωθήσει το ανάμικτο υγρό.

Τα συστήματα τύπου Carrousel, αποτελούν παραλλαγή της οξειδωτικής τάφρου, στα οποία η χρήση συστημάτων μηχανικού αερισμού κατακόρυφου άξονα έδωσε την δυνατότητα επίτευξης μεγαλύτερου βάθους, που μπορεί και να υπερβεί τα 4,0 m. Συνήθως οι οξειδωτικές τάφροι σχεδιάζονται για απομάκρυνση οργανικού άνθρακα, νιτροποίηση και απονιτροποίηση, με κατάλληλη διευθέτηση των συστημάτων αερισμού ώστε να δημιουργούνται περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου, και λειτουργούν υπό συνθήκες *παρατεταμένου αερισμού,* με μεγάλους υδραυλικούς χρόνους παραμονής και χρόνους παραμονής στερεών και χαμηλή οργανική φόρτιση. Επιτυγχάνεται δηλαδή και σχετικά υψηλός βαθμός σταθεροποίησης της ιλύος, γεγονός που συμβάλει στην οικονομικότητα των συστημάτων αυτών. Αναλυτικότερα, η μέθοδος του παρατεταμένου αερισμού παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε μεγάλες σχετικά συγκεντρώσεις στη δεξαμενή αερισμού ενώ οι ρυθμοί κατανάλωσης των οργανικών ουσιών από αυτούς είναι πολύ αργοί, δηλαδή οι μικροοργανισμοί έχουν παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα στη δεξαμενή αερισμού και υπάρχουν μικρές ποσότητες τροφής διαθέσιμες στη μάζα των μικροοργανισμών με αποτέλεσμα την αργή τους ανάπτυξη. Οι αργοί ρυθμοί κατανάλωσης των οργανικών από τους μικροοργανισμούς και οι αργοί ρυθμοί ανάπτυξης των μικροοργανισμών αντιστοιχούν σε μικρές τιμές οργανικής φόρτισης (0,16-0,4 kg BOD_5/m^3 ΔΑ), μικρές τιμές του λόγου F/M (0,05-0,15 kg BOD_5/kg MLVSS*d)και μεγάλες ηλικίες λάσπης.

Οι μικρές τιμές της οργανικής φόρτισης και του λόγου F/M επιτυγχάνονται με την εφαρμογή μεγάλων όγκων της δεξαμενής αερισμού (ΔΑ) οι οποίοι οδηγούν σε υψηλές τιμές υδραυλικών χρόνων παραμονής. Οι μεγάλες τιμές όγκων έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση (α)του κόστους κατασκευής των ΔΑ, (β)του κόστους των διατάξεων αερισμού και (γ)του κόστους λειτουργίας (αερισμού). Παράλληλα όμως υπάρχει μία μεγάλη ανθεκτικότητα του συστήματος σε μεταβολές των χαρακτηριστικών των αποβλήτων (παροχή και ρυπαντικά φορτία), εξαιτίας των μεγάλων όγκων.

Λόγω των μεγάλων ηλικιών λάσπης πραγματοποιείται πλήρης νιτροποίηση στη ΔΑ, οι παραγόμενες ποσότητες λάσπης είναι πολύ μικρές και η περίσσεια λάσπης είναι σταθεροποιημένη και απαιτεί μόνο πάχυνση και αφυδάτωση.

Η πραγματοποίηση πλήρους νιτροποίησης στη ΔΑ οδηγεί συχνά στη δημιουργία ανοξικών συνθηκών στη δεξαμενή καθίζησης, όπου μπορεί να πραγματοποιηθεί ανεξέλεγκτη απονιτροποίηση, δηλαδή έκλυση αερίου αζώτου με αποτέλεσμα την ανύψωση της λάσπης. Για να αποφευχθεί αυτό απαιτείται η πραγματοποίηση απονιτροποίησης σε ελεγχόμενες συνθήκες.

Έχει παρατηρηθεί συχνά στα συστήματα παρατεταμένου αερισμού το φαινόμενο της διόγκωσης της λάσπης που δυσχεραίνει την καθίζηση της βιομάζας στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Για την αντιμετώπιση του πιθανού να εμφανιστεί φαινομένου αυτού, χρειάζεται συχνά η χρησιμοποίηση δεξαμενής επιλογής

βακτηριδίων αλλά και ο σχεδιασμός των δεξαμενών καθίζησης με συντηρητικά κριτήρια που οδηγούν σε μεγάλες σχετικά επιφάνειες και βάθη.
Τέλος, εξαιτίας των υψηλών ηλικιών λάσπης, η απόδοση των συστημάτων παρατεταμένου αερισμού αναμένεται συνήθως να είναι πολύ υψηλή. Η απομάκρυνση του BOD φτάνει συχνά το 98 % και του αζώτου (με νιτροποίηση-απονιτροποίηση) το 90%. Παράλληλα, υπάρχει και η δυνατότητα βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου σε υψηλά ποσοστά.
Εξ' αιτίας της λειτουργίας σε χαμηλή οργανική φόρτιση, τα συστήματα αυτά λειτουργούν στη φάση της ενδογενούς αναπνοής και μεγάλο μέρος του απαιτούμενου οξυγόνου χρησιμοποιείται για την ενδογενή αναπνοή του ανάμικτου υγρού, με αποτέλεσμα το πλεονέκτημα της οικονομικότητας να τίθεται υπό αμφισβήτηση με αύξηση της δυναμικότητας της μονάδας.
Τα συστήματα ταυτόχρονης απονιτροποίησης, παράδειγμα των οποίων αποτελεί μια οξειδωτική τάφρος, σχεδιασμένη για απομάκρυνση οργανικού άνθρακα νιτροποίηση και απονιτροποίηση, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα έναντι των συστημάτων ενεργού ιλύος με διαφορετικές δεξαμενές για την απονιτροποίηση, οι όγκοι των ζωνών να μην είναι αυστηρά προκαθορισμένοι και να υπάρχει ευελιξία ρύθμισής τους, με κατάλληλη ρύθμιση της συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου που επιτυγχάνεται με αυξομείωση της δυναμικότητας αερισμού.

4.4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Μετά την έξοδό τους από το φρεάτιο υπερχείλισης της δεξαμενής εξάμμωσης-απολίπανσης, τα λύματα οδηγούνται σε φρεάτιο μερισμού παροχής, όπου αναμιγνύονται με τμήμα ή το σύνολο της ανακυκλοφορίας ιλύος: Τμήμα ή το σύνολο της ανακυκλοφορίας ιλύος καταλήγει σε φρεάτιο, που λειτουργεί και σαν φρεάτιο αντλιοστασίου περίσσειας ιλύος, από το οποίο υπερχειλίζει στο φρεάτιο άφιξης των λυμάτων του μεριστή . Το ποσοστό της παροχής ανακυκλοφορίας ιλύος (0-100%) που φθάνει στον μεριστή και το ποσοστό της που εισέρχεται απευθείας σε ανοξική περιοχή της δεξαμενής βιολογικών διεργασιών, ρυθμίζεται με την βοήθεια βάνας. Τα λύματα και η ιλύς που ανακυκλοφορείται στην αρχή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, εισέρχονται στην συνέχεια στο κέντρο μήκους (4^o κατά σειρά διαμέρισμα) ανοξικού φρεατίου επιλογής, επτά συνολικά διαμερισμάτων, από το οποίο εξέρχονται από υποβρύχιες θύρες τοποθετημένες στα δύο ακραία διαμερίσματα (1^o και 7^o). Η ανάμιξη στην δεξαμενή επιλογής, επιτυγχάνεται με υποβρύχιους αναδευτήρες.
Η δεξαμενή βιολογικών διεργασιών (Carrousel), ευθύγραμμου μήκους 30,0 m, συνολικού μήκους 50,0 m, βάθους 3,2 m (μέγιστο βάθος, για την περίπτωση μέγιστου ύψους του ρυθμιζόμενου υπερχειλιστή), αποτελείται από τέσσερις διαύλους διακίνησης των λυμάτων, πλάτους 6,4 m η κάθε μία. Ο μέγιστος ωφέλιμος όγκος της κάθε δεξαμενής, είναι 3780 m^3. Τα τοιχία των δεξαμενών είναι κατάλληλα διαμορφωμένα στην βάση τους (κλίση 45°) ώστε να ευνοείται η ομαλή κυκλική κίνηση του ανάμικτου υγρού, στα σημεία στα οποία μεταβάλλεται η κατεύθυνση ροής. Κάθε

δεξαμενή είναι εφοδιασμένη με δύο επιφανειακούς αεριστήρες, έναν κύριας και έναν βοηθητικής λειτουργίας, υποβρύχιο αναδευτήρα-προωθητήρα ροής και υπερχειλιστή εξόδου ρυθμιζόμενου ύψους. Τα λύματα εισέρχονται στην δεξαμενή από δύο σημεία τοποθετημένα πίσω ακριβώς από τους αεριστήρες, δηλαδή εισέρχονται σε αεριζόμενα σημεία στην περίπτωση λειτουργίας και των δύο αεριστήρων ή κατά το ήμισυ σε αεριζόμενο σημείο και κατά το ήμισυ σε σημείο υπό ανοξικές συνθήκες, για την περίπτωση λειτουργίας μόνο του κύριου αεριστήρα.
Κατά τον αερισμό με τους επιφανειακούς αεριστήρες, οι οποίοι αποτελούν σημειακές πηγές οξυγόνου για την τάφρο, η μεταφορά του οξυγόνου στο υγρό περιεχόμενο της δεξαμενής γίνεται από το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, μέσω της τυρβώδους διεπιφάνειας αέρα-υγρού που δημιουργείται. Υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της παροχής οξυγόνου, που επιτυγχάνεται με την έναρξη-παύση λειτουργίας του δεύτερου (επικουρικού) αεριστήρα και με την μεταβολή του βάθους βύθισης του ή των αεριστήρων στη μάζα του υγρού, μέσω αυξομείωσης του ύψους του ρυθμιζόμενου υπερχειλιστή, δηλαδή μεταβολή της στάθμης του υγρού στον αντιδραστήρα, κατά 12 cm το μέγιστο. Στην περίπτωση λειτουργίας μόνο του ενός αεριστήρα, λειτουργεί επικουρικά υποβρύχιος αναδευτήρας-προωθητήρας ροής, ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση των στερεών του ανάμικτου υγρού σε αιώρηση, λόγω του μεγάλου ανηγμένου μήκους της δεξαμενής.
Ο μηχανισμός του υπερχειλιστή όπως και η λειτουργία ή παύση του επικουρικού αεριστήρα και του αναδευτήρα-προωθητήρα ροής, ενεργοποιούνται μέσω συστήματος αυτοματισμού με βάση την τιμή της συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου, όπως αυτή προκύπτει σαν μέσος όρος των ενδείξεων δύο μετρητών διαλυμένου οξυγόνου τοποθετημένων σε κατάλληλες θέσεις της δεξαμενής.
Μετά την υπερχείλισή του από την δεξαμενή βιολογικών διεργασιών, το ανάμικτο υγρό οδηγείται σε μεριστή παροχής και στη συνέχεια τροφοδοτείται στο τύμπανο ηρεμίας της δεξαμενής (ή των δεξαμενών) καθίζησης. Οι κυκλικού σχήματος δεξαμενές καθίζησης, διαμέτρου 25 m, ωφέλιμου πλευρικού βάθους 2,0 m, μέσου ωφέλιμου βάθους 3,04 m και ωφέλιμου όγκου 1237 m^3 ανά δεξαμενή, είναι εφοδιασμένες με περιστρεφόμενους ακτινικά σαρωτές, για την αναμόχλευση της ιλύος στον πυθμένα και την υποβοήθηση της μεταφοράς της προς το κεντρικό φρεάτιο του πυθμένα της δεξαμενής, αλλά και την επιφανειακή σάρωση και απομάκρυνση (με την ώθηση τους σε χοάνη και την συγκέντρωσή τους σε πλευρικό φρεάτιο συλλογής) των επιπλεόντων. Το διαυγασμένο υγρό υπερχειλίζει μέσω τριγωνικού υπερχειλιστή περιμετρικά της δεξαμενής, σε περιμετρικό κανάλι υπερχείλισης, ακολούθως σε κανάλι συλλογής των εκροών των δύο ανά γραμμή επεξεργασίας δεξαμενών καθίζησης, τοποθετημένο περιμετρικά στο (κυκλικό) φρεάτιο μερισμού του ανάμικτου υγρού, κι ακολούθως σε φρεάτιο από το οποίο οδηγείται στην μονάδα απολύμανσης. Για την κάθε γραμμή επεξεργασίας λειτουργεί ένας (από δύο) βιολογικούς αντιδραστήρες, για την γραμμή Κορίνθου μία (από δύο) και για την γραμμή Λουτρακίου δύο δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Η ιλύς από τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης, οδηγείται σε ανεξάρτητο για κάθε δεξαμενή αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας ιλύος κι ακολούθως ανακυκλοφορείται στο φρεάτιο ιλύος (αντλιοστάσιο περίσσειας ιλύος) πριν το φρεάτιο μερισμού παροχής στην είσοδο της βιολογικής επεξεργασίας και σε ανοξική περιοχή της Carrousel, όπως ήδη έχει περιγραφεί. Οι παροχές ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος ρυθμίζονται μέσω χρονοπρογραμμάτων.

4.5 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΛΥΟΣ

Τα επεξεργασμένα λύματα, πριν την διάθεσή τους στον αποδέκτη υφίστανται απολύμανση με προσθήκη διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου και παραμονή σε μαιανδρικής διαδρομής δεξαμενές, συνολικού μήκους διαδρομής 84 m και ωφέλιμου όγκου 272 m^3, για ικανό για την απολύμανση χρονικό διάστημα (41 min για την παροχή σχεδιασμού), αφού προηγηθεί μέτρηση παροχής σε δίαυλους Venturi για την σωστή δοσομέτρηση του απολυμαντικού παράγοντα. Μετά την υπερχείλιση τους από τις δεξαμενές επαφής με τον απολυμαντικό παράγοντα, τα επεξεργασμένα λύματα των δύο γραμμών οδηγούνται σε κοινό φρεάτιο και στη συνέχεια στον (κοινό) αγωγό διάθεσης.

Η επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος περιλαμβάνει πάχυνση, σε ανεξάρτητο ανά γραμμή παχυντή βαρύτητας, εφοδιασμένο με περιστρεφόμενο κατά την διάμετρο σαρωτή ιλύος και μηχανική αφυδάτωση, για την αφυδάτωση της ιλύος και των δύο γραμμών, σε ταινιοφιλτρόπρεσσα. Ο βοηθητικός εξοπλισμός της μονάδας αφυδάτωσης ιλύος περιλαμβάνει σύστημα προετοιμασίας, δοσομέτρησης και άντλησης διαλύματος πολυηλεκτρολύτη, δεξαμενή κροκίδωσης, αντλίες τροφοδότησης ιλύος, αεροσυμπιεστή, αντλίες νερού πλύσης πρέσσας και κοχλίες μεταφοράς αφυδατωμένης ιλύος. Η αφυδατωμένη ιλύς διατίθεται σε ΧΥΤΑ.

Τα παραγόμενα στις διάφορες μονάδες επεξεργασίας στραγγίδια (πάχυνση, αφυδάτωση, στραγγίδια από την πλύση της άμμου και τον διαχωρισμό λιπών κλπ) και τα λύματα του κτιρίου διοίκησης, συλλέγονται μέσω δικτύου αγωγών και οδηγούνται με βαρύτητα σε κοινό για τις δύο γραμμές αντλιοστάσιο, από το οποίο αντλούνται στην είσοδο της δεξαμενής εξάμμωσης. Υπάρχει η δυνατότητα το σύνολο των στραγγιδίων να οδηγηθεί στην μία από τις δύο γραμμές, ή να μοιρασθεί και στις δύο.

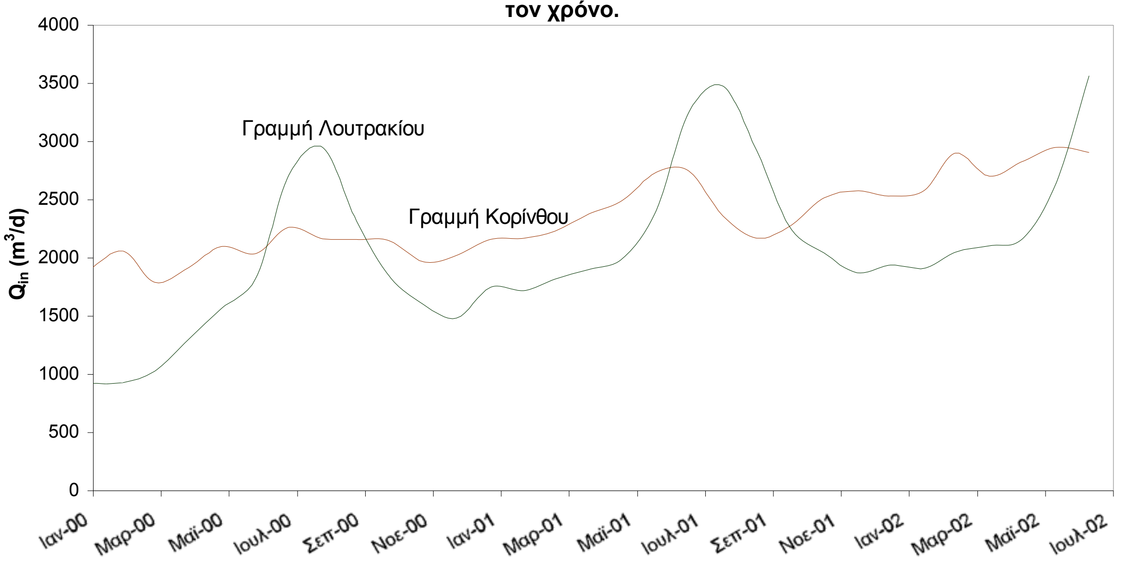
4.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τον Ιούλιο του 2002, είχε ολοκληρωθεί ποσοστό περίπου 40% των συνδέσεων αποχέτευσης, που αντιστοιχούν σε ποσοστό της τάξης του 50-60% του πληθυσμού της πόλης της Κορίνθου[1], ενώ είχε συνδεθεί με το δίκτυο αποχέτευσης της πόλης του Λουτρακίου ποσοστό 70-80% του πληθυσμού[2].

[1] Πληθυσμός πόλεως Κορίνθου: 29787 κάτοικοι, (μόνιμος) πληθυσμός πόλεως Λουτρακίου 11383 κάτοικοι. (Στοιχεία Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, απογραφή 2001.)

Οι παροχές των λυμάτων που φθάνουν στην εγκατάσταση προσέγγισαν τον Ιούλιο 2002 τα 3000 m^3 για την γραμμή Κορίνθου και τα 3600 m^3 για την γραμμή Λουτρακίου, για την οποία οι εισερχόμενες παροχές παρουσιάζουν έντονη εποχική διακύμανση (σχήμα 3.2).

Σχήμα 3.2: Διακύμανση Παροχής Εισερχομένων στην Εγκατάσταση Λυμάτων, με τον χρόνο.



Η εγκατάσταση λειτουργεί αποκλειστικά με αστικά λύματα, που εισέρχονται μέσω των αποχετευτικών δικτύων, και δεν δέχεται καθόλου βοθρολύματα.

Και οι δύο γραμμές λειτουργούν με συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών ανάμικτου υγρού MLSS 4000 mg/l και για αρκετά υψηλό χρόνο παραμονής στερεών (20 - 25 d), γεγονός το οποίο επιβάλλεται από την δυναμικότητα επεξεργασίας ιλύος. Σαν αποτέλεσμα επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός σταθεροποίησης ιλύος, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από μετρήσεις του ρυθμού αποξυγόνωσης, για την ενδογενή αναπνοή της βιομάζας:

$OUR^{\text{ενδογ.αν.}}_{\text{Γ.Κορίνθου}} = 4,20$ mg O_2/ g VSS hr

[2] Το ποσοστό του αριθμού συνδέσεων που έχουν πραγματοποιηθεί είναι μικρότερο, όμως δεν έχουν συνδεθεί στο αποχετευτικό δίκτυο περιοχές με, ως επί το πλείστον, μονοκατοικίες ή μικρά οικοδομήματα.

$OUR^{ενδογ.αν.}{}_{Γ.Λουτρακίου}$ = 3,19 mg O_2/ g VSS hr

Ο δείκτης καθιζησιμότητας ιλύος και για τις δύο γραμμές παρουσιάζει διακύμανση με τον χρόνο, όμως ο δείκτης καθιζησιμότητας ιλύος της γραμμής Λουτρακίου κυμαίνεται σε χαμηλότερες τιμές από αυτόν της γραμμής Κορίνθου, ενώ η διαφορά ανάμεσά τους μεγιστοποιείται κατά την χειμερινή περίοδο.

4.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Προσδιορισμός Φυσικοχημικών Παραμέτρων

Οι συγκεντρώσεις COD, NH_4-N, NO_3-N, TN, TP, PO_4-P προσδιορίζονται φασματοφωτομετρικά, με αντιδραστήρια και “compact μεθόδους” της Merck. Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των διαλυτών κλασμάτων γίνεται μετά από διήθηση του δείγματος διαμέσου φίλτρου τύπου μεμβράνης, διαμέτρου πόρου 0,45 μm.

- COD (Μέθοδος ανάλογη με την 5220 D των Standard Methods)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), ορίζεται σαν την ποσότητα του $K_2Cr_2O_7$ που καταναλώνεται για την οξείδωση των οργανικών και των ανόργανων ενώσεων που περιέχονται στο δείγμα. Η οξείδωση πραγματοποιείται σε έντονα όξινες συνθήκες που εξασφαλίζονται από την παρουσία διαλύματος 50% H_2SO_4, υψηλή θερμοκρασία (150 ^oC) και την παρουσία $K_2Cr_2O_7$, ισχυρού οξειδωτικού παράγοντα, για περίπου 2hr, με καταλύτη Ag_2SO_4 (για την εξασφάλιση της οξείδωσης των περιεχόμενων πτητικών ενώσεων), παρουσία $HgSO_4$ (για την συμπλοκοποίηση των περιεχόμενων Cl^-). Δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται, ανάλογα με την συγκέντρωση COD:

- Merck 14540 (COD = 10-150 mg/l)

Η απορρόφηση (Abs) της περίσσειας των κίτρινων ιόντων $Cr_2O_7^{2-}$ προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος λ = 445 nm.

- Merck 14541 (COD = 100-1500 mg/l)

Η απορρόφηση (Abs) των σχηματισθέντων πράσινων ιόντων Cr^{3+} προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος λ = 585 nm.

Η συγκέντρωση COD προσδιορίζεται στη συνέχεια βάσει των παρακάτω εξισώσεων, οι οποίες προσδιορίσθηκαν με την μέτρηση της απορρόφησης standard διαλυμάτων Potassium Hydrogen Phthalate, διαφόρων συγκεντρώσεων COD, στο εύρος μέτρησης της κάθε μεθόδου.

- Merck 14540 (COD = 10-150 mg/l)

COD (mg/l) = 235,0 ∗ (Abs_{BLANK} - $Abs_{ΔΕΙΓΜ}$) - 0,33

- Merck 14541 (COD = 100-1500 mg/l)

COD (mg/l) = 1666,7 ∗ ($Abs_{ΔΕΙΓΜ}$ - Abs_{BLANK}) + 5,8

- Αμμωνιακό Αζωτο

  - Merck 14558 και 14752 (Μέθοδοι ανάλογες της 4500 NH_3-D των Standard Methods)

Σε αλκαλικά διαλύματα το αμμωνιακό άζωτο απαντάται σχεδόν εξ ολοκλήρου με την μορφή αμμωνίας. Μετά από αύξηση του pH του δείγματος σε pH = 13, η αμμωνία αντιδρά με υποχλωρικά ιόντα με αποτέλεσμα τον σχηματισμό μονοχλωραμίνης, καταλυόμενη αντίδραση δύο σταδίων της οποίας με μία υποκατεστημένη φαινόλη (θυμόλη: 2-ισοπροπυλ-5-μεθυλφαινόλη), δίνει σαν τελικό προϊόν μία ινδοφαινόλη, χρώματος μπλε, η συγκέντρωση της οποίας προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος λ = 690 nm.

- Νιτρικό Άζωτο

  - Merck 14773

Σε διάλυμα οξινισμένο με θειϊκό και φωσφορικό οξύ, τα νιτρικά ιόντα αντιδρούν με 2,6-διμεθυλφαινόλη με αποτέλεσμα τον σχηματισμό 4-νιτρο-2,6-διμεθυλφαινόλης της οποίας το χρώμα είναι βαθύ κόκκινο και η συγκέντρωση προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος λ = 515 nm.

- Ολικό Άζωτο

  - Merck 14537

Οι ενώσεις, οργανικές και ανόργανες, του αζώτου τρέπονται σε νιτρικά μετά από χώνευση σε T = 100-120 ^oC με οξειδωτικό παράγοντα (μέθοδος Koroleffs). Σε πυκνό H_2SO_4 τα νιτρικά αντιδρούν με ένα παράγωγο του βενζοϊκού οξέος . Προσθήκη ασκορβικού οξέος το ανάγει σε μπλε του μολυβδαινίου (PMB: phoshomolybdenum blu) η συγκέντρωση του οποίου προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος λ = 690 nm.

  - Merck 14729 (Προσδιορισμός Ολικού Φωσφόρου ή Φωσφόρου Ορθοφωσφορικών Ιόντων)

Για τον προσδιορισμό του ολικού φωσφόρου προηγείται χώνευση του δείγματος παρουσία H_2SO_4 και καταλύτη $(NH_4)_2S_2O_8$ (ammonium persulphatekαι σχηματίζεται μία ένωση αζώτου με βαθύ κόκκινο χρώμα, η συγκέντρωση της οποίας και προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος λ = 520 nm.

- Φωσφόρος (Μέθοδοι ανάλογες με την 4500-P E, των Standard Methods):

  - Merck 14848 (Προσδιορισμός Φωσφόρου Ορθοφωσφορικών Ιόντων)

  Σε διάλυμα οξινισμένο με θειϊκό οξύ, τα ορθοφωσφορικά ιόντα αντιδρούν με ιόντα μολυβδαινίου με αποτέλεσμα τον σχηματισμό μολυβδοφωσφορικού οξέος) σε T = 120^oC, για την μετατροπή του οργανικού φωσφόρου και των πολυφωσφορικών με υδρόλυση σε ορθοφωσφορικά. Ο προσδιορισμός ορθοφωσφορικών ιόντων στη συνέχεια γίνεται με την μέθοδο του ασκορβικού οξέος, όπως περιγράφεται παραπάνω.

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των διαφόρων τύπων στερεών, γίνεται όπως περιγράφεται στις Standard Methods (1992) και συγκεκριμένα:

- Ολικά στερεά: Μέθοδος 2540 B.
- Ολικά αιωρούμενα στερεά: Μέθοδος 2540 D, διήθηση μέσω glass fiber φίλτρου (Gelman type A/E).
- Πτητικά στερεά: Μέθοδος 2540 E (T = 550 ± 50° C).

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης BOD_5 (20 °C) γίνεται με αναστολή νιτροποίησης, με την “μανομετρική μέθοδο” Wincler.

4.8 ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η απόδοση και των δύο γραμμών της εγκατάστασης, κυμαίνεται γενικά σε ικανοποιητικά επίπεδα. Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζεται ο βαθμός απόδοσης, όπως προκύπτει για τα περίπου τρία τελευταία χρόνια λειτουργίας της γραμμής Κορίνθου και τα περισσότερα από δύο χρόνια από την έναρξη λειτουργίας της γραμμής Λουτρακίου.

Πίνακας 4.3: Βαθμός Απόδοσης

Παράμετρος	Απομάκρυνση (%)	
	Γραμμή Κορίνθου Σεπτέμβριος 1999 - Ιούλιος 2002	Γραμμή Λουτρακίου Απρίλιος 2000 - Ιούλιος 2002
BOD_5	98	97
COD	93	93
SS	95	97
NH_4-N	99	97
TN	94	82
P	46	33

4.9 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΟΡΙΝΘΟΥ - ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ

Για την εγκατάσταση του Βιολογικού Καθαρισμού Κορίνθου –Λουτρακίου όπου υφίσταται παρατεταμένος αερισμός ισχύουν τα κάτωθι:

- Ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού είναι:

$$\theta= V/Q=1/D$$

- Ο μέσος χρόνος παραμονής των κυττάρων στη δεξαμενή αερισμού ορίζεται ως ο λόγος της βιομάζας του βιοαντιδραστήρα δια της βιομάζας που απομακρύνεται στη μονάδα του χρόνου (συνήθως κάθε μέρα):

$$\theta_c=VX/[Q_wX_r+(Q-Q_w)X_e$$

Το ισοζύγιο μάζας για το εν λόγω σύστημα μας δίνει:

Ταχύτητα μεταβολής της συγκέντρωσης της βιομάζας του βιοαντιδραστήρα
=
Ταχύτητα εισόδου της βιομάζας στο σύστημα
-
Ταχύτητα απομάκρυνσης της βιομάζας από το σύστημα
+
Καθαρή ταχύτητα αύξησης της βιομάζας στο σύστημα

Δηλαδή,

$$\mathbf{[dX/dt]\ V = 0 - [(Q_wX_r+(Q-Q_w)X_e] + [(Y(dS/dt) - k_dX)V]}$$

Η ταχύτητα εισόδου λαμβάνεται μηδέν επειδή θεωρείται αμελητέα η βιομάζα εισόδου.
Για σταθερή κατάσταση, οπότε [dX/dt] =0, θα ισχύει:

$$\mathbf{[(Q_wX_r+(Q-Q_w)X_e = \{Y[dS/dt] - k_dX)V \Rightarrow}$$

$$\mathbf{[Q_wX_r+(Q-Q_w)X_e]/VX = Y[dS/dt][1/X] - k_d \Rightarrow}$$

$$\mathbf{1/\theta_c = Y[dS/dt][1/X] - k_d}$$

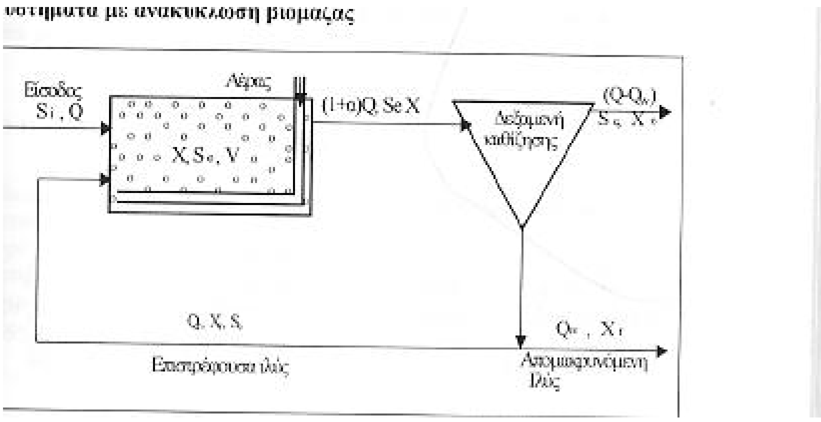
Όμως, $dS/dt = [Q/V]\ (S_i-S_e) = (S_i-S_e)/\theta$. Άρα:

$$\mathbf{1/\theta_c = Y[S_i-S_e)/\theta][1/X] - k_d \Rightarrow}$$

$$\mathbf{X= \theta_cY(S_i-S_e) / [\theta(1+k_d\theta_c)] \quad (A)}$$

Όπου:
S_i=συγκέντρωση υποστρώματος εισόδου, kg/m^3 ή mg/l
S_e= συγκέντρωση υποστρώματος εξόδου, kg/m^3 ή mg/l
X=βιομάζα στον βιοαντιδραστήρα, kg/m^3 ή mg/l
X_r=βιομάζα στο ρεύμα επιστροφής ιλύος, kg/m^3 ή mg/l
X_e=βιομάζα στα τελικά απόβλητα, kg/m^3 ή mg/l
Y=συντελεστής μετατροπής υποστρώματος σε βιομάζα, -
Q=ροή εισόδου, m^3/s
Q_w=ροή απομακρυνόμενης ιλύος, m^3/s
Q_r=ροή επιστρέφουσας ιλύος, m^3/s
V=όγκος δεξαμενής αερισμού, m^3
k_d=ταχύτητα αποσύνθεσης βιομάζας (ενδογενής αναπνοή),s^{-1}

Σχηματικά:

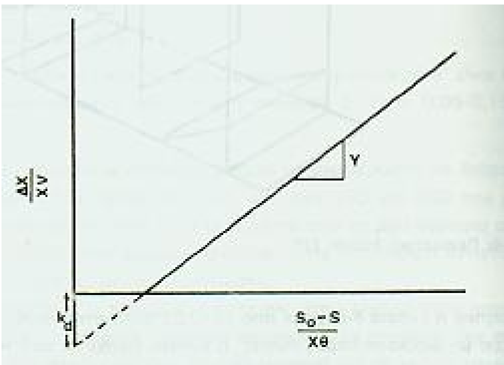


Με τη βοήθεια των στοιχείων που δόθηκαν για το έτος 2002 τόσο για τη γραμμή Κορίνθου όσο και για τη γραμμή Λουτρακίου, επαληθεύσαμε την εξίσωση (Α). Όσον αφορά στη γραμμή Κορίνθου, τα αποτελέσματα είναι τα εξής :

Qin (ΚΟΡ)	θ=V/Qin=3780/Qin (d)	Sin-Se (mg/l)	Θc (d)	Y (1) (-)	Kd (1) (d^{-1})	X (mg/l)	Y (2) (-)	Kd (2) (d^{-1})
2531	1,493481	790	25	0,573765	0,06	3035,02	0,65	0,073287
2583	1,463415	640	23	0,666538	0,06	2817,01	0,65	0,057433
2900	1,303448	678	23	0,65828	0,06	3309,005	0,65	0,058698
2703	1,398446	524	25	0,698156	0,06	2616,002	0,65	0,053102
2829	1,336161	588	24	0,64179	0,06	2778,004	0,65	0,061301
2949	1,28179	654	22	0,520428	0,06	2518,002	0,65	0,086255
2908	1,299862	545	25	0,64399	0,06	2700,09	0,65	0,060933
3053	1,238126	568	27	0,617009	0,06	2917,006	0,65	0,065188
3004	1,258322	691	29	0,586191	0,06	3407,005	0,65	0,070285
2944	1,283967	625	21	0,63629	0,06	2878,008	0,65	0,062319
2924	1,29275	580	24	0,645818	0,06	2850,002	0,65	0,060658
3290	1,148936	516	20	0,65151	0,06	2660,003	0,65	0,059745

Για κάθε στήλη υπάρχουν οι μέσοι όροι των δώδεκα μηνών του έτους 2002. Οι παροχές εισόδου Q_{in}, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού θ, ο χρόνος παραμονής των κυττάρων στη δεξαμενή αερισμού $θ_c$, οι συγκεντρώσεις του υποστρώματος σε είσοδο και έξοδο καθώς και οι συγκεντρώσεις των MLVSS, δηλαδή των πτητικών αιωρούμενων στερεών μεικτού υγρού, δόθηκαν από τα αρχεία της εγκατάστασης του βιολογικού καθαρισμού και παρατίθενται στην παράγραφο 6.9 των Παραρτημάτων. Κρατώντας σταθερή την τιμή του συντελεστή k_d (1) και μέσα στα επιτρεπτά όρια, υπολογίσαμε κάθε φορά την τιμή του συντελεστή Y(1). Παρατηρούμε ότι ο συντελεστής Y(1) λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 0,52 έως 0,69 περίπου, με ένα μέσο όρο τιμών ίσο με 0,628 περίπου. Οι τιμές αυτές βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια και επομένως είναι αποδεκτές.
Ανάλογα, διατηρήσαμε σταθερή την τιμή του συντελεστή Y(2), ίση με μία συνήθη στη βιβλιογραφία τιμή (0,65) και με δεδομένες τις υπόλοιπες παραμέτρους, βρήκαμε την εκάστοτε τιμή του συντελεστή k_d(2). Διαπιστώσαμε ότι οι τιμές αυτές βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια, δηλαδή μεταξύ 0,053 και 0,086 (day^{-1}).
Ας σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι, σύμφωνα με τους Metcalf & Eddy (2003), ο συντελεστής παραγωγής βιομάζας Y στους 20° C κυμαίνεται από 0.3-0.5 kg VSS/kg

bCOD και ο συντελεστής αποσύνθεσης k_d από 0.06-0.20 d^{-1}, ενώ αν η θερμοκρασία είναι διαφορετική, τότε $k_d=0,12*(1,04)^{T-20}$.
Σύμφωνα με τον Α. Στάμου (1995), ο συντελεστής παραγωγής βιομάζας Y έχει σχετικά σταθερή μέση τιμή (0.65) και κυμαίνεται από 0.50 έως 0.70 kg VSS/kg BOD_5.
Όμοια και ο συντελεστής αποσύνθεσης k_d έχει σχετικά σταθερή μέση τιμή (0.06) και κυμαίνεται από 0.05 έως 0.08 d^{-1}.
Σύμφωνα δε με τον Θ. Λέκκα (2001), οι μέσες τιμές των παραμέτρων αυτών για θερμοκρασία ίση με 20° C είναι $k_d=0.09$ d^{-1} και Y=0.65.
Εάν η θερμοκρασία σχεδιασμού είναι διαφορετική των 20° C, οι συντελεστές διορθώνονται σύμφωνα με τις σχέσεις:
$k_d=k_{d20}*(1.01)^{T-20}$ και $Y=Y_{20}*(1.01)^{T-20}$.
Τέλος, σύμφωνα με τους Α. Στάμου και Ζ. Βογιατζή (1994), ο προσδιορισμός των σταθερών μπορεί να γίνει και με τη γραφική παράσταση της σχέσης $\Delta X/\Delta V=Y*[(S_0-S)/X\theta)-k_d]$:



Όσον αφορά στη γραμμή Λουτρακίου, τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Qin (ΛΟΥΤΡ)	θ (d)	Sin-Se (mg/l)	Θc (d)	Kd (1) (d^{-1})	X (mg/l)	Y (1) (-)	Y (2) (-)	Kd (2) (d^{-1})
1940	1,948454	477	24	0,06	3060	1,270784	0,65	0,010335
1913	1,975954	480	22	0,06	3220	1,397838	0,65	0,003582
2049	1,844802	455	26	0,06	3663	1,462319	0,65	0,005305
2102	1,798287	563	27	0,06	3327	1,031196	0,65	0,024129
2166	1,745152	547	25	0,06	3258	1,039434	0,65	0,022534
2651	1,425877	650	21	0,06	2922	**0,689824**	0,65	**0,053787**
3566	1,060011	592	25	0,06	3270	**0,585513**	0,65	**0,071014**
4045	0,934487	665	32	0,06	4053	**0,51971**	0,65	**0,082876**
3122	1,210762	767	36	0,06	4000	**0,554253**	0,65	**0,075164**
2354	1,605777	602	25	0,06	3816	1,017881	0,65	0,023858
2094	1,805158	560	29	0,06	3910	1,190848	0,65	0,017089
2010	1,880597	536	33	0,06	3860	1,222983	0,65	0,017692

Για κάθε στήλη υπάρχουν οι μέσοι όροι των δώδεκα μηνών του έτους 2002. Οι παροχές εισόδου Q_{in}, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού θ, ο χρόνος παραμονής των κυττάρων στη δεξαμενή αερισμού θ_c, οι συγκεντρώσεις του υποστρώματος σε είσοδο και έξοδο καθώς και οι συγκεντρώσεις των MLVSS, δηλαδή των πτητικών αιωρούμενων στερεών μεικτού υγρού, δόθηκαν από τα αρχεία

της εγκατάστασης του βιολογικού καθαρισμού. Κρατώντας σταθερή την τιμή του συντελεστή k_d (1) και μέσα στα επιτρεπτά όρια, υπολογίσαμε κάθε φορά την τιμή του συντελεστή Υ(1). Παρατηρούμε ότι ο συντελεστής Υ(1) λαμβάνει λογικές και αποδεκτές τιμές μόνο τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο, οπότε και οι παροχές εισόδου είναι σχεδόν διπλάσιες από αυτές των υπολοίπων μηνών. Ανάλογα, διατηρήσαμε σταθερή την τιμή του συντελεστή Υ(2), ίση με μία συνήθη στη βιβλιογραφία τιμή (0,65) και με δεδομένες τις υπόλοιπες παραμέτρους, βρήκαμε την εκάστοτε τιμή του συντελεστή k_d(2). Διαπιστώσαμε ότι οι τιμές αυτές είναι αποδεκτές μόνο για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Τους υπόλοιπους μήνες ο συντελεστής k_d λαμβάνει πολύ μικρές τιμές.
Αν κάνουμε μία σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις δύο γραμμές μπορούμε εύκολα να επισημάνουμε ότι οι παροχές εισόδου στη γραμμή Λουτρακίου είναι κατά πολύ μικρότερες από αυτές της γραμμής Κορίνθου, τους μήνες όπου παρουσιάζεται το σχετικό πρόβλημα επαλήθευσης. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι οι χρόνοι παραμονής στη δεξαμενή αερισμού είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι σε αυτούς τους μήνες και άρα ο συντελεστής Υ αυξάνεται. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος που παραμένει στη δεξαμενή αερισμού και στη δεξαμενή καθίζησης (ουσιαστικά στη δεξαμενή αερισμού) το ανάμικτο υγρό, τόση περισσότερη βιομάζα παράγεται και επομένως τόσο περισσότερο υπόστρωμα καταναλώνεται.

Μία ανάλογη διαδικασία γίνεται χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$\theta_c=VX/[Q_wX_r+(Q-Q_w)X_e]$$

που ανάμεσα στα άλλα συσχετίζει τον υδραυλικό χρόνο παραμονής στη δεξαμενή αερισμού με την περίσσεια Q_w.
Έχουμε λοιπόν για τη γραμμή της Κορίνθου:

Θc (d)	**V (m^3)**	**X (MLSS) (mg/l)**	**Qin (ΚΟΡ) (m^3/d)**	**Xr (mg/l)**	**Xe (mg/l)**	**Qw (m^3/d)**	**Qw (δοθέν) (m^3/d)**
25	3780	3035	2531	6215	9	70,2728	91
23	3780	2817	2583	7522	14	56,84681	72
23	3780	3309	2900	8491	29	54,3284	77
25	3780	2616	2703	6180	36	48,54023	76
24	3780	2778	2829	6980	13	57,52232	73
22	3780	2518	2949	6440	11	62,24906	84
25	3780	2700	2908	6390	3	62,55143	78
27	3780	2917	3053		5		70
29	3780	3407	3004	8000	6	53,29758	70
21	3780	2878	2944	6500	18	71,74452	104
24	3780	2850	2924		25		85
20	3780	2660	3290		32		86

Παρατηρούμε ότι η δοθείσα τιμή Q_w από τα αρχεία του βιολογικού καθαρισμού είναι μεγαλύτερη από την τιμή που παίρνουμε εάν εφαρμόσουμε τη σχέση αυτή προς επαλήθευση. Δηλαδή, στην πράξη η ποσότητα της περίσσειας είναι μεγαλύτερη από την προβλεφθείσα και υπολογισμένη τιμή από τις σχέσεις.
Ύστερα από σχετική ερώτηση στους υπευθύνους της εγκατάστασης, υπολογίσαμε, για θ_c=20 ημέρες, το Q_w με βάση την απλοποιημένη σχέση $\theta_c=VX/Q_wX_r$ και τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

q (θc=20d)
113,5216
83,04241
87,58862
94,01068
89,62607
92,29891
97,16197
-
101,8238
108,8349
-
-

Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από τις τιμές των δοθέντων Q_w της τελευταίας στήλης του παραπάνω πίνακα. Από τις παραπάνω τιμές παροχών περίσσειας, ένα μόνο ποσοστό απομακρύνεται και το υπόλοιπο επιστρέφει στην ανακυκλοφορία. Δηλαδή πχ για τον πρώτο μήνα από τα 113,52 m^3, απομακρύνθηκαν τα 91 m^3 και τα υπόλοιπα 22,52 m^3 επανήλθαν στην ανακυκλοφορία. Αυτό συμβαίνει διότι δεν είναι εφικτή η επεξεργασία για μεγάλες παροχές γιατί μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα στο στάδιο της αφυδάτωσης (που έπεται της πάχυνσης) όπου χρησιμοποιούνται ταινιόπρεσσες. Κατά συνέπεια, για το ποσοστό εκείνο των παροχών περίσσειας που απομακρύνεται στην πραγματικότητα, εφαρμόζεται εκ νέου η απλοποιημένη σχέση που προαναφέρθηκε με σκοπό την εύρεση του $θ_c$. Τότε, προκύπτει ότι σε κάθε $θ_c$ του πίνακα αντιστοιχεί το δοθέν Q_wτου πίνακα.

Αντίστοιχα για τη γραμμή του Λουτρακίου έχουμε:

Θc (d)	V (m^3)	X (MLSS) (mg/l)	Qin (ΛΟΥΤΡ) (m^3/d)	Xr (mg/l)	Xe (mg/l)	Qw (m^3/d)	Qw (δοθέν) (m^3/d)
24	3780	3060	1940		3		72
22	3780	3220	1913		1		68
26	3780	3663	2049	6880	6	75,68371	70
27	3780	3327	2102	7015	2	65,8172	80
25	3780	3258	2166		4		73
21	3780	2922	2651		4		80
25	3780	3270	3566	8000	3	60,48843	77
32	3780	4053	4045		6		70
36	3780	4000	3122	8000	10	48,65832	63
25	3780	3816	2354	7500	5	75,4115	98
29	3780	3910	2094		6		
33	3780	3860	2010		5		72

Παρατηρούμε ότι η δοθείσα τιμή Q_w από τα αρχεία του βιολογικού καθαρισμού είναι μιαρότερη από την τιμή που παίρνουμε εάν εφαρμόσουμε τη σχέση αυτή προς επαλήθευση. Δηλαδή, στην πράξη λαμβάνονται μικρότερες ποσότητες από ότι σε θεωρητικό επίπεδο.
Ανάλογα με όσα αναφέρθηκαν και για τη γραμμή της Κορίνθου υπολογίσαμε, για θ_c=20 ημέρες, το Q_w με βάση την απλοποιημένη σχέση $\theta_c=VX/Q_wX_r$ και τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

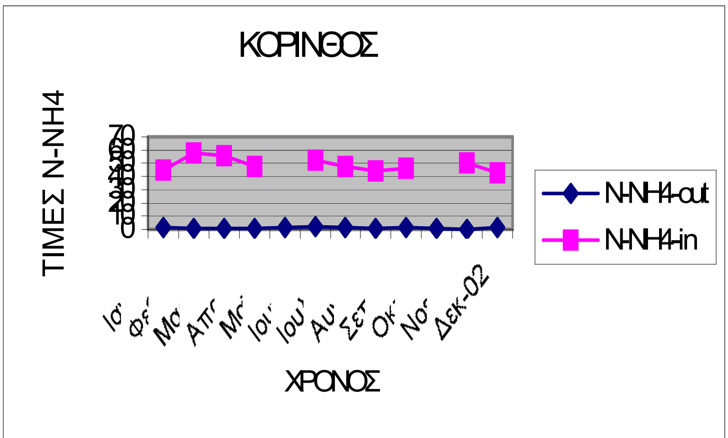
q (θc=20 d)
-
-
100,626
89,63692
-
77,25375
-
94,5
96,1632
-
-

Οι παραπάνω τιμές παροχών περίσσειας είναι μεγαλύτερες από τα δοθέντα Q_w στην τελευταία στήλη του πίνακα για τον ίδιο λόγο που επισημάναμε και για τη γραμμή Κορίνθου. Δηλαδή πχ για τον τρίτο μήνα υπολογίστηκαν 100,6 m^3 από τα οποία τα 70 m^3 απομακρύνονται και τα υπόλοιπα 30,6 m^3 επανέρχονται στην ανακυκλοφορία. Η απλοποιημένη σχέση εφαρμόζεται για τις ποσότητες που απομακρύνθηκαν στην πραγματικότητα (στο παράδειγμα, για τα 70 m^3)και κατά αυτό τον τρόπο επαληθεύονται και οι τιμές του πίνακα.

<u>4.10 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ</u>

<u>*4.10.1 ΑΜΜΩΝΙΑ*</u>

Στο κάτωθι διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές και η «πορεία» της αμμωνίας κατά τη διάρκεια του έτους 2002, για την γραμμή Κορίνθου. Όσον αφορά τις τιμές στην είσοδο για τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο, αυτές δεν υπήρχαν διαθέσιμες.

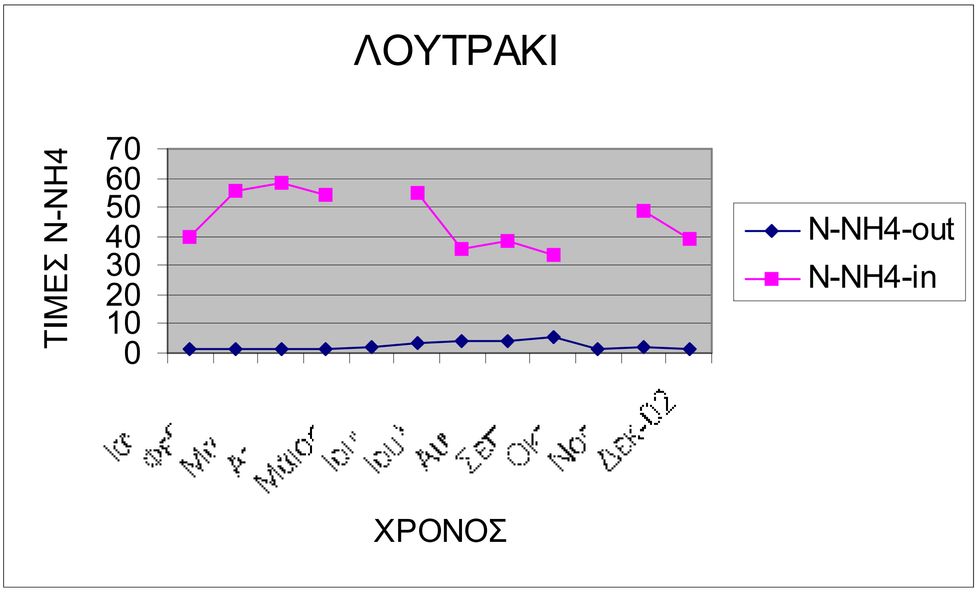


Η μείωση επί τοις εκατό για κάθε μήνα είναι η εξής:

Ιανουάριος	97,56 %
Φεβρουάριος	99,36 %
Μάρτιος	98,93 %
Απρίλιος	99,05 %
Μάιος	-
Ιούνιος	96,3 %
Ιούλιος	97,78 %
Αύγουστος	98,73 %
Σεπτέμβριος	97,45 %
Οκτώβριος	-
Νοέμβριος	99,4 %
Δεκέμβριος	98,31 %

Δηλαδή ο μέσος όρος απομάκρυνσης είναι περίπου 98,3 %.

Αντίστοιχα, για τη γραμμή Λουτρακίου ακολουθεί διάγραμμα όπου απεικονίζονται οι τιμές και η «πορεία» της αμμωνίας κατά τη διάρκεια του έτους 2002, για την γραμμή Λουτρακίου. Όσον αφορά τις τιμές στην είσοδο για τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο, αυτές δεν υπήρχαν διαθέσιμες.



Η μείωση επί τοις εκατό για κάθε μήνα είναι η εξής:

Ιανουάριος	96,33 %
Φεβρουάριος	92,27 %
Μάρτιος	97,93 %
Απρίλιος	97,44 %
Μάιος	-
Ιούνιος	93,49 %
Ιούλιος	89,44 %

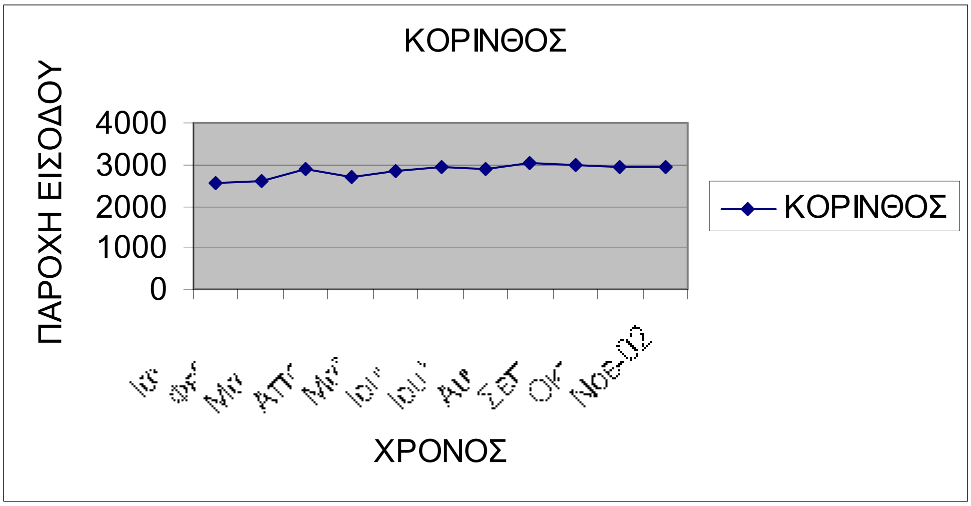
Αύγουστος	89,16 %
Σεπτέμβριος	84,54%
Οκτώβριος	-
Νοέμβριος	96,08 %
Δεκέμβριος	95,92 %

Δηλαδή ο μέσος όρος απομάκρυνσης είναι περίπου 93,26 %.

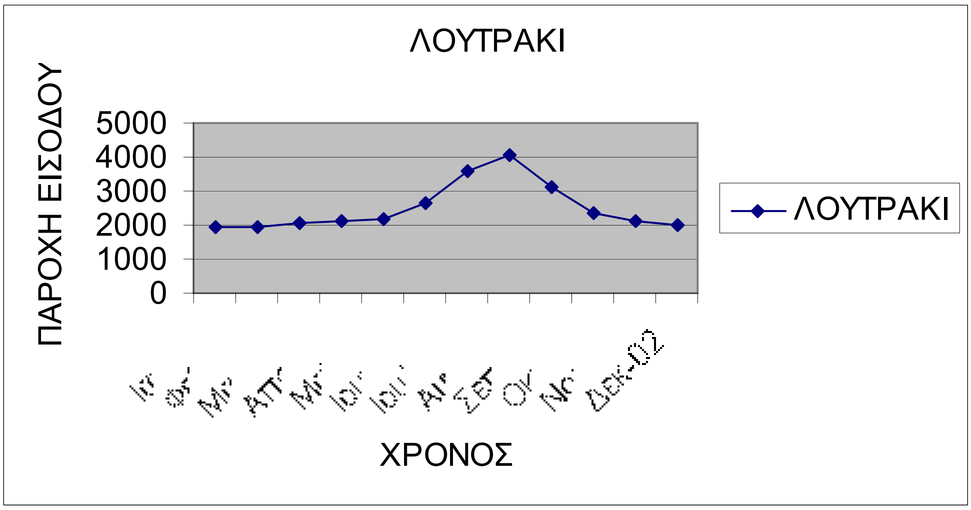
Από τα δεδομένα αυτά συμπεραίνουμε ότι γίνεται ικανοποιητική απομάκρυνση αζώτου με την εφαρμοσθείσα μέθοδο, δηλαδή με την μέθοδο ταυτόχρονης απονιτροποίησης.

4.10.2 ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΕΙΣΡΟΗ)

Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζεται η παροχή των ακατέργαστων υγρών αποβλήτων (m^3) που δέχεται ο βιολογικός καθαρισμός Κορίνθου- Λουτρακίου στη γραμμή Κορίνθου κατά τη διάρκεια του έτους 2002. Παρατηρούμε ότι η παροχή αυτή δεν παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις με την πάροδο του χρόνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Κόρινθος είναι μία πόλη η οποία δεν θεωρείται τουριστική και με αυτό το σκεπτικό, ο πληθυσμός της παραμένει πρακτικά σταθερός κατά τη διάρκεια όλου του έτους.

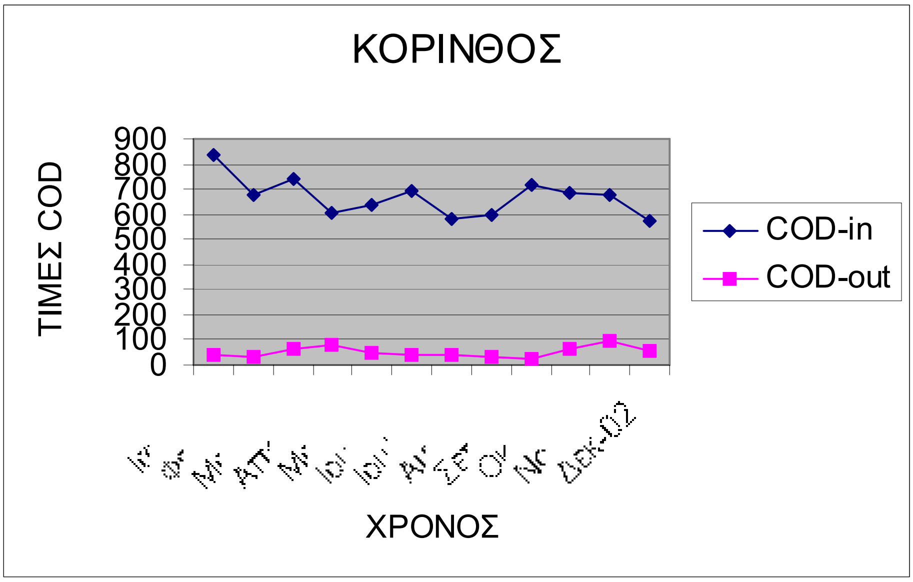


Αντίστοιχα, στο κάτωθι διάγραμμα παρουσιάζεται η διακύμανση της παροχής ακατέργαστων αποβλήτων στη γραμμή Λουτρακίου, κατά τη διάρκεια του έτους 2002. Διαπιστώνουμε ότι η παροχή αποβλήτων είναι ιδιαίτερα αυξημένη τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και ειδικότερα τον Αύγουστο λαμβάνει τιμές υπερδιπλάσιες σε σύγκριση με την παροχή των μηνών του χειμώνα. Αυτό συμβαίνει επειδή το Λουτράκι είναι ένα τουριστικό θέρετρο και κατά συνέπεια τους καλοκαιρινούς μήνες ο πληθυσμός αυξάνεται αρκετά, με αποτέλεσμα οι παροχές εισόδου να είναι επίσης αυξημένες.



4.10.3 ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Στο σχήμα αυτό, φαίνεται σχηματικά η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου για τη γραμμή της Κορίνθου η οποία φθάνει κατά μέσο όρο το 92,2 %.

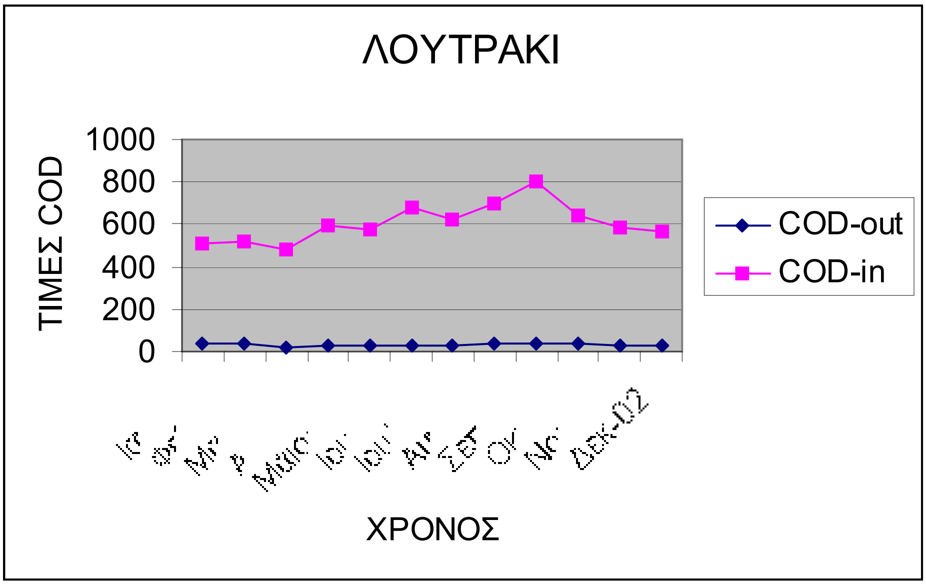


Αναλυτικότερα για κάθε μήνα του έτους 2002 ισχύει:

Ιανουάριος	94,84 %
Φεβρουάριος	94,96 %
Μάρτιος	91,13 %
Απρίλιος	86,47 %
Μάιος	92,45 %
Ιούνιος	94,24 %
Ιούλιος	93,32 %
Αύγουστος	94,50 %
Σεπτέμβριος	96,24 %
Οκτώβριος	91,24 %
Νοέμβριος	85,42 %
Δεκέμβριος	90,53 %

Ακολουθεί η σχηματική αναπαράσταση της απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου για τη γραμμή του Λουτρακίου, η οποία φθάνει κατά μέσο όρο το 94,63 %. Αναλυτικότερα για κάθε μήνα ισχύει:

Ιανουάριος	93,16 %
Φεβρουάριος	92,30 %
Μάρτιος	95,39 %
Απρίλιος	95,42 %
Μάιος	94,31 %
Ιούνιος	95,17 %
Ιούλιος	94,72 %
Αύγουστος	94,73 %
Σεπτέμβριος	95,52 %
Οκτώβριος	94,06 %
Νοέμβριος	95,73 %
Δεκέμβριος	95,04 %



Παρατηρούμε ότι για τη γραμμή Λουτρακίου, η απόδοση στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου δεν επηρεάζεται από τη μεταβαλλόμενη, όπως προαναφέρθηκε, παροχή.

6ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ – ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

5.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο σχεδιασμός μίας εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων περιλαμβάνει συνήθως τους ακόλουθους υπολογισμούς:

1. Υπολογισμοί διαστασιολόγησης των μονάδων της εγκατάστασης.
2. Υδραυλικοί υπολογισμοί – Διαστασιολόγηση των αγωγών της εγκατάστασης.
3. Ηλεκτρομηχανολογικοί υπολογισμοί – Επιλογή και διαστασιολόγηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.
4. Στατικοί υπολογισμοί των μονάδων της εγκατάστασης.

Μία διαδικασία σχεδιασμού μίας εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων που μπορεί να εφαρμοσθεί είναι η ακόλουθη:

1. Ο μελετητής μηχανικός αρχίζει τον σχεδιασμό έχοντας διαθέσιμα (α) έναν κατάλογο των μονάδων που θα αποτελούν την εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, με τα απαραίτητα κριτήρια σχεδιασμού για την κάθε μονάδα και (β) μία γενική κάτοψη του γηπέδου και των χαρακτηριστικών του εδάφους που θα εγκατασταθεί η εγκατάσταση επεξεργασίας.
2. Με τα στοιχεία αυτά, ο μελετητής πραγματοποιεί αρχικούς υπολογισμούς με τους οποίους εκτιμά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των μονάδων (όγκοι, επιφάνειες κτλ) και τις διαστάσεις των κτιρίων της εγκατάστασης επεξεργασίας. Στη συνέχεια σχεδιάζει σκαριφήματα των μονάδων και των κτιρίων, τα οποία δίνει στον αρμόδιο μηχανικό για την εκτέλεση των στατικών υπολογισμών.
3. Με βάση τις αρχικές διαστάσεις των μονάδων και των κτιρίων ο μελετητής εξετάζει διάφορες εναλλακτικές γενικές διατάξεις, από τις οποίες επιλέγει τη βέλτιστη, χωρίς να έχει αποφασίσει για τις επιμέρους λεπτομέρειες.
4. Με βάση την επιλεγείσα γενική διάταξη πραγματοποιεί του υδραυλικούς υπολογισμούς και αποφασίζει έτσι για τα υψόμετρα και τις στάθμες των λυμάτων στις διάφορες μονάδες, που του δίνουν τη δυνατότητα να οριστικοποιήσει και τους υπολογισμούς διαστασιολόγησης.
5. Με βάση την γενική διάταξη και τους υγειονολογικούς και υδραυλικούς υπολογισμούς ο μελετητής διαμορφώνει σε αρχική μορφή το διάγραμμα των σωληνώσεων και οργάνων που αποτελεί και το κύριο σημείο επικοινωνίας με τον μηχανολόγο και τον ηλεκτρολόγο μηχανικό.
6. Ο ηλεκτρολόγος και ο μηχανολόγος μηχανικός εκτελούν τους ηλεκτρομηχανολογικούς υπολογισμούς και επιλέγουν τον ηλεκτρομηχανολογικό μηχανισμό, συμπεριλαμβανομένων των αυτοματισμών και του ελέγχου της εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Έτσι οριστικοποιείται το διάγραμμα των σωληνώσεων και οργάνων.
7. Με την εκτέλεση των ηλεκτρομηχανολογικών υπολογισμών και των στατικών υπολογισμών παρέχονται οι τελικές πληροφορίες για τον καθορισμό των αστικών χαρακτηριστικών των κτιρίων και των μονάδων της εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, οπότε μπορεί να γίνει και η οριστική σχεδίαση των μονάδων και των κτιρίων της εγκατάστασης επεξεργασίας.
8. Οριστικοποιείται η γενική διάταξη των έργων με τα έργα διαμόρφωσης του χώρου και περίφραξης, το σχεδιασμό των δικτύων υποδομής και των υπολοίπων έργων.
9. Με βάση τα οριστικά σχέδια των μονάδων, τον επιλεγέντα ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και τα άλλα έργα γίνεται ο προϋπολογισμός του έργου.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο σχεδιασμός μίας εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών λυμάτων με παρατεταμένο αερισμό, ο οποίος περιλαμβάνει τους υπολογισμούς διαστασιολόγησης των μονάδων της εγκατάστασης καθώς και υδραυλικούς υπολογισμούς.

5.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΟ ΑΕΡΙΣΜΟ

Ο σχεδιασμός θα πραγματοποιηθεί με την χρήση των δεδομένων του Βιολογικού Καθαρισμού των πόλεων Κορίνθου-Λουτρακίου.
Η εγκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ως δίδυμο έργο με λειτουργική αυτοτέλεια των δύο γραμμών ή ως ενιαίο έργο, δυνατότητες που παρέχονται μέσω ελεγχόμενων υδραυλικών διασυνδέσεων
Τα δεδομένα σχεδιασμού του Βιολογικού Καθαρισμού Κορίνθου - Λουτρακίου είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 1: Δεδομένα σχεδιασμού

		ΑΡΧΙΚΗ ΦΑΣΗ		ΕΠΕΚΤΑΣΗ	
Χαρακτηριστικό	**Μονάδες**	**Καλοκαίρι**	**Χειμώνας**	**Καλοκαίρι**	**Χειμώνας**
Πληθυσμός	Κάτοικοι	45000	36000	90000	67500
Ημερήσιο φορτίο	Kg BOD/d	2700	2160	5400	4050
Ημερήσιο φορτίο SS	Kg/d	3100	2480	6200	4650
Ημερήσιο φορτίο ολικού αζώτου(TKN)	Kg/d	430	344	860	645
Ημερήσιο φορτίο ολικού φωσφόρου (P)	Kg/d	152	122	304	228
Μέση παροχή Q_m	m^3/d	9640	7712	19280	14460
Μέση ωριαία παροχή	m^3/h	402	321	803	603
	l/sec	112	89	223	168
Παροχή ωριαίας αιχμής	m^3/h	918	734	1836	1377
	l/sec	255	204	510	383
Μέγιστη ημερήσια παροχή $Q_{max}=1.5*Q_m$	m^3/d	14460	11568	28920	21690

Πίνακας 2: Συγκεντρώσεις ρυπαντών στην είσοδο

Παράμετρος	Συγκέντρωση (mg/l)	
	Καλοκαίρι	Χειμώνας
BOD	399	399
SS	161	161
N	72,1	72,1
P	12	12

Πίνακας 3: Συμβατικές απαιτήσεις ποιότητας εκροής

pH	6.5 – 8.5
Αιωρούμενα στερεά	<20 mg/l
BOD_5	<20 mg/l
Αμμωνιακά	<5 mg/l
Ολικό άζωτο	10 mg/l
Ολικός φώσφορος	Δεν προδιαγράφεται

Θεωρούμε ότι η εγκατάσταση αποτελείται από τις ακόλουθες μονάδες:

1) <u>Προκαταρκτική επεξεργασία</u>
   - Φρεάτιο άφιξης – Εσχάρες
   - Αεριζόμενοι εξαμμωτές – Λιποσυλλέκτες
   - Δίαυλος μέτρησης παροχής
2) <u>Βιολογική επεξεργασία</u>
   - Φρεάτιο διανομής 1
   - Δεξαμενή επιλογής βακτηριδίων (αναερόβια) (ΔΕΒ)
   - Ανοξικές δεξαμενές (ΑΟΔ) → Δεξαμενές αερισμού (ΔΑ)
   - Φρεάτιο διανομής 2
   - Δεξαμενές καθίζησης (ΔΚ)
   - Αντλιοστάσιο λάσπης (ΑΝΛ)
   - Αντλιοστάσιο ανάμικτου υγρού (ΑΝΑΥ)
3) <u>Απολύμανση με χλωρίωση</u>
4) <u>Επεξεργασία λάσπης</u>
   - Πάχυνση λάσπης σε δεξαμενές πάχυνσης
   - Αφυδάτωση λάσπης με ταινιοφιλτρόπρεσσες
5) <u>Αντλιοστάσιο στραγγιδίων</u>

5.2.1 ΈΡΓΑ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα έργα προεπεξεργασίας σχεδιάζονται για να καλύπτουν τις ανάγκες της επέκτασης του έργου και περιλαμβάνουν:

- Εσχάρωση.
- Εξάμμωση – Απολίπανση.
- Μέτρηση παροχής των εισερχομένων λυμάτων σε διαύλους Parshall.

5.2.1.1 Εσχάρωση

Στη γραμμή Κορίνθου, εγκαθίσταται μία αρχική κεκλιμένη χειροκαθαριζόμενη εσχάρα 15 ράβδων, πλάτους 1000 mm και ανοίγματος 50 mm, υπό γωνία κλίσης ίση με 60^o. Επίσης υφίσταται και μία κεκλιμένη μηχανικά καθαριζόμενη εσχάρα 43 ράβδων, υπό γωνία κλίσης 60^o. Το πλάτος της είναι ίσο με 1000 mm και το άνοιγμα ίσο με 15 mm. Το πάχος των ράβδων ισούται με 6 mm. Με κατάλληλα τοποθετημένα θυροφράγματα, μπορεί να γίνει εκτροπή των λυμάτων, σε κανάλι τοποθετημένο ανάμεσα στα κανάλια των μηχανικά καθαριζόμενων εσχαρών των δύο γραμμών, για την περίπτωση συντήρησης-επισκευής εσχάρας. Το κανάλι των εσχαρών (ένα σε λειτουργία) έχει πλάτος 1 m ενώ το ύψος των τοιχίων του είναι 1.3 m.
Στο κομμάτι του σχεδιασμού θεωρούνται δεδομένα ο αριθμός, το πάχος και το άνοιγμα των ράβδων, το βάθος ροής, το πλάτος του καναλιού εσχάρας καθώς και η μέση παροχή και η παροχή ωριαίας αιχμής.
Βάσει των δεδομένων αυτών, γίνεται έλεγχος για τη μέγιστη ταχύτητα διέλευσης δια μέσου εσχάρας και για την ελάχιστη ταχύτητα ανάντη της εσχάρας. Δηλαδή:

Κανάλι εσχάρωσης:

(i) *Η* μέγιστη ταχύτητα διέλευσης δια μέσου εσχάρας πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από **1.2 m/s** διότι για μεγαλύτερες ταχύτητες υπάρχει κίνδυνος παράσυρσης των εσχαρισμάτων.

(ii) Ανάντη της εσχάρας η ελάχιστη ταχύτητα είναι μεγαλύτερη ή ίση με **0.3 m/s** για την αποφυγή αποθέσεων άμμου κτλ.

Ποσότητες εσχαρισμάτων

Τα εσχαρίσματα, μετά τη συλλογή τους από τον μηχανισμό καθαρισμού των εσχαρών, πέφτουν σε μεταφορική ταινία στο πίσω μέρος των εσχαρών και συλλέγονται σε δοχεία αποθήκευσης μέχρι τη μεταφορά τους στον χώρο διάθεσης. Οι ποσότητες των εσχαρισμάτων υπολογίζονται με την παραδοχή 0.03 l/m^3 αποβλήτων (Στάμου,1995).
Στην αρχική φάση: 0.03 l/m^3*14460 m^3/d=434 l/d
Στην επέκταση: 0.03 l/m^3*28920 m^3/d=868 l/d

5.2.1.2 Μέτρηση παροχής

Για τη μέτρηση της παροχής εισερχομένων λυμάτων εγκαθίσταται ένας δίαυλος Parshall. Ο δίαυλος Parshall θα έχει πλάτος στένωσης το οποίο από σχετικό πίνακα (2.1) βρίσκεται ίσο με w=0.4572 m για την μέτρηση παροχών μέχρι 2000 m^3/h (Στάμου,1995).

5.2.1.3 Εξάμμωση - Απολίπανση

Εγκαθίσταται δίδυμος αεριζόμενος εξαμμωτής – λιποσυλλέκτης. Βάση λειτουργίας των δεξαμενών εξάμμωσης αποτελεί η διαφορά ειδικού βάρους ανόργανων και οργανικών σωματιδίων και στους αεριζόμενους εξαμμωτές η επίτευξη διαφορικής καθίζησης επιτυγχάνεται με περιορισμένη ανάδευση με τροφοδότηση αέρα. Τα ανόργανα σωματίδια καθιζάνουν και συσσωρεύονται σε χοάνη από όπου απομακρύνονται με αντλίες άμμου ή αεραντλίες.
Για απομάκρυνση των ανόργανων σωματιδίων με d=0.2-0.25 mm κατά 100 %, προκύπτει από το διάγραμμα Kalbskopf, το οποίο παρατίθεται στην παράγραφο 6.5 των Παραρτημάτων, ότι απαιτείται χρόνος παραμονής ίσος με 366 s. Το διάγραμμα αυτό συναρτά τον βαθμό απομάκρυνσης της άμμου με τον χρόνο παραμονής, συσχετίζοντας ταυτόχρονα τη διάμετρο των κόκκων της άμμου (Στάμου,1995). Έτσι, προκύπτει: $V=Q_{σχεδιασμού}*θ$ => $V=918/3600\ m^3/s*366\ s=93{,}33\ m^3$.
Για πλευρικό βάθος 3 m (τυπικές τιμές 2-5 m) και λόγο w/h=1,12 (τυπικές τιμές 0,4 – 5)προκύπτει w=3,5 m.
V=L*(h*w) =>L=8,9 m.

Χαρακτηριστικά της άμμου

Οι ποσότητες της άμμου ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες από 0.004 – 0.9 l/m^3 λυμάτων , με τυπική τιμή 0.05 l/m^3. Για αυτή την τυπική τιμή υπολογίζεται: $Q_{άμμου}=0.03\ l/m^3*14460\ m^3/d=0{,}44\ m^3/d$ στην παρούσα φάση και στην επέκταση $Q_{άμμου}=0.03\ l/m^3*28920\ m^3/d=0{,}87\ m^3/d$

5.2.2 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΒΑΚΤΗΡΙΔΙΩΝ

Η δεξαμενή επιλογής βακτηριδίων σχεδιάζεται εξαρχής για την φάση της επέκτασης με χρόνο παραμονής $θ_{ΔΕΒ}$=10 min (τυπικός χρόνος, Στάμου 1995) στη μέση παροχή, θεωρώντας μία ανακυκλοφορία R=150 % ώστε να καλυφθεί η δυσμενέστερη περίπτωση.Ο όγκος της δεξαμενής επιλογής βακτηριδίων υπολογίζεται από την εξίσωση $V_{ΔΕΒ}= θ_{ΔΕΒ}*Q*(1+R)$. Δηλαδή,
$V_{ΔΕΒ}=(10\ /1440)h*9640\ m^3/d*(1+150/100)=167{,}4m^3$.
Η δεξαμενή επιλογής βακτηριδίων χωρίζεται σε δύο διαμερίσματα (ώστε να εξασφαλίζονται συνθήκες εμβολικής ροής και όχι πλήρους ανάμιξης) όγκου 167,4/2=84 m^3 το καθένα.

5.2.3 ΦΡΕΑΤΙΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ 1

Με το φρεάτιο διανομής 1 η παροχή των αποβλήτων κατανέμεται κατά την αρχική φάση με υπερχειλιστές λεπτής στέψης σε δύο γραμμές απομάκρυνσης των οργανικών ενώσεων άνθρακα και του αζώτου, που αποτελούνται από συνδυασμό ανοξικών δεξαμενών και δεξαμενών αερισμού.

5.2.4 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις εκροής έχουμε:
BOD_5^{tot}<20 mg/l
TSS<20 mg/l
Για ασφάλεια και για να καλύπτεται ότι για το 100% των μετρήσεων ισχύουν τα παραπάνω, τίθεται:
BOD_5^{tot}<20/1.8=11 mg/l
TSS<20/1.8=11 mg/l
Δεδομένου ότι από μετρήσεις έχει διαπιστωθεί αναλογία περίπου 0.5 – 0.7 gr $BOD_5^{σωμ}$/gr TSS_{out}, έχουμε:
$BOD_5^{σωμ}$/gr TSS_{out}=0.7 => $BOD_5^{σωμ}$=11*0.7=7.7 mg/l
BOD_5^{dis}= BOD_5^{tot}- $BOD_5^{σωμ}$=(11-7.7) mg/l=3.3 mg/l
Τίθεται BOD_5^{dis}≤3 mg/l

5.2.4.1 Δεξαμενή αερισμού

Επειδή οι νιτροποιητικοί οργανισμοί αναπτύσσονται με πιο αργούς ρυθμούς από ότι οι ετεροτροφικοί οι οποίοι απομακρύνουν τον οργανικό άνθρακα, ο σχεδιασμός ελέγχεται ουσιαστικά από την νιτροποίηση.
Ισχύει η σχέση:

$$\mu_n=(\mu_{n,m}*N/(k_n+N))*(DO/(k_{DO}+DO))-K_{dn}$$ **, όπου:**

μ_n= ο ρυθμός ανάπτυξης για τη νιτροποίηση (d^{-1})
$\mu_{n,m}$= ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης για τη νιτροποίηση (d^{-1})
N= η συγκέντρωση του αζώτου (mg/l)
k_n=ο συντελεστής συγκέντρωσης NH4-N (mg/l)
DO=η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (mg/l)
k_{DO}= συντελεστής επίδρασης DO (mg/l)
K_{dn}=συντελεστής αποσύνθεσης των νιτροποιητικών βακτηριδίων (d^{-1})

Για τους συντελεστές αυτούς στους 20° C, ισχύει ο παρακάτω πίνακας (Metcalf & Eddy, 2003):

Συντελεστής	Μονάδα	Περιοχή τιμών	Τυπική τιμή
$\mu_{n,m}$	1/d	0,20-0,90	0,75
k_n	mg NH_4-N/l	0,5-1,0	0,74
Y_n	g VSS/g NH_4-N	0,10-0,15	0,12
K_{dn}	1/d	0,05-0,15	0,08
k_{DO}	mg/l	0,40-0,60	0,50
Τιμές θ			
μ_n	-	1,06-1,123	1,07
k_n	-	1,03-1,123	1,053
K_{dn}	-	1,03-1,08	1,04

1.Με χρήση του πίνακα αυτού υπολογίζουμε:

Ο συντελεστής $\mu_{n,m}$ στη θερμοκρασία T=18° C,είναι: $\mu_{n,m,18}=0,75*1,07^{(18-20)}=0,655\ d^{-1}$
Ο συντελεστής k_n στη θερμοκρασία T=18° C είναι: $k_{n,18}=0,74*1,053^{(18-20)}=0,67$ mg/l
Ο συντελεστής k_{dn} στη θερμοκρασία T=18° C είναι: $k_{dn,18}=0,08*1,04^{(18-20)}=0,046\ d^{-1}$
Επιπλέον, με δεδομένα ότι N= 0,5 mg/l, DO=2 mg/l και k_{DO}=0,50 mg/l (τυπική τιμή), λύνουμε την αρχική εξίσωση.
$\mu_n=(\mu_{n,m}*N/(k_n+N))*(DO/(k_{DO}+DO))-K_{dn}=0,178\ d^{-1}$

2.Στη συνέχεια υπολογίζεται η ηλικία της ιλύος, θ_C.
Η θεωρητική της τιμή είναι $\theta_C=1/\ \mu_n=1/0,178=5,61$d.
Εξαιτίας της μεγάλης ευαισθησίας των νιτροποιητικών βακτηριδίων, ο θεωρητικός αυτός χρόνος πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή ασφαλείας ίσο με 2 (λόγω παρατεταμένου αερισμού) και προκύπτει ότι σε επίπεδο σχεδιασμού η ηλικία της ιλύος θα ισούται με $\theta_C=2*5,61=11,22$ d.
3.Έπειτα, καθορίζεται η παραγωγή βιομάζας ως VSS που απομακρύνεται $P_{X,bio}$.
Ισχύει: $P_{X,bio}=QY(S_0-S)/(1+k_d\theta_C) + f_dk_dQY(S_0-S)\theta_C/(1+k_d\theta_C) + QY_n(NO_X)/(1+k_{d,n}\theta_C)$
Όπου:
Q= παροχή σχεδιασμού (m^3/d)
Y=ο συντελεστής παραγωγής βιομάζας (g VSS/ g bCOD), με πεδίο τιμών 0.30-0.50 και τυπική τιμή 0.40 (Metcalf & Eddy,2003)
$S_0=1,2*BOD=1,2*280=336\ g/m^3$
$k_{d,18}=k_{20}*1,04^{(18-20)}=0,12*1,04^{-2}=0,098\ d^{-1}$
$\mu_{m,18}=\mu_m*\theta^{(18-20)}=6*1,07^{-2}=5,24\ d^{-1}$
$k_{d,n}=0,06\ d^{-1}$ (όπως υπολογίσθηκε παραπάνω)
Y_n= 0,12 g VSS/ g NO_X (τυπική τιμή από τον πίνακα)
$S=k_s(1+k_d\theta_C)/(\theta_C(\mu_m-k_d)-1)=0,743$ g bCOD/m^3
f_d=ποσοστό της βιομάζας που σχετίζεται με τον ρυθμό ενδογενούς αποσύνθεσης (g VSS/m^3-d)
Στην πραγματικότητα, τα VSS στον αντιδραστήρα περιέχουν ενεργή βιομάζα αλλά και μη βιοαποικοδομήσιμα VSS (nbVSS) στα εισερχόμενα λύματα καθώς και ένα ποσοστό κυτταρικής μάζας που δεν διαλύεται κατά τον κυτταρικό θάνατο προς κατανάλωση από άλλα βακτήρια και παραμένει στο σύστημα ως μη βιοαποικοδομήσιμο υλικό. Ο ρυθμός παραγωγής αυτού του υλικού είναι σχετισμένος με τον ρυθμό ενδογενούς αποσύνθεσης.
Ο πρώτος όρος του αθροίσματος εκφράζει την ετεροτροφική βιομάζα, ο δεύτερος το ποσοστό κυτταρικής μάζας που δεν διαλύεται και ο τρίτος την βιομάζα των νιτροποιητικών βακτηριδίων.

Θεωρούμε ότι τα ποσοστό των NO_X είναι 80% του TKN καθώς δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμα το ισοζύγιο στο άζωτο. Το σφάλμα είναι μικρό επειδή τα νιτροποιητικά VSS είναι πολύ μικρό ποσοστό της ολικής συγκέντρωσης των MLVSS.
Άρα, NO_X=0.80*(45mg/l)=36 mg/l
Λύνουμε την εξίσωση του $P_{x,bio}$ και προκύπτει $P_{x,bio}$=638,18 kg VSS/d.

4.Στη συνέχεια, προσδιορίζεται το ποσό του αζώτου που οξειδώνεται προς νιτρικά. Το ποσοστό αυτό υπολογίζεται από το ισοζύγιο μάζας του αζώτου. Δηλαδή:
$NO_X=TKN-N_e-0,12P_{x,bio}/Q=$
45 mg/l-0,5 mg/l-0,12*638,18 kg VSS/d*10^3g/kg/9640m^3/d=35,9 mg/l.

5.Καθορίζεται η συγκέντρωση και μάζα των VSS και TSS στη δεξαμενή αερισμού.
Μάζα=$P_X*\theta_C$.

Η παραγωγή βιομάζας σε όρους VSS που παράγεται και απομακρύνεται καθημερινά ορίζεται ως εξής:
$P_{X,VSS}$= $P_{x,bio}$ + Q*(nbVSS)= 638,18 kg VSS/d + 9640 m^3/d*76,636/10^3kg/g=1422 kg/d.
Το γινόμενο Q*(nbVSS) εκφράζει την μη βιοαποικοδομήσιμη ποσότητα των VSS στην εισροή.
Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι τα nbVSS είναι ίσα με (1-bpCOD/ pCOD)*VSS, όπου bpCOD/ pCOD=1.2(BOD-sBOD)/(COD-sCOD)=1,2(280-140)/(560-326)=0,72
*(τα στοιχεία αυτά πάρθηκαν από το κεφάλαιο των παραρτημάτων, παράγραφος 6.5)

6. Καθορίζεται η παραγωγή βιομάζας που απομακρύνεται ως TSS, $P_{X,TSS}$.
Η ολική μάζα την στερεών που απομακρύνονται ανά ημέρα, περιλαμβάνουν τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) και όχι μόνο τα πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS).
Τα ανόργανα στερεά στα εισερχόμενα υγρά λύματα (TSS_0-VSS_0) συμβάλλουν στα ανόργανα στερεά και αποτελούν έναν επιπρόσθετο όρο παραγωγής στερεών.
Οι όροι της εξίσωσης για την εύρεση του $P_{X,VSS}$ περιλαμβάνουν ανόργανα στερεά και το ποσοστό των VSS στην ολική βιομάζα είναι περίπου 0.85 (περιοχή τιμών 0.80-0.90, Metcalf & Eddy, 2003).
Έτσι, η εξίσωση για την εύρεση του $P_{X,VSS}$ τροποποιείται ως εξής:
$P_{X,TSS}$=[$QY(S_0-S)/(1+k_d\theta_C)$]/0,85 + [$f_dk_dQY(S_0-S)\theta_C/(1+k_d\theta_C)$]/0,85 + Q*(nbVSS)+ Q*($TSS_0$-$VSS_0$)=2008 kg./d.

7. Υπολογίζεται η ολική μάζα των VSS και TSS στη δεξαμενή αερισμού.

- Μάζα των MLVSS

(X_{VSS})(V)= ($P_{X,VSS}$)θ_C=1422 kg/d*11,22 d=15956 kg

- Μάζα των MLSS

(X_{TSS})(V)= ($P_{X,TSS}$)θ_C=2008 kg/d*11,22 d=22533 kg

8. Επιλέγεται η συγκέντρωση σχεδιασμού των MLSS (περιοχή τιμών (2000-4000 mg/l,Metcalf & Eddy,2003) ίση με 4000 mg/l.
Υπολογίζεται ο όγκος της δεξαμενής αερισμού βάσει της εξίσωσης
(V)(X_{TSS})= 22533 kg =>V=22533 kg*10^3g/kg / 4000 g/m^3=5633 m^3

Καθορίζεται ο υδραυλικός χρόνος παραμονής τ.
τ=V/Q=>τ=5633 m^3*24h/d / 9640 m^3/d=14 h.

Υπολογίζονται τα MLVSS.
Ποσοστό VSS=μάζα των MLVSS/ μάζα των MLSS=15956/22533=0,71.
MLVSS=0,71*(4000mg/l)=2832 mg/l

9. Υπολογίζονται ο λόγος F/M, δηλαδή το ποσό BOD ή COD που εφαρμόζεται ανά μονάδα όγκου του ανάμικτου υγρού και το ογκομετρικό φορτίο BOD, δηλαδή το ποσό BOD ή COD που εφαρμόζεται κάθε ημέρα στον όγκο της δεξαμενής αερισμού.

- L_{ORG}=QS_0/V=96400*280/10^3*5633=0,48 kg/m^3-d
- F/M=Q*S_0/VX= 9640*280/2832*5633=0,169 d^{-1}

10. Καθορίζονται οι απαιτήσεις σε οξυγόνο από την εξίσωση :
$R_0=Q(S_0-S)-1{,}42P_{x,bio}+4{,}33Q(NO_X)$, όπου:
R_O=ολική ποσότητα απαιτούμενου οξυγόνου (g/d)
$Q(S_0-S)$=το βιοαποικοδομήσιμο COD (bCOD) που απομακρύνεται
1,42$P_{x,bio}$=το COD της λάσπης που απομακρύνεται

4,33=η πραγματική ποσότητα κατανάλωσης οξυγόνου , εκφρασμένη σε g O_2/g N. Τα 3,22 g O_2/g N καταναλώνονται για την οξείδωση της αμμωνίας και τα υπόλοιπα 1,11 g O_2/g N καταναλώνονται για την οξείδωση των νιτρικών.(Metcalf & Eddy,2003).
Έτσι, προκύπτει: R_0=157 kg O_2/h
1,42=συντελεστής που προκύπτει από την ισορροπία
$C_5H_7NO_2+5O_2 => 5CO_2+NH_3+2H_2O$
(113) 5(32)
$COD_{κυτταρα}=Δ(O_2)/Δ(C_5H_7NO_2)$=5*32g/mole/113g/mole=<u>1,42</u> g O_2/g κυττάρων
Ειδικότερα, αν υποθέσουμε ότι το οργανικό υλικό αντιπροσωπεύεται από την γλυκόζη ($C_6H_{12}O_6$) και τα νέα κύτταρα από το $C_5H_7NO_2$, τότε το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται (γλυκόζη) χωρίζεται σε αυτό που βρίσκεται στα νέα κύτταρα και σε αυτό που οξειδώνεται.
Στην πράξη, το COD και τα VSS αντιπροσωπεύουν το οργανικό υλικό και τα νέα κύτταρα αντίστοιχα. Ανάλογα, το COD της γλυκόζης είναι
$COD=Δ(O_2)/Δ(C_6H_{12}O_6)$=6(32) g/mole/180g/mole=1,07 g O_2/g γλυκόζης από την ισορροπία $C_6H_{12}O_6+6\ O_2 => 6\ CO_2+6\ H_2O$
(180) 6(32)
Τελικά, το οξυγόνο που καταναλώνεται ισοδυναμεί με το COD του υποστρώματος που οξειδώνεται και άρα ισούται με τη διαφορά του COD που χρησιμοποιείται (=1,07) με το COD στα κύτταρα (=1,42).
Συνοψίζοντας, η εξίσωση του R_0 περιλαμβάνει το απαιτούμενο οξυγόνο για την απομάκρυνση του οργανικού υλικού καθώς και το απαιτούμενο οξυγόνο για την οξείδωση της αμμωνίας και των νιτρικών προς νιτρώδη.

11. Όσον αφορά στο σύστημα αερισμού , καταρχήν υπολογίζεται ο όρος SOTR (Standard oxygen transfer rate) στους 20ºC και διαλυμένο οξυγόνο μηδέν (kg O_2/h) καθώς και ο όρος AOTR δηλαδή ο πραγματικός ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου υπό συνθήκες πεδίου (kg O_2/h).
Ισχύει: AOTR= R_0=157 kg/h και
$AOTR=SOTR*(βC^*_{s,,T,H} – C_L)/C_{s,20}*1,024^{(20-T)}*(α)$, όπου:

β= συντελεστής που χρησιμοποιείται για να διορθώσει τον ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου στο σύστημα λόγω διαφορών στην διαλυτότητα του οξυγόνου εξαιτίας συστατικών όπως είναι τα άλατα κτλ. Η περιοχή τιμών του είναι 0,7-0,98 και μία τυπική του τιμή είναι 0,95 (Metcalf & Eddy,2003).
$C^*_{s,,T,H}$=μέση συγκέντρωση κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου στο καθαρό νερό, στη δεξαμενή αερισμού σε θερμοκρασία T και υψόμετρο H. (mg/l)
$= C_{s,,T,H}*1/2*(P_d/P_{atm,H} + O_t/21)= C_{s,,T,H}*((P_{atm,H}+P_{w,mid\ depth})/ P_{atm,H})$
Σχετικοί πίνακες παρατίθενται στην παράγραφο 6.8 των Παραρτημάτων (πίνακας Β2).
<u>Για επιφανειακούς αεριστήρες</u> $C^*_{s,,T,H}= C_{s,,T,H}$
$C_{s,,T,H}$= συγκέντρωση κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου στο καθαρό νερό, σε θερμοκρασία T και υψόμετρο H. (mg/l)
P_d=πίεση στο βάθος της διαφυγής αέρα (kPa)
$P_{atm,H}$=ατμοσφαιρική πίεση σε υψόμετρο H (kPa)
$P_{w,mid\ depth}$=πίεση στο μισό του βάθους πάνω από το σημείο της διαφυγής αέρα
O_t=το % οξυγόνο που διαφεύγει από τη δεξαμενή (mg/l)
C_L=συγκέντρωση οξυγόνου λειτουργίας (mg/l)
$C_{s,20}$= συγκέντρωση κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου στο καθαρό νερό, σε θερμοκρασία 20ºC και 1 atm (mg/l)
T= θερμοκρασία λειτουργίας κατά την καλοκαιρινή περίοδο όπου οι ρυθμοί των αντιδράσεων είναι αυξημένοι , 18(ºC)
α= συντελεστής διόρθωσης για την εκτίμηση του συντελεστή μεταφοράς μάζας οξυγόνου($k_Lα$) στο πραγματικό σύστημα, ίσος με $k_Lα$ (υγρό λύμα)/ $k_Lα$ (H_2O). Η περιοχή τιμών του είναι 0,3-1,2 με τυπική τιμή 0,65 (Metcalf & Eddy,2003).

Από τον πίνακα D1 της παραγράφου 6.8 των Παραρτημάτων, προκύπτει ότι στους 20ºC C_{20}=9,08 mg/l και ότι στους 13ºC C_{13}=10,53 mg/l και επειδή στην περίπτωση αυτή οι αεριστήρες είναι επιφανειακοί, ισχύει
C_{13}=10,53 mg/l= $C^*_{s,,T,H}$.
Άρα,
SOTR= AOTR*[$C_{20}/\alpha(\beta C^*_{s,,T,H} – C_L)$]*$1,024^{20-18}$=>SOTR=339,4 kg/h

Καθορίζεται η παροχή αέρα (m^3/min)=SOTR/(E*60 min/h*kgO_2/m^3αέρα)= 339,4kg/h/ 0,35*60 min/h*0,286 kg O_2/m^3 αέρα=57,5 m^3/min.
Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι με τη χρήση των πινάκων της παραγράφου 6.8 των Παραρτημάτων (πίνακας Β1), η πυκνότητα του αέρα στους 18ºC είναι ρ_α=1,01325*10^5*28,97/[8314*(273,15+18)]=1,2 kg/m^3. Το αντίστοιχο ποσό οξυγόνου κατά βάρος είναι 1,234*0,2318=0,289 (πίνακας 8.2)

<u>5.2.4.2 Ανοξική ζώνη</u>

Για τη διαστασιολόγηση της ανοξικής ζώνης, θεωρείται το ισοζύγιο του αζώτου:
$m_{TN}^{in} – m_{TN}^{out} - m_{TN}^{waste} - m_{NO3\text{-}N}^{απονιτροποίηση} = 0$
και υπολογίζεται η παροχή που απομακρύνεται σαν υπόλειμμα, Q_w. Ισχύει
$Q_w=V_{\Delta A}$*MLSS/(θ_C*SS_W)=201 m^3/d, όπου SS_w=10000 mg/l (κατ' εκτίμηση)

m_{TN}^{in} =TN_{in}*Q=45 mg/l*9640 m^3/d=433,8 kg/d
$m_{TN}^{out} = m_{NH4\text{-}N}^{out} + m_{ΟΡΓ}^{out} + m_{NO3\text{-}N}^{out}$, όπου

$m_{NH4\text{-}N}^{out}$=(Q-Q_w)*[NH_4-N]$_{out}$=4,72 kg/d
$m_{ΟΡΓ}^{out}$= (Q-Q_w)*[οργανικόΝ]$_{out}$=10,69 kg/d
[οργανικόΝ]$_{out}$=TSS_{out}*MLVSS/MLSS*0,08=1,13
$m_{NO3\text{-}N}^{out}$=(9640-201)*[NO_3-N]$_{out}$=78,97 kg/d
[NO_3-N]$_{out}$=TN_{out}-[NH_4-N]$_{out}$-[οργανικόΝ]$_{out}$=(10-0,5-1,13)mg/l=8,4 mg/l
$m_{TN}^{out} = m_{NH4\text{-}N}^{out} + m_{ΟΡΓ}^{out} + m_{NO3\text{-}N}^{out}$=94,4kg/d

$m_{TN}^{waste} = m_{NH4\text{-}N}^{waste} + m_{ΟΡΓ}^{waste} + m_{NO3\text{-}N}^{waste}$
$m_{ΟΡΓ}^{waste}$= Q_w*SS_w*MLVSS/MLSS*0,08=133,75 kg/d
$m_{NO3\text{-}N}^{waste} + m_{NH4\text{-}N}^{waste}$= Q_w*[NO_3-N+ NH_4-N]=1,78 kg/d
$m_{TN}^{waste} = m_{NH4\text{-}N}^{waste} + m_{ΟΡΓ}^{waste} + m_{NO3\text{-}N}^{waste}$=115,5 kg/d

Άρα η μάζα των νιτρικών προς απονιτροποίηση είναι
$m_{NO3\text{-}N}^{απονιτροποίηση} = m_{TN}^{in} – m_{TN}^{out} - m_{TN}^{waste}$=224 kg NO_3-N/d

<u>Ρυθμός απονιτροποίησης</u>

$\mu_{dn}=\mu_{dn,C}*1,09^{T-20}*(1-DO)$
όπου
$\mu_{dn,C}$=ειδικός ρυθμός απονιτροποίησης, ίσος με 0.05.
Ο $\mu_{dn,C}$ κυμαίνεται από 0,03 έως 0,11 kg NO_3-N/kg MLVSS-d για θερμοκρασίες 12-27º C (Στάμου, 1995).
DO=συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην ανοξική ζώνη, ίσο με 0,15 mg/l
Προκύπτει: μ_{dn}=0,035 kg NO_3-N/kg MLVSS-d
Ο όγκος της ανοξικής δεξαμενής $V_{ΑΟΔ}$ θα ισούται με :
$V_{ΑΟΔ}$= $m_{NO3\text{-}N}^{απονιτροποίηση}$/ ($\mu_{dn}$*MLVSS)=>
$V_{ΑΟΔ}$=2210 m^3

Στην ανοξική δεξαμενή γίνεται αναγωγή των νιτρικών με την ταυτόχρονη οξείδωση οργανικής ύλης. Δηλαδή στον χρόνο παραμονής στο σύστημα των ετεροτροφικών βακτηριδίων προστίθεται ο χρόνος παραμονής τους στην ανοξική ζώνη.
Η ολική ηλικία λάσπης υπολογίζεται από την εξίσωση:
$\Theta_C^{ολικό}$=MLSS*$V_{ολικό}$/$P_{X,TSS}$=3 kg/m^3*(5633+2210)m^3/2008 kg/d=15,62 d.
Άρα και ο χρόνος παραμονής των βακτηριδίων στην ανοξική ζώνη θα είναι:
$\theta_C^{ΑΟΔ}$= $\Theta_C^{ολικό}$-$\theta_C^{ΔΑ}$=> $\theta_C^{ΑΟΔ}$= (15,62-11,22)d=4,4 d.
Για την τιμή $\Theta_C^{ολικό}$, υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις BOD_5, TSS στην εκροή.
Ισχύει για τους ετεροτροφικούς οργανισμούς η εξίσωση:
$1/ \theta_C = \mu_{H,max\,T}*sBOD_5/(sBOD_5+k_{sH}) – b_H$
$\mu_{H,max\,T}=\mu_{Hmax\,20}*exp(k_H/(18-20))=> \mu_{H,max\,13}=7\ d^{-1}*exp(-0,07/2)=6,76\ d^{-1}$
$b_H=0,06\ d^{-1}$
k_{sH}=120 mg/l
k_H=0,07
$\mu_{Hmax\,20}=7\ d^{-1}$
Οι παραπάνω τιμές είναι τυπικές και σύμφωνα με την ελληνική βιβλιογραφία.
Ισχύει ότι το πρώτο μέλος της εξίσωσης (1/ θ_C) ισούται με τον ρυθμό ανάπτυξης των ετεροτροφικών βακτηριδίων, μ_H. Ο όρος $\mu_{H,max\,T}$ είναι ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των ετεροτροφικών βακτηριδίων στην εκάστοτε θερμοκρασία T και υπολογίζεται βάσει της δοθείσας εξίσωσης, μέσω του ρυθμού ανάπτυξης στους 20 ° C και ενός συντελεστή k_H για τα ετεροτροφικά βακτήρια, του οποίου η τιμή λαμβάνεται εμπειρικά ίση με 0,07 και ο οποίος είναι αδιάστατος. Ο όρος k_{Sh} είναι ο συντελεστής ημικορεσμού και ο όρος b_H είναι ο συντελεστής αποσύνθεσης των ετεροτροφικών βακτηρίων. Η εξίσωση αυτή παρουσιάζει μία αντιστοιχία των συντελεστών της σε σχέση με την εξίσωση $\mu_n=(\mu_{n,m}*N/(k_n+N))*(DO/(k_{DO}+DO))-K_{dn}$, που χρησιμοποιήθηκε προηγούμενα για τους νιτροποιητικούς οργανισμούς.

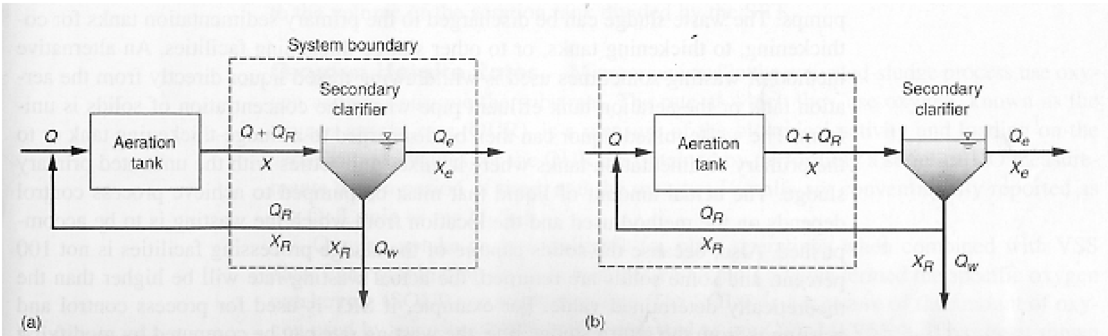
Άρα, 1/ 15,62=6,76* $sBOD_5$/($sBOD_5$+120) – 0,06=>
$sBOD_5$=2,24 mg/l
Η τιμή βρίσκεται πολύ κοντά στα αναμενόμενα πλαίσια, δηλαδή από 2-4 mg/l (Metcalf & Eddy,2003).
Υποθέτουμε ότι TSS_e=10 mg/l.
Άρα, BOD_e= $sBOD_5$+(g BOD/1,42 g VSS)*(0,85 g VSS/g TSS)*(TSS,mg/l)
BOD_e= $sBOD_5$+(1/1,42)*(0,85)*(10mg/l)=14,21 mg/l
[οργανικό N}=TSS*MLSS/MLVSS*0,08=20*(2832/4000)*0,08=1,14 mg/l. Όπου το 0,08=8% είναι το ποσοστό αζώτου στους μικροοργανισμούς.

5.2.5 ΦΡΕΑΤΙΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ 2

Στο φρεάτιο διανομής 2 η παροχή των αποβλήτων συλλέγεται από τις δύο γραμμές απομάκρυνσης των οργανικών ενώσεων άνθρακα και του αζώτου και κατανέμεται κατά την αρχική φάση από δύο υπερχειλιστές λεπτής στέψης στις δύο δεξαμενές καθίζησης. Στη φάση της επέκτασης θα προστεθεί και τρίτη γραμμή.

5.2.6 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Για τον σχεδιασμό της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης, καταρχήν καθορίζεται ο λόγος ανακυκλοφορίας ιλύος,R.



Υποθέτουμε ότι η παροχή περίσσειας ιλύος αποτελεί ένα πολύ μικρό ποσοστό της παροχής των λυμάτων και άρα από το ισοζύγιο μάζας λαμβάνεται:

$Q_RX_R=(Q+Q_R)X$ =>$RQX_R=(Q+RQ)X$=> $RQX_R=(1+R)QX$=>

$RX_R=(1+R)X$ =>$R=X/(X_R-X)$, όπου X=4000 mg/l και X_R=10000 mg/l.

Άρα, R=4000/6000=0,67

Βάσει του πίνακα που ακολουθεί (Metcalf & Eddy, 2003), υποθέτουμε μία τιμή για την υδραυλική φόρτιση (στην περίπτωση παρατεταμένου αερισμού) της τάξης των 12 m^3/m^2-d και προκύπτει η ολική επιφάνεια A της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης $A=Q/Y\Phi=9640\ m^3/12\ m^3/m^2\text{-}d=803\ m^2$.

Μπορούν λοιπόν να χρησιμοποιηθούν δύο δεξαμενές με εμβαδόν εκάστης ίσο με 803/2=402 m^2 και διαμέτρου $(4*A/3,14)^{1/2}$=22,62 m.

Επίσης υποθέτουμε ένα μέσο πλευρικό βάθος της δεξαμενής ίσο με h=3,5 m.

Αντίστοιχα, ο όγκος V της δεξαμενής είναι ίσος με το γινόμενο $V=A*h=803*3,5=2812\ m^3$ και ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης θ ισούται με V/Q=2812/9640 d=0,29 d.

Η παροχή ανακυκλοφορίας της λάσπης υπολογίζεται $Q_R=R*Q$=0,67*9640=6427 m^3/d.

Όσον αφορά στον λόγο εσωτερικής ανακυκλοφορίας r, υπολογίζεται ως εξής: $r=\Delta NO_x / N_e - R - 1$=36/8,37 – 0,67 – 1=2,63.

Σύμφωνα με τους Metcalf & Eddy, 2003 , για απαιτήσεις TN στην εκροή της τάξης των 10 mg/l ή λιγότερο, απαιτούνται συγκεντρώσεις σχεδιασμού για τα νιτρικά που κυμαίνονται από 5 έως 7 mg/l.

Ελέγχεται, τέλος, η φόρτιση στερεών $SLR=(Q+Q_R)*MLSS/A$ =>

SLR=(1+0,67)*9640*4000/1000/(803*24 h/d)=3,33 kg MLSS/m^2-h.

Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί, δηλαδή κυμαίνεται στα όρια από 1 έως 5 kg MLSS/m^2-h.

Table 8–7
Typical design information for secondary clarifiers for the activated-sludge process[a]

Type of treatment	Overflow rate: gal/ft²·d Average	gal/ft²·d Peak	m³/m²·d Average	m³/m²·d Peak	Solids loading: lb/ft²·h Average	lb/ft²·h Peak	kg/m²·h Average	kg/m²·h Peak	Depth, m[b]
Settling following air-activated sludge (excluding extended aeration)	400–700	1000–1600	16–28	40–64	0.8–1.2	1.6	4–6	8	3.5–6
Selectors, biological nutrient removal	400–700	1000–1600	16–28	40–64	1.0–1.5	1.8	5–8	9	3.5–6
Settling following oxygen-activated sludge	400–700	1000–1600	16–28	40–64	1.0–1.4	1.8	5–7	9	3.5–6
Settling following extended aeration	200–400	600–800	8–16	24–32	0.2–1.0	1.4	1.0–5	7	3.5–6
Settling for phosphorus removal; effluent concentration, mg/L									3.5–6
Total P = 2	600–800		24–32						
Total P = 1[c]	400–600		16–24						
Total P = 0.2–0.5[d]	300–500		12–20						

[a] Adapted in part from Kang (1987); WEF (1998).
[b] m × 3.2808 = ft.
[c] Occasional chemical addition required.
[d] Continuous chemical addition required for effluent polishing.
Note: Peak is a 2-h sustained peak.

5.2.7 ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΛΑΣΠΗΣ (ΑΝΛ)

Το αντλιοστάσιο λάσπης αποτελείται από δύο υγρούς θαλάμους. Κάθε θάλαμος εξυπηρετεί μία δεξαμενή καθίζησης και είναι εξοπλισμένος με 2 αντλίες (1 εφεδρική) ανακυκλοφορίας και 2 αντλίες (1 εφεδρική) περίσσειας λάσπης.

5.2.8 ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΑΝΑΜΙΚΤΟΥ ΥΓΡΟΥ

Οι αντλίες του ανάμικτου υγρού είναι βυθισμένες μέσα στις δεξαμενές αερισμού μακριά από τους αεριστήρες και κοντά στο κατάντη άκρο του τελευταίου διαμερίσματος της δεξαμενής αερισμού. Εγκαθίστανται συνολικά 6 αντλίες ανακυκλοφορίας (δύο εφεδρικές), παροχής 245 m^3/h σε μανομετρικό λειτουργίας 6 m.

5.2.9 ΧΛΩΡΙΩΣΗ

Επιλέγεται χρόνος παραμονής στην παροχή αιχμής της αρχικής φάσης ίσος με $\theta_{ΔΧΛ}$=18 min και υπολογίζεται ο όγκος της δεξαμενής χλωρίωσης από την εξίσωση $V_{ΔΧΛ}= \theta_{ΔΧΛ}*Q_h=18*918/60=275\ m^3$.
Η δεξαμενή χλωρίωσης διαμορφώνεται σε 8 κανάλια πλάτους 1.80 m, βάθους 1.80 m και μήκους 10.5 m που αντιστοιχούν σε όγκο $V_{ΔΧΛ}=1.80*1.80*10.5*8=272.16\ m^3$.
Η ταχύτητα ροής στη μέση παροχή υπολογίζεται ίση με $U_{ΔΧΛ}=9640/[1440*1.80*1.80]=2,066$ m/min.
Ο λόγος μήκος / πλάτος υπολογίζεται ίσος με 8*10.5/1.8=47.
Στην επέκταση η δεξαμενή χλωρίωσης θα επεκταθεί κατά 50 %, δηλαδή προσθέτοντας ακόμη 4 κανάλια.
Για συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων 10^7/100 ml και 500/100 ml αντίστοιχα στην είσοδο και έξοδο της δεξαμενής χλωρίωσης υπολογίζεται η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου ως εξής: $E/E_0=(1+0.23*C_{ΔΧΛ}*20)^{-3}$ ή $C_{ΔΧΛ}$=6,32 mg/l

Ως απολυμαντικό μέσο χρησιμοποιείται υποχλωριώδες νάτριο περιεκτικότητας 15 %. Για την επιθυμητή συγκέντρωση χλωρίου των 6 mg/l προκύπτει ότι για κάθε 1 m^3 λυμάτων απαιτείται όγκος διαλύματος ίσος με 6*1000/150=40 lt.
Η μέγιστη ωριαία κατανάλωση χλωρίου προκύπτει ίση με 918*0.04=36.72 l/h και η μέγιστη ημερήσια 9640*0.04=385,60 l/d.
Ο χρόνος παραμονής των λυμάτων για την παροχή σχεδιασμού υπολογίζεται ως θ (ΔΧΛ)=(V(ΔΧΛ)/Q/24)*60=41,13 min.

5.2.10 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΑΣΠΗΣ

Η επεξεργασία της λάσπης περιλαμβάνει πάχυνση σε δεξαμενές πάχυνσης και αφυδάτωση σε ταινιοφιλτρόπρεσσες. Τα στραγγίδια (υπερχειλίσεις) και τα νερά έκπλυσης από τις διαδικασίες αυτές επιστρέφουν στο αρχικό φρεάτιο διανομής με την παρεμβολή του αντλιοστασίου στραγγιδίων. Στις μονάδες λάσπης γίνεται η παραδοχή ότι η απομάκρυνση των στερεών είναι 100%, δηλαδή **όλη η ποσότητα των στερεών ακολουθεί τη γραμμή επεξεργασίας λάσπης.**

5.2.10.1 Δεξαμενή πάχυνσης

Η πάχυνση της λάσπης σε ποσοστό στερεών 3 % γίνεται σε μία δεξαμενή πάχυνσης διαμέτρου 11 m. Η διαστασιολόγηση της δεξαμενής πάχυνσης γίνεται ως εξής:
Θεωρούνται δεδομένα η διάμετρος της δεξαμενής, η κλίση του πυθμένα, η διάμετρος της χοάνης λάσπης, το πλευρικό βάθος, η συγκέντρωση της παχυμένης λάσπης και η συγκέντρωση της λάσπης.
Υπολογίζεται το εσωτερικό (πλευρικό) βάθος h=(πλευρικό βάθος)+0,5*(διάμετρος δεξαμενής-διάμετρος χοάνης λάσπης)*κλίση πυθμένα/10=>
h=3,5+0,5*(11-2)*0,12=4,04 m.
Το μέσο βάθος είναι 0,5*(h+πλ.βάθος)=0,5*(4,04+3,5)=3,77 m
Τότε, η ολική επιφάνεια $A=\pi*d^2/4=3{,}14*(11)^2/4=94{,}985\ m^2$ και ο ολικός όγκος της δεξαμενής $V=A*h_{μέσο}=94{,}985*3{,}77=358{,}0935\ m^3$
Η περίσσεια λάσπης προκύπτει από τη διαφορά της παραγωγής ιλύος $P_{X,TSS}$ (kg/d) (που έχει υπολογιστεί στο κομμάτι της δεξαμενής αερισμού) με τα στερεά της εξόδου τα οποία υπολογίζονται: $SS_e=20\ g/m^3*9640\ m^3/d=289200/1000\ kg/d=192{,}8\ kg/d$, όπου τα 20 mg/l είναι η απαιτούμενη ποσότητα στην εκροή και βρίσκεται από τα δεδομένα σχεδιασμού.
Λαμβάνουμε όμως τη δυσμενέστερη περίπτωση όπου όλα τα SS οδηγούνται προς επεξεργασία και άρα $SS_e=0$.
Άρα, η περίσσεια της λάσπης εκφρασμένη σε kg/d είναι $P_{X,TSS}$=2008 kg/d.
Η παροχή της περίσσειας λάσπης εκφρασμένη σε kg/d υπολογίζεται ίση με 201 m^3/d, δηλαδή $Q_W=MLSS*V_{ΔΑ}/(Q*SS_W)$.
Τέλος, πραγματοποιείται έλεγχος στις προκύπτουσες τιμές της επιφανειακής φόρτισης καθώς και της φόρτισης στερεών. Ειδικότερα, οι δεξαμενές πάχυνσης για συστήματα παρατεταμένου αερισμού σχεδιάζονται για φόρτιση στερεών 30-40 $kgSS/m^2$-d και επιφανειακή φόρτιση 3,5-7,5 m^3/m^2-d (Α. Στάμου, 1995).
Στην περίπτωση αυτή έχουμε:
$ΕΦ=Q_W/A=201/95=2{,}11\ m^3/m^2$-d
$ΦΣ= P_{X,TSS}/A=2008/95=21{,}14\ kg\ SS/m^2$-d

Τέλος, η παροχή της παχυμένης ιλύος $Q_{ΠΛ}= P_{X,TSS}/C_{ΠΛ}$=2008/30=67 m^3/d, όπου $C_{ΠΛ}$ η συγκέντρωση της παχυμένης ιλύος (kg/m^3) και η παροχή των υπερχειλίσεων $Q_{υπ}=Q_W - Q_{ΠΛ}$=134 m^3/d.

5.2.10.2 Αφυδάτωση

Η παχυμένη λάσπη από τη δεξαμενή πάχυνσης αντλείται σε ταινιοφιλτρόπρεσσες με κοχλιωτές αντλίες που βρίσκονται στο κτίριο αφυδάτωσης, όπου αφυδατώνεται σε συγκέντρωση στερεών 18 %(Α. Στάμου, 1995). Η παροχή της αφυδατωμένης ιλύος προκύπτει $Q_{ΑΦΛ}= P_{X,TSS} /C_{ΑΦΛ}$=2008/180=11,16 m^3/d.
Η παροχή των υπερχειλίσεων είναι $Q_{υπ}= Q_{ΠΛ} - Q_{ΑΦΛ}$=55,78 m^3/d.
Το σύστημα αφυδάτωσης είναι εφοδιασμένο με διάταξη προετοιμασίας – τροφοδοσίας πολυμερούς, καθώς και με διάταξη έκπλυσης των ταινιοφιλτροπρεσσών. Η αφυδατωμένη λάσπη μεταφέρεται με δύο κοχλιωτούς μεταφορείς στο χώρο αποθήκευσης της και από εκεί συλλέγεται με φορτωτή και απομακρύνεται από την εγκατάσταση επεξεργασίας.

5.2.11 ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ

Τα στραγγίδια, οι υπερχειλίσεις και τα νερά έκπλυσης από τις μονάδες προκαταρκτικής επεξεργασίας και επεξεργασίας λάσπης, τα λύματα από τις εγκαταστάσεις υγιεινής οδηγούνται με βαρύτητα στο αντλιοστάσιο στραγγιδίων από όπου αντλούνται προς το φρεάτιο εισόδου της εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων.

5.2.12. ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΤΑΦΡΟΣ ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η μεθοδολογία υπολογισμού που ακολουθείται είναι όμοια με αυτή της μεθόδου ανακυκλοφορίας. Η κύρια διαφορά στους υπολογισμούς αφορά στον όγκο της ανοξικής περιοχής καθόσον η ταχύτητα απονιτροποίησης στις οξειδωτικές τάφρους (με μετά- απονιτροποίηση) είναι σημαντικά μικρότερη (συνήθως 50 % αυτής της μεθόδου ανακυκλοφορίας) με αποτέλεσμα ο απαιτούμενος όγκος απονιτροποίησης να προκύπτει μεγαλύτερος.
Κατά τη διαδικασία υπολογισμού ο όγκος αερισμού επιλέγεται συνήθως ίσος με τον ελάχιστο που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής νιτροποίησης και της επιθυμητής απομάκρυνσης οργανικού φορτίου. Συχνά, η νιτροποίηση αποτελεί την καθοριστική διαδικασία που οδηγεί στον προσδιορισμό του ελάχιστου όγκου αερισμού.

5.3 ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στη συνέχεια παρατίθεται μία σειρά πινάκων προβλέψεων μοντέλου όπου οι τιμές βασικών παραμέτρων που υπολογίστηκαν από την χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου, συγκρίνονται με τις πραγματικές τιμές των παραμέτρων αυτών, όπως δόθηκαν από τα αρχεία της Εγκατάστασης Βιολογικού Καθαρισμού Κορίνθου – Λουτρακίου.
Η πρώτη στήλη κάθε πίνακα επισημαίνει το μέγεθος του οποίου συγκρίνονται οι τιμές. Η δεύτερη στήλη δίνει την τιμή από το μοντέλο και η τρίτη στήλη την πραγματική τιμή από τα αρχεία της Εγκατάστασης Επεξεργασίας.
Παρατηρούμε ότι υπάρχουν αποκλίσεις μεταξύ των τιμών κάποιων μεγεθών οι οποίες όμως μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες, καθώς έχουν ακολουθηθεί σε αρκετά σημεία τελείως διαφορετικές εξισώσεις και τιμές συντελεστών.
Επισημαίνεται τέλος, ότι το εν λόγω μοντέλο, προέκυψε από τη συστηματική χρήση συντελεστών, πινάκων και εξισώσεων της ξένης βιβλιογραφίας.

- ***ΕΣΧΑΡΩΣΗ***

U_{max} (m/sec)	1,02	1,02
U_{min} (m/sec)	0,89	0,92
Ποσότητες εσχαρισμάτων (m^3/d)	0,43	0,43

- ***ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ***

Πλάτος στένωσης διαύλου w (m)	0,4572	0,40

- ***ΕΞΑΜΜΩΣΗ – ΑΠΟΛΙΠΑΝΣΗ***

Όγκος εξαμμωτή V (m^3)	93,3	96
Ποσότητα άμμου (m^3/d)	0,43	0,43

- ***ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΕΡΙΣΜΟΥ***

Όγκος δεξαμενής αερισμού (ζώνη αερισμού και νιτροποίησης) $V_{ΔΑ}$ (m^3)	5633	4914
Υδραυλικός χρόνος παραμονής τ (d)	0,6	0,8
Ηλικία ιλύος $θ_c$ (d)	11,22	11,60
Παραγωγή βιομάζας $P_{X,TSS}$ (kg/d)	2008	2600
NO_X προς νιτροποίηση (mg/l)	36	34
SOTR (kg O_2/h)	339,4	319
AOTR ((kg O_2/h)	157	199
MLVSS (mg/l)	2832	2600

- ***ΑΝΟΞΙΚΗ ΖΩΝΗ***

Όγκος ανοξικής ζώνης $V_{ΑΟΔ}$ (m^3)	2209	2645
NO_3-N προς απονιτροποίηση (mg/l)	23,7	24

- ***ΕΞΟΔΟΣ***

BOD (mg/l)	14,2	12,3
NO_3-N (mg/l)	8,4	10
TN (mg/l)	10	10,5
NH_4-N (mg/l)	0,5	0,5

- ***ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ***

Όγκος δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης $V_{ΔΔΚ}$ (m^3)	2812	2474
Λόγος ανακυκλοφορίας R (%)	0,67	0,67
Παροχή περίσσειας ιλύος Q_W (m^3/d)	201	260
Διάμετρος δεξαμενής δ (m)	23	25
Επιφάνεια δεξαμενών A (m^2)	803	981

- ***ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ (ΧΛΩΡΙΩΣΗ)***

Όγκος δεξαμενής χλωρίωσης $V_{ΔΧΛ}$ (m^3)	275	272
Χρόνος παραμονής επαφής λυμάτων $θ_{ΔΧΛ}$ (min)	41,14	41

- ***ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΑΧΥΝΣΗΣ***

Εσωτερικό πλευρικό βάθος δεξαμενής (m)	4,04	4
Μέσο βάθος δεξαμενής (m)	3,77	3,5
Επιφάνεια δεξαμενής A (m^2)	95	95
Όγκος δεξαμενής $V_{ΔΠΧ}$ (m^3)	358	357
Φόρτιση στερεών (kg SS/m^2-d)	21,1	27,4

Επιφανειακή φόρτιση (m^3/m^2-d)	2,1	2,7
Χρόνος παραμονής λυμάτων $\theta_{ΔΠΧ}$ (d)	1,8	1,4
Παροχή παχυμένης ιλύος $Q_{ΠΧΛ}$ (m^3/d)	67	87

- ***<u>ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ</u>***

Παροχή αφυδατωμένης ιλύος $Q_{ΑΦΛ}$ (m^3/d)	11,16	10

5.4 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

5.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

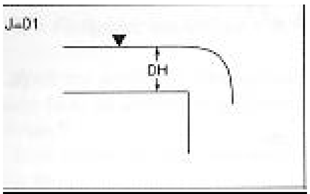
Οι υδραυλικοί υπολογισμοί πραγματοποιούνται για τα δεδομένα της εγκατάστασης και τις μονάδες που υπολογίσθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, με τη διαφοροποίηση ότι ο δίαυλος Parshall τοποθετείται κατάντη της χλωρίωσης και ότι χρησιμοποιούνται οξειδωτικές τάφροι αντί ορθογωνικών δεξαμενών, όπως φαίνεται και σχηματικά στο τέλος του κεφαλαίου αυτού.
Η μεθοδολογία εκκινά με την αρίθμηση των θέσεων της εγκατάστασης όπου επιθυμείται ο προσδιορισμός της στάθμης των αποβλήτων. Η αρίθμηση αρχίζει από το κατάντη και οδεύει προς το ανάντη άκρο της εγκατάστασης διότι η ροή στους ανοικτούς αγωγούς και στις δεξαμενές της εγκατάστασης αναμένεται να είναι σχεδόν πάντα υποκρίσιμη και ελεγχόμενη από τα κατάντη.
Στη συνέχεια, αναγνωρίζονται τα *σημεία έλεγχου*, δηλαδή θέσεις όπου υπάρχει μονοσήμαντη σχέση παροχής Q και βάθους ροής ή ύψους υπερχείλισης. Έπειτα, καθορίζονται τα υπολογιστικά τμήματα τα οποία ορίζονται από ένα σημείο ελέγχου μέχρι μία θέση κατάντη του αμέσως ανάντη σημείου ελέγχου. Στο τμήμα αυτό η ροή ελέγχεται, δηλαδή οι στάθμες των λυμάτων καθορίζονται από το κατάντη σημείο έλεγχου.

Τα σημεία ελέγχου της συγκεκριμένης εγκατάστασης επεξεργασίας είναι τα ακόλουθα:

Πυθμένας διαύλου Parshall	H_1
Υπερχειλιστής εκροής δεξαμενής χλωρίωσης	H_4
Υπερχειλιστής εκροής δεξαμενής καθίζησης	H_{11}
Υπερχειλιστής φρεατίου διανομής 1	H_{15}
Υπερχειλιστής εκροής οξειδωτικών τάφρων	H_{18}
Υπερχειλιστής φρεατίου διανομής 2	H_{21}
Υπερχειλιστής εκροής εξαμμωτή	H_{27}

Στη δεδομένη εφαρμογή συναντούμε τις εξής περιπτώσεις:

- *Υπερχείλιση λεπτής στέψης*

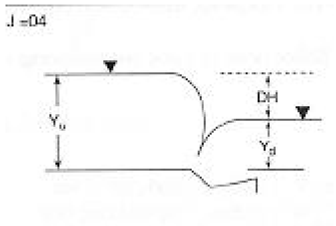


Το ύψος υπερχείλισης DH προκύπτει από την εξίσωση $DH=0.664*q^{0.667}$
όπου q= Q/W, (m^2/sec)
Q=παροχή σχεδιασμού, (m^3/sec)
W=πλάτος υπερχείλισης (m)
Λεπτής στέψης θεωρούνται οι υπερχειλίσεις στις δεξαμενές αερισμού, στα φρεάτια και τους αγωγούς διανομής καθώς και στις δεξαμενές χλωρίωσης.

- *Στέψη οδοντωτής υπερχείλισης (τύπου V)*

Η περίπτωση αυτή αναφέρεται στις δεξαμενές καθίζησης.
Το ύψος υπερχείλισης προκύπτει από την εξίσωση $DH=0.882*q^{0.4}$
όπου q=Q/n, (m^3/sec)
n=αριθμός υπερχειλίσεων τύπου V, ίσος με (π*D)/w. Το D είναι η διάμετρος της δεξαμενής καθίζησης και το w το ανηγμένο μήκος περιφέρειας που αντιστοιχεί σε κάθε υπερχειλιστή.

- *Πυθμένας διαύλου Parshall*



Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, η παροχή Q συνδέεται με το βάθος ροής ανάντη του διαύλου Y_u με την εξίσωση $Q=k*Y_u^n \Rightarrow Y_u=(Q/k)^{1/n}$.
Θεωρώντας ότι το βάθος ροής κατάντη είναι Y_d, η πτώση στάθμης DH ισούται με $DH= Y_u- Y_d$.

Όταν η θέση μας δεν είναι σημείο ελέγχου, τότε το DH είναι ίσο με τις γραμμικές ή τοπικές απώλειες ή το άθροισμα τους.
Όσον αφορά στις τοπικές απώλειες, συναντάμε την περίπτωση σε ροή με ελεύθερη επιφάνεια όπου εκφράζονται ως το γινόμενο ενός συντελεστή k τοπικών απωλειών επί το ύψος ή τη διαφορά υψών κινητικής ενέργειας. Δηλαδή:
$DH=k*(V^2/2g)$ ή $DH=k'*(V_1^2-V_2^2)/2g$, με V_1 και V_2 τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη ταχύτητα ροής αντίστοιχα.
Οι περισσότερο συνηθισμένες περιπτώσεις τοπικών απωλειών σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων είναι κατά τη ροή:

- Σε καμπύλη 45°, k=0.2
- Σε καμπύλη 90°, k=0.3
- Σε ανοίγματα (εισροή και εκροή σε δεξαμενές), k=2.0
- Κάτω από θυροφράγματα, k=0.3
- Σε απότομη συστολή διατομής, k'=0.5
- Σε απότομη διαστολή διατομής, k'=1.0

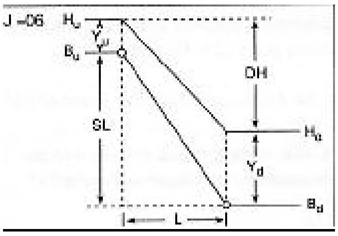
Ειδικά στις αναερόβιες δεξαμενές φωσφόρου και τις δεξαμενές χλωρίωσης, για τον προσδιορισμό των απωλειών θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση:
$DH=N*(V_1^2/2g)+(N-1)*(V_2^2/2g)$,
όπου N=ο αριθμός των λωρίδων της δεξαμενής
V_1=η ταχύτητα ροής στις λωρίδες, (m/sec)
V_2=η ταχύτητα ροής στα ανοίγματα, (m/sec)

Όσον αφορά στις γραμμικές απώλειες, στην παρούσα εφαρμογή συναντούμε τις εξής περιπτώσεις:

1.Σε περιφερειακό κανάλι κυκλικής δεξαμενής καθίζησης

Πρόκειται για μία ειδική περίπτωση ροής με ελεύθερη επιφάνεια, με μεταβαλλόμενη όμως παροχή. Το βάθος ροής στο ανάντη άκρο του καναλιού Y_u προσδιορίζεται μέσω της εξίσωσης Thomas: $Y_u=[2*Y_c^3/Y_d + (Y_u-S*L/3)^2]^{1/2} - 2*S*L/3$

2.Σε ροή με ελεύθερη επιφάνεια



Στην περίπτωση αυτή οι γραμμικές απώλειες υπολογίζονται ακριβέστερα θεωρώντας βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή και ξεκινώντας από μία κατάντη θέση όπου το βάθος ροής Y_d είναι γνωστό και προχωρώντας προς τα ανάντη μέχρι τη θέση όπου επιθυμούμε να προσδιορίσουμε το βάθος Y_u.
Αν L το μήκος του αγωγού, S η κλίση του και B_d η στάθμη του πυθμένα στο κατάντη άκρο του, τότε η στάθμη του πυθμένα στο ανάντη άκρο του B_u ισούται με
$B_u= B_d+S*L$
Όταν η στάθμη των αποβλήτων στο κατάντη άκρο του αγωγού είναι H_d, τότε το βάθος ροής Y_d από το οποίο ξεκινά ο υπολογισμός προσδιορίζεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:
$Y_d=Y_c$, όταν $H_d< Y_c+ B_d$
$Y_d= H_d- B_d$, όταν $H_d> Y_c+ B_d$
Η πτώση στάθμης DH της ελεύθερης επιφάνειας των αποβλήτων θα είναι τότε
$DH= Y_u.+ S*L- Y_d$

Τέλος, εξετάζουμε και την περίπτωση γραμμικών και τοπικών απωλειών **σε ροή σε σωλήνα με πίεση.**
Οι γραμμικές απώλειες h_f υπολογίζονται σύμφωνα με τους Colebrook – While:
$h_f=f*(L/D)*(V^2/2g)$
Όπου f= ο συντελεστής τριβών εξαρτώμενος από το υλικό του σωλήνα και το είδος της ροής και υπολογίζεται βάσει του διαγράμματος Moody, το οποίο παρατίθεται στη συνέχεια. Απαιτείται ο υπολογισμός του αριθμού Reynolds Re ίσος με V*D/v, όπου v η κινηματική συνεκτικότητα (m^2/sec), D η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα (mm) και V η μέση ταχύτητα ροής (m/sec) καθώς και του όρου της σχετικής τραχύτητας k/D, όπου k η απόλυτη τραχύτητα που λαμβάνει συγκεκριμένες τιμές ανάλογα με το υλικό του αγωγού.
Οι τοπικές απώλειες h_1 εκφράζονται ως το γινόμενο ενός συντελεστή k τοπικών απωλειών επί το ύψος της κινητικής ενέργειας μέσα από την εξίσωση:$h_1=k*(V^2/2g)$.
Οι περισσότερο συνηθισμένες περιπτώσεις τοπικών απωλειών σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων είναι κατά τη ροή:

- Σε εισροή από σωλήνα σε δεξαμενή ή φρεάτιο, k=1.0
- Σε εκροή από δεξαμενή ή φρεάτιο σε σωλήνα, k=0.5
- Σε καμπύλες 45^o και 90^o, k=0.3
- Σε απότομη συστολή, k=0.6 και
- Σε δικλείδα ελέγχου, k=1.0

Έτσι η πτώση στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας των αποβλήτων προκύπτει
$DH=h_f+h_1$

Επισημαίνεται στο σημείο αυτό ότι κατάντη των σημείων ελέγχου μπορεί συχνά να αφήνεται ένα ελεύθερο ύψος DH (0.08 – 0.12 m) ώστε να υπάρχει ελεύθερη ροή και η στάθμη της αμέσως κατάντη του σημείου ελέγχου θέσης προκύπτει μικρότερη κατά DH από τη στάθμη του σημείου ελέγχου**.** Επίσης, όπως θα διαπιστωθεί και στη συνέχεια κατά την εφαρμογή, συχνά για λόγους ασφαλείας χρησιμοποιούνται εμπειρικές τιμές απωλειών που κυμαίνονται από 0.08 έως 0.20 m. Χαρακτηριστικό

παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση των εσχαρών όπου βασιζόμαστε στην υπόθεση ότι αυτές είναι καθαρές και έτσι η τιμή των απωλειών υπολογίζεται πολύ μικρή. Στην πράξη οι απώλειες τίθενται ίσες με 0.1 – 0.2 m ανάλογα με τον ανιχνευτή στάθμης των εσχαρών με βάση τα σήματα του οποίου τίθεται σε λειτουργία ο μηχανισμός καθαρισμού των εσχαρών.
Οι υδραυλικοί υπολογισμοί γίνονται για όλες τις σωληνώσεις και τους αγωγούς **για την παροχή αιχμής της εγκατάστασης** που είναι:
Για την αρχική φάση: 918 m^3/h=0,255 m^3/s
Για την επέκταση: 1836 m^3/h=**0,51 m^3/s**
Σε τμήματα της εγκατάστασης όπου επιστρέφει η ανακυκλοφορία της λάσπης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η παροχή ανακυκλοφορίας (που θεωρείται ίση με την ικανότητα των αντλιών ανακυκλοφορίας) η οποία έχει υπολογιστεί στο κομμάτι της προσομοίωσης ίση με Q_R=8676 m^3/d=0,100 m^3/s. Όμως, επειδή οι υδραυλικοί υπολογισμοί γίνονται για τη φάση της επέκτασης, και επειδή παρατηρούμε ότι σύμφωνα με τα δεδομένα σχεδιασμού η αναλογία οργανικού φορτίου (BOD) τελικής φάσεως προς αρχική είναι:5400/2700=2/1 έχουμε:
Για την αρχική φάση: 1*0,100 m^3/s=0,100 m^3/s
Για την επέκταση:2*0,100 m^3/s=**0,200 m^3/sec**
Στους υδραυλικούς υπολογισμούς θεωρείται ως δεδομένο το υψόμετρο του πυθμένα του διαύλου Parshall που αποτελεί και σημείο ελέγχου της ροής (H_1=10 m). Με βάση το υψόμετρο αυτό υπολογίζεται η στάθμη των αποβλήτων στην είσοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας, δηλαδή στην επιφάνεια των αποβλήτων στις εσχάρες (H_{31}).

.

5.4.2 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ-ΕΦΑΡΜΟΓΗ

1. **Πυθμένας διαύλου Parshall** **H_1=10.00 m**

Q(1) =1836 m^3/h/3600s/h=0,51 m^3/sec.
Για πλάτος στένωσης w=0.3048 m, προκύπτει k=0.6906 και n=1.522 (σύμφωνα με τον πίνακα 2.1).
Από την εξίσωση $Q=k*Y_u^n$, όπου Y_u το βάθος ροής ανάντη της στένωσης, προκύπτει $0.51=0.6906*Y_u^{1.522}$=>Y_u=0.82m και H_2=10.00+0.82=10.82 m.

2. **Επιφάνεια διαύλου Parshall** **H_2=10.82 m**

Εκτιμώμενες απώλειες (πτώση στάθμης) DH=0.030 m
H_3=10.82+0.030=10.85 m.

3. **Δίαυλος Parshall – Επιφάνεια ανάντη** **H_3=10.85 m**

Ελεύθερο ύψος=0.100 m. Οπότε H_4=10.85+0.100=10.95 m.

4. **Δεξαμενή χλωρίωσης – Υπερχειλιστής εκροής** **H_4=10.95 m**

Πλάτος υπερχείλισης π=1.80 m.
Q(3)=0.51/3=0.17 m^3/sec, όπότε q=Q/W=0.17/1.80=0.094 m^2/sec.
Ύψος υπερχείλισης $DH=0.664*q^{0.667}=0.664*0.094^{0.667}=0.1376$ m
και H_5=10.95+0.1376=11.087 m.

5. **Δεξαμενή χλωρίωσης – Επιφάνεια κατάντη** **H_5=11.087 m**

Q(5)=0.51 m^3/sec.
Για N=9, όπου N ο αριθμός των καναλιών της δεξαμενής στη φάση της επέκτασης, προκύπτει $DH=N*V_1^2/2g + (N-1)*V_2^2/2g$, όπου V_1 η ταχύτητα ροής στα κανάλια, V_2 η ταχύτητα ροής στα ανοίγματα και g η επιτάχυνση της βαρύτητας, ίση με 9.81 m/sec^2.
Δηλαδή $DH=17*V^2/2g$.
V=0.51/(1.80*1.80)=0.1574 m/sec και $V^2/2g$=0.00126 m.
Άρα DH=17*0.00126=0.021468 m και H_6=11.087+0.021468=11.10847 m.

6. **Δεξαμενή χλωρίωσης – Επιφάνεια ανάντη** **H_6= 11.10847 m**

Εκτιμώμενες τοπικές απώλειες DH=0.040 m.
H_7=11.10847+0.040=11.14847 m

7. <u>Δεξαμενή χλωρίωσης – Φρεάτιο εισροής</u> **H_7=11.14847 m**

$Q(7)=0.51\ m^3/sec$

$L= 16$ m, $D=0.600$ m, $S_k=1.0+0.5=1.5$.

Σημειώνεται ότι L και D είναι το μήκος του αγωγού και η εσωτερική διάμετρος του αντίστοιχα και S_k είναι το άθροισμα των συντελεστών k των επιμέρους τοπικών απωλειών.

Συνεχίζοντας:

$V=Q/A=Q/(\pi*D^2/4)=4Q/(\pi*D^2)=4*0.51/(\pi*0.6^2)=1.8$ m/sec και $V^2/2g=1.8^2/2g=0.1651$ m.

Γραμμικές απώλειες κατά Colebrook – While: $h_f=f*[L/D]*\ V^2/2g$,

Ο συντελεστής σχετικής τραχύτητας k/D ισούται με 0.00259 m/0,6 m=0,0004317, όπου το k (απόλυτη τραχύτητα του αγωγού) λαμβάνεται ίσο με 0,00259 m λόγω του υλικού που είναι χυτοσίδηρος (Γ. Τερζίδης, 1997).

Επίσης, ο αριθμός Reynolds υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης Re=V*D/v, όπου V η μέση ταχύτητα, D η διάμετρος του αγωγού και v το κινηματικό ιξώδες του υγρού, ίσο με $1,01*10^{-6}\ m^2/s$ (Γ. Τερζίδης, 1997).

Από το διάγραμμα Moody (παρ.6.8, Παραρτήματα), υπολογίζουμε τον συντελεστή τριβής f, ίσο με 0,0158.

Άρα $h_f=0.0158*[16/0.6]*\ 0.1651=0.06994$ m

Τοπικές απώλειες $h_1=S_k*\ V^2/2g=1.5*0.1651=0.2489$ m.

$DH=h_f+h_1=0.06994+0.2489=0.3189$ και $H_8=11,14847+0,3189=11,4674$ m.

8. <u>Δεξαμενή καθίζησης – Φρεάτιο εκροής</u> **H_8=11.4674 m**

Θεωρείται ότι η στάθμη των λυμάτων συμπίπτει με τη στάθμη του πυθμένα του περιφερειακού καναλιού στο κατάντη του άκρο, δηλαδή είναι $B_d=11.4674$ m.

Στο ανάντη άκρο η στάθμη του πυθμένα είναι ίση με

$B_u=11.4674+SL=11.4674+0.033=11.5004$ m, όπου S η κλίση του αγωγού.

$Q(8)=0.51/3=0.17\ m^3/sec$.

Πλάτος περιφερειακού καναλιού w=0.60 m.

Το βάθος ροής στο κατάντη άκρο (ελεύθερη πτώση – κρίσιμο βάθος) είναι ίσο με

$Y_d=Y_c=[Q^2/(w^2*g)]^{1/3}=[0.17^2/(0.6^2*g)]^{1/3}=0.202$m

και στο ανάντη άκρο $Y_u=[2*Y_c^3/Y_d + (Y_u-S*L/3)^2]^{1/2} - 2*S*L/3$ (εξίσωση Thomas)=>

$Y_u=0.32$ m.

Οι στάθμες των αποβλήτων στο ανάντη και κατάντη άκρο του περιφερειακού καναλιού είναι ίσες αντίστοιχα με

$H_9= B_d+ Y_d=11.4674 + 0.202=11.67$ m (κατάντη)

$H_{10}= B_u + Y_u=11.5004 + 0.32=11.8212$ m (ανάντη)

9. <u>Δεξαμενή καθίζησης – Περιφερειακό κανάλι – Κατάντη</u> **H_9=11.67 m**

Η πτώση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας των αποβλήτων δίνεται από την εξίσωση $DH=Y_u+S*L-Y_d=0.32+0.033-0.202=0.197$ m.

$H_{10}=11.67+0.197=11.8656$ m.

10. <u>Δεξαμενή καθίζησης – Περιφερειακό κανάλι – Ανάντη</u> **H_{10}=11.8656 m**

Ελεύθερο ύψος DH=0.100 m.

$H_{11}=11.8656+0.100=11.966$ m.

11. Δεξαμενή καθίζησης – Υπερχειλιστής εκροής **H_{11}=11.966 m**

Q(11)=0.51/3=0.17 m^3/sec.
Η διάμετρος της δεξαμενής καθίζησης ισούται με D=22 m. Επίσης για κάθε ένα υπερχειλιστή αντιστοιχεί ανηγμένο μήκος περιφέρειας w (έστω w=0.15 m), οπότε το ύψος υπερχείλισης είναι ίσο με
DH=0.882*$q^{0.4}$, με q=Q/n και n ο αριθμός των υπερχειλιστών τύπου V.
Δηλαδή, n=π*D*w=π*22/0.15=460,53. q=0.17/460,53=0.000369 m^2/sec.
Το ύψος υπερχείλισης είναι DH=0.882*$0.000369^{0.4}$=0.037 m και
H_{12}=11.966 + 0.037=12.003 m.

12. Δεξαμενή καθίζησης – Επιφάνεια **H_{12}=12.003 m**

Q(12)=(0.51+0.201)/3=0.237 m^3/sec.
Συμπεριλαμβάνεται και η παροχή ανακυκλοφορίας, η οποία έχει υπολογιστεί στην παράγραφο 5.3 ίση με 0,200 m^3/s.
Είναι: L=22 m, D=0.500 m και V=Q/A=Q/[π*D2/4]=1,207 m/sec.
Άρα V^2/2g=0,07425 m.
Ο όρος k/D=0,00259/0,5=0,000518 και Re=V*D/v=597703.
Από το διάγραμμα Moody, προκύπτει f=0,0165
Γραμμικές απώλειες h_f=0.0165*[22/0.500]*0.07425=5,19 m.
Τοπικές απώλειες h_1=1.8*0.07425=0.1337 m
Επομένως, DH=0.07425+0,1337=5,3247 m και
H_{13}=5,3247 +12,003=17,327m.

13. Ενδιάμεσο φρεάτιο **H_{13}=17.327 m**

Q(13)=(0.51+0.201)/3=0.237 m^3/sec.
Επίσης, L=16.00 m, D=0.500 m και V=1,207 m/sec, άρα και V^2/2g=0.07425 m.
Ο όρος k/D=0,00259/0,5=0,000518 και Re=V*D/v=597703.
Από το διάγραμμα Moody, προκύπτει f=0,0165
Γραμμικές απώλειες h_f=0.0165*[16/0.500]*0.07425=0.0392 m.
Τοπικές απώλειες h_1=1.5*0.07425=0,111 m
Επομένως, DH=0.0392 +0,111 =0,15 m και H_{14}=17.327+0.15=17.478 m.

14. Φρεάτιο διανομής 2 – Επιφάνεια κατάντη **H_{14}=17.478 m**

Ελεύθερο ύψος DH=0.100 m.
Επομένως H_{15}=17.478+0.100=17.578 m.

15. Φρεάτιο διανομής 2- Υπερχειλιστής **H_{15}=17.578 m**

Το πλάτος υπερχείλισης ισούται με w=2.00 m.
Ισχύει q=Q/w=0.237/2.00=0.1184 m^2/sec.
Το ύψος υπερχείλισης είναι DH=0.664*$q^{0.667}$=0.16 m.
Τέλος, H_{16}=17.578+0.16=17.74 m.

16. <u>Φρεάτιο διανομής 2- Επιφάνεια ανάντη</u> **H_{16}=17.74 m**
Θεωρείται ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο οξειδωτικές τάφροι.
Q(16)= (0.51+0.201)/2=0.355 m^3/sec
L= 6.00 m και D=0.600 m. Άρα $V=4Q/(\pi*D^2)$= 1.257 m/sec
Ο όρος k/D=0,00259/0,6=0,000432 και Re=V*D/v=747129.
Από το διάγραμμα Moody, προκύπτει f=0,0157
$h_f=f*[L/D]* V^2/2g$=0.012657 m
$h_1=S_k* V^2/2g$=0.1209 m
Οπότε και DH= h_f+ h_1=0,1336 m
Τελικά H_{17}=17.74+0.1336=17,87 m.

17. <u>Οξειδωτική τάφρος – Φρεάτιο εκροής</u> **H_{17}=17.87 m**
Ελεύθερο ύψος DH=0.100 m
H_{18}=17.87+0.100=17.97 m.

<u>18. Οξειδωτική τάφρος – Υπερχειλιστής εκροής</u> **H_{18}=17.97 m**
Q(18)=0.355 m^3/sec.
Το πλάτος υπερχείλισης ισούται με w=8.00 m και q=0.355/8=0.0444 m^2/sec
$DH=0.664*q^{0.667}$=0.083 m
H_{19}=17.97+0.083=18.055 m.

19. <u>Οξειδωτική τάφρος – Επιφάνεια</u> **H_{19}=18.055 m**
L=4.00 m και D=0.600 m. Άρα $V=4Q/(\pi*D^2)$= 1.257 m/sec
Ο όρος k/D=0,00259/0,6=0,000432 και Re=V*D/v=747129.
Από το διάγραμμα Moody, προκύπτει f=0,0157
$h_f=f*[L/D]* V^2/2g$=0.0084 m
$h_1=S_k* V^2/2g$=0.12 m.
Οπότε και DH= h_f+ h_1=0,129365 m
Τελικά H_{20}=18.055+0.1294=18.1845 m.

20. <u>Φρεάτιο διανομής 1 – Επιφάνεια κατάντη</u> **H_{20}=18.1845 m**
Ελεύθερο ύψος DH=0.100 m
H_{21}=18.1845+0.100=18.2845 m.

21. <u>Φρεάτιο διανομής 1 – Υπερχειλιστής</u> **H_{21}=18.2845 m**
Q(21)=0.355 m^3/sec
Το πλάτος υπερχείλισης w είναι w=2.00 m, άρα q=0,177m^2/sec
Ύψος υπερχείλισης $DH=0.664*q^{0.667}$=0.209 m
Τελικά H_{22}=18.2845+0.209=18.4943 m.

22. <u>Φρεάτιο διανομής 1- Επιφάνεια ανάντη</u> **H_{22}=18.4943 m**
Q(22)=0.510+0.201=0.710 m^3/sec
L=23.00 m, D=0.800 m και άρα $V=Q/A=4Q/\pi D^2$=1.414 m/sec

Ο όρος k/D=0,00259/0,8=0,003238 και Re=V*D/v=1120693.
Από το διάγραμμα Moody, προκύπτει f=0,0260
Σύμφωνα με τα προηγούμενα:
h_f=0.076 m
h_1=0.306 m
DH= h_f+ h_1=0.382 m
Τελικά H_{23}=18.4943+0.382=18.876 m.

23. <u>Δεξαμενή επιλογής βακτηριδίων- Επιφάνεια</u> H_{23}=18.876 m

Η εισροή και η εκροή στη δεξαμενή γίνεται με σωλήνα. Η στάθμη της επιφάνειας της ρυθμίζεται από τον υπερχειλιστή του φρεατίου διανομής 1. Δεν θεωρείται ότι υπάρχουν σημαντικές απώλειες στη δεξαμενή.

Q(23)=0.710 m^3/sec
L=27.00 m. D=0.800 m και άρα V=1.414 m/sec.
Ο όρος k/D=0,00259/0,8=0,003238 και Re=V*D/v=1120693.
Από το διάγραμμα Moody, προκύπτει f=0,0260
Ανάλογα:
h_f=0.089 m
h_1=0.204 m
DH= h_f+ h_1=0.294 m
Τελικά H_{24}=18.876+0.294=19.17 m.

24. <u>Ενδιάμεσο φρεάτιο – Επιστροφή ανακυκλοφορίας</u> H_{24}=19.17m

Στο φρεάτιο αυτό γίνεται η επιστροφή της ανακυκλοφορίας της ιλύος.
Q(24)=0.710 m^3/sec
L=16.00 m. D=0.800 m και άρα V=1.414 m/sec.
Ο όρος k/D=0,00259/0,8=0,003238 και Re=V*D/v=1120693.
Από το διάγραμμα Moody, προκύπτει f=0,0260
Ανάλογα θα ισχύουν για τις γραμμικές και τοπικές αντίστοιχα απώλειες:
h_f=0.053 m
h_1=0.153 m
DH= h_f+ h_1=0.206 m
Τελικά H_{25}=19.17+0.206=19.38 m.

25. <u>Ενδιάμεσο φρεάτιο</u> H_{25}=19.38 m

Από το σημείο αυτό και ανάντη δεν λαμβάνεται υπόψη η ανακυκλοφορία.
Q(25)=0.510 m^3/sec.
L=33.00 m. D=0.600 m και άρα V=1.804 m/sec.
Ο όρος k/D=0,00259/0,6=0,004317 και Re=V*D/v=1072082.
Από το διάγραμμα Moody, προκύπτει f=0,0285
Ανάλογα θα ισχύουν για τις γραμμικές και τοπικές αντίστοιχα απώλειες:
h_f=0.265m
h_1=0.25 m
DH= h_f+ h_1=0.5 m
Τελικά H_{26}=19.38+0.5=19.88 m.

26. <u>Εξαμμωτές – Επιφάνεια κατάντη εξόδου</u> **H_{26}=19.88 m**
Το ελεύθερο ύψος DH θα ισούται με DH=0.100 m.
Άρα H_{27}=19.88+0.100=19.985 m.

27. <u>Εξαμμωτές – Υπερχειλιστής εκροής</u> **H_{27}=19.985 m**
Θεωρείται ότι λειτουργεί μόνο ο ένας εξαμμωτής.
Q(27)=0.510m^3/sec.
Πλάτος υπερχείλισης w=2.00 m, q=0.510/2=0.255 m^2/sec.
$DH=0.664*q^{0.667}=0.27$ m
H_{28}=19.985+0.27=20,25 m.

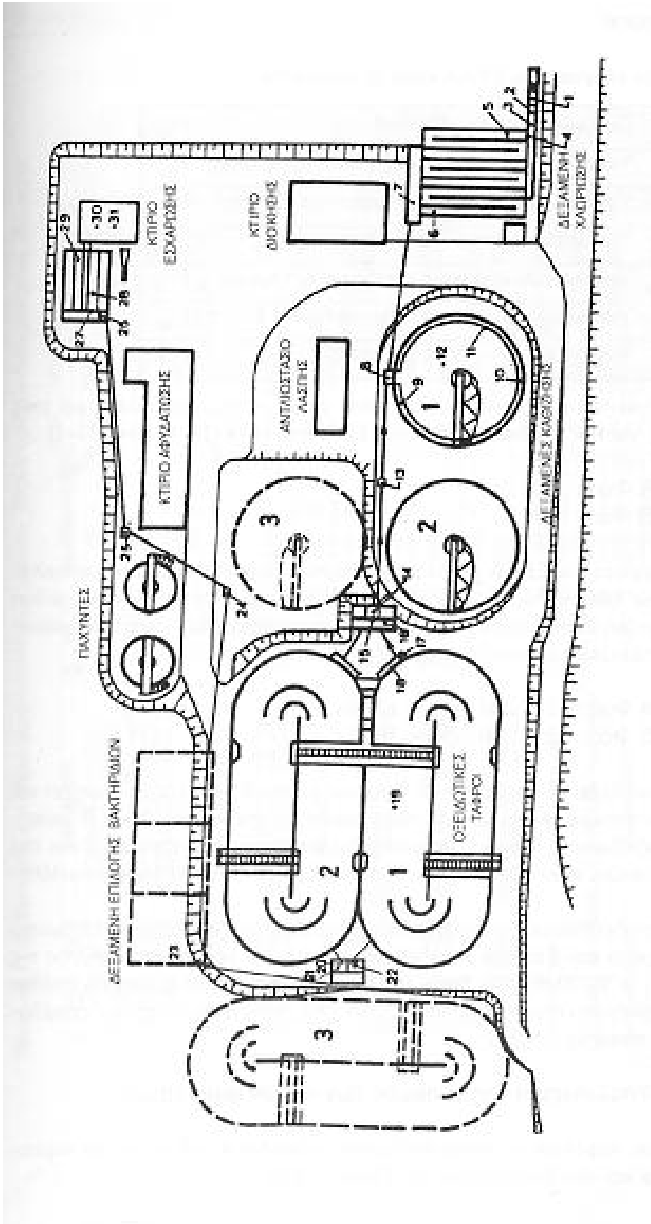
28. <u>Εξαμμωτές – Επιφάνεια κατάντη</u> **H_{28}=20.25 m**
Απώλειες στον εξαμμωτή: DH=0.050 m, κατ' εκτίμηση.
H_{29}=20,25+0.050=20.302 m.

29. <u>Εξαμμωτές – Επιφάνεια ανάντη</u> **H_{29}=20.302 m**
Απώλειες μεταξύ των εσχαρών και των εξαμμωτών: DH=0.050, κατ' εκτίμηση.
H_{30}=20.302+0.050=20.352 m.

30. <u>Εσχάρες- Επιφάνεια κατάντη</u> **H_{30}=20.352 m**
Μέγιστες απώλειες στα διάκενα των εσχαρών:DH=0.200 m.
Άρα H_{31}=20.352+0.200=20.552 m.

31. <u>Εσχάρες- Επιφάνεια ανάντη</u> **H_{31}=20. 552 m**
Το υψόμετρο του πυθμένα της μηχανικής εσχάρας (H_{32}) τίθεται μεγαλύτερο ή ίσο από τη στάθμη του υπερχειλιστή εκροής του εξαμμωτή, ώστε σε περίπτωση που δεν υπάρχει ροή να μην υπάρχουν στάσιμα λύματα στην εσχάρα.
Έστω H_{32}=20.25 m. Το βάθος ροής στις εσχάρες στην παροχή αιχμής προκύπτει ίσο με h_{32}=20,552-20,25=0,302 m.

Η εγκατάσταση στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι υδραυλικοί υπολογισμοί παρατίθεται στη συνέχεια σχηματικά.


ΚΤΙΡΙΟ ΕΣΧΑΡΩΣΗΣ
ΚΤΙΡΙΟ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΛΑΣΠΗΣ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ
ΠΑΧΥΝΤΕΣ
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΒΑΚΤΗΡΙΔΙΩΝ
ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΕΣ ΤΑΦΡΟΙ
ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

6.1 ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1

Είδος ΕΙ	Επιφ. φόρτιση, m^3/m^2, d		Φόρτιση στερεών, Kg/m^2, h	
	Μέση	Μέγιστη	Μέση	Μέγιστη
Συμβατική	16-32	40-48	3-6	9
Παρατεταμένος αερισμός	8-16	24-32	1-5	7

Πίνακας 2

C_i, mg/l	SF_g, kg/m^2,h
1000	4,20
2000	9,25
3000	10,20
4000	9,50
5000	7,15
6000	5,55
7000	4,60
8000	4,00
9000	3,55
10000	3,25
11000	3,00
12000	2,75
13000	2,60
14000	2,40
15000	2,35

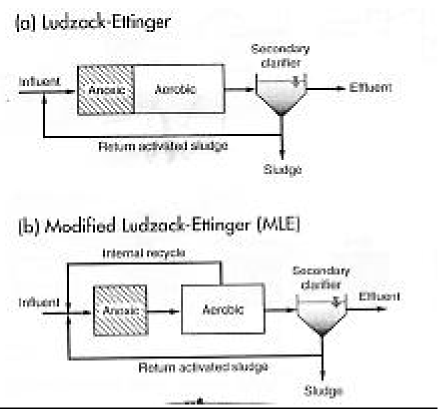
Πίνακας 3

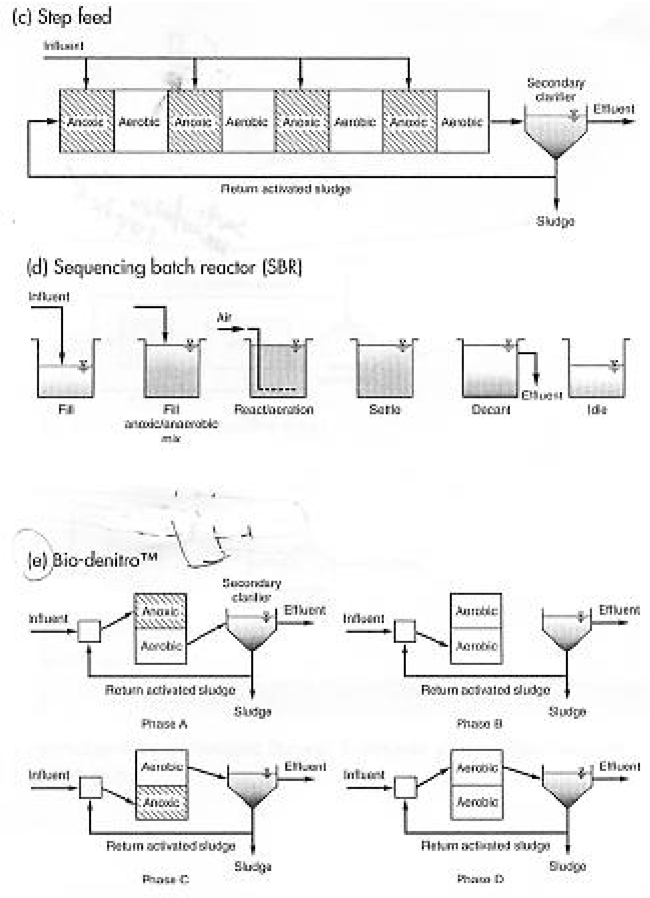
B_o/TN_o	4	5	6	7	8	9
$\nu = X_N/X$	0.064	0.054	0.043	0.037	0.033	0.029

Πίνακας 4

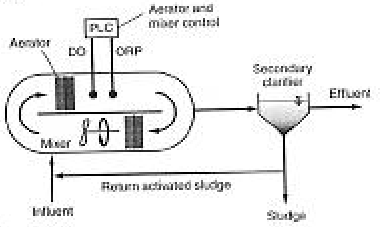
Θερμοκρασία °C	Συγκέντρωση χλωριούχων, mg/l				
	0	5.000	10.000	15.000	20.000
0	14.62	13.79	12.97	12.14	11.32
1	14.23	13.41	12.61	11.82	11.03
2	13.84	13.05	12.28	11.52	10.76
3	13.48	12.72	11.98	11.24	10.50
4	13.13	12.41	11.69	10.97	10.25
5	12.80	12.09	11.39	10.70	10.01
6	12.48	11.79	11.12	10.45	9.78
7	12.17	11.51	10.85	10.21	9.57
8	11.87	11.24	10.61	9.98	9.36
9	11.59	10.97	10.36	9.76	9.17
10	11.33	10.73	10.13	9.55	8.98
11	11.08	10.49	9.92	9.35	8.80
12	10.83	10.28	9.72	9.17	8.62
13	10.60	10.05	9.52	8.98	8.46
14	10.37	9.85	9.32	8.80	8.30
15	10.15	9.65	9.14	8.63	8.14
16	9.95	9.46	8.96	8.47	7.99
17	9.74	9.26	8.78	8.30	7.84
18	9.54	9.07	8.62	8.15	7.70
19	9.35	8.89	8.45	8.00	7.56
20	9.17	8.73	8.30	7.86	7.42
21	8.99	8.57	8.14	7.71	7.28
22	8.83	8.42	7.99	5.57	7.14
23	8.68	8.27	7.85	7.43	7.00
24	8.53	8.12	7.71	7.30	6.87
25	8.38	7.96	7.56	7.15	6.74
26	8.22	7.81	7.42	7.02	6.61
27	8.07	7.67	7.28	6.88	6.49
28	7.92	7.53	7.14	6.75	6.37
29	7.77	7.39	7.00	6.62	6.25
30	7.63	7.25	6.86	6.49	6.13

6.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ – ΣΧΗΜΑΤΑ- ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ



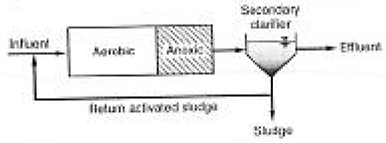


(f) Nitrox™

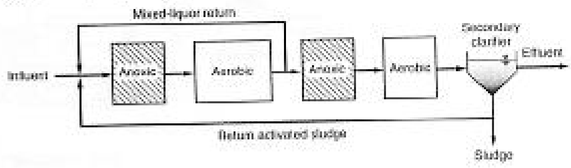


Postanoxic

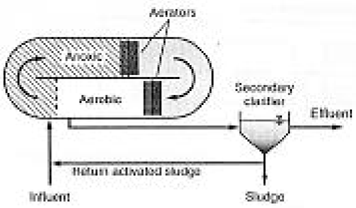
(g) Single-sludge



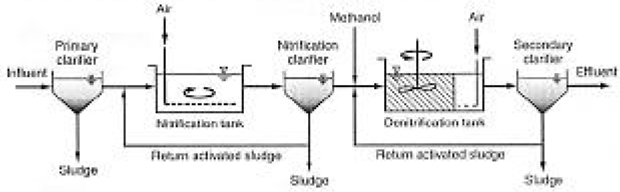
(h) Bardenpho (4-stage)



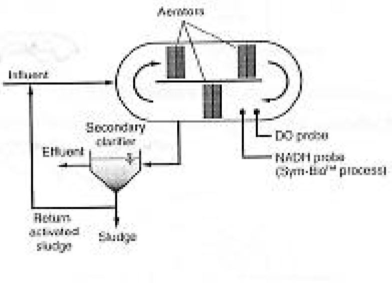
(i) Oxidation ditch



(j) Two-stage (two-sludge) with an external carbon source

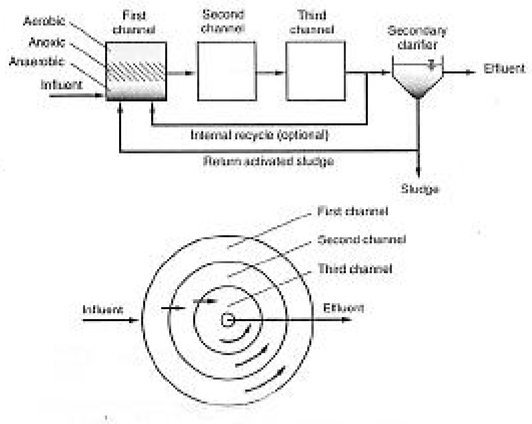


(k) Low DO oxidation ditch



Simultaneous nitrification/denitrification (*Continued*)

(l) Orbal™



Nitrogen removal from digested sludge processing recycle flows

(m) Sharon (single-reactor high-activity ammonia removal over nitrite)

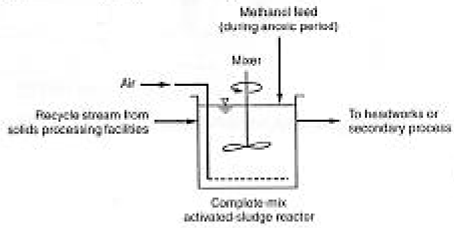
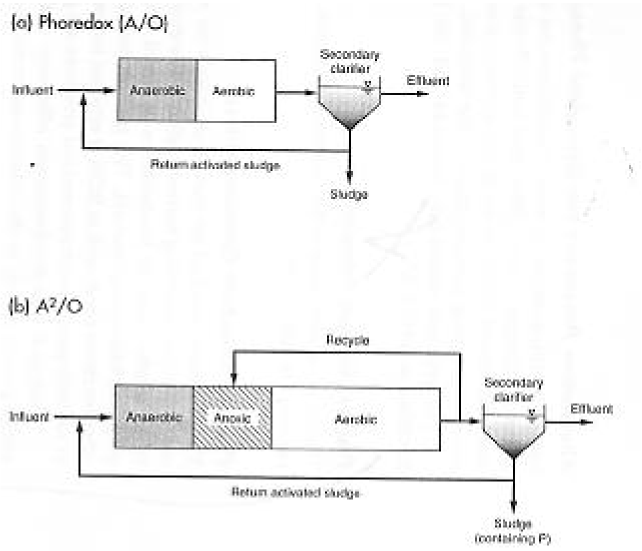
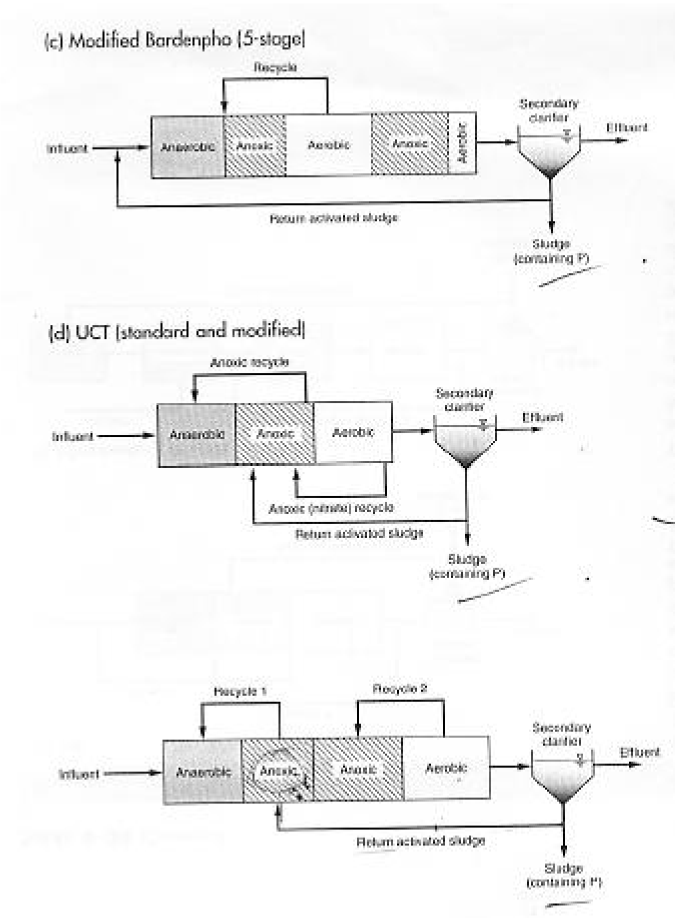


Table 8-22
Typical design parameters for commonly used nitrogen-removal processes

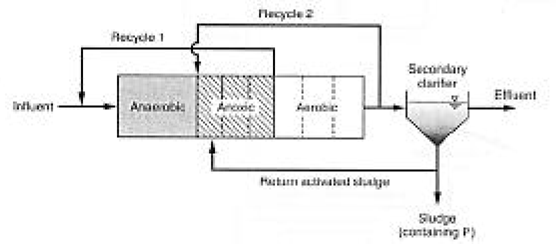
Design parameter/ process	SRT, d[a]	MLSS, mg/L	τ, h Total	τ, h Anoxic zone	τ, h Aerobic zone	RAS, % of influent	Internal recycle, % of influent
MLE	7–20	3000–4000	5–15	1–3	4–12	50–100	100–200
SBR	10–30	3000–5000	20–30	Variable	Variable		
Bardenpho (4-stage)	10–20	3000–4000	8–20	1–3 (1st stage)	4–12 (2nd stage)	50–100	200–400
				2–4 (3rd stage)	0.5–1 (4th stage)		
Oxidation ditch	20–30	2000–4000	18–30	Variable	Variable	50–100	
Bio-denitro™	20–40	3000–4000	20–30	Variable	Variable	50–100	
Orbal™	10–30	2000–4000	10–20	6–10	3–6 (1st stage)	50–100	Optional
					2–3 (2nd stage)		

6.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ – ΣΧΗΜΑΤΑ- ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

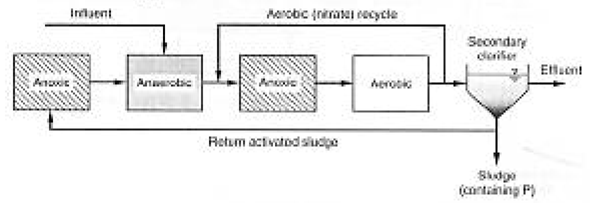




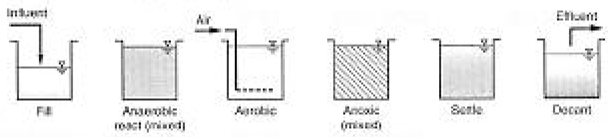
(e) VIP



(f) Johannesburg process



(g) SBR with biological phosphorus removal



(h) PhoStrip

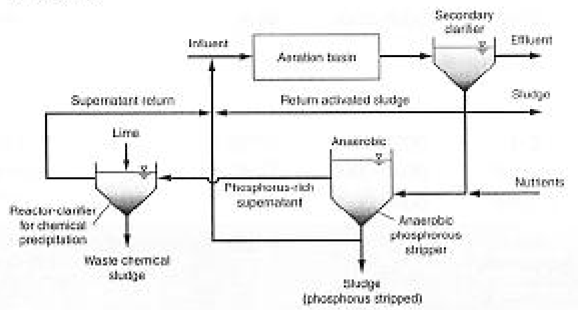
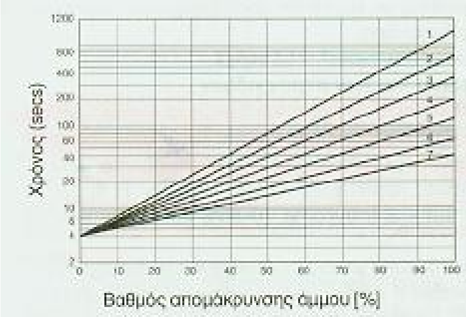


Table 8-26
Typical design parameters for commonly used biological phosphorus-removal processes[a]

Design parameter/process	SRT, d	MLSS, mg/L	τ, h Anaerobic zone	Anoxic zone	Aerobic zone	RAS, % of influent	Internal recycle, % of influent
A/O	2–5	3000–4000	0.5–1.5	—	1–3	25–100	
A^2/O	5–25	3000–4000	0.5–1.5	0.5–1	4–8	25–100	100–400
UCT	10–25	3000–4000	1–2	2–4	4–12	80–100	200–400 (anoxic) 100–300 (aerobic)
VIP	5–10	2000–4000	1–2	1–2	4–6	80–100	100–200 (anoxic) 100–300 (aerobic)
Bardenpho (5-stage)	10–20	3000–4000	0.5–1.5	1–3 (1st stage) 2–4 (2nd stage)	4–12 (1st stage) 0.5–1 (2nd stage)	50–100	200–400
PhoStrip	5–20	1000–3000	8–12		4–10	50–100	10–20
SBR	20–40	3000–4000	1.5–3	1–3	2–4		

[a] Adapted from WEF (1998).

6.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ KALBSKOPF



	Χρόνος (secs)	Μέγεθος άμμου (mm)
1	1100	0.125 - 0.160
2	700	0.160 - 0.200
3	366	0.200 - 0.250
4	200	0.250 - 0.315
5	125	0.315 - 0.400
6	66	0.400 - 0.500
7	42	0.500 - 0.800

6.5 ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ (Βιολογική επεξεργασία)

DO (mg/l)	Διαλυμένο οξυγόνο	**VSS (mg/l)**	Πτητικά αιωρούμενα στερεά
F/M	Λόγος τροφής προς μικροοργανισμούς	**MLVSS (mg/l)**	Πτητικά αιωρούμενα στερεά ανάμικτου υγρού
L_{org} (kg/m^3*d)	Ογκομετρικό	**MLSS (mg/l)**	Αιωρούμενα στερεά

	οργανικό φορτίο		ανάμικτου υγρού
μ (d^{-1})	Ρυθμός ανάπτυξης μικροοργανισμών	**X (mg/l)**	Συγκέντρωση βιομάζας
$μ_{n,m}$ (d^{-1})	Μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητικών μικροοργανισμών	**X_e (mg/l)**	Συγκέντρωση βιομάζας στην εκροή
Q (m^3/d)	Παροχή σχεδιασμού	**X_R (mg/l)**	Συγκέντρωση βιομάζας στην γραμμή επιστροφής ιλύος
Q_w (m^3/d)	Παροχή περίσσειας λάσπης	**θ (d)**	Ηλικία ιλύος
TSS (mg/l)	Ολικά αιωρούμενα στερεά	**τ (d)**	Υδραυλικός χρόνος παραμονής
TKN (mg/l)	Ολικό άζωτο	**S_o (mg/l)**	BOD εισροής
N (mg/l)	Συγκέντρωση αζώτου	**T (^oC)**	Θερμοκρασία λειτουργίας
BOD (mg/l)	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο	**NO_X(mg/l)**	Συγκέντρωση αζώτου που νιτροποιείται
COD (mg/l)	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο	**$P_{X,VSS}$ (kg VSS/d)**	Καθαρό υπόλειμμα ενεργού ιλύος που παράγεται σαν VSS βιοαποικοδομήσιμα και μη
sBOD (mg/l)	Διαλυτό βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο	**$P_{X,TSS}$ (kg TSS/d)**	Ολική μάζα στερεών που περιλαμβάνει VSS και TSS
pCOD (mg/l)	Σωματιδιακό χημικά απαιτούμενο οξυγόνο	**$P_{X,bio}$ (kg VSS/d)**	Βιομάζα που παράγεται σαν VSS βιοαποικοδομήσιμα
V (m^3)	Όγκος	**<u>AOTR (kg/h) ή R_0</u>**	Ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου υπό συνθήκες πεδίου
R	Λόγος ανακυκλοφορίας λάσπης	**<u>SOTR (kg/h)</u>**	Καθορισμένος ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου
f_d (g VSS/m^3-d)	ποσοστό της βιομάζας που σχετίζεται με τον ρυθμό ενδογενούς αποσύνθεσης (g VSS/m^3-d)	**β**	Συντελεστής που χρησιμοποιείται για να διορθώσει τον ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου στο σύστημα λόγω διαφορών στην διαλυτότητα του οξυγόνου εξαιτίας συστατικών όπως είναι τα άλατα κτλ
k_d (d^{-1})	Συντελεστής αποσύνθεσης μικροοργανισμών. Συμβολίζεται ως **k_{dn}** για τους νιτροποιητικούς και **b_H** για τους ετεροτροφικούς	**$C^*_{s,,T,H}$(mg/l)**	μέση συγκέντρωση κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου στο καθαρό νερό, στη δεξαμενή αερισμού σε θερμοκρασία T και υψόμετρο H. (mg/l)
Y_n	Συντελεστής	**$C_{s,,T,H}$(mg/l)**	συγκέντρωση

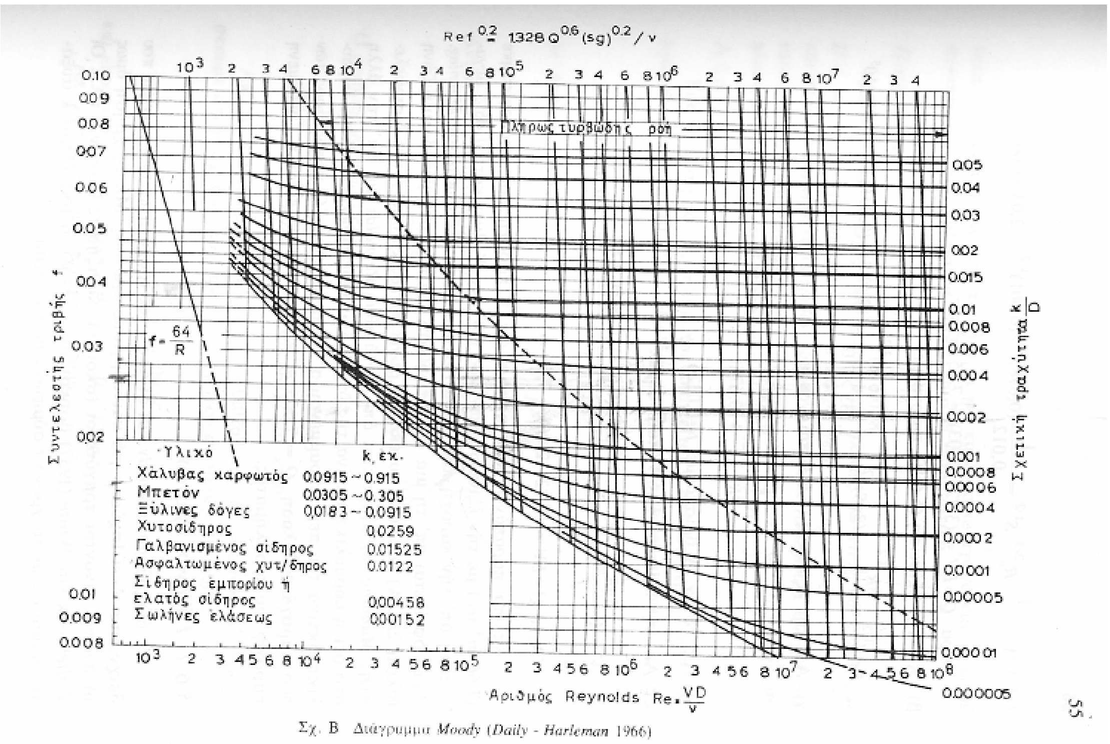
	απόδοσης αύξησης, που δηλώνει τη βιομάζα που παράγεται ανά μονάδα μάζας χρησιμοποιημένου υποστρώματος		κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου στο καθαρό νερό, σε θερμοκρασία Τ και υψόμετρο Η
nb VSS (mg/l)	Μη βιοαποικοδομήσημα πτητικά αιωρούμενα στερεά στην εισροή	**P_d (kPa)**	πίεση στο βάθος της διαφυγής αέρα
S_0 (mg/l)	b COD ή βιοαποικοδομήσιμο COD στην εισροή	**$P_{atm,H}$ (kPa)**	ατμοσφαιρική πίεση σε υψόμετρο Η
S (mg/l)	Η συγκέντρωση του βιοαποικοδομήσιμου COD στη διάλυση	**$P_{w,mid\ depth}$ (kPa)**	πίεση στο μισό του βάθους πάνω από το σημείο της διαφυγής αέρα
k_T (d)	Συντελεστής ρυθμού αντίδρασης σε θερμοκρασία_Τ	**O_t (mg/l)**	το % οξυγόνο που διαφεύγει από τη δεξαμενή
m_{TN}^{in} και m_{TN}^{out} (kg/d)	Μάζα ολικού αζώτου στην είσοδο και την έξοδο	**C_L (mg/l)**	συγκέντρωση οξυγόνου λειτουργίας
$m_{NH4\text{-}N}^{out}$ (kg/d)	Μάζα αμμωνιακών στην έξοδο	**$C_{s,20}$ (mg/l)**	συγκέντρωση κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου στο καθαρό νερό, σε θερμοκρασία 20ºC και 1 atm
$m_{ΟΡΓ}^{out}$ (kg/d)	Μάζα οργανικού αζώτου στην έξοδο	**α**	συντελεστής διόρθωσης για την εκτίμηση του συντελεστή μεταφοράς μάζας οξυγόνου(k_Lα) στο πραγματικό σύστημα, ίσος με k_Lα (υγρό λύμα)/ k_Lα (H_2O
$m_{NO3\text{-}N}^{out}$ (kg/d)	Μάζα νιτρικών στην έξοδο	**$ρ_α$ (kg/m^3)**	Πυκνότητα αέρα
m_{TN}^{waste} (kg/d)	Μάζα ολικού αζώτου σαν υπόλειμμα	**k_{SH} (mg/l)**	Συντελεστής ημικορεσμού για τα ετεροτροφικά βακτήρια
$m_{NH4\text{-}N}^{waste}$(kg/d)	Μάζα αμμωνιακών σαν υπόλειμμα	**Q_R (m^3/d)**	Παροχή ανακυκλοφορίας ιλύος
$m_{ΟΡΓ}^{waste}$(kg/d)	Μάζα οργανικού αζώτου σαν υπόλειμμα	**SLR (kg MLSS/m^2-h)**	Φόρτιση στερεών
$m_{NO3\text{-}N}^{waste}$(kg/d)	Μάζα νιτρικών σαν υπόλειμμα	**ΥΦ (m^3/m^2-d)**	Υδραυλική φόρτιση
$m_{NO3\text{-}N}^{απονιτροποίηση}$ (kg/d)	Μάζα νιτρικών προς απονιτροποίηση	**A (m^2)**	Επιφάνεια δεξαμενών
$μ_{dn}$ (kg NO_3-N/kg VSS-d)	Ρυθμός απονιτροποίησης	**L (m)**	Μήκος

A και B	συντελεστές για μονοβάθμιο σύστημα- αφθονία άνθρακα	**C (mg/l)**	Συγκέντρωση
R (cal/gr-mole-K)	παγκόσμια σταθερά των αερίων	**U (m/sec)**	Ταχύτητα

6.6 ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ (Υδραυλικοί υπολογισμοί)

Q (m^3/s)	Παροχή αιχμής	k	Απόλυτη τραχύτητα αγωγού
Q_R (m^3/s)	Παροχή ανακυκλοφορίας	Sk	Αθροιστικός συντελεστής επιμέρους τοπικών απωλειών
w (m)	Πλάτος στένωσης διαύλου	k/D	Σχετική τραχύτητα
L (m)	Μήκος αγωγού	n	Αριθμός υπερχειλιστών
D(m)	Διάμετρος αγωγού	N	Αριθμός λωρίδων δεξαμενής
DH (m)	Πτώση στάθμης ή ελεύθερο ύψος	g (m/s^2)	Επιτάχυνση της βαρύτητας
h_f (m)	Γραμμικές απώλειες	v (m^2/s)	Κινηματικό ιξώδες υγρού
h_l (m)	Τοπικές απώλειες	Re	Αριθμός Reynolds
H (m)	Στάθμη αποβλήτων	f	Συντελεστής τριβής
V (m/s)	Μέση ταχύτητα	Y_d (m)	Βάθος ροής κατάντη
q (m^2/s)	Ανηγμένη παροχή	Y_u (m)	Βάθος ροής ανάντη
S (%)	Κλίση αγωγού	B_d (m)	Στάθμη πυθμένα κατάντη
π (m)	Πλάτος υπερχείλισης	B_u (m)	Στάθμη πυθμένα ανάντη

6.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ MOODY



Σχ. Β Διάγραμμα *Moody* (*Daily - Harleman* 1966)

6.8 ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Table B–1
Molecular weight, specific weight, and density of gases found in wastewater at standard conditions (0°C, 1 atm)[a]

Gas	Formula	Molecular weight	Specific weight, lb/ft^3	Density g/L
Air	—	28.97	0.0808	1.2928
Ammonia	NH_3	17.03	0.0482	0.7708
Carbon dioxide	CO_2	44.00	0.1235	1.9768
Carbon monoxide	CO	28.00	0.0781	1.2501
Hydrogen	H_2	2.016	0.0056	0.0898
Hydrogen sulfide	H_2S	34.08	0.0961	1.5392
Methane	CH_4	16.03	0.0448	0.7167
Nitrogen	N_2	28.02	0.0782	1.2507
Oxygen	O_2	32.00	0.0892	1.4289

[a] Adapted from Perry, R. H., D. W. Green, and J. O. Maloney (eds.) (1984) *Chemical Engineers' Handbook*, 6th ed., McGraw-Hill, New York.

Table B–2
Composition of dry air at 0°C and 1.0 atmosphere[a]

Gas	Formula	Percent by volume[b,c]	Percent by weight
Nitrogen	N_2	78.03	75.47
Oxygen	O_2	20.99	23.18
Argon	Ar	0.94	1.30
Carbon dioxide	CO_2	0.03	0.05
Other[d]	—	0.01	—

[a] Values reported in the literature vary depending on the standard conditions.
[b] Adapted from *North American Combustion Handbook*, 2d ed., North American Mfg. Co., Cleveland, OH.
[c] For ordinary purposes air is assumed to be composed of 79 percent N_2 and 21 percent O_2 by volume.
[d] Hydrogen, neon, helium, krypton, xenon.
Note: $(0.7803 \times 28.02) + (0.2099 \times 32.00) + (0.0094 \times 39.95) + (0.0003 \times 44.00) = 28.97$ (see Table B–1).

B–1 DENSITY OF AIR AT OTHER TEMPERATURES

In SI units

The following relationship can be used to compute the density of air ρ_a.

$$\rho_a = \frac{PM}{RT}$$

where P = atmospheric pressure = $1.01325 \cdot 10^5$ N/m^2
M = mole of air (see Table B–1) = 28.97 kg/kg-mole
R = universal gas constant = 8314 N·m/kg-mole·K
T = temperature, K (Kelvin) = (273.15 + °C)

For example, at 20°C, the density of air is

$$\rho_{a,20^\circ\mathrm{C}} = \frac{(1.01325 \times 10^5\ \mathrm{N/m^2})(28.97\ \mathrm{kg/kg\text{-}mole})}{(8314\ \mathrm{N \cdot m/kg\text{-}mole \cdot K})[(273.15 + 20)\mathrm{K}]} = 1.204\ \mathrm{kg/m^3}$$

In U.S. customary units

The following relationship can be used to compute the specific weight of air γ_a at other temperatures at atmospheric pressure.

$$\gamma_a = \frac{P\ (144\ \mathrm{in^2/ft^2})}{RT}$$

where P = atmospheric pressure = 14.7 lb/in^2
R = universal gas constant = 53.3 ft·lb/lb-air·°R
T = temperature, °R (Rankine) = (459.67 + °F)

For example, at 68°F, the specific weight of air is

$$\gamma_{a,68^\circ\mathrm{F}} = \frac{(14.7\ \mathrm{lb/in^2})(144\ \mathrm{in^2/ft^2})}{(53.3\ \mathrm{ft \cdot lb/lb\text{-}air \cdot ^\circ R})[(459.67 + 68)^\circ\mathrm{R}]} = 0.0753\ \mathrm{lb/ft^3}$$

B–2 CHANGE IN ATMOSPHERIC PRESSURE WITH ELEVATION

In SI units

The following relationship can be used to compute the change in atmospheric pressure with elevation:

$$\frac{P_b}{P_a} = \exp\left[-\frac{gM\ (z_b - z_a)}{RT}\right]$$

where P = pressure, 1.01325×10^5 N/m^2
g = 9.81 m/s^2
M = mole of air (see Table B–1) = 28.97 kg/kg-mole
z = elevation, m

R = universal gas constant = 8314 N·m/kg-mole·K

= 8314 kg·m^2/s^2·kg-mole·K

T = temperature, K (Kelvin) = (273.15 + °C)

In U.S. customary units

The following relationship can be used to compute the change in atmospheric pressure with elevation.

$$\frac{P_b}{P_a} = \exp\left[-\frac{gM(z_b - z_a)}{g_c RT}\right]$$

where P = pressure, lb/in^2

g = 32.2 ft/s^2

g_c = 32.2 ft·lb$_m$/lb·s^2

M = mole of air (see Table B–1) = 28.97 lb/lb-mole

z = elevation, ft

R = universal gas constant = 53.3 ft·lb/lb-air·°R

T = temperature, °R = (459.67+ °F)

Table D-1
Dissolved-oxygen concentration in water as a function of temperature and salinity (barometric pressure = 760 mm Hg[a]

Temp. °C	Dissolved-oxygen concentration, mg/L — Salinity, parts per thousand: 0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	14.60	14.11	13.64	13.18	12.74	12.31	11.90	11.50	11.11	10.74
1	14.20	13.73	13.27	12.83	12.40	11.98	11.58	11.20	10.83	10.46
2	13.81	13.36	12.91	12.49	12.07	11.67	11.29	10.91	10.55	10.20
3	13.45	13.00	12.58	12.16	11.76	11.38	11.00	10.64	10.29	9.95
4	13.09	12.67	12.25	11.85	11.47	11.09	10.73	10.38	10.04	9.71
5	12.76	12.34	11.94	11.56	11.18	10.82	10.47	10.13	9.80	9.48
6	12.44	12.04	11.65	11.27	10.91	10.56	10.22	9.89	9.57	9.27
7	12.13	11.74	11.37	11.00	1065	10.31	9.98	9.66	9.35	9.06
8	11.83	11.46	11.09	10.74	10.40	10.07	9.75	9.44	9.14	8.85
9	11.55	11.19	10.83	10.49	10.16	9.84	9.53	9.23	8.94	8.66
10	11.28	10.92	10.58	10.25	9.93	9.62	9.32	9.03	8.75	8.47
11	11.02	10.67	10.34	10.02	9.71	9.41	9.12	8.83	8.56	8.30
12	10.77	10.43	10.11	9.80	9.50	9.21	8.92	8.65	8.38	8.12
13	10.53	10.20	9.89	9.59	9.30	9.01	8.74	8.47	8.21	7.96
14	10.29	9.98	9.68	9.38	9.10	8.82	8.55	8.30	8.04	7.80
15	10.07	9.77	9.47	9.19	8.91	8.64	8.38	8.13	7.88	7.65
16	9.86	9.56	9.28	9.00	8.73	8.47	8.21	7.97	7.73	7.50
17	9.65	9.36	9.09	8.82	8.55	8.30	8.05	7.81	7.58	7.36
18	9.45	9.17	8.90	8.64	8.39	8.14	7.90	7.66	7.44	7.22
19	9.26	8.99	8.73	8.47	8.22	7.98	7.75	7.52	7.30	7.09
20	9.08	8.81	8.56	8.31	8.07	7.83	7.60	7.38	7.17	6.96
21	8.90	8.64	8.39	8.15	7.91	7.69	7.46	7.25	7.04	6.84
22	8.73	8.48	8.23	8.00	7.77	7.54	7.33	1.12	6.91	6.72
23	8.56	8.32	8.08	7.85	7.63	7.41	7.20	6.99	6.79	6.60
24	8.40	8.16	7.93	7.71	7.49	7.28	7.07	6.87	6.68	6.49
25	8.24	8.01	7.79	7.57	7.36	7.15	6.95	6.75	6.56	6.38

(continued)

6.9 ΑΡΧΕΙΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΟΡΙΝΘΟΥ - ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ

	ΓΡΑΜΜΗ ΚΟΡΙΝΘΟΥ (2002)											
	ΕΙΣΟΔΟΣ											
Μήνας	Q_{in}	pH	θ	BOD_5	COD^{sol}	COD^{tot}	COD/BOD_5	SS_{in}	$N\text{-}NH_4$	TN	$N\text{-}NH_4/TN$	TP
	m^3/d		*^oC*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*		*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*		*mg/L*
1	2531	7,69	16,5	416		833	2,21	210	45,13	78,7	0,57	12,2
2	2583	7,64	18,1	470		674	1,58	126	57,75	69,5	0,83	8,8
3	2900	7,55	18,6	310	194	744	2,40	196	56,00	73,0	0,77	13,5
4	2703	7,38	15,9		225	606		140	47,50	70,4	0,81	11,5
5	2829	7,22	16,0		195	636		179		81,0		12,0
6	2949	7,48	21,5		204	694		170	52,00	81,3	0,70	12,1
7	2908	7,34	25,8		197	584		99	47,33	59,7	0,79	11,1
8	3053	7,45	25,5			601		111	44,25	54,0	0,82	9,7
9	3004	7,51	24,3			718		180	46,25	76,0	0,61	11,4

10	2944	7,51	22,0			685		214				11,2
11	2924	7,41	20,1			679		182	50,50	69,0	0,73	11,8
12	3290	7,44	18,4			570		130	42,50	80	0,53	14,2
Μ.Ο.	**2885**	**7,47**	**20,2**	**399**	**203**	**669**	**2,06**	**161**	**48,92**	**72,1**	**0,72**	**11,6**

ΕΞΟΔΟΣ													
Q_{out}	pH	θ	DO	BOD_5	COD^{sol}	COD^{tot}	COD/BOD_5	SS_{out}	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3$	TN	TP	$PO_4\text{-}P$
m^3		*^oC*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*		*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/l*
2304	7,65	15,1	6,02	9		43	5,61	9	1,10	4,0	2,8	5,5	
2349	7,55	16,8	5,01			34		14	0,37	3,9	6,2	6,4	
2775	7,50	17,6	4,91		27	66		29	0,60	1,1		4,6	
2727	7,54	18,2	5,63		25	82		36	0,45	2,0	2,3	4,3	
2614	7,45	22,2			32	48		13	1,27	1,3	3,1	3,5	3,44
2732	7,52	24,1			26	40		11	1,92	1,0	3,2	4,4	3,58
2653	7,61	25,9			24	39		3	1,05	1,1		4,5	4,08
2858	7,65	25,2				33		5	0,56	1,4		2,3	
2815	7,58	23,9				27		6	1,18	1,2		3,0	
2718	7,62	21,8				60		18	0,53	4,3		4,4	
2760	7,50	19,5				99		25	0,30	2,5		5,8	
3269	7,49	17,8				54		32	1,35	1,1		7,1	
2714	**7,55**	**20,7**	**5,39**	**9**	**27**	**52**	**5,61**	**17**	**0,89**	**2,1**	**3,5**	**4,6**	

	ΓΡΑΜΜΗ ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ (2002)											
	ΕΙΣΟΔΟΣ											
Μήνας	Q_{in}	pH	θ	BOD_5	COD^{sol}	COD^{tot}	COD/BOD_5	SS_{in}	$N\text{-}NH_4$	TN	$N\text{-}NH_4/TN$	TP
	m^3/d		*^oC*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*		*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*		*mg/L*
1	1940	7,71	15,3	348		512	1,67	101	40,00	72,0	0,55	9,8
2	1913	7,67	17,3	240		520	1,45	107	55,75	79,5	0,68	7,9
3	2049	7,50	17,7	210	109	477	2,27	74	58,50	77,0	0,76	6,5
4	2102	7,52	15,5		182	590		259	54,33	63,8	0,87	9,0
5	2166	7,17	13,7		168	580		176		71,0		10,7
6	2651	7,10	20,4		191	683		202	55,00	72,0	0,72	13,5
7	3566	7,22	26,1		193	625		166	36,00	54,7	0,68	8,7
8	4045	7,26	25,8			702		191	38,75	50,5	0,77	12,7
9	3122	7,35	24,6			803		330	33,50	84,5	0,40	13,8
10	2354	7,44	22,0			640		264				22,2
11	2094	7,41	19,9			585		188	48,75	77,0	0,63	19,7
12	2010	7,37	18,0			564		190	39,00	78,0	0,50	18,2

Μ.Ο.	**2501**	**7,39**	**19,7**	**266**	**169**	**607**	**1,80**	**187**	**45,96**	**70,9**	**0,66**	**13**

ΕΞΟΔΟΣ													
Q_{out}	pH	θ	DO	BOD_5	COD^{sol}	COD^{tot}	COD/BOD_5	SS_{out}	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3$	TN	TP	$PO_4\text{-}P$
m^3		*^oC*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*		*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/l*
1826	7,69	14,3	5,69	8		35	5,48	3	1,47	8,6	11,9	6,7	
1781	7,60	16,5	4,09	20		40	2,25	1	1,52	6,7	10,3	6,0	
1874	7,59	17,3	6,12		19	22		6	1,21	11,1		7,4	
1981	7,61	17,8	4,42		22	27		2	1,39	7,9	11,3	8,7	
2030	7,44	23,6			24	33		4	1,92	2,2		10,4	
2437	7,50	24,5			24	33		4	3,58	1,4	5,4	8,0	7,71
3303	7,58	26,1			24	33		3	3,80	1,0		4,5	4,95
3746	7,59	25,3				37		6	4,20	1,0		5,7	
2782	7,56	23,9				36		10	5,18	2,0		7,3	
2129	7,58	21,4				38		5	1,58	5,5		9,3	
1830	7,45	19,0				25		6	1,91	8,7		10,5	
1898	7,48	17,2				28		5	1,59	3,1		7,9	
2301	**7,55**	**20,6**	**5,08**	**14**	**22**	**32**	**3,86**	**5**	**2,45**	**4,9**	**9,7**	**7,7**	

	ΓΡΑΜΜΗ ΚΟΡΙΝΘΟΥ (2002)											
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ Μ/Ο				**ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΕΡΙΣΜΟΥ**							
Μήνας	MLSS	pH	θ	D. O.	MLSS	TS	MLVSS	MLVSS/MLSS	OUR	θc	Καθιζ.	DSVI
	mg/L		*^oC*		*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*		mgO_2/grVSS hr	*d*	*mL*	*mL/g*
1	4050	7,48	15,2	0,80	3733	5758	3035	0,84		25	232	158
2	3588	7,61	17,8	0,62	3305	5135	2817	0,85	3,94	23	144	175
3	4023	7,46	17,1	0,65	3935	5395	3309	0,84		23	172	175
4	3220	7,52	17,8	0,40	3074	4580	2616	0,85		25	138	178
5					3310		2778	0,82		24	134	144
6	2828	7,30	24,3	0,25	3145	4833	2518	0,82		22	172	135
7	2820	7,33	26,6	0,40	3285	5118	2700	0,83		25	196	120
8					3777	5875	2917	0,81		27	196	104
9					4310	6180	3407	0,79		29	241	112
10					3743	5778	2878	0,77		21	130	128

11					3533	5640	2850	0,81		24	127	144
12					3000	5320	2660	0,89		20	93	125
M.O.	**3422**	**7,45**	**19,8**	**0,52**	**3512**	**5419**	**2874**	**0,83**	**3,94**	**24**	**165**	**141**

ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ			**ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ**
Q_r	%	SS_r	Q_w
m^3		*mg/L*	*m^3*
2997	119	6215	91
2602	101	7522	72
2662	91	8491	77
3137	115	6180	76
2479	87	6980	73
2412	82	6440	84
2374	83	6390	78
2848	92		70
2998	103	8000	70
3060	104	6500	104
3391	117		85
2940	89		86
2825	**99**	**6969**	**81**

	ΓΡΑΜΜΗ ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ (2002)											
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ Μ/Ο				**ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΕΡΙΣΜΟΥ**							
Μήνας	MLSS	pH	θ	D. O.	MLSS	TS	MLVSS	MLVSS/MLSS	OUR	θc	Καθιζ.	SVI
	mg/L		*^oC*		*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*		mgO_2/grVSS hr	*d*	*mL*	*mL/g*
1	3558	7,56	15,0	0,55	3770	4704	3060	0,82		24	250	67
2	4095	7,61	17,1	0,33	3977	4838	3220	0,83	2,70	22	197	91
3	2913	7,53	17,1	0,40	3891	4457	3663	0,95		26	202	104
4	4623	7,46	17,0	0,66	4024	5350	3327	0,83		27	247	123
5					3849		3258	0,82		25	198	103
6	2943	7,18	25,1	0,46	3632	4433	2922	0,82		21	142	78
7	3560	7,03	26,5	0,50	4044	4942	3270	0,82		25	229	114
8					4803	5890	4053	0,81		32	188	134
9					4833	5883	4000	0,83		36	172	143
10					4858	5928	3816	0,79		25	198	163

11						4891	5813	3910	0,80			198	162
12						4753	6060	3860	0,81		33	186	157
M.O.		**3615**	**7,40**	**19,6**	**0,48**	**4277**	**5300**	**3530**	**0,83**	**2,70**	**27**	**201**	**120**

ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ					**ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ**
Q_r (1)	Q_r (2)	%	SS_r		Q_w
m^3	*m^3*		*mg/L*		*m^3*
1673	1375	138			72
1356	1399	146			68
1521	1428	112	6880		70
1387	1391	113	7015		80
1357	1434	131			73
1460	1681	120			80
1350	1583	83	8000		77
2268	2124	110			70
1606	2203	122	8000		63
1620	1907	139	7500		98
2245	2204	235			72
1622	**1703**	**131,7**	**7479**		**75**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Metcalf and Eddy, ´´Wastewater Engineering, Treatment and Reuse´´, 4th edition, 2003.

2. Ron Frites, Ronald Frites, George Tchobanoglous, ´´Small and Decentralized Wastewater Management Systems´´, McGrow – Hill New York, 1998

3. Howard S.Peavy, Donald R.Rowe, George Tchobanoglous, ´´Environmental Engineering´´, 1986.

4. ´´Design of Municipal Wastewater Treatment Plant´´, W.E.F, 1998.

5. Α. Ανδρεαδάκης, ''Σύστημα ενεργού ιλύος για απομάκρυνση άνθρακα και νιτροποίηση'', Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1999

6. Θ. Λέκκας, ´´Περιβαλλοντική Μηχανική ΙΙ- Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων´´, Πανεπιστήμιο Αιγαίου Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη 2001.

7. Δ. Μαντζαβίνος (Επίκουρος καθηγητής του Πολυτεχνείου Κρήτης), Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος ´´Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων´´.

8. Ελ. Μαρτιμιανάκη, Μεταπτυχιακή εργασία: ´´Διερεύνηση – Έλεγχος του προβλήματος του Βιολογικού Αφρισμού σε Εγκαταστάσεις Ενεργού Ιλύος´´,2002.

9. Αναστάσιος Στάμου, ´´Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων με παρατεταμένο αερισμό και βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών´´, Αθήνα 1995.

10. Αναστάσιος Στάμου- Ζηνόβιος Βογιατζής, ´´Βασικές αρχές και σχεδιασμός συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων´´, έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Αθήνα 1994.

11. Γεώργιος Τερζίδης, ´´Εφαρμοσμένη Υδραυλική´´, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1997.