

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική επισκόπηση της διαχείρισης των υγρών αποβλήτων

Πηγές:Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων Σημειώσεις Δ.Μαντζαβίνου, Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης Δ.Κουτσόγιαννης

Η ανάγκη για οργανωμένη διάθεση των υγρών αποβλήτων έγινε αντιληπτή από πολύ νωρίς. Σε πολλούς από τους αρχαίους πολιτισμούς ήταν γνωστή η τέχνη της απομάκρυνσης των λυμάτων με υπονόμους. Στο Mohenjorado μια πόλη της πρώτης άνθισης του Ινδικού πολιτισμού, που ιστορικά τοποθετείται περί το 5000π.χ. βρέθηκαν στις ανασκαφές πλινθόκτιστοι υπόνομοι που απομάκρυναν τα λύματα από τα σπίτια. Στη Βαβυλώνα βρέθηκαν επίσης δίκτυα αποχέτευσης. Έτσι στα Μινωικά ανάκτορα αλλά και στην αρχαία Ρώμη είχαν κατασκευαστεί αποχετευτικοί αγωγοί που στόχευαν στη διοχέτευση των όμβριων υδάτων. Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα άρχισαν να κατασκευάζονται μεικτά (παντοροικά) αποχετευτικά συστήματα. Η αντιμετώπιση αυτή γρήγορα οδήγησε σε υγειονομικά προβλήματα οπότε συνειδητοποιήθηκε η ανάγκη για κατασκευή χωριστών συστημάτων αποχέτευσης όμβριων υδάτων και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων προερχόμενων από ανθρώπινες δραστηριότητες. Έτσι χρησιμοποιήθηκε η χημική καθίζηση των αποβλήτων στις ΗΠΑ. το 1887 κάτι που είχε δοκιμαστεί πρώτα στην Αγγλία το 1762. Το 1868 κατασκευάστηκε στην Αγγλία το πρώτο αμμοδυληστήριο, ενώ αερισμός των λυμάτων χρησιμοποιήθηκε το 1882. Το πρώτο χαλικοδυληστήριο (ετερογενής βιολογική διεργασία) κατασκευάστηκε στην Αγγλία το 1893. Η πρώτη σηπτική δεξαμενή Imhoff επινοήθηκε το 1904 στην Γερμανία, ενώ το 1911 κατασκευάστηκε για πρώτη φορά στις ΗΠΑ. Η διεργασία της ενεργούς ιλύος που και σήμερα αποτελεί την βασικότερη μέθοδο επεξεργασίας, επινοήθηκε το 1916 στις ΗΠΑ. Σήμερα η τεχνολογία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων έχει προαχθεί σημαντικότερα με τη συνεχή επινοήση νέων διεργασιών που στοχεύουν στην αποτελεσματικότερη και πληρέστερη απομάκρυνση των ρύπων.

1.2 Ποσότητα-σύσταση των αποβλήτων

Πηγή:Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης Δ.Κουτσόγιαννης

1.2.1 Διακύμανση παροχών αποβλήτων

Οι παροχές των αποβλήτων εμφανίζουν χρονικές μεταβολές που μπορούν να καταταγούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1)Υπερετήσιες μεταβολές ,οφείλονται στην εξέλιξη του πληθυσμού, των κοινωνικών και οικονομικών συνθηκών, του επιπέδου διαβίωσης και γενικά είναι αυξητικές. Κατά συνέπεια οι μέγιστες παροχές αυξάνονται κατά την διάρκεια λειτουργίας ενός έργου.

2)Διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του έτους, είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος τους περιοδικές και κατά το υπόλοιπο τυχαίες και οφείλονται στις αντίστοιχες μεταβολές της κατανάλωσης νερού που προκαλούνται από τις διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Το καλοκαίρι οι καταναλώσεις νερού και οι παροχές ακαθάρτων είναι μεγαλύτερες.

3)Διακυμάνσεις στη διάρκεια της ημέρας, Οι διακυμάνσεις αυτές έχουν μια προσδιοριστική συνιστώσα που οφείλεται στις γενικευμένες καθημερινές συνήθειες ζωής (μικρές παροχές το βράδυ και αυξημένες τις πρωινές και απογευματινές ώρες) και μια τυχαία συνιστώσα. Συνήθως οι παροχές μεγιστοποιούνται από 10-12 το μεσημέρι και 7-9 το βράδυ, παλιότερα είχαμε μέγιστη παροχή το πρωί και σε μικρότερο βαθμό το απόγευμα όσο όμως αυξάνεται το ποσοστό των γυναικών που εργάζονται ενισχύεται η παροχή κατά τις πρώτες βραδινές ώρες.

1.2.2 Τιμές Παροχών Αποβλήτων

2. Τυπικές τιμές παροχών αποβλήτων που εισέρχονται στο σύστημα αποχέτευσης από οικιακές χρήσεις ,Η.Π.Α. (Πηγή:Small and Decentralized Wastewater Management Systems)

Παροχή (L/μονάδα*d)

	Μονάδα	Εύρος	Τυπική
Πολυκατοικία			
Πολυώροφη	Άτομο	110-280	210
Ολιγοώροφη	Άτομο	110-300	210
Ξενοδοχείο	Φιλοξενούμενος	110-190	150
Μονοκατοικία			
Νέα	Άτομο	150-360	270
Παλιά	Άτομο	110-300	190
Εξοχικό	Άτομο	110-190	150
Μοτέλ			
Με κουζίνα	Μονάδα	340-680	380
Χωρίς κουζίνα	Μονάδα	280-570	360
Κάμπινγκ με τροχόσπιτα	Άτομο	110-190	150

1.2.3 Παράμετροι ρύπανσης των υδάτων

Πηγές:Wastewater Engineering Treatment and Reuse Metcalf and Eddy,
Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων Σημειώσεις Δ.Μαντζαβίνου

1.2.2.1 Στερεά

Μια από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους ρύπανσης των υδάτων είναι η περιεκτικότητα τους σε ολικά στερεά (Total Solids,TS).Τα ολικά στερεά προσδιορίζονται με ζύγιση του υλικού που απομένει μετά από εξάτμιση ορισμένου όγκου του δείγματος στους 103-105°C και εκφράζονται ως mg/l.Υλικά που είναι πτητικά σε αυτή τη θερμοκρασία και εξατμίζονται δεν περιλαμβάνονται στα ολικά στερεά. Τα ολικά στερεά διαχωρίζονται σε αυτά που διέρχονται από ειδικό φίλτρο με διάμετρο πόρων 1,58μm και σε αυτά εν αιωρήσει που παραμένουν στο φίλτρο.

Αυτά που διέρχονται από το φίλτρο είναι τα ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids,TDS) και εμπεριέχουν τα πραγματικά διαλυμένα στερεά καθώς και τα κολλοειδή.

Τα κολλοειδή είναι σωματίδια που διατηρούνται σε αιώρηση εξαιτίας του μικρού μεγέθους (0,001-1μm) ,της κατάστασης ενυδάτωσης τους και των επιφανειακών ηλεκτρικών τους φορτίων. Τα κολλοειδή είναι συχνά υπεύθυνα σε μεγάλο ποσοστό για το χρώμα τη θολερότητα και το BOD των οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων.

Όσα στερεά παραμένουν στο φίλτρο ονομάζονται αιωρούμενα στερεά (Suspended Solids,SS) και εμπεριέχουν τα καθιζάνοντα στερεά (Settleable Solids).

Τα καθιζάνοντα στερεά είναι αυτά που κατακάθονται στον πυθμένα κωνικού δοχείου ονομαζόμενου «κώνος Imhoff».Για το σκοπό αυτό τα στερεά αφήνονται να κατακαθίσουν για 45 λεπτά υπό ελαφρά ανάδευση και επί 15 λεπτά σε ηρεμία. Τα καθιζάνοντα στερεά είναι ενδεικτικά της ποσότητας των στερεών που αφαιρούνται από δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Τα μικρότερα από τα αιωρούμενα στερεά έχουν πολύ μικρό μέγεθος που τους επιτρέπει να ακολουθούν την κίνηση του νερού και ως εκ τούτου δύσκολα καθιζάνουν.

Από χημική άποψη τα αιωρούμενα στερεά διακρίνονται επίσης σε αιωρούμενα πτητικά (Volatile Suspended Solids,VSS) αυτά που εξατμίζονται στους 550°C και σε μη πτητικά. Τα πρώτα συνήθως θεωρούνται οργανικά και τα δεύτερα ανόργανα.

Τα διαλυμένα και αιωρούμενα στερεά αποτελούν σημαντικές παραμέτρους και για τα απόβλητα διότι επηρεάζουν σημαντικά την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και την ποιότητα των τελικών αποδεκτών .Για το λόγο αυτό οι περιβαλλοντικές υπηρεσίες ορίζουν όρια συγκέντρωσης στερεών τόσο στα προς διάθεση απόβλητα όσο και στα νερά των αποδεκτών ανάλογα με την επιθυμητή τους χρήση.

1. Ταξινόμηση στερεών (Πηγή: Small and Decentralized Wastewater Management Systems)

Ολικά στερεά TS	το υπόλειμμα δείγματος αποβλήτων μετά από εξάτμιση στους 103-105°C και ζύγισμα (ορισμένες πτητικές ουσίες χάνονται με την εξάτμιση).
Πτητικά στερεά VS	προσδιορίζονται με καύση του στερεού υπολείμματος στους 550° και είναι οργανικές ουσίες.
Μη πτητικά στερεά NVS (TFS)	προσδιορίζονται με τον ίδιο τρόπο ως υπόλειμμα και είναι ανόργανες ουσίες.
Διαλυμένα στερεά DS	αφορούν στην συγκέντρωση των στερεών συστατικών που βρίσκονται σε διαλυμένη (διάμετρος σωματιδίων $<10^{-6}\text{m}$) ή κolloειδή (διάμετρος σωματιδίων μεταξύ 10^{-3} και 10^{-6}m) μορφή και ορίζονται ως τα στερεά που περνούν μέσα από ειδικό χάρτινο φίλτρο.
Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Τα στερεά του δείγματος που συγκρατούνται στο φίλτρο (διάμετρος σωματιδίων $<10^{-6}\text{m}$), το συχνότερα χρησιμοποιούμενο φίλτρο για τον Προσδιορισμό TSS είναι τύπου Whatman με ίνες ύαλου και ονομαστικό μέγεθος πόρων 1,58μm.
Πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS)	Τα στερεά αυτά εξαερώνονται ή καίγονται όταν τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) αναφλέγονται (500+-50)
Fixed αιωρούμενα στερεά (FSS)	Το υπόλειμμα μετά την ανάφλεξη των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS).
Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) (TS-TSS)	Τα στερεά αυτά περνούν από το φίλτρο αφυδατώνονται και ξηραίνονται σε καθορισμένη θερμοκρασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι ως TDS θεωρούνται τα κolloειδή και διαλυμένα στερεά. Τα κolloειδή έχουν συνήθως μέγεθος 0,001-1μm.
Πτητικά διαλυμένα στερεά (VDS) (TVS-TSS)	Τα στερεά αυτά εξαερώνονται ή καίγονται κατά την ανάφλεξη των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS)

Fixed διαλυμένα στερεά (FDS)	Το υπόλειμμα μετά την ανάφλεξη των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS).
Καθιζάνοντα στερεά (Settleable solids)	Αιωρούμενα στερεά, εκφρασμένα σε χιλιοστά ανά λίτρο, που θα κατακαθίσουν μέσα σε κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

1.2.2.2 Οργανικές Ουσίες

Πηγή:Χημεία και Έλεγχος Ρύπανσης Νερών Α.Οικονομόπουλου

Οι οργανικές ουσίες στα αστικά λύματα απαρτίζονται κατά κύριο λόγο από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπίδια. Το φυσικό νερό περιέχει μικρές μόνο ποσότητες οργανικών που κατά τεκμήριο έχουν φυτική προέλευση. Στα αστικά λύματα περίπου το 75% των αιωρούμενων στερεών και τα 40% των διαλυμένων είναι οργανικά. Οι κύριες κατηγορίες των οργανικών υλών των λυμάτων είναι οι πρωτεΐνες (40-60%) ,οι υδατάνθρακες (25-50%) και τα έλαια και λίπη (10%).Η ουρία αποτελεί επίσης οργανικό συστατικό των λυμάτων αλλά διασπάται δίνοντας αμμωνιακό άζωτο τόσο γρήγορα ώστε μόνο σε πολύ νωπά λύματα μπορεί να βρεθεί. Επίσης ένας μεγάλος αριθμός συνθετικών οργανικών ουσιών περί τις 100.000 έχει παραχθεί τις τελευταίες δεκαετίες από τον άνθρωπο. Πολλές από αυτές τις ουσίες παρασκευάζονται σε μεγάλη κλίμακα και καταλήγουν στο νερό. Από τις ενώσεις αυτές οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες συχνά προκαλούν προβλήματα στην και χρήση του νερού. Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στις ενώσεις αυτής της κατηγορίας που έχουν καρκινογόνες ιδιότητες και σε αυτές που δύσκολα βιοδιασπώνται και ως εκ τούτου συσσωρεύονται.

BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Το BOD είναι το οξυγόνο που καταναλώνεται για την βιοχημική οξείδωση των οργανικών. Έτσι το εισαγόμενο ρυπαντικό φορτίο αντί να εκφραστεί ως η διατιθέμενη ποσότητα οργανικών ουσιών εκφράζεται συνήθως ως η ποσότητα του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου που συνεπάγεται η διάθεση των ουσιών αυτών.

COD (Chemical Oxygen Demand)

Το COD ορίζεται ως η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση των οργανικών ουσιών ενός αποβλήτου σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό από ισχυρό οξειδωτικό μέσο σε όξινες συνθήκες παρουσία καταλύτη.

TOC (Total Organic Carbon)

Ο ολικός οργανικός άνθρακας εκφράζει την ολική συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων σε mg C ανά λίτρο δείγματος.

3. Δεδομένα για τους παράγοντες φόρτισης ανά μονάδα και τις αναμενόμενες συγκεντρώσεις από οικιακά λύματα, ΗΠΑ (Πηγή: Small and Decentralized Wastewater Management Systems)

Ρυπαντές	Μονάδα	Εύρος	Τυπική τιμή
TS	mg/l	350-1200	700
TDS	mg/l	280-850	500
Πτητικά	mg/l	105-325	200
TSS	mg/l	100-350	210
Πτητικά	mg/l	80-275	160
Καθιζάνοντα Στερεά	mg/l	5-20	10
Βιοχημικά απαιτούμενο Οξυγόνο			
BOD _{5,20°C}	mg/l	110-400	210
TOC	mg/l	80-290	160
COD	mg/l	250-1000	500
Άζωτο	mg/l	20-85	35
Οργανικό	mg/l	8-35	13
Ελεύθερη Αμμωνία	mg/l	12-50	22
Νιτρώδη	mg/l	0-0	0
Νιτρικά	mg/l	0-0	0
Φώσφορος	mg/l	4-15	7

Οργανικός	mg/l	1-5	2
Ανόργανος	mg/l	3-10	5
Χλωριούχα	mg/l	30-100	50
Θευικά	mg/l	20-50	30
Λίπη και Έλαια	mg/l	50-150	90
VOC	mg/l	<100 ως >400	100-400
Ολικά κολοβακτηρίδια	No./100ml	$10^6 - 10^9$	$10^7 - 10^8$
Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια	No./100ml	$10^3 - 10^7$	$10^4 - 10^5$
Cryptosporidium oocysts	No./100ml	$10^{-1} - 10^2$	$10^{-1} - 10^1$
Giardia lamblia cysts	No./100ml	$10^{-1} - 10^3$	$10^{-1} - 10^2$

1.3 Ελληνική Πραγματικότητα

Πηγή: Wastewater Management in Greece: Experience and Lessons for Developing Countries K.P. Tsagarakis , A.N. Angelakis Water Science and Technology vol. 44 No 6 pp163-172

Σε πόλεις μεσαίου και μεγάλου μεγέθους η προτεινόμενη τιμή για την παροχή αποβλήτων είναι 170l/κάτοικο*d ,ωστόσο σε μικρές κοινότητες και αγροτικούς οικισμούς παραπάνω τιμή πέφτει στα 100-120l/κάτοικο*d.Οι περισσότερες μονάδες βιολογικού καθαρισμού στην Ελλάδα σχεδιάζονται με παροχή ανά κάτοικο 200l/d που όπως προκύπτει είναι αρκετά μεγαλύτερη από την πραγματική.

4. Στατιστική παρουσίαση ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων για μικρές και μεγάλες εγκαταστάσεις (>10.000 p.e.)

Μεταβλητή	N(πλήθος στοιχείων)	Ελάχιστο	Μέγιστο	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή	Μέσος
BOD5(mg/l)	32	102	614	127	300	296

COD (mg/l)	20	229	913	201	570	550
SS (mg/l)	25	110	480	104	296	300
TN (mg/l)	14	25	110	27	57	55
TP (mg/l)	15	5	22	5	11,8	10
Q (mg/l)	17	133	190	17	165	167

2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.1 Συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Πηγή: Water and Wastewater Calculations Manual Shundar Lin

Τα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σχεδιάζονται με σκοπό να επιταχύνουν την φυσική επεξεργασία καθαρισμού των υδάτων και να απομακρύνουν τις μολυσματικές ουσίες που περιέχονται στα απόβλητα οι οποίες διαφορετικά θα έπαιρναν μέρος στις φυσικές διαδικασίες και θα κατέληγαν στο νερό που χρησιμοποιούμε.

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν ποσότητες αιωρούμενων και επιπλεόντων στερεών, οργανικό φορτίο και κομμάτια από μάζα. Τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας είναι συνδυασμός φυσικών και βιολογικών (ορισμένες φορές και χημικών) μεθόδων για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών.

Οι εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες : (1) πρωτοβάθμια επεξεργασία που περιλαμβάνει φυσικές μεθόδους (2) δευτεροβάθμια επεξεργασία με βιολογικές μεθόδους και (3) τριτοβάθμια, συνδυασμός φυσικών χημικών και βιολογικών μεθόδων, περιλαμβάνει εξελεγχόμενες μεθόδους επεξεργασίας. Η ύπαρξη των διατάξεων προεπεξεργασίας δεν είναι απαραίτητη και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και το βαθμό καθαρισμού που θέλουμε να πετύχουμε.

Για περισσότερο από ένα αιώνα μηχανικοί περιβάλλοντος και άλλοι επιστήμονες που ασχολούνται με το νερό αναπτύσσουν τεχνολογίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Πολλές πρωτότυπες μέθοδοι επεξεργασίας και εγκαταστάσεις καθαρισμού έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί. Ο στόχος των μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι να παράγουν καθαρές εκροές ώστε να προστατεύουν την δημόσια υγεία τις φυσικές διαδικασίες και το περιβάλλον.

2.1.1 Συστήματα προεπεξεργασίας

Η προεπεξεργασία των αποβλήτων έχει σαν στόχο να αφαιρέσει ή να τεμαχίσει τα ογκώδη αιωρούμενα και επιπλέοντα στερεά να απομακρύνει τα βαριά ανόργανα στερεά καθώς και ποσότητες λιπών και ελαίων. Η προεπεξεργασία σκοπεύει στην προστασία των αντλιών που μπορεί να φράξουν και να καταστραφούν αλλά και του υπόλοιπου μηχανολογικού εξοπλισμού που υπάρχει στα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει διατάξεις μέτρησης της ροής, κονιορτοποίησης (άλεση, τεμαχισμός, θρυμματισμός) εξισορρόπηση ροής, εξάμμωση, δεξαμενές αερισμού και ορισμένες φορές χλωρίωση. Η ποιότητα των αποβλήτων δεν βελτιώνεται ουσιαστικά κατά την προεπεξεργασία.

2.1.2 Συστήματα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας

Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η επαρκής μείωση της ταχύτητας ροής ώστε να είναι δυνατή η καθίζηση των αιωρούμενων στερεών και κατά συνέπεια η απομάκρυνση τους η οποία διαταράσσεται όταν έχουμε μεγάλες ταχύτητες ροής οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν επαναιώρηση των στερεών που έχουν υποστεί καθίζηση. Τα επιπλέοντα στερεά απομακρύνονται και αυτά σε μεγάλο ποσοστό σε αυτό το στάδιο συνήθως με τη βοήθεια ξέστρου που κινείται στην επιφάνεια της δεξαμενής. Ωστόσο η διάταξη πρωτοβάθμιας επεξεργασίας συνήθως ονομάζεται δεξαμενή καθίζησης, εξαιτίας διαφορών στο σχεδιασμό και τη λειτουργία

Διακρίνουμε τέσσερις τύπους δεξαμενών καθίζησης: απλή καθίζηση με μηχανική απομάκρυνση της λάσπης, σύστημα δύο δεξαμενών (δεξαμενές Imhoff και άλλες παρόμοιες),σηπτικές δεξαμενές και δεξαμενές ανερχόμενης ροής με μηχανική απομάκρυνση της λάσπης. Όταν στην πρωτοβάθμια επεξεργασία χρησιμοποιούνται και χημικά τότε χρειάζονται και άλλες εξωτερικές μονάδες για την τροφοδοσία την ανάμειξη και την συνένωση των στερεών. Η χημική επεξεργασία έχει σαν στόχο την απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών που δεν απομακρύνονται με απλή καθίζηση. Η προσθήκη χημικών προκαλεί την συνένωση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών σε μεγαλύτερα που μπορούν να απομακρυνθούν εύκολα με καθίζηση είτε στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης είτε σε ξεχωριστή δεξαμενή ειδική για τι σκοπό αυτό.

Με την καθίζηση απομακρύνεται περίπου το 50%-70% των ολικών αιωρούμενων στερεών από τα απόβλητα ενώ η μείωση του BOD₅ είναι της τάξης του 25%-35%. Με τη χρήση κροκιδωτικών απομακρύνεται περίπου το 80%-90% των ολικών αιωρούμενων στερεών επίσης περίπου 10% του αδιάλυτου φωσφόρου που περιέχεται στα απόβλητα απομακρύνεται κατά την πρωτοβάθμια καθίζηση. Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία η βιολογική δραστηριότητα στα απόβλητα είναι αμελητέα.

Ο πρωτοβάθμιος καθαρισμός των υδάτων από στερεά γίνεται σε μεγάλες λεκάνες καθίζησης κάτω από συνθήκες σχετικής ηρεμίας των υδάτων ώστε να μην διαταράσσεται η κατακάθιση, κατόπιν τα στερεά που έχουν κατακαθίσει συλλέγονται με τη βοήθεια μηχανικών ξέστρων σε χοάνη και με αντλίες οδηγούνται στη μονάδα επεξεργασίας της λάσπης. Τα λίπη τα έλαια τα ορυκτέλαια και τα υπόλοιπα υλικά που επιπλέουν απομακρύνονται από την επιφάνεια της λεκάνης με τη βοήθεια βραχίονα ή άλλου παρεμφερούς μηχανισμού. Η εκροή της δεξαμενής καθίζησης ρυθμίζεται με ειδικό φράγμα και κατευθύνεται σε κανάλι για να οδηγηθεί στα επόμενα στάδια επεξεργασίας ή αποβάλλεται ως έχει.

Σε πολλές περιπτώσεις ,κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες η πρωτοβάθμια επεξεργασία κρίνεται επαρκής και δεν χρησιμοποιούνται επιπλέον στάδια επεξεργασίας ,αυτό οφείλεται στις χαμηλές φορτίσεις των αποβλήτων από ρυπαντές ή στο κόστος της περαιτέρω επεξεργασίας.

2.1.3 Συστήματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας

Μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία το νερό περιέχει ακόμα οργανικό φορτίο σε αιωρούμενη ,κολλοειδή και διαλυμένη μορφή. Το φορτίο αυτό πρέπει να απομακρυνθεί πριν φτάσει στα επόμενα στάδια επεξεργασίας.

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία έχει επομένως ως στόχο την απομάκρυνση του διαλυμένου και κολλοειδούς οργανικού φορτίου που διαφεύγει της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Παρόλο που η απομάκρυνση αυτών των υλικών μπορεί να πραγματοποιηθεί με φυσικοχημικές μεθόδους που επιτυγχάνουν επιπλέον απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών η δευτεροβάθμια επεξεργασία συχνά αναφέρεται σαν βιολογική μέθοδος.

Η βιολογική επεξεργασία συνίσταται σε εφαρμογή μίας ελεγχόμενης φυσικής διεργασίας στην οποία μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών καταναλώνουν το διαλυμένο

και κολλοειδές φορτίο των αποβλήτων σε χώρο περιορισμένων διαστάσεων και σε λογικά χρονικά πλαίσια. Στη συνέχεια οι μικροοργανισμοί απομακρύνονται από τα απόβλητα με καθίζηση ή κάποια άλλη διαδικασία. Μπορεί να συγκριθεί με τις βιολογικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται με αποτέλεσμα τον καθαρισμό του νερού στη ζώνη ανάκτησης κάποιου ποταμού.

Οι διατάξεις δευτεροβάθμιας επεξεργασίας μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε αιώρηση μέσα στα απόβλητα (ενεργός ιλύς, λίμνες, αερόβιου αναερόβιους χωνευτές, λίμνες σταθεροποίησης) ή προσκολλημένοι σε κάποια επιφάνεια (βιολογικά φίλτρα, βιοδίσκοι). Η δευτεροβάθμια επεξεργασία μπορεί επίσης να επιτευχθεί με φυσικοχημικές μεθόδους ή και φυσικά συστήματα επεξεργασίας.

Κατά την δευτεροβάθμια επεξεργασία μπορεί να απομακρυνθεί το 85% του BOD₅ και των TSS. Ωστόσο η δευτεροβάθμια επεξεργασία δεν είναι αποτελεσματική στην απομάκρυνση των θρεπτικών (άζωτο, φώσφορος), βαρέων μετάλλων, μη βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλών, βακτηρίων, ιών και άλλων μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα με απολύμανση. Επιπλέον απαιτείται σύστημα απομάκρυνσης των στερεών από την δευτεροβάθμια επεξεργασία, η λάσπη που προέρχεται τόσο από την πρωτοβάθμια όσο και από την δευτεροβάθμια διαδικασίες υφίσταται επεξεργασία και κατόπιν διάθεση.

2.1.4 Συστήματα προχωρημένης επεξεργασίας

Τα συστήματα προχωρημένης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ορίζονται ως οι μέθοδοι που μπορούν να απομακρύνουν περισσότερες μολυσματικές ουσίες σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Ο όρος τριτοβάθμια επεξεργασία συχνά χρησιμοποιείται σαν συνώνυμο όμως στην πραγματικότητα η τριτοβάθμια επεξεργασία είναι το επόμενο βήμα μετά την δευτεροβάθμια και δεν συμπίπτει με την έννοια της προχωρημένης επεξεργασίας.

Από το 1970 η χρήση προχωρημένων μεθόδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων έχει αυξηθεί σημαντικά στις ΗΠΑ. Ο κύριος στόχος είναι η απομάκρυνση του αζώτου, φωσφόρου και αιωρούμενων στερεών (και BOD₅) και να συμμορφώσουν τα επίπεδα ρύπανσης με τους ισχύοντες κανονισμούς. Σε περιοχές όπου τα υδατικά αποθέματα είναι

περιορισμένα η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Επίσης οι συχνά αυξημένες απαιτήσεις για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, οργανικού φορτίου, θρεπτικών, συγκεκριμένων τοξικών ουσιών και αδρανών οργανικών δεν μπορούν να επιτευχθούν με τα συμβατικά συστήματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας επομένως κρίνεται απαραίτητη η προχωρημένη επεξεργασία των αποβλήτων.

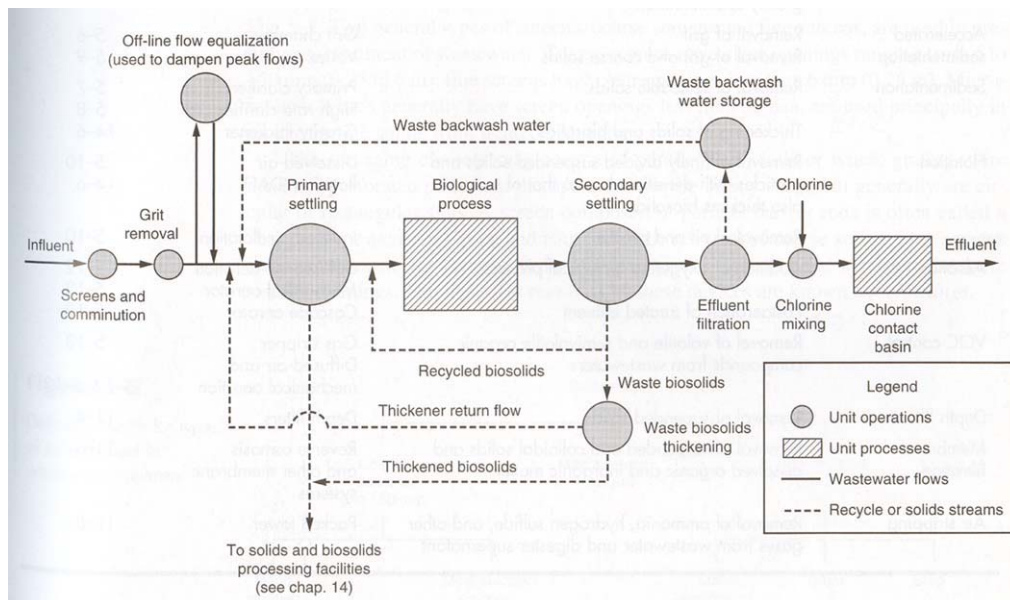
Στην ευρωπαϊκή κοινότητα το συμβούλιο προστασίας του περιβάλλοντος έχει καθορίσει τις παρακάτω τιμές για εγκαταστάσεις επεξεργασίας μεγάλου μεγέθους: $BOD_5 < 25 \text{ mg/L}$, $COD < 125 \text{ mg/L}$ αιωρούμενα στερεά $< 35 \text{ mg/L}$, ολικό άζωτο $< 10 \text{ mg/L}$, φώσφορος $< 1 \text{ mg/L}$.

Συγκεντρώσεις TSS κάτω των 20 mg/L είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν με καθίζηση στις πρωτοβάθμιες και δευτεροβάθμιες διαδικασίες. Οι προχωρημένες μέθοδοι επεξεργασίας στοχεύουν ειδικά στην μείωση των TSS, TDS, BOD , οργανικού αζώτου, αμμωνιακού αζώτου, ολικού αζώτου και φωσφόρου. Οι βιολογικές μέθοδοι απομάκρυνσης των θρεπτικών μπορούν να απομακρύνουν άζωτο ή φώσφορο και κάθε συνδυασμό τους.

Οι προχωρημένες μέθοδοι περιλαμβάνουν χημική θρόμβωση των αποβλήτων, κοκκώδη φίλτρα, μικροεσχάρωση, υπερδιήθηση και νανοδιήθηση που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση κολλοειδών και μικρού μεγέθους αιωρούμενων στερεών.

Για τον έλεγχο του αζώτου χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η βιολογική αφομοίωση, νιτροποίηση, απονιτροποίηση, ιονανταλλαγή. Ο διαλυμένος φώσφορος μπορεί να απομακρυνθεί από τα απόβλητα με χημική ιζηματοποίηση και βιολογική απορρόφηση (βακτήρια και άλγη) για την ανάπτυξη των κυττάρων σε ένα ελεγχόμενο σύστημα. Φυσικές διαδικασίες όπως η αντίστροφη όσμωση και η υπερδιήθηση βοηθούν και αυτές στη μείωση του φωσφόρου άλλα αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για ανόργανα διαλυμένα στερεά. Η χρήση λιμνών, λιμνών αερισμού και φυσικών συστημάτων επεξεργασίας είναι αρκετά αποτελεσματική για την μείωση των θρεπτικών.

Η διαχείριση των τοξικών ουσιών και των αδρανών οργανικών πραγματοποιείται με απορρόφηση σε ενεργό άνθρακα, ενεργού ιλύος και χημική οξείδωση. Συμβατικές μέθοδοι θρόμβωσης – καθίζησης – φίλτρανσης και βιολογικής επεξεργασίας (βιολογικά φίλτρα, βιοδίσκοι και ενεργός ιλύς).



σχήμα 1:Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης

2.2 Θεωρία της καθίζησης

Πηγή:Βασικές αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας υγρών Αποβλήτων
Α.Ι. Στάμου Ζ.Σ. Βογιατζής

Σκοπός της καθίζησης είναι η απομάκρυνση από τα απόβλητα διαφόρων ειδών αιωρούμενων στερεών κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Η καθίζηση χρησιμοποιείται ευρύτατα στην επεξεργασία αποβλήτων για την απομάκρυνση της άμμου (εξάμμωση) των αιωρούμενων στερεών των αποβλήτων (πρωτοβάθμια καθίζηση), των οργανικών στερεών από βιολογική επεξεργασία (δευτεροβάθμια καθίζηση), την πύκνωση της λάσπης κλπ.

2.2.1 Τύποι καθίζησης

Ανάλογα με το είδος των αιωρούμενων στερεών διακρίνονται οι παρακάτω τύποι καθίζησης.

1. Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων: στον τύπο αυτό τα σωματίδια (στερεά) καθιζάνουν χωρίς καμία επίδραση στις φυσικές τους ιδιότητες από γειτονικά σωματίδια (εξάμμωση).

2. Καθίζηση με συσσωμάτωση: στον τύπο αυτό υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων , με αποτέλεσμα την συνένωση τους σε μεγαλύτερα , με μεγαλύτερο βάρος και ταχύτητα καθίζησης (πρωτοβάθμια καθίζηση).

3. Εμποδισμένη καθίζηση : και στον τύπο αυτό υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων τέτοια, που τα σωματίδια σχηματίζουν, λόγω της ισχυρής συσσωμάτωσης, ένα στρώμα που καθιζάνει σαν μία μάζα (δευτεροβάθμια καθίζηση).

4. Πύκνωση: η περίπτωση αυτή παρατηρείται στον πυθμένα των δεξαμενών καθίζησης και στους πυκνωτές βαρύτητας, όπου τα σωματίδια έχουν ήδη σχηματίσει ένα στρώμα και κάτω από την επίδραση του βάρους των νεοεισερχόμενων σωματιδίων συμπυκνώνονται (πύκνωση λάσπης).

Οι παράγοντες που υπεισέρχονται σε όλους τους τύπους καθίζησης και καθορίζουν τα χαρακτηριστικά τους είναι πολύπλοκοι και δεν είναι δυνατόν να αναλυθούν πάντα θεωρητικά. Έτσι ο καθορισμός των διαφόρων παραμέτρων καθίζησης των στερεών ενός συγκεκριμένου αποβλήτου, είναι δυνατός συνήθως μόνο πειραματικά, όπως αναλύεται παρακάτω. Υπάρχουν όμως δύο έννοιες, της ιδεατής δεξαμενής καθίζησης, που αντιμετωπίζονται θεωρητικά και που είναι βασικές στην κατανόηση των μηχανισμών καθίζησης.

2.2.2. Ιδεατή καθίζηση

Η ανάλυση της ιδεατής καθίζησης στηρίζεται στην παραδοχή ότι τα σωματίδια που καθιζάνουν είναι σφαιρικά και σταθερής ομοιότητας και ομοιόμορφης διαμέτρου. Κάτω από την επίδραση της συνισταμένης των δυνάμεων που επενεργούν (βάρος-άνωση), το σωματίδιο επιταχύνεται έως ότου η δύναμη της τριβής του υγρού εξισορροπήσει τις παραπάνω δυνάμεις, οπότε το σωματίδιο αποκτά μια σταθερή τελική ταχύτητα καθίζησης.

Αναλυτικά πάνω στο σωματίδιο επενεργούν οι εξής δυνάμεις:

$$\text{Δύναμη βάρους-άνωση} \quad F_1 = (\rho_\sigma - \rho) * g * \frac{\pi * d^3}{6} \quad (2.1)$$

$$\text{Δύναμη τριβής} \quad F = C * \frac{\pi * d^2}{4} * \rho * \frac{v^2}{2} \quad (2.2)$$

Όπου ρ_σ : η πυκνότητα του σωματιδίου

ρ : η πυκνότητα του υγρού

d : η διάμετρος του σωματιδίου

V : η ταχύτητα καθίζησης του σωματιδίου

C : η σταθερά τριβής

Η τελική ταχύτητα καθίζησης $V=V_s$ προκύπτει από τις παραπάνω εξισώσεις για $F_1=F_2$

$$V_s = \left[\frac{4 * g(\rho_\sigma - \rho) * d}{3 * C * \rho} \right]^{1/2} \quad (2.3)$$

Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή και σαν νόμος Newton, η σταθερά C εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds και για τις συνηθισμένες εφαρμογές στην επεξεργασία αποβλήτων δίνεται από τη σχέση:

$$C = \frac{24 * \mu}{d * V_s * \rho} \quad (2.4)$$

Όπου μ : συνεκτικότητα του υγρού

Με βάση την (2.4) η (2.3) γίνεται:

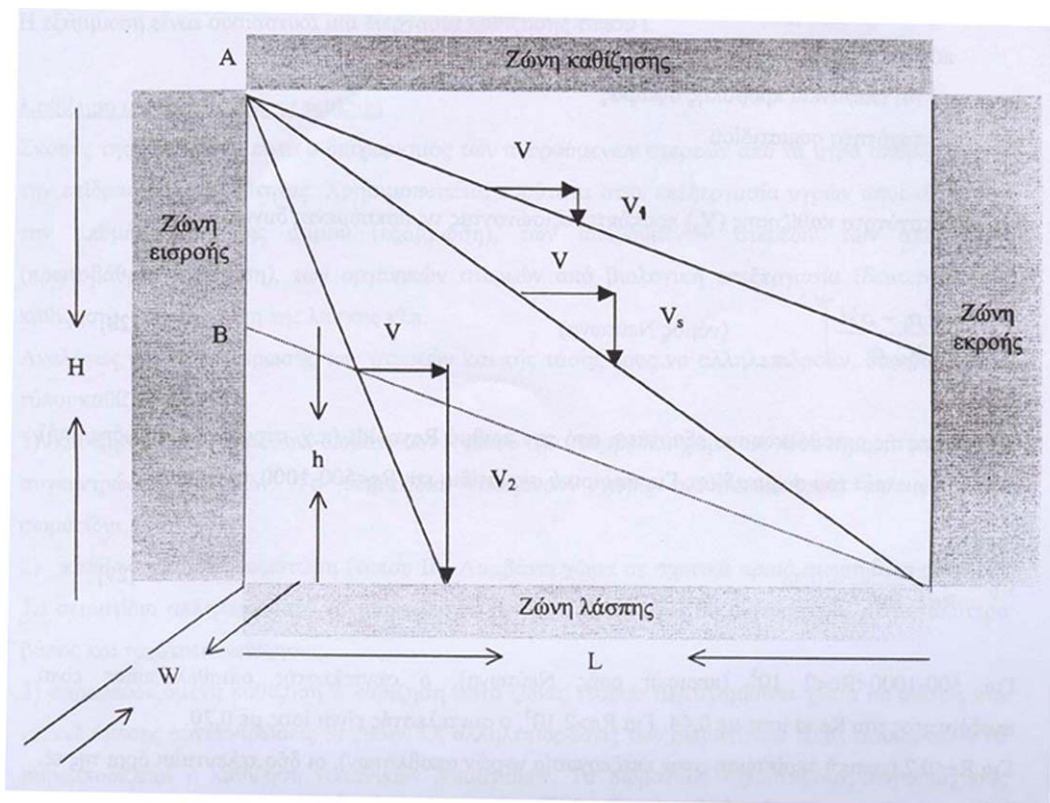
$$V_s = \frac{\rho_\sigma - \rho}{\mu} * g * d^2 \quad (2.5)$$

Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή και σαν νόμος Stokes.

Γίνεται φανερό από την (2.5) ότι η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται α) από τα χαρακτηριστικά του σωματιδίου (πυκνότητα, διάμετρος) και β) από τα χαρακτηριστικά του υγρού (πυκνότητα, συνεκτικότητα). Επειδή τα τελευταία είναι πρακτικά δύσκολο να αλλάξουν, ώστε να μεταβληθεί η ταχύτητα καθίζησης, στην πράξη η προσοχή επικεντρώνεται στην μεταβολή των χαρακτηριστικών των σωματιδίων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συνένωσή τους, ώστε να αυξάνεται η ταχύτητα καθίζησής τους και να γίνεται ευκολότερη η απομάκρυνσή τους από τα απόβλητα. Πρέπει πάντως να

σημειωθεί ότι σύμφωνα με την (2.5) υψηλές θερμοκρασίες των αποβλήτων (μικρή συνεκτικότητα), προκαλούν αύξηση της ταχύτητας καθίζησης.

Η ιδεατή δεξαμενή καθίζησης αποτελείται από τις 4 ζώνες (εισροής, εκροής, καθίζησης και λάσπης) που φαίνονται στο σχήμα 2 για τις οποίες ισχύουν οι παρακάτω παραδοχές.



σχήμα 2: Τροχιές σωματιδίων σε δεξαμενή καθίζησης τύπου 1

1. **Zώνη εισροής:** Τα σωματίδια θεωρούνται ομοιόμορφα κατανεμημένα στη διατομή.
2. **Zώνη καθίζησης:** Είναι η ζώνη που γίνεται η καθίζηση των σωματιδίων και θεωρείται ότι παραμένει ανεπηρέαστη από τις άλλες ζώνες. Η καθίζηση γίνεται με διακεκριμένα σωματίδια (τύπου 1). Η διεύθυνση της ροής είναι οριζόντια και η κατανομή ταχυτήτων στη διατομή είναι ομοιόμορφη. Ένα σωματίδιο θεωρείται ότι έχει καθιζήσει και απομακρυνθεί από το υγρό όταν χτυπήσει τον πυθμένα της ζώνης καθίζησης και εισέλθει στη ζώνη της λάσπης.
3. **Zώνη λάσπης:** Στη ζώνη αυτή συσσωρεύονται τα σωματίδια που έχουν καθιζήσει. Όταν ένα σωματίδιο εισέλθει στη ζώνη λάσπης θεωρείται ότι παραμένει σε αυτήν, δηλαδή δεν επαναιωρείται.

Τα σωματίδια θεωρούνται ότι καθιζάνουν με σταθερή ταχύτητα καθίζησης, οπότε η διαδρομή που θα ακολουθήσουν στη ζώνη καθίζησης είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της οριζόντιας ταχύτητας ροής και της κατακόρυφης ταχύτητας καθίζησης σχήμα 2.

Χαρακτηριστική είναι η ταχύτητα καθίζησης V_s για σωματίδια που εισέρχονται στη ζώνη στο σημείο A και απομακρύνονται και για τα οποία ισχύει:

$$V/V_s = L/H \Rightarrow V = V_s * L/H \quad (2.6)$$

$$\text{Είναι όμως } V = Q / W * H \quad (2.7)$$

Όπου Q: παροχή στη δεξαμενή

W: πλάτος ζώνης καθίζησης

$$\text{Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει: } V_s = Q / L * W \quad (2.8) \quad \text{ή} \quad V_s = Q / A \quad (2.9)$$

Όπου $A = L * W$ η επιφάνεια στη ζώνη καθίζησης.

Γίνεται φανερό από τις (2.8), (2.9) ότι η ταχύτητα καθίζησης είναι συνάρτηση της οριζόντιας επιφάνειας της δεξαμενής και δεν εξαρτάται από το βάθος της. Η ταχύτητα καθίζησης V_s ορίζεται και σαν επιφανειακή (υδραυλική) φόρτιση (ή παροχή υπερχειλίσης) σε μονάδες παροχής/επιφάνεια, και είναι η βασική παράμετρος σχεδιασμού των μονάδων καθίζησης.

Η φυσική της σημασία είναι ότι όλα τα σωματίδια με ταχύτητα καθίζησης V_2 μεγαλύτερη ή ίση V_s θα απομακρυνθούν εφόσον εισέλθουν στην ζώνη καθίζησης από το σημείο A ή χαμηλότερα και σε ποσοστό που δίνεται από το λόγο $V_1 / V_s = h/H$, δηλαδή από το λόγο του βάθους στο οποίο εισέρχονται στη ζώνη προς το ολικό βάθος της.

Αν και ο καθοριστικός παράγοντας στην καθίζηση είναι η επιφάνεια και όχι το βάθος της δεξαμενής, στην πράξη πάντα προβλέπεται ένα λογικό βάθος για την τοποθέτηση του μηχανισμού συλλογής της λάσπης στον πυθμένα αλλά και για να αποφεύγονται μεγάλες ταχύτητες ροής που είναι δυνατόν να προκαλέσουν επαναιώρηση των στερεών που έχουν καθιζήσει στον πυθμένα.

2.3 Είδη βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Πηγές: Βασικές αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας υγρών Αποβλήτων Α.Ι. Στάμου Ζ.Σ. Βογιατζής, Wastewater Engineering Treatment and Reuse

Οι βασικές βιολογικές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες στις διαδικασίες σταθερού και αιωρούμενου υποστρώματος.

2.3.1 Διεργασίες αιωρούμενου υποστρώματος

Σε αυτές οι μικροοργανισμοί που ευθύνονται για την επεξεργασία διατηρούνται σε αιώρηση μέσα στο υγρό με κατάλληλες μεθόδους ανάμειξης. Πολλές διαδικασίες αιωρούμενου υποστρώματος που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών λυμάτων λειτουργούν με διαλυμένο οξυγόνο, όπως για βιομηχανικά απόβλητα με μεγάλες συγκεντρώσεις οργανικών και οργανική λάσπη. Η πιο γνωστή διαδικασία αιωρούμενου υποστρώματος είναι αυτή της ενεργού ιλύος.

Η διαδικασία της ενεργού ιλύος αναπτύχθηκε το 1913 στον πειραματικό σταθμό Lawrence στην Μασαχουσέτη από τους Clark και Gage και τους Arden και Lockett στην υπηρεσία αποβλήτων του Μάντσεστερ

το 1914 στην Αγγλία. Η διαδικασία της ενεργού ιλύος ονομάστηκε έτσι εξαιτίας της παραγωγής ενεργών μικροοργανισμών που είναι ικανοί να σταθεροποιήσουν τα απόβλητα κάτω από αερόβιες συνθήκες.

Σκοπός του συστήματος ενεργού ιλύος είναι η απομάκρυνση των διαλυμένων οργανικών ουσιών των αποβλήτων με βιολογικές διαδικασίες. Το σύστημα περιλαμβάνει α) Δεξαμενή αερισμού, όπου μικροοργανισμοί που βρίσκονται σε αιώρηση καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες χρησιμοποιώντας οξυγόνο, που προστίθεται στη μάζα των αποβλήτων με ειδικές διατάξεις αερισμού και β) Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης όπου καθιζάνουν και απομακρύνονται από τη μάζα των αποβλήτων οι παραπάνω μικροοργανισμοί.

Η βασική βιολογική διαδικασία στην ενεργό ίλη είναι η χρησιμοποίηση των οργανικών ουσιών από τους μικροοργανισμούς και η οξείδωσή τους σε σταθερής βιολογικά μορφής τελικά προϊόντα κάτω από αερόβιες συνθήκες. Οι οργανικές ουσίες χρησιμοποιούνται σαν τροφή από τους μικροοργανισμούς για την απόκτηση ενέργειας

(απαραίτητης για την συντήρησή τους) και την αναπαραγωγή. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται παραστατικά από την αντίδραση :

Οργανικές ουσίες + μ/σ + O_2 νέοι μ/σ + τελικά προϊόντα (CO_2 , H_2O , NO_2 , NO_3 , SO_4)

Το μεγαλύτερο ποσοστό των οργανικών ουσιών χρησιμοποιείται για αναπαραγωγή και ένα μικρότερο ποσοστό για ενέργεια και τελικά προϊόντα .Στην περίπτωση μείωσης ή απουσίας οργανικών ουσιών οι μικροοργανισμοί αναζητούν τις απαιτούμενες για τη συντήρησή τους οργανικές ουσίες σε άλλους μικροοργανισμούς ή αυτοκαταναλώνονται ,φαινόμενο γνωστό σαν ενδογενής μεταβολισμός.

Γίνεται φανερό από τα παραπάνω ότι οι κυριότερες διαδικασίες της ενεργού ιλύος που καθορίζουν και τα κριτήρια σχεδιασμού είναι

Α) η μεταβολή της μάζας των οργανικών ουσιών σαν αποτέλεσμα της κατανάλωσής τους από τους μικροοργανισμούς.

Β) η μεταβολή της μάζας των μικροοργανισμών

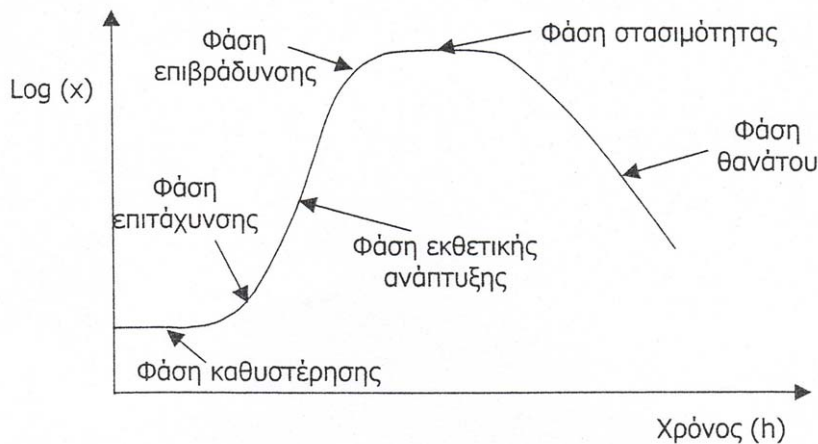
Γ) οι απαιτήσεις σε οξυγόνο για τις παραπάνω διαδικασίες

Η μεταβολή της μάζας των οργανικών ουσιών και των μικροοργανισμών μπορεί να γίνει ευκολότερα αντιληπτή αν θεωρηθεί ένας κλειστός αντιδραστήρας ,που περιέχει μάζα μικροοργανισμών ,στον οποίο τοποθετείται απόβλητο (οργανικές ουσίες) και τροφοδοτείται με οξυγόνο. Αν καταγραφούν οι συγκεντρώσεις των οργανικών ουσιών S και των μικροοργανισμών X σαν συνάρτηση του χρόνου τότε προκύπτει η καμπύλη του σχήματος 3 και παρατηρείται ότι οι οργανικές ουσίες μειώνονται λόγω της κατανάλωσής τους από τους μικροοργανισμούς και ότι η μάζα των μικροοργανισμών παρουσιάζει μεταβολές περνώντας από τις παρακάτω φάσεις:

Λανθάνουσα φάση ή φάση καθυστέρησης όπου οι μικροοργανισμοί προσαρμόζονται στις καινούριες συνθήκες ανάπτυξης. Συνήθως η φάση της καθυστέρησης εμφανίζεται όταν οι μικροοργανισμοί προσαρμόζονται στις καινούριες συνθήκες ανάπτυξης. Συνήθως η φάση της καθυστέρησης εμφανίζεται όταν οι μικροοργανισμοί μεταφέρονται σε περιβάλλον ,όπου υπάρχουν φρέσκα θρεπτικά συστήματα ανάπτυξης.

Οι εσωκυτταρικές συγκεντρώσεις διαφόρων ενζύμων μπορούν να μειωθούν σημαντικά λόγω μεταφοράς τους από το κύτταρο στο διάλυμα διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης. Εάν αυτά τα ένζυμα δεν είναι στις απαιτούμενες συγκεντρώσεις στο κύτταρο μπορεί να έχουμε σημαντική μείωση ενζυματικών αντιδράσεων και τα κύτταρα είναι

υποχρεωμένα να συνθέσουν τα απαιτούμενα ένζυμα ή τους απαιτούμενους μεταβολίτες για τον καταβολισμό της πηγής του άνθρακα για να αναπληρώσουν τις ελλείψεις τους προτού συνεχίσουν με την παραγωγή νέων κυττάρων ($\mu=0$ όπου μ ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης).



σχήμα 3:Φάσεις μικροβιακής ανάπτυξης

Φάση επιτάχυνσης είναι η φάση όπου αρχίζει η ανάπτυξη του οργανισμού και παρατηρείται συνεχής αύξηση του μ σε μ_{\max} λόγω της ύπαρξης άφθονης τροφής.

Φάση εκθετικής ανάπτυξης όπου η ανάπτυξη γίνεται στο μέγιστο δυνατό ρυθμό και η παραδοχή της ισορροπημένης ανάπτυξης ισχύει, το μ_{\max} είναι σταθερό.

Φάση επιβράδυνσης όπου το υπόστρωμα λιγοστεύει σημαντικά ή έχουμε την παρουσία υψηλής συγκέντρωσης κάποιου αναστολέα/παρεμποδιστή. Σε μια τυπική καλλιέργεια βακτηρίων η φάση αυτή είναι πολύ μικρής διάρκειας. Οι γρήγορα μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές οδηγούν σε μη ισορροπημένη ανάπτυξη, το μ_{\max} ελαττώνεται μέχρι $\mu=0$.

Φάση στασιμότητας όπου δεν έχουμε ανάπτυξη ή ακριβέστερα ο ρυθμός ανάπτυξης είναι ίσος με το μηδέν. Σε αυτή τη φάση τα κύτταρα είναι ακόμα μεταβολικά ενεργά και παράγουν δευτερογενή προϊόντα που δεν είναι συνδεδεμένα με τον ρυθμό ανάπτυξης των κυττάρων ($\mu=0$).

Φάση απόπτωσης ή θανάτου όπου έχουμε λύση των μικροοργανισμών που οδηγεί στην μείωση της βιομάζας και ακολουθεί συνήθως κινητική πρώτης τάξης (μ =αρνητικός).

Στην πράξη η ενεργός ιλύς είναι μια διαδικασία συνεχούς ροής και λειτουργεί σε μία από τις παραπάνω φάσεις. Η ενεργός ιλύς υψηλής φόρτισης λειτουργεί στις φάσεις επιτάχυνσης και εκθετικής ανάπτυξης η συμβατική στις φάσεις επιβράδυνσης και στασιμότητας και ο παρατεταμένος αερισμός στη φάση απόπτωσης ή θανάτου.

2.3.2.Διεργασίες σταθερού υποστρώματος

Στις διαδικασίες σταθερού υποστρώματος οι μικροοργανισμοί που ευθύνονται για την μετατροπή της οργανικής ύλης ή των θρεπτικών είναι προσκολλημένοι σε κάποιο αδρανές υλικό. Η οργανική ύλη και τα θρεπτικά απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα ρέοντας στην επιφάνεια του σταθερού υποστρώματος γνωστού και ως βιο-φίλμ. Τα υλικά πάνω στα οποία αναπτύσσεται το φίλμ μπορεί να είναι βράχος, χαλίκι, λάβα, άμμος, ξύλο και πολλά άλλα πλαστικά και συνθετικά υλικά. Οι διαδικασίες σταθερού υποστρώματος λειτουργούν τόσο αερόβια όσο και αναερόβια, η επιφάνεια ανάπτυξης μπορεί να είναι πλήρως ή μερικώς βυθισμένη στο υγρό με υπερκείμενο χώρο για τα αέρια ή τον αέρα.

Η πιο συνηθισμένη διεργασία σταθερού υποστρώματος είναι τα trickling filters στα οποία τα υγρά απόβλητα βρίσκονται σε δοχείο και κατανέμονται στην επιφάνεια του που δεν είναι βυθισμένη σε αυτά. Ιστορικά η πέτρα αποτελεί το συνηθέστερο υλικό για την κατασκευή των trickling filters με τυπικό βάθος που ποικίλει από 1,25 ως 4 μέτρα.

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και τα περιστρεφόμενα συστήματα σταθερού υποστρώματος τα οποία συνήθως αποτελούνται από μία σειρά δίσκων τοποθετημένων σε πολύ μικρή απόσταση οι οποίοι δεν είναι πλήρως βυθισμένοι στα απόβλητα και στην επιφάνεια τους αναπτύσσεται το βιολογικό φίλμ.

2.4 Φυσικά συστήματα επεξεργασίας

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας σχεδιάζονται έτσι ώστε να χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα των διεργασιών που συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον, στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Πολλές φορές οι διεργασίες που εμπλέκονται στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι ίδιες με αυτές που συμβαίνουν στα συμβατικά ή μηχανικά συστήματα (καθίζηση, φιλτράρισμα, μεταφορά αερίων, προσρόφηση, ιοντική εναλλαγή,

χημική κατακρήμνιση, χημική οξείδωση, αποδόμηση κ.α.). Στα φυσικά συστήματα οι διεργασίες συντελούνται με φυσικές ταχύτητες και τείνουν να διενεργούνται περισσότερες από μία συγχρόνως σε ένα οικοσυστηματικό αντιδραστήρα, σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα στα οποία συμβαίνουν διαδοχικά και σε διαφορετικούς, σε σειρά αντιδραστήρες ή δεξαμενές με επιταχυνόμενες ταχύτητες ως αποτέλεσμα της εισρέουσας σε αυτές ενέργειας.

Γενικά φυσικά συστήματα επεξεργασίας ονομάζονται αυτά που η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες όπως είναι φυσικές χημικές και βιολογικές διεργασίες ή συνδυασμός τους που συμβαίνουν στο περιβάλλον. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, σε αυτά που βασίζονται στο έδαφος (γήινα συστήματα επεξεργασίας) και αυτά που βασίζονται σε υδροχαρή φυτά (φυσικοί – τεχνητοί υγροβιότοποι, συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών).

3 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

3.1 Στόχοι της προεπεξεργασίας

Η προεπεξεργασία προετοιμάζει τα εισερχόμενα υγρά απόβλητα για την επεξεργασία μειώνοντας ή απομακρύνοντας φορτία που μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στην λειτουργία ή να αυξήσουν δραματικά τις ανάγκες συντήρησης του εξοπλισμού. Συνηθισμένα προβλήματα που σχετίζονται με χαρακτηριστικά των αποβλήτων είναι τα ογκώδη στερεά και κουρέλια, η άμμος, οι οσμές και σε ορισμένες περιπτώσεις οι σημαντικές χρονικές μεταβολές του υδραυλικού ή οργανικού φορτίου. Τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων είναι η εσχάρωση η εξάμμωση η λιποσυλλογή ο έλεγχος των οσμών και η εξισορρόπηση της ροής. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα περιγράφοντας την λειτουργία τους.

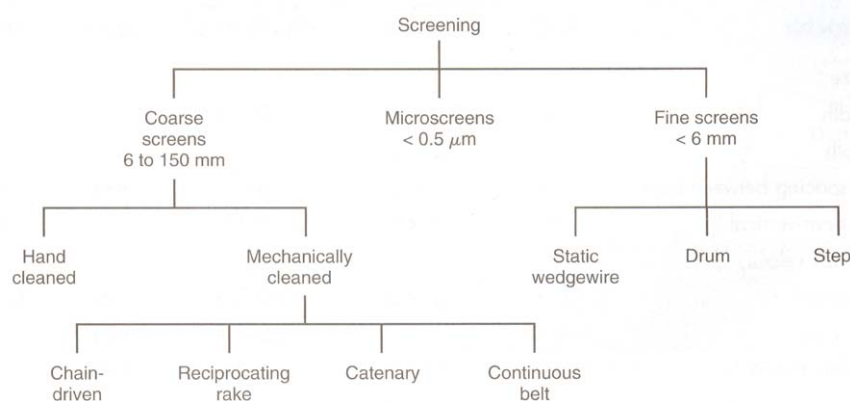
3.2 Εσχάρωση

Πηγές: Wastewater Engineering Treatment and Reuse Metcalf and Eddy, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants

Η εσχάρωση των υγρών αποβλήτων είναι μια από τις παλαιότερες διαδικασίες επεξεργασίας και απομακρύνει τα ογκώδη αντικείμενα από το ρεύμα των αποβλήτων για να προστατεύσει τα επόμενα στάδια επεξεργασίας από τις βλάβες που μπορούν να προκληθούν. Η εσχάρωση που στοχεύει στην απομάκρυνση των ογκωδών στερεών διαχωρίζεται από την άλεση και τον θρυμματισμό που συντελούν στην μείωση του μεγέθους των στερεών. Ο θρυμματισμός και η άλεση χρησιμοποιούνται σαν μέθοδοι προεπεξεργασίας σε περιπτώσεις όπου η χρήση σχαρών δεν θεωρείται λειτουργική. Σε πολλές νέες εγκαταστάσεις επεξεργασίας έχουμε χρήση χονδρών και λεπτών σχαρών

ταυτόχρονα, οι χονδρές σχάρες έχουν άνοιγμα άνω των 6mm (6-150mm) και απομακρύνουν ογκώδη στερεά κουρέλια και μπάζα, οι λεπτές σχάρες με άνοιγμα 1,5-6mm χρησιμοποιούνται για να απομακρύνουν υλικά που αυξάνουν σημαντικά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των επόμενων σταδίων επεξεργασίας ιδιαίτερα σε συστήματα που δεν χρησιμοποιείται πρωτοβάθμια επεξεργασία.

Οι σχάρες αποτελούνται από παράλληλες ράβδους ή σύρματα, βρόγχους από σύρμα ή και διάτρητους δίσκους, τα ανοίγματα μπορούν να έχουν οποιοδήποτε σχήμα αλλά συνήθως είναι κυκλικά ή παραλληλόγραμμα. Οι σχάρες που αποτελούνται από παράλληλες ράβδους ή βέργες ονομάζονται χονδρές ενώ οι λεπτές κατασκευάζονται συνήθως από σύρμα ή έχουν τη μορφή του διάτρητου δίσκου.



σχήμα 4: Ταξινόμηση σχαρών

3.2.1 Χονδρές σχάρες

Οι χονδρές σχάρες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για την προστασία του εξοπλισμού όπως προαναφέρθηκε, αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση τους δεν είναι απαραίτητη σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων όπου πιθανόν να μην έχουμε ογκώδη αντικείμενα στο ρεύμα των υγρών αποβλήτων που κατευθύνεται στην εγκατάσταση. Ανάλογα με την μέθοδο καθαρισμού των χονδρών σχαρών τις διακρίνουμε σε μηχανικές και χειροκίνητες.

Οι **χειρονακτικά** καθαριζόμενες σχάρες χρησιμοποιούνται συχνά πριν από αντλίες σε μικρές μονάδες άντλησης των αποβλήτων ή και σαν εφεδρικές σε μεγαλύτερες μονάδες όπου τα απόβλητα οδηγούνται σε αυτές μέσω παρακαμπτηρίων καναλιών σε περιπτώσεις επισκευής των μηχανικών σχαρών ,αυξημένης εισροής αποβλήτων ή διακοπής της ηλεκτροδότησης. Οι μηχανικές σχάρες χρησιμοποιούνται για να ελαχιστοποιήσουν την χειροκίνητη διαδικασία που ήταν απαραίτητη για τον καθαρισμό

και τα φαινόμενα πλημμύρων λόγω φραξίματος των σχαρών. Το μήκος της σχάρας δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 3m ώστε να είναι δυνατός ο καθαρισμός με τα χέρια. Τα συλλεγόμενα αντικείμενα τοποθετούνται προσωρινά σε διάτρητα πιάτα από όπου στην συνέχεια συλλέγονται. Το κανάλι της σχάρας πρέπει να είναι σχεδιασμένο ώστε να αποτρέπει την συσσώρευση άμμου και άλλων βαρέων υλικών, το δάπεδο του καναλιού πρέπει να είναι κεκλιμένο χωρίς ανωμαλίες που μπορεί να παγιδεύσουν ποσότητες στερεών και να έχει ίσια ροή κάθετη στις σχάρες ώστε να ευνοείται η ισοκατανομή των στερεών στη ροή των αποβλήτων και στην επιφάνεια της σχάρας.

Οι **μηχανικά** καθαριζόμενες σχάρες έχουν εξελιχθεί αρκετά όσον αφορά το σχεδιασμό τους ώστε να μειώσουν τα λειτουργικά προβλήματα ,την συντήρηση και να βελτιώσουν τις δυνατότητες της εσχάρωσης. Οι περισσότερες νέες σχάρες κατασκευάζονται από υλικά που αντέχουν στην διάβρωση όπως το ανοξείδωτο ατσάλι και πλαστικά. Οι μηχανικές σχάρες χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες (1)καθαρισμός με τη βοήθεια κινούμενης αλυσίδας (2)με κτένα που εκτελεί παλινδρομική κίνηση (3) catenary (4) με ιμάντα. Η χρήση σχαρών που ο καθαρισμός γίνεται με τη βοήθεια κινούμενων καλωδίων που στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν σε μεγάλο βαθμό σήμερα έχει αντικατασταθεί από άλλους τύπους σχαρών.

3.2.1.1 Σχάρες με αλυσίδες

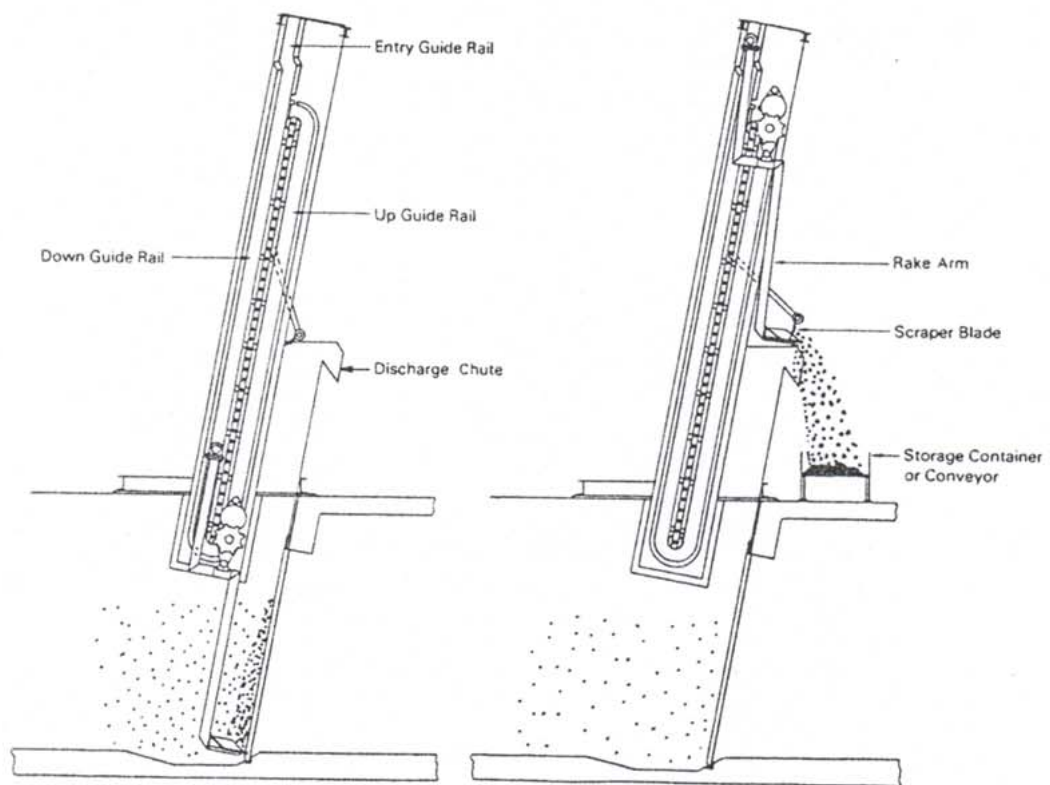
Οι μηχανικά καθαριζόμενες σχάρες με τη χρήση αλυσίδων διαφέρουν ανάλογα με το αν η κτένα καθαρισμού βρίσκεται στο μπροστινό ή στο πίσω μέρος της σχάρας και αν επιστρέφει στο κάτω μέρος της σχάρας από την μπροστινή ή την πίσω όψη. Γενικά οι εμπρόσθια καθαριζόμενες και επανατοποθετούμενες σχάρες είναι πιο αποδοτικές στην συγκράτηση των εγκλωβισμένων στερεών άλλα είναι περισσότερο ευπαθείς σε φθορές από τα στερεά που συγκεντρώνονται στη βάση της κτένας. Οι σχάρες αυτού του τύπου σπάνια χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις που δέχονται υγρά από παντορορικά δίκτυα διότι έχουμε αυξημένη εμφάνιση αντικειμένων μεγάλου μεγέθους τα οποία μπορούν να καταστρέψουν την κτένα. Στις σχάρες που καθαρίζονται από την πίσω όψη τους η κτένα επιστρέφει στον πάτο της σχάρας από την πίσω μεριά περνώντας κάτω από τη σχάρα και καθαρίζει τη σχάρα ανεβαίνοντας ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο βλάβης.

Στις σχάρες που καθαρίζονται από την πίσω όψη οι ράβδοι προστατεύουν την κτένα από τα μπάζα ωστόσο οι σχάρες αυτού του τύπου μεταφέρουν μέρος των στερεών που έχουν κατακρατηθεί από τη σχάρα. Η βάση των ράβδων για τις σχάρες που η κτένα

κινείται στην πίσω όψη και ο καθαρισμός γίνεται από την ίδια πλευρά είναι λιγότερο ανθεκτική διότι δεν διαθέτει στηρίγματα για να είναι δυνατή η κίνηση της κτένας. Οι περισσότερες σχάρες με αλυσίδες έχουν εξαρτήματα βυθισμένα στα απόβλητα τα οποία απαιτούν προσοχή κατά τη λειτουργία και παρουσιάζουν δυσκολίες στη συντήρηση, επιπλέον δυσκολίες παρουσιάζονται στην ρύθμιση και την επισκευή των βαρέων αλυσίδων όπως και στην εκκένωση των καναλιών για τον έλεγχο και την επισκευή των τμημάτων που είναι βυθισμένα στα απόβλητα.

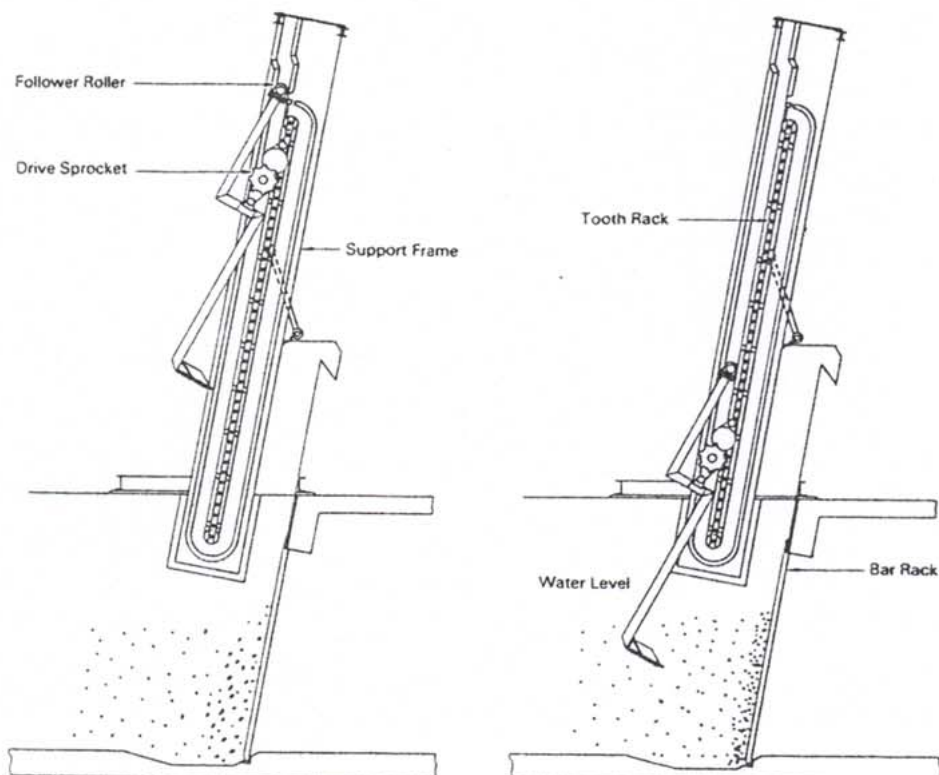
3.2.1.2 Σχάρες με παλινδρομικά κινούμενη κτένα

Η κτένα που χρησιμοποιείται στις σχάρες αυτού του τύπου μιμείται τις ανθρώπινες κινήσεις κατά τον καθαρισμό των σχαρών. Η κτένα κινείται προς τη βάση της σχάρας συμπλέκεται με τις σχάρες και μετακινεί τα εσχαρίσματα στην κορυφή από όπου και απομακρύνονται. Οι περισσότερες σχάρες χρησιμοποιούν μηχανισμό με οδοντωτό τροχό που κατευθύνει την κίνηση της κτένας, τα μοτέρ που χρησιμοποιούνται για την κίνηση αυτή είναι υποβρύχια υδραυλικά ή υδραυλικού τύπου. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι η τοποθέτηση των εξαρτημάτων που απαιτούν συντήρηση βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια των αποβλήτων και έτσι δεν απαιτείται εκκένωση των καναλιών για τον έλεγχο και την συντήρηση των σχαρών. Ο εμπρόσθιος καθαρισμός και επαναφορά των σχαρών ελαχιστοποιεί την μεταφορά στερεών κατά τον καθαρισμό στο ρεύμα εξόδου ,επίσης η χρήση μίας μόνο κτένας σε αντίθεση με άλλα συστήματα που χρησιμοποιούν πολλαπλές περιορίζει την ικανότητα καθαρισμού σε περιπτώσεις που η σχάρες δέχονται μεγάλα φορτία στερεών. Αξίζει να σημειωθεί ότι συχνά η συσσώρευση άμμου μπροστά από τις ράβδους μπορεί να εμποδίζει την παλινδρομική κίνηση καθώς και το υψηλό κόστος εξαιτίας της ανοξείδωτης ατσάλινης κατασκευής.



As the cogwheels rotate around the bottom pin of the pin rack the rake arm engages the tines of the rake arm with the bar rack.

The cogwheels walk up the pin rack and the rake arm transports the screening up to the discharge chute for disposal.



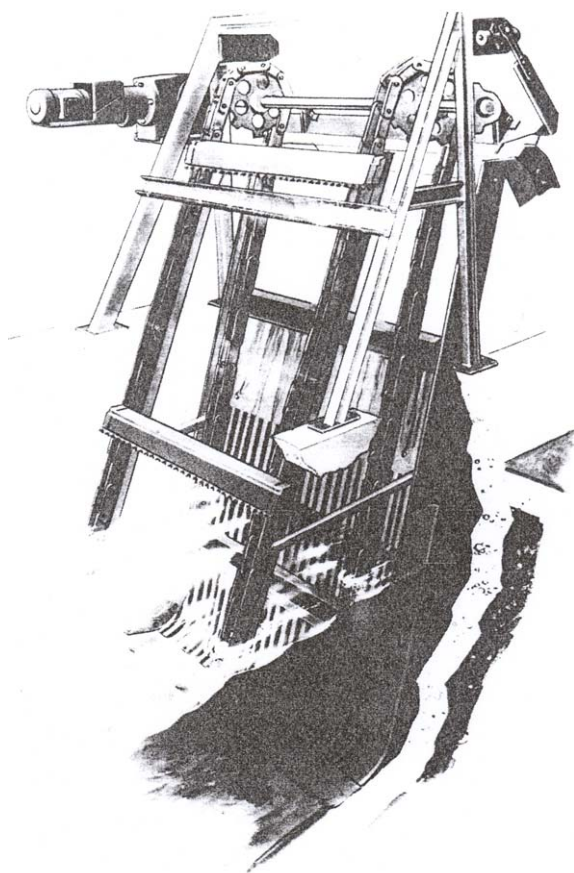
The cleaning cycle begins when the mechanism is activated. The cogwheels move down the pin rack with the rake arm in the retracted position.

The rake arm enters the water on the upstream side of the screen in the retracted position.

σχήμα 5: Σχάρες με παλινδρομικά κινούμενη κτένα

3.2.1.3 Καμπύλες σχάρες

Στις σχάρες αυτού του τύπου χρησιμοποιείται εμπρόσθιος καθαρισμός και επαναφορά της κτένας και δεν διαθέτουν βυθισμένους οδοντωτούς τροχούς. Σε αυτές τις σχάρες η κτένα είναι τοποθετημένη αντίθετα προς τη βάση και συγκρατείται από το βάρος των αλυσίδων, στην περίπτωση που βαριά αντικείμενα στριμωχθούν ανάμεσα στις ράβδους οι κτένες τα προσπερνούν, ωστόσο οι σχάρες αυτού του τύπου καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο λόγω της μεγάλης κλίσης (45-75°).



σχήμα 6: καμπύλες σχάρες

3.2.1.4 Σχάρες με ιμάντα

Οι σχάρες αυτού του τύπου είναι σχετικά καινούργια επινόηση που χρησιμοποιείται κυρίως στις Η.Π.Α.. Πρόκειται για ένα συνεχούς λειτουργίας αυτοκαθαριζόμενο ιμάντα που απομακρύνει χονδρά και λεπτόκοκκα στερεά. Περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό δοντιών προσκολλημένων στην αλυσίδα, ο αριθμός αυτός εξαρτάται από το βάθος του καναλιού

της σχάρας. Δεδομένου ότι το άνοιγμα της σχάρας κυμαίνεται από 0,5-30mm μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο ως χονδρή αλλά και ως λεπτή. Γάντζοι που προεξέχουν από τον ιμάντα μαζεύουν τα ογκώδη στερεά όπως κονσέρβες και κουρέλια. Οι σχάρες αυτού του τύπου δεν έχουν οδοντωτούς τροχούς βυθισμένους στα απόβλητα έχουν όμως υψηλό κόστος και μεγάλο χρόνο αποκατάστασης των βλαβών όσον αφορά τις φθορές στο σύστημα του οδοντωτού ιμάντα.

3.3 Εξάμμωση

Πηγές: Wastewater Engineering Treatment and Reuse Metcalf and Eddy, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants

Η απομάκρυνση της άμμου από τα υγρά απόβλητα επιτυγχάνεται σε θαλάμους εξάμμωσης ή με φυγοκέντρωση των στερεών. Οι θάλαμοι εξάμμωσης είναι σχεδιασμένοι ώστε να μπορούν να αφαιρέσουν άργιλο, άμμο, χαλίκια, στάχτες και άλλα βαριά στερεά υλικά που έχουν ικανοποιητικές ταχύτητες καθίζησης ή ειδικό βάρος αρκετά μεγαλύτερο από αυτό των οργανικών στερεών που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα και υπόκεινται σε σήψη. Οι θάλαμοι εξάμμωσης συνήθως τοποθετούνται μετά την εσχάρωση και πριν την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης όπου απομακρύνονται τα βαριά οργανικά στερεά. Σε ορισμένες εγκαταστάσεις οι θάλαμοι εξάμμωσης προηγούνται των σχαρών. Γενικά η εγκατάσταση των εξαμμοτών μετά την εσχάρωση διευκολύνει την λειτουργία και την συντήρηση της εξάμμωσης

Η τοποθέτηση εξαμμοτών μπροστά από τις αντλίες των αποβλήτων όταν αυτό είναι επιθυμητό απαιτεί την τοποθέτησή τους σε αρκετό βάθος γεγονός που αυξάνει το κόστος, επομένως κρίνεται οικονομικότερο να αντλούμε τα υγρά απόβλητα μαζί με την άμμο, γνωρίζοντας ότι με αυτή τη διάταξη οι αντλίες θα χρειαστούν περισσότερη συντήρηση.

3.3.1 Τύποι Εξαμμοτών

Οι εξαμμοτές παρέχουν (1) προστασία στα κινούμενα μηχανικά μέρη από την τριβή με την άμμο και τη φθορά που αυτή συνεπάγεται (2) μείωση των βαρέων αποθέσεων στις σωληνώσεις και τα κανάλια και (3) μείωση της συχνότητας του τακτικού

καθαρισμού που οφείλεται στην συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων άμμου. Η εξάμμωση κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική πριν από συσκευές φυγοκέντρωσης ανταλλαγής θερμότητας και αντλιών με διάφραγμα υψηλής πίεσης.

Γενικά υπάρχουν τρία είδη εξαμμωτών: οριζόντιας ροής με παραλληλόγραμμο ή τετράγωνο σχήμα, αεριζόμενος ή στροβιλώδους. Στον εξαμμωτή οριζόντιας ροής τα υγρά απόβλητα περνούν από το θάλαμο με οριζόντια κατεύθυνση και ταχύτητα ροής που ελέγχεται από τις διαστάσεις της μονάδας, μία θύρα κατανομής των εισροών και ένα υδατόφραγμα για τις απορροές. Ο αεριζόμενος τύπος αποτελείται από δεξαμενή αερισμού σπειροειδούς ροής όπου η σπειροειδής ταχύτητα ελέγχεται και προκαλείται από τις διαστάσεις της δεξαμενής και την ποσότητα του αέρα που διατίθεται στην μονάδα. Ο στροβιλώδης τύπος αποτελείται από μία κυλινδρική δεξαμενή στην οποία η ροή εισέρχεται εφαπτομενικά δημιουργώντας δίνη στη ροή, οι φυγόκεντρες και οι βαρυτικές δυνάμεις προκαλούν τον διαχωρισμό της άμμου. Ο σχεδιασμός του θαλάμου εξάμμωσης βασίζεται συνήθως στην απομάκρυνση των κόκκων άμμου με ειδικό βάρος 2,65 και θερμοκρασία αποβλήτων 15,5C.Ωστόσο η ανάλυση των δεδομένων εξάμμωσης δείχνει ότι τα ειδικά βάρη κυμαίνονται από 1,37 ως 2,7.

3.3.1.1 Εξαμμωτές Οριζόντιας Ροής

Οι τετράγωνοι και παραλληλόγραμμοι εξαμμωτές χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια, ωστόσο η χρήση τους σε νέες εγκαταστάσεις έχει περιοριστεί προς όφελος των αεριζόμενων και στροβιλώδους ροής. Αντιπροσωπευτικά δεδομένα σχεδιασμού για εξαμμωτές οριζόντιας ροής δίνονται στους πίνακες 5,6.

5. Τυπικά δεδομένα σχεδίασης για θαλάμους οριζόντιας ροής (Wastewater engineering treatment and reuse)

	Μονάδα	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Χρόνος κράτησης	s	45-90	60
Οριζόντια ταχύτητα	m/s	0,25-0,4	0,3
Ταχύτητα καθίζησης:	m/min	1,0-1,3 ^a	1,15
Σωματιδίων διαμέτρου 0,21mm	m/min	0,6-0,9 ^a	0,75

Σωματιδίων διαμέτρου 0,15mm	%	30-40	36β
Πρόσθετες ανοχές μήκους λόγω τύρβης κατά την είσοδο-έξοδο	%	25-50	30

α: στην περίπτωση που το ειδικό βάρος της άμμου είναι σημαντικά μικρότερο από 2,65 μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες ταχύτητες.

β:για αυλάκι Pashall.

6. Τυπικά κριτήρια σχεδίασης για θαλάμους οριζόντιας ροής (Design of municipal wastewater treatment plants)

Μέγεθος	Εύρος Τιμών	Σχόλια
Διαστάσεις:		
Βάθος νερού, m	0,6-1,5	Εξαρτάται από την επιφάνεια του καναλιού και την παροχή
Μήκος, m	3-25	Συνάρτηση του βάθους του καναλιού και της ταχύτητας καθίζησης της άμμου
Ανοχή λόγω τύρβης κατά την είσοδο-έξοδο, %	25-50	Βασίζεται στο θεωρητικό μήκος
Χρόνος κράτησης (σε συνθήκες μέγ. ροής), s	15-90	Συνάρτηση της ταχύτητας και του μήκους του καναλιού
Οριζόντια ταχύτητα, m/s	0,15-0,4	Βέλτιστη ταχύτητα: 0,3m/s

3.3.1.1.1 Παραλληλόγραμμοι εξαμμοτές οριζόντιας ροής

Ο παλαιότερος τύπος εξαμμοτή είναι αυτός του παραλληλόγραμμου με οριζόντια ροή και έλεγχο της ταχύτητας. Αυτές οι μονάδες σχεδιάζονται ώστε να διατηρούν την ταχύτητα κατά το δυνατόν στα 0,3m/s και να παρέχουν επαρκή χρόνο στα σωματίδια της άμμου ώστε να κατακαθίζονται στον πυθμένα του καναλιού. Η ταχύτητα σχεδιασμού μεταφέρει τα περισσότερα οργανικά στερεά μέσα από το θάλαμο και τείνει να θέσει σε

επαναιώρηση τα οργανικά σωματίδια και να επιτρέψει στα βαρύτερα να εξέλθουν από τον θάλαμο.

Η αρχή σχεδιασμού των παραλληλόγραμμων θαλάμων οριζόντιας ροής βασίζεται στο ότι ακόμα και στις πιο δυσμενείς συνθήκες το ελαφρύτερο σωματίδιο άμμου θα φτάσει τον πυθμένα του καναλιού πριν την έξοδο. Οι εξαμμοωτές σχεδιάζονται για να απομακρύνουν όλα τα σωματίδια που θα συγκρατούνταν από μία σχάρα με διάκενα διαμέτρου 0,21mm παρολαυτά πολλοί θάλαμοι σχεδιάζονται για την απομάκρυνση για να απομακρύνουν σωματίδια που συγκρατούνται από σχάρες διαμέτρου 0,15mm. Το μήκος του καναλιού καθορίζεται από το απαιτούμενο βάθος την ταχύτητα καθίζησης και το τμήμα ελέγχου, η διατμηματική περιοχή καθορίζεται από τον ρυθμό ροής και τον αριθμό των καναλιών. Ανοχές σχεδιασμού πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν για δίνες κατά την είσοδο και την έξοδο.

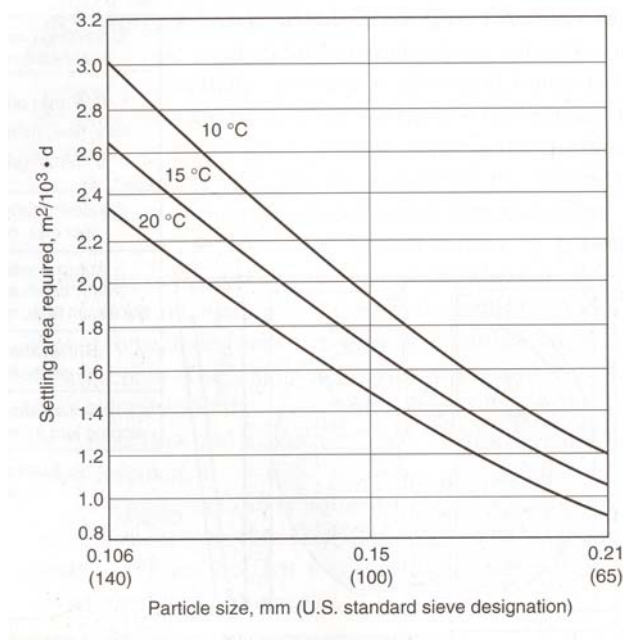
Η απομάκρυνση της άμμου στους θαλάμους εξάμμοωσης οριζόντιας ροής πραγματοποιείται συνήθως με τη βοήθεια ταινίας μεταφοράς με ξέστρα, κάδους ή άροτρο. Μεταφορείς σε σχήμα κοχλία και κάδοι με ανελκυστήρες ανυψώνουν την άμμο για ξέπλυμα ή διάθεση. Σε μικρές εγκαταστάσεις οι εξαμμοωτές συχνά καθαρίζονται χειρωνακτικά.

3.3.1.1.2 Τετράγωνοι εξαμμοωτές οριζόντιας ροής

Οι τετράγωνοι θάλαμοι εξάμμοωσης οριζόντιας ροής χρησιμοποιούνται για παραπάνω από εξήντα χρόνια. Η εισροή της δεξαμενής κατανέμεται στην διατομή της δεξαμενής με μία σειρά από βάνες και θύρες και τα κατανεμημένα υγρά απόβλητα ρέουν σε ευθείες κατά μήκος της δεξαμενής και υπερχειλίζουν σε ένα φράγμα ελεύθερης εκκένωσης. Στις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται τετράγωνοι εξαμμοωτές γενικά προτείνεται η κατασκευή τουλάχιστον δύο μονάδων. Η αρχή σχεδιασμού αυτού του τύπου εξαμμοωτών στηρίζεται στον ρυθμό υπερχειλίσεως ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων που θέλουμε να απομακρύνουμε και την θερμοκρασία των αποβλήτων. Σχεδιάζονται με ονομαστική απομάκρυνση του 95% των σωματιδίων με διάμετρο 0,15mm σε συνθήκες μέγιστης ροής. Μία αντιπροσωπευτική ομάδα καμπυλών σχεδιασμού φαίνεται στο σχήμα 7.

Στους τετράγωνους εξαμμοωτές τα στερεά απομακρύνονται με το μηχανισμό μίας περιστρεφόμενης κτένας που τα συγκεντρώνει σε ένα φρεάτιο αποστράγγισης στην άκρη της δεξαμενής. Η άμμος που έχει καθιζήσει μετακινείται με τη βοήθεια μίας κτένας που

εκτελεί παλινδρομική κίνηση ή μπορεί να αντληθεί από την δεξαμενή και με τη βοήθεια κυκλώνα να διαχωριστεί το οργανικό φορτίο που έχει απομείνει από την συγκεντρωμένη άμμο. Η άμμος που έχει συλλεχθεί μπορεί να πλυθεί και να ταξινομηθεί με τη χρήση μίας βυθιζόμενης παλινδρομικής κτένας ή μια κεκλιμένη συσκευή μεταφοράς με τη μορφή κοχλίου, διαφορετικά τα οργανικά στερεά χωρίζονται από την άμμο και επανέρχονται στην δεξαμενή με αποτέλεσμα να έχουμε καθαρότερη και ξηρότερη άμμο.



σχήμα 7:Επιφάνεια που απαιτείται για την καθίζηση σωματιδίων με ειδικό βάρος 2.65 συναρτήσει της θερμοκρασίας και του μεγέθους

3.3.1.2 Αεριζόμενοι εξαμμωτές

Στους αεριζόμενους θαλάμους εξάμμωσης ο αέρας εισάγεται κατά μήκος της μίας πλευράς της παραλληλόγραμμης δεξαμενής και δημιουργεί μία σπειροειδή ροή κάθετη στη ροή στο εσωτερικό της δεξαμενής. Τα βαρύτερα σωματίδια άμμου που έχουν μεγαλύτερες ταχύτητες καθίζησης πέφτουν στον πυθμένα, τα ελαφρύτερα κυρίως οργανικά σωματίδια παραμένουν σε αιώρηση και περνούν μέσα από τη δεξαμενή. Η ταχύτητα με την οποία κυλάει ή διαταράσσεται το ρεύμα καθοδηγεί την καθίζηση σωματιδίων συγκεκριμένου ειδικού βάρους. Αν η ταχύτητα είναι πολύ μεγάλη η άμμος θα μεταφερθεί εκτός του θαλάμου εξάμμωσης ενώ αν είναι πολύ μικρή η οργανική ύλη θα αποτεθεί στην δεξαμενή εξάμμωσης, το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί ρυθμίζοντας κατάλληλα την παροχή του αέρα, πράγμα που γίνεται πολύ εύκολα. Με κατάλληλη ρύθμιση του αέρα μπορούμε να πετύχουμε σχεδόν 100% απομάκρυνση έχοντας

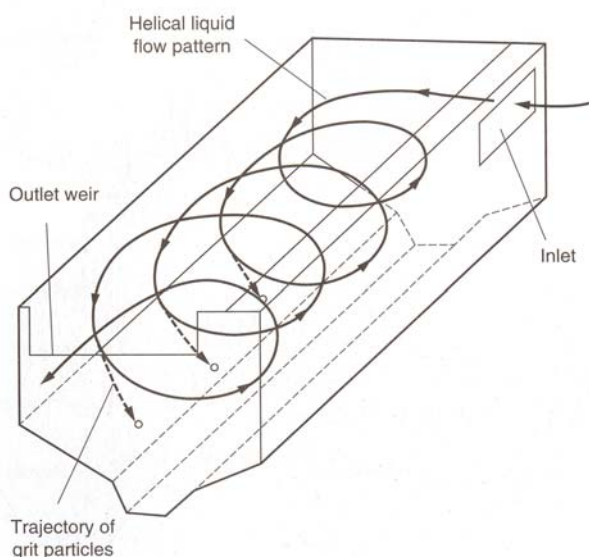
ταυτόχρονα καλύτερο ξέπλυμα της άμμου.(Η άμμος που δεν είναι καλά πλυμένη και περιέχει οργανικά είναι επικίνδυνη για την δημιουργία οσμών και την προσέλκυση εντόμων.)

Οι αεριζόμενοι εξαμμωτές σχεδιάζονται για ονομαστική απομάκρυνση σωματιδίων διαμέτρου 0,21mm ή μεγαλύτερα με χρόνο κράτησης 2-5 λεπτά σε συνθήκες μέγιστης ωριαίας ροής. Η διατομή της δεξαμενής είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για την επίτευξη σπειροειδούς ροής στις δεξαμενές αερισμού ενεργού ιλύος με τη διαφορά ότι ένα χωνί περίπου 0,9m σε βάθος με απότομα κεκλιμένες πλευρές είναι τοποθετημένο κατά μήκος μίας πλευράς της δεξαμενής κάτω από τους διαχύτες του αέρα. Η διάχυση του αέρα βρίσκεται περίπου 0,45 με 0,6m πάνω από τον πυθμένα. Στους εξαμμωτές χρησιμοποιούνται συχνά διατάξεις ρύθμισης των εισροών και απορροών με σκοπό τον υδραυλικό έλεγχο και αποτελεσματικότερη απομάκρυνση της άμμου. Τα κυριότερα δεδομένα σχεδιασμού για αεριζόμενους εξαμμωτές φαίνονται στους πίνακες 7,8.

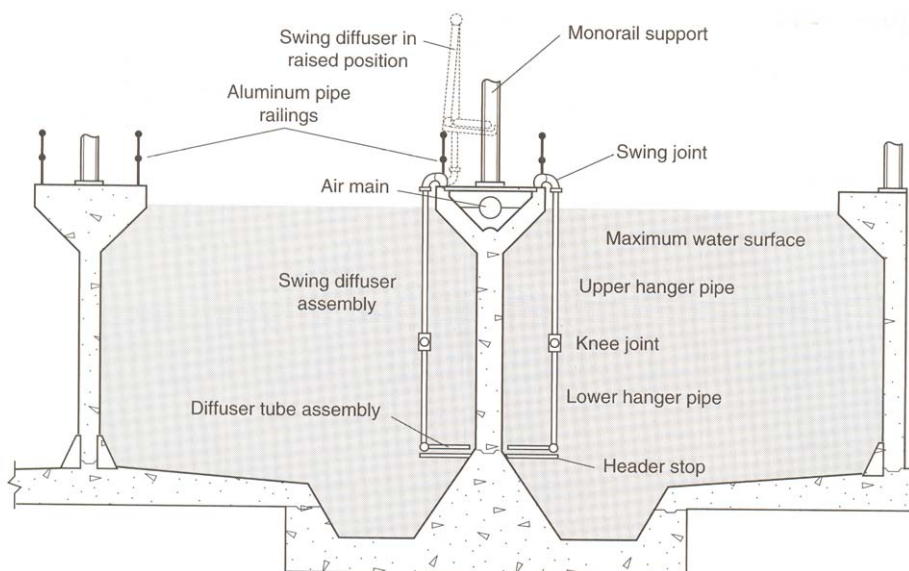
Τα υγρά απόβλητα θα κινηθούν μέσω της δεξαμενής σε μια διαδρομή σπειροειδούς μορφής και θα περάσουν δύο ή περισσότερες φορές από τον πυθμένα της δεξαμενής σε συνθήκες μέγιστης ροής και ακόμα περισσότερες σε συνθήκες μικρότερης ροής. Τα απόβλητα πρέπει να εισαχθούν στην κατεύθυνση που πρόκειται να κινηθούν. Για τον καθορισμό των απαιτούμενων υδραυλικών απωλειών στον θάλαμο πρέπει να συνυπολογίσουμε και την διαστολή του όγκου που προκαλείται από την εισαγωγή του αέρα.

Για την απομάκρυνση της άμμου οι αεριζόμενοι θάλαμοι εξάμμωσης είναι συχνά εξοπλισμένοι με κάδους που κινούνται πάνω σε ράγα από το τμήμα συλλογής της άμμου στην τάφρο αποθήκευσης. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της χρήσης κάδων για την απομάκρυνση της άμμου είναι ότι κατά την ρίψη από τον κάδο στο περιεχόμενο της δεξαμενής η άμμος μπορεί να πλυθεί. Άλλες εγκαταστάσεις εφοδιάζονται με κάδους συνεχούς λειτουργίας που μετακινούνται με αλυσίδες σε όλο το μήκος του χώρου αποθήκευσης οι οποίοι μεταφέρουν την άμμο στο ένα άκρο της αποθήκης και το υψώνουν πάνω από την επιφάνεια των αποβλήτων, χρησιμοποιούνται επίσης μεταφορείς σε σχήμα κοχλία ή αυλακιού και αντλίες. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται γέφυρες πάνω στις οποίες κινούνται οι συλλέκτες της άμμου, οι αντλίες εμβαπτίζονται στον θάλαμο και κινούνται σε όλο το μήκος, αντλώντας την άμμο στο σύστημα συλλογής και οδηγώντας την στο χώρο αποθήκευσης. Οι αντλίες μπορεί να λειτουργούν συνεχώς ή να προγραμματίζονται ανάλογα με τον χρόνο ή τις ροές. Σε περιοχές που στο αποχετευτικό σύστημα εισάγονται και βιομηχανικά πρέπει να λάβουμε υπόψιν και την

απελευθέρωση πτητικών οργανικών ουσιών (VOCs) από την διαταραχή των αποβλήτων κατά τον αερισμό. Η απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων πτητικών στερεών μπορεί να εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία των εργαζόμενων στην εγκατάσταση επεξεργασίας των αποβλήτων. Σε περιπτώσεις που αντιμετωπίζουμε το ενδεχόμενο έκλυσης μεγάλων ποσοτήτων πτητικών οργανικών ουσιών μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιο κάλυμμα ή να επιλέξουμε κάποιο άλλο είδος μη αεριζόμενου εξαμμωτή.



σχήμα 8: Τροχιά σωματιδίων σε αεριζόμενο εξαμμωτή



σχήμα 9: Αεριζόμενος εξαμμωτής

7. Τυπικά δεδομένα σχεδίασης για αεριζόμενους εξαμμωτές (Wastewater engineering treatment and reuse)

	Μονάδα	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
--	--------	-------------	-------------

Χρόνος κράτησης για μέγιστη παροχή	min	2-5	3
Διαστάσεις:			
Βάθος	m	2-5	
Μήκος	m	7,5-20	
Πλάτος	m	2,5-7	
Αναλογία πλάτους-βάθους	Καθ.αρ.	1:1 ως 5:1	1,5:1
Αναλογία μήκους-πλάτους	Καθ.αρ.	3:1 ως 5:1	4:1
Απόθεμα αέρα ανά μονάδα μήκους	m ³ /m*min	0,2-0,5	
Ποσότητα άμμου	m ³ / 10 ³ m ³	0,004-0,20	0,015

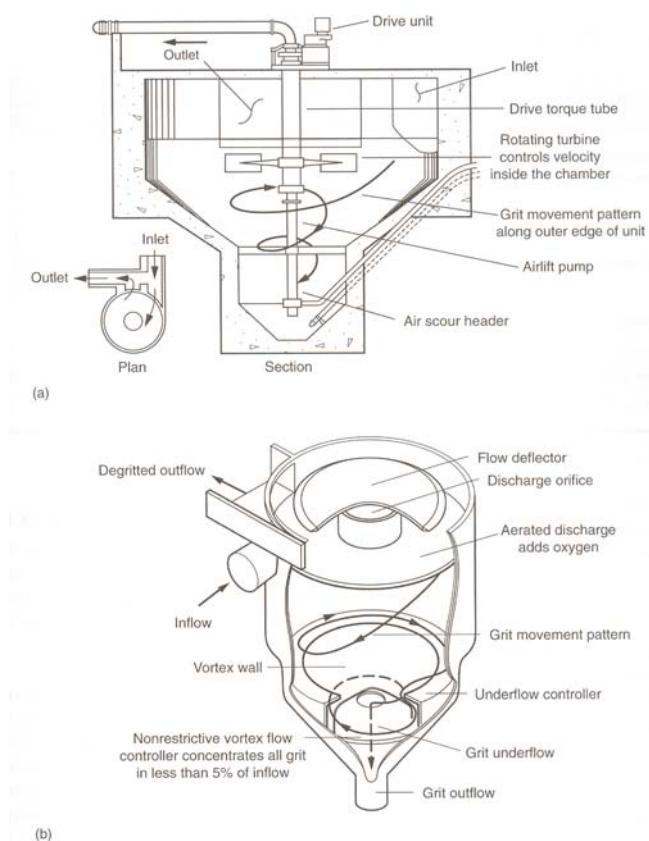
8. Τυπικά κριτήρια σχεδίασης για αεριζόμενους εξαμμωτές (Design of municipal wastewater treatment plants)

Μέγεθος	Εύρος Τιμών	Σχόλια
Διαστάσεις:		
Βάθος, m	2-5	Ποικίλει σημαντικά
Αναλογία μήκους-πλάτους	2,5:1-5:1	
Αναλογία πλάτους-διαμέτρου	1:1-5:1	Συνήθως 2:1
Ελάχιστος χρόνος κράτησης (σε συνθήκες μέγ. ροής), s	2-5	Συνήθως 3
Ποσότητα αέρα		
L/m*s	5-12	
Τύπος Διαχύτη	Μεσαίες και μεγάλες φυσαλίδες	
Απόσταση από τον πυθμένα	0,6-1,0	
Εγκάρσια ταχύτητα	0,6-0,75	Για να επιτυγχάνεται εύκολα σωστή ρύθμιση των βαλβίδων και των μετρητών παροχής

3.3.1.3 Εξαμμοωτές στροβιλώδους ροής

Η άμμος μπορεί επίσης να απομακρυνθεί σε διατάξεις που χρησιμοποιούν στροβιλώδη τύπο ροής, δύο είδη τέτοιων διατάξεων φαίνονται στο σχήμα 10. Στον πρώτο εξαμμοωτή τα απόβλητα εισέρχονται και εξέρχονται εφαπτομενικά. Ο κινητήρας που προκαλεί την περιστροφή διατηρεί σταθερή την ταχύτητα ροής και η ρύθμιση της κλίσης των πτερυγίων ευνοεί τον διαχωρισμό των οργανικών από την άμμο. Η κίνηση της προπέλας προκαλεί ελικοειδή ροή των σωματιδίων της άμμου, τα οποία κατακάθονται λόγω βαρύτητας στη χοάνη σε μία περιστροφή του περιεχομένου της δεξαμενής. Τα στερεά μεταφέρονται με αερογέφυρα ή με αντλία οπότε υπάρχει και η δυνατότητα εισαγωγής σε υδροκυκλώνα για την απομάκρυνση των οργανικών υλών που έχουν απομείνει. Η άμμος που μεταφέρεται με αερογέφυρα μπορεί να στραγγιστεί σε συρμάτινα κόσκινα. Χαρακτηριστικά δεδομένα σχεδιασμού δίνονται στον πίνακα 9. Στην περίπτωση που η εγκατάσταση διαθέτει περισσότερες από δύο μονάδες εξάμμοωσης, απαιτείται ειδική κατανομή της ροής.

Στον δεύτερο τύπο η δίνη προκαλείται από την ροή που εισέρχεται εφαπτομενικά από την κορυφή της μονάδας. Η εκροή γίνεται από το κέντρο της κορυφής της μονάδας από ένα περιστρεφόμενο κύλινδρο. Οι φυγόκεντρες και βαρυτικές δυνάμεις μέσα τον κύλινδρο ελαχιστοποιούν την απελευθέρωση σωματιδίων με πυκνότητα μεγαλύτερη από αυτή του νερού. Η άμμος καθιζάνει με την επίδραση της βαρύτητας στον πυθμένα της μονάδας ενώ τα οργανικά, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που διαχωρίζονται από την άμμο με φυγοκέντρωση, απομακρύνονται κυρίως από την εκροή. Τα εναπομείναντα οργανικά διαχωρίζονται από την άμμο καθώς τα σωματίδια της άμμου κινούνται κατά μήκος του πυθμένα της μονάδας. Οι υδραυλικές απώλειες στον εξαμμοωτή είναι συνάρτηση του μεγέθους των σωματιδίων που απομακρύνονται και αυξάνονται σημαντικά για πολύ μικρά σωματίδια. Οι εξαμμοωτές στροβιλώδους ροής διαστασιολογούνται ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν σε συνθήκες μέγιστης ροής που ανέρχονται στα $0.3\text{m}^3/\text{s}$ για κάθε μονάδα. Η άμμος απομακρύνεται από την μονάδα με τη βοήθεια κινούμενου ιμάντα. Εξαιτίας του συνολικού του ύψους αυτός ο τύπος εξαμμοωτή απαιτεί την κατασκευή υπογείου ή ανελκυστήρα αν έχει τοποθετηθεί πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.



σχήμα 10: Εξαμμοτής στροβιλώδους ροής

9. Τυπικά δεδομένα σχεδίασης για εξαμμοτές στροβιλώδους ροής (Wastewater engineering treatment and reuse)

	Μονάδα	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Χρόνος κράτησης για μέση παροχή	s	20-30	30
Διάμετρος:			
Άνω τμήμα θαλάμου	m	1,2-7,2	
Κάτω τμήμα θαλάμου	m	0,9-1,8	
Ύψος	m	2,7-4,8	
Βαθμός απομάκρυνσης:			
0,30mm	%	92-98	95+
0,24mm	%	80-90	85+
0,15mm	%	60-70	65+

3.3.2 Διαχωρισμός της άμμου από τα στερεά

Σε εγκαταστάσεις που δεν χρησιμοποιούνται εξαμμωτές εξάμμωση η άμμος κατακάθεται στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και η εξάμμωση πραγματοποιείται εισάγοντας με αντλία αραιωμένες ποσότητες από τη λάσπη της δεξαμενής σε κυκλώνα εξάμμωσης. Ο κυκλώνας εξάμμωσης λειτουργεί σαν φυγοκεντρητής στον οποίο τα βαριά σωματίδια της άμμου και των στερεών διαχωρίζονται με τον στροβιλισμό απομακρύνονται χωριστά από τα ελαφρύτερα σωματίδια και την υγρή φάση. Το βασικότερο πλεονέκτημα του κυκλώνα εξάμμωσης είναι ο περιορισμός του κόστους κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης για την διαδικασία της εξάμμωσης. Τα μειονεκτήματα είναι ότι η άντληση αραιωμένων ποσοτήτων στερεών συνήθως απαιτεί την ύπαρξη παχυντών και η άντληση της άμμου με τα στερεά αυξάνει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης για την συλλογή των στερεών και την άντληση της πρωτοβάθμιας λάσπης.

3.3.3 Χαρακτηριστικά της άμμου

Γενικά αυτό που απομακρύνεται σαν άμμος είναι κατά κύριο λόγο αδρανές και σχετικά ξηρό υλικό. Ωστόσο η σύνθεση της άμμου μπορεί να διαφέρει σημαντικά, η υγρασία μπορεί να κυμαίνεται από 13 ως 65%, και τα πτητικά από 1 ως 56%. Το ειδικό βάρος των καθαρών σωματιδίων άμμου φτάνει το 2,7 για αδρανή αλλά μειώνεται στο 1,3 όταν σημαντικό μέρος της οργανικής ύλης συσσωρεύεται στα αδρανή. Η τιμή των 1600 kg/m³ χρησιμοποιείται συχνά για την πυκνότητα της άμμου. Στις περισσότερες περιπτώσεις σημαντική ποσότητα οργανικών περιέχεται στην άμμο και σαπίζει γρήγορα αν δεν έχει την κατάλληλη μεταχείριση μετά την απομάκρυνση από τα απόβλητα. Τα σωματίδια άμμου με διάμετρο 0,2mm και μεγαλύτερη θεωρούνται ως η κύρια αιτία των περισσότερων προβλημάτων που εμφανίζονται στα επόμενα στάδια επεξεργασίας.

Οι διαφορές στην κατανομή μεγεθών της ανακτούμενης άμμου οφείλεται στις διαφορές στο σύστημα συλλογής και στην ικανότητα απομάκρυνσης της άμμου. Γενικά τα περισσότερα σωματίδια άμμου ανακτώνται σε ένα κόσκινο σε κόσκινο των 0,15mm, φτάνοντας ποσοστό ανάκτησης ακόμα και στο 100% σε ορισμένες περιπτώσεις, ωστόσο η άμμος μπορεί να είναι πολύ μικρότερη σε μέγεθος.

Τα χαρακτηριστικά της άμμου που συλλέγεται στους θαλάμους και στους κυκλώνες εξάμμωσης ποικίλουν σημαντικά από αυτό που θεωρείται καθαρή άμμος ως

και την άμμο που περιέχει μεγάλη ποσότητα οργανικών τα οποία υπόκεινται σε σήψη. Η άμμος που δεν έχει ξεπλυθεί, μπορεί να περιέχει 50% ή και περισσότερη οργανική ύλη , έχει ιδιαίτερα δυσάρεστη οσμή και αν δεν διατεθεί άμεσα μπορεί να προσελκύσει έντομα και τρωκτικά.

3.3.4 Ποσότητα της άμμου

Οι ποσότητες διαφέρουν σημαντικά σε διαφορετικές περιοχές και εξαρτώνται από τον τύπο του αποχετευτικού συστήματος, τα χαρακτηριστικά της αποχετευόμενης περιοχής, την κατάσταση των υπονόμων, την συχνότητα ρίψης άμμου στους δρόμους σε περιόδους χιονόπτωσης, τα βιομηχανικά απόβλητα και τις περιοχές με αμμώδες έδαφος.

Η ερμηνεία των δεδομένων απομάκρυνσης της είναι δύσκολη γιατί ο χαρακτηρισμός άμμος είναι ελλιπής και συνήθως δεν έχουμε συγκριτικά στοιχεία για εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται άμμο με παρόμοια χαρακτηριστικά. Οι πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της άμμου προέρχονται από την ποσότητα που έχει απομακρυνθεί, τα δεδομένα που προέρχονται από κοσκίνισμα δεν αφορούν την εισροή και εκροή των εξαμμωτών, γι αυτούς τους λόγους δεν μπορεί να γίνει σύγκριση της αποτελεσματικότητας ανάμεσα σε εξαμμωτές διαφορετικών εγκαταστάσεων.

3.3.5 Διαχωρισμός και πλύσιμο της άμμου

Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό και το ξέπλυμα της άμμου μπορούν να συντελέσουν στην απομάκρυνση μεγάλου μέρους της οργανικής ύλης που περιέχεται σε αυτή. Στην περίπτωση που κάποιες βαριές οργανικές ουσίες απομένουν στην άμμο, η πλύση χρησιμοποιείται ως ένα δεύτερο στάδιο διαχωρισμού των πτητικών οργανικών στερεών.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι πλύσης της άμμου. Ο ένας χρησιμοποιεί μία κεκλιμένα κτένα που είναι βυθισμένη στο νερό, το αναταράσσει για τον διαχωρισμό της άμμου από τα οργανικά και ταυτόχρονα σηκώνει την πλυμένη άμμο σε κάποιο σημείο εξόδου πάνω από την επιφάνεια του νερού. Η άλλη μέθοδος πλύσης χρησιμοποιεί ένα κεκλιμένο κοχλία που ανεβάζει την άμμο και οι δύο τύποι μπορούν να εξοπλιστούν με ψεκασμό νερού για την βελτίωση του καθαρισμού. Συχνά γίνεται εγκατάσταση υδροκυκλώνων για καλύτερο διαχωρισμό και απομάκρυνση των οργανικών στην είσοδο της πλύσης.

3.3.6 Διάθεση της άμμου

Η συνηθέστερα εφαρμοζόμενη μέθοδος διαχείρισης της άμμου είναι η μεταφορά και η υγειονομική ταφή, σε μεγάλες εγκαταστάσεις η άμμος αποτεφρώνεται μαζί με τα στερεά. Όπως συμβαίνει και με τα εσχαρίσματα, σε ορισμένες περιπτώσεις η άμμος ανακατεύεται με ασβέστη για να σταθεροποιηθεί πριν την υγειονομική ταφή. Σε κάθε περίπτωση η διάθεση πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τους κατάλληλους περιβαλλοντικούς κανόνες.

3.4 Μέτρηση της παροχής

Για την μέτρηση της παροχής των αποβλήτων χρησιμοποιούνται δύο τύποι μεθόδων:

- α) Μέθοδοι άμεσης απορροής
- β) Μέθοδοι ταχύτητας / επιφάνειας

3.4.1 Μέθοδοι άμεσης απορροής

Οι μέθοδοι άμεσης απορροής βασίζονται στη συσχέτιση της παροχής με κάποια σχετικά εύκολα μετρήσιμη παράμετρο (π.χ. πίεση, συγκέντρωση, στάθμη κλπ). Χαρακτηριστικές μέθοδοι απορροής είναι οι ακόλουθες:

3.4.1.1. Μετρητής Venturi

Είναι αγωγός ροής με στένωση (σχήμα 11), η λειτουργία του οποίου στηρίζεται σε θεμελιώδεις αρχές της ρευστομηχανικής. Η διάμετρος του αγωγού είναι d_1 και της στένωσης d_2 με τον λόγο d_1/d_2 να κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2 και 4. Καθώς το υγρό κινείται στον αγωγό, η ταχύτητα αυξάνει στην περιοχή της στένωσης με ταυτόχρονη μείωση της στατικής πίεσης. Η παροχή συσχετίζεται με την πτώση πίεσης και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού ως ακολούθως:

$$Q = \frac{C^* S_2}{\sqrt{1 - (S_2 / S_1)^2}} * \sqrt{2 * g^* (h_1 - h_2)} \quad (3.1)$$

Όπου Q: η ογκομετρική παροχή στον αγωγό

(h_1-h_2): πτώση πίεσης μεταξύ αγωγού και στένωσης (σε μονάδες μήκους)

S_2, S_1 : επιφάνεια διατομής ($\pi \cdot d^2/4$) αγωγού και στένωσης αντιστοίχως

C_d : συντελεστής απορροής που εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds στον αγωγό και τον λόγο d_1/d_2 (για αγωγό Venturi $C_d=0.98$)

3.4.1.2. Υπερχειλιστής ροής (weir)

Πρόκειται περί μεθόδου μέτρησης της παροχής σε ανοικτούς αγωγούς με τη χρήση ενός υπερχειλιστή (φράγματος) που παρεμβάλλεται στην ροή του υγρού. Η παροχή υπολογίζεται μετρώντας την απόσταση μεταξύ της κορυφής του υπερχειλιστή και της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού. Για την μέτρηση της παροχής των αποβλήτων χρησιμοποιείται συνήθως ο τριγωνικός υπερχειλιστής (V-notch weir) (σχήμα 11) για τον οποίο ισχύει:

$$Q = C \cdot 8/15 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \tan(\theta/2) = C \cdot h^{2.5} \quad (3.2)$$

Όπου Q: ογκομετρική παροχή σε m^3/s

C_w : σταθερά του υπερχειλιστή κυμαινόμενη μεταξύ 0,65 για $\theta=10^\circ$ και 0,58 για $\theta=100^\circ$

θ : γωνία V (σχήμα 11)

h: απόσταση υπερχειλιστή ελεύθερης επιφάνειας σε m

C: σταθερά ίση με $C \cdot 8/15 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \tan(\theta/2)$

Στη συνήθη πρακτική, ο υπερχειλιστής είναι ορθογωνικός ($\theta=90^\circ$, $\tan 45^\circ=1$, $C_w=0,6$) και ο σταθερός όρος (C) της εξίσωσης (3.2) είναι 1,4 στο μετρικό σύστημα. (Όταν η παροχή δίνεται σε ft^3/s και η απόσταση μετριέται σε ft, τότε $C=2,5$)

3.4.1.3. Αυλάκι Parshall

Πρόκειται περί συσκευής μεταβλητής διατομής που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της παροχής υγρών αποβλήτων σε ανοικτούς αγωγούς. Αποτελείται από ένα συγκλίνον και ένα αποκλίνον τμήμα αγωγού, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται «λαιμός» σταθερής διατομής (σχήμα 11). Το αυλάκι δρα ως ρυθμιστής της παροχής, η οποία υπολογίζεται μετρώντας το βάθος ροής πριν το αυλάκι και σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q=K*b*h^{1,5} \quad (3.3)$$

Όπου K: σταθερά του αυλακιού

b: πλάτος του «λαιμού»

h: βάθος ροής

Για την ειδική περίπτωση επιφανειακών αυλακιών ελεύθερης ροής με πλάτος λαιμού μεταξύ 1 και 8 ft, η παροχή σε ft³/s μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση $Q=4*b*h^c$, όπου $c=1,522*b^{0,026}$ (3.4)

3.4.1.4. Μέτρηση με τη χρήση ιχνηθέτη

Η μέθοδος βασίζεται στην προσθήκη κάποιου ιχνηθέτη (χημική ή ραδιενεργός ουσία) σε συγκεκριμένη συγκέντρωση και παροχή (F) σε αγωγό ροής (Q) (σχήμα 11). Αν η συγκέντρωση του ιχνηθέτη στην προστιθέμενη παροχή είναι c_1 , ενώ μετά από κάποια απόσταση είναι c_2 , τότε το ισοζύγιο μάζας δίνει την παροχή ως ακολούθως:

$$Q= F*(c_1- c_2) / c_2 \quad (3.5)$$

3.4.1.5. Ογκομέτρηση / Ζύγιση

Πρόκειται για μέτρηση του όγκου ή βάρους του υγρού που απορρέει σε μικρό χρονικό διάστημα και το οποίο σχετίζεται άμεσα με την παροχή.

3.4.2 Μέθοδοι ταχύτητας / επιφάνειας

Οι μέθοδοι ταχύτητας -επιφάνειας βασίζονται στην μέτρηση της ταχύτητας ροής. Το γινόμενο της ταχύτητας με την επιφάνεια διατομής δίνει την ογκομετρική παροχή. Οι συνηθέστερες μέθοδοι είναι οι εξής:

3.4.2.1. Μαγνητικοί μετρητές

Η λειτουργία τους στηρίζεται στην ακόλουθη αρχή: όταν ένα ηλεκτρικό φορτίο κινείται σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, δημιουργείται δυναμικό ανάλογα της ταχύτητας του

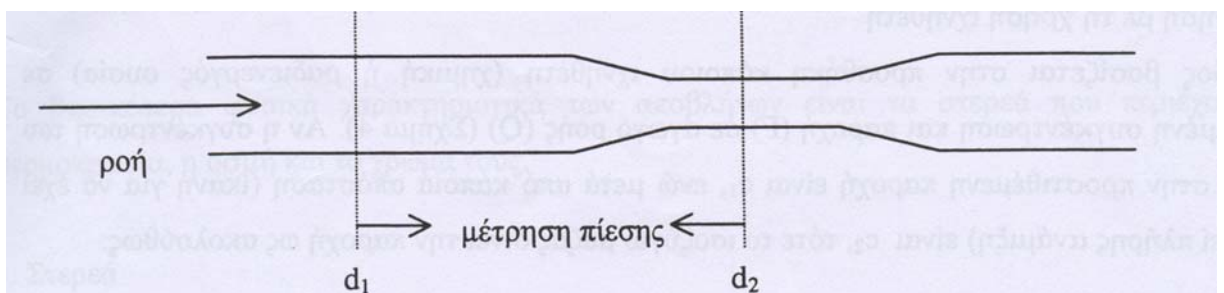
φορτίου. Για δεδομένο φορτίο μετριέται η διαφορά δυναμικού σε κάποια απόσταση και στη συνέχεια υπολογίζεται η ταχύτητα ροής.

3.4.2.2. Χημικοί και ραδιενεργοί ιχνηθέτες

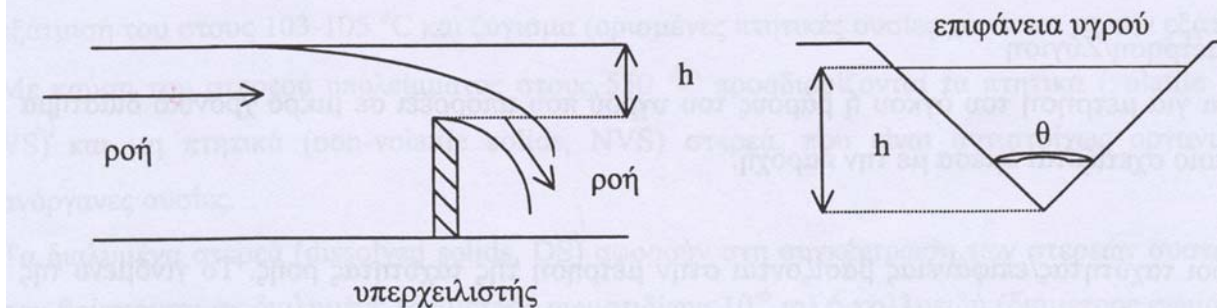
Μετριέται ο χρόνος κάλυψης (t) κάποιας απόστασης (s) και υπολογίζεται η ταχύτητα ροής ως s/t .

3.4.2.3. Επιπλέοντα σώματα

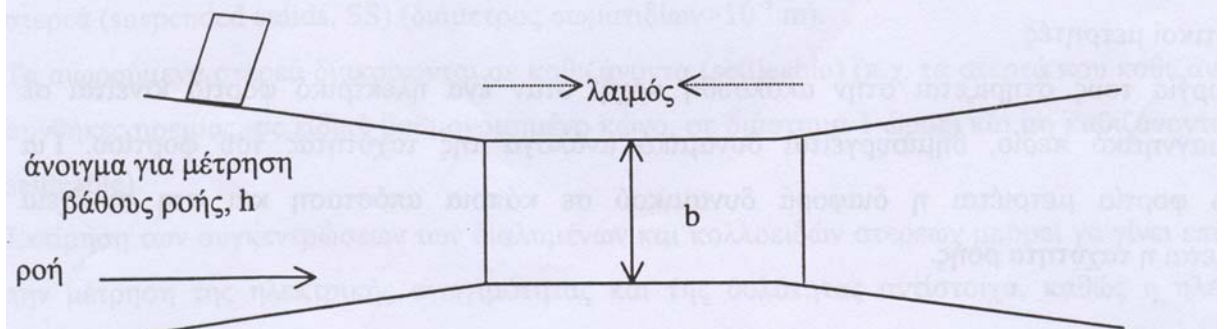
Μετριέται πάλι ο χρόνος κάλυψης (t) κάποιας απόστασης (s) και υπολογίζεται η ταχύτητα ροής ως s/t .



Σχήμα 1. Μετρητής Venturi



Σχήμα 2. Διάταξη υπερχειλιστή - Υπερχειλιστής σχήματος V (τριγωνικός)



Σχήμα 3. Αυλάκι Parshall

3.5 Πρωτοβάθμια καθίζηση

Σκοπός της πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, οργανικών και ανόργανων και των υλικών που επιπλέουν και επομένως η μείωση του φορτίου των αιωρούμενων στερεών. Η πρωτοβάθμια καθίζηση χρησιμοποιείται ως ένα προκαταρκτικό στάδιο στην περαιτέρω επεξεργασία των αποβλήτων. Μία δεξαμενή που έχει σχεδιαστεί και λειτουργεί αποτελεσματικά απομακρύνει 50-70% των αιωρούμενων στερεών και 25-40% του BOD.

Οι δεξαμενές καθίζησης έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης σαν δεξαμενές κράτησης των όμβριων υδάτων, όπου σχεδιάζονται για να παρέχουν μια μέση διάρκεια κράτησης (10-30min) για μεγάλες παροχές από παντοροϊκά ή χωριστικά δίκτυα. Ο σκοπός της καθίζησης είναι να απομακρύνει ένα σημαντικό ποσοστό των οργανικών στερεών τα οποία διαφορετικά θα αποβάλλονταν απευθείας στα εισερχόμενα ύδατα.. Δεξαμενές καθίζησης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την κράτηση των αποβλήτων με στόχο την απολύμανση σε περιπτώσεις μεγάλων παροχών.

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι να περιγράψει τους διάφορους τύπους εγκαταστάσεων καθίζησης, να μελετήσει τη λειτουργία τους και να κάνει μια ανασκόπηση των σχεδιαστικών παραμέτρων.

3.5.1 Περιγραφή

Σχεδόν σε όλες τις εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται μηχανικά καθαριζόμενες δεξαμενές καθίζησης με τυποποιημένο κυκλικό ή ορθογώνιο σχήμα. Η επιλογή του τύπου της μονάδας καθίζησης για μια δεδομένη εφαρμογή υπαγορεύεται από το μέγεθος της εγκατάστασης, τη νομοθεσία, από τοπικούς παράγοντες καθώς και από την κρίση και την εμπειρία του μηχανικού που έχει αναλάβει τον σχεδιασμό. Απαιτείται η κατασκευή δύο ή περισσότερων δεξαμενών ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία των αποβλήτων ακόμα και όταν μία δεξαμενή βρίσκεται εκτός λειτουργίας λόγω συντήρησης ή επισκευής. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις ο αριθμός των δεξαμενών καθορίζεται κυρίως από τους περιορισμούς μεγέθους για την οικονομία του χώρου. Τυπικά δεδομένα διαστασιολόγησης για ορθογωνικές και κυκλικές δεξαμενές δίνονται στους πίνακες 10,11.

3.5.2 Ορθογωνικές δεξαμενές

Οι ορθογωνικές δεξαμενές καθίζησης για την συλλογή της λάσπης χρησιμοποιούν ατέρμονες μεταφορείς ή μετακινούμενη γέφυρα με ξέστρο. Μία ορθογωνική δεξαμενή με ατέρμονες μεταφορείς φαίνεται στο σχήμα 12. Ο εξοπλισμός για την συγκέντρωση της λάσπης γενικά αποτελείται από ένα ζεύγος ατέρμονων αλυσίδων μεταφοράς από κράμα ατσαλιού, χυτοσιδήρου ή θερμοπλαστικών. Στις αλυσίδες υπάρχουν προσκολλημένες πτέρυγες ξέστρων με κενά μεταξύ τους περίπου των 3m κατασκευασμένες από ξύλο ή fiberglass και οι οποίες εκτείνονται σε όλο το πλάτος της δεξαμενής. Τα στερεά που κατακάθονται στην δεξαμενή συλλέγονται σε χοάνες στις μικρές δεξαμενές ή σε κάθετα προς τη διεύθυνση ροής χαντάκια στην περίπτωση μεγάλων δεξαμενών. Τα χαντάκια αυτά είναι εφοδιασμένα με μηχανισμούς συλλογής, συνήθως ατέρμονες μεταφορείς ή κοχλίες, οι οποίοι μεταφέρουν τα στερεά σε μία ή περισσότερες χοάνες. Σε πολύ επιμήκεις δεξαμενές (πάνω από 50m) μπορούν να κατασκευαστούν και δύο συστήματα για την μεταφορά των στερεών στα σημεία συλλογής περίπου στο μέσο του μήκους της δεξαμενής. Γενικά επιδιώκεται η τοποθέτηση των αντλιών των στερεών κοντά στις χοάνες συλλογής.

Οι ορθογωνικές δεξαμενές μπορούν επίσης να καθαρίζονται με μετακινούμενη γέφυρα με ξέστρο η οποία κινείται πάνω σε τροχούς από λάστιχο ή ράγες που στηρίζονται στα πλευρικά τοιχώματα της δεξαμενής. Η γέφυρα μπορεί να διαθέτει μία ή και περισσότερες πτέρυγες για τον καθαρισμό της δεξαμενής.

Όταν δεν υπάρχει σύστημα μεταφοράς της λάσπης απαιτείται η κατασκευή πολλών χοανών. Η λειτουργία των χοανών παρουσιάζει δυσκολίες όπως η αυξημένη συγκέντρωση στις κεκλιμένες επιφάνειες και τις γωνίες. Τα υγρά απόβλητα μπορούν επίσης να μεταφέρονται στη χοάνη παρακάμπτοντας κάποια από τα συγκεντρωμένα στερεά. Ένα σύστημα μεταφοράς είναι η λύση που προτιμάται εκτός από την περίπτωση μικρών εγκαταστάσεων όπου τα ομοειδή συγκεντρωμένα στερεά μπορούν να αποσύρονται περιορίζοντας τα προβλήματα που έχουν οι χοάνες.

Η κατανομή της ροής σε μία δεξαμενή έχει σημαντικό ρόλο, οι διατάξεις εισροής που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες: 1) κανάλια εισροής με υδατοφράγματα σε όλο το πλάτος της δεξαμενής, 2) κανάλια με στόμιο ή οπή που βρίσκονται κάτω από την

επιφάνεια του υγρού, 3) κανάλια με μεγάλες θύρες και διαχωριστικά. Τα υδατοφράγματα εισροής παρόλο που είναι αποτελεσματικά στην εξάπλωση της ροής κατά πλάτος της δεξαμενής ωστόσο δημιουργούν μία κάθετη συνιστώσα στην ταχύτητα στην χοάνη συλλογής η οποία μπορεί να προκαλέσει επαναιώρηση των στερεών. Οι θύρες εισροής παρέχουν καλή κατανομή κατά πλάτος της δεξαμενής εάν οι ταχύτητες κυμαίνονται από 3-9m/min. Τα διαχωριστικά που κατασκευάζονται στην εισροή του τύπου 3 εκτείνονται από 150mm κάτω από την επιφάνεια μέχρι 300mm κάτω από το άνοιγμα της εισόδου.

Σε εγκαταστάσεις που διαθέτουν πολλές ορθογωνικές δεξαμενές, συχνά κατασκευάζονται διάδρομοι για την τοποθέτηση του εξοπλισμού όπως οι αντλίες για τη λάσπη και οι σωληνώσεις, οι στοές αυτές επίσης παρέχουν εύκολη πρόσβαση στον εξοπλισμό κατά την λειτουργία και την συντήρηση ενώ μπορούν να συνδεθούν και με άλλες μονάδες της εγκατάστασης δημιουργώντας ένα δίκτυο χρήσιμο σε περιπτώσεις που απαιτείται πρόσβαση σε κάποιο τμήμα της εγκατάστασης.

Τα επιπλέοντα συνήθως συλλέγονται στο τέλος της εκροής της ορθογωνικής δεξαμενής καθώς τα ξέστρα επιστρέφουν στην επιφάνεια του υγρού. Ο αφρός μεταφέρεται με τα ξέστρα σε ένα σημείο όπου παγιδύεται με ένα διαχωριστικό πριν την απομάκρυνσή του, τα επιπλέοντα μπορούν επίσης να μετακινηθούν με ψεκασμό νερού. Ο αφρός μπορεί να απορριφθεί χειρωνακτικά, υδραυλικά ή μηχανικά, πολλά μέσα έχουν αναπτυχθεί και για την απομάκρυνση του. Για μικρές εγκαταστάσεις η συχνότερα χρησιμοποιούμενη διάταξη για την απόσυρση των επιπλεόντων αποτελείται από μία οριζόντια σωλήνα η οποία διαθέτει οπή και μπορεί να περιστραφεί με τη βοήθεια μοχλού ή κοχλίας. Η οπή βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του υγρού στην δεξαμενή και κατεβαίνει ακριβώς κάτω από την επιφάνεια όταν γίνεται η συλλογή του αφρού επιτρέποντας την ροή του συγκεντρωμένου αφρού στο σωλήνα. Η χρήση του παραπάνω εξοπλισμού έχει σαν αποτέλεσμα την συγκέντρωση μεγάλων όγκων διαλύματος αφρού.

Μια άλλη μέθοδος για την απομάκρυνση των επιπλεόντων είναι μία εγκάρσια περιστρεφόμενη ελικοειδής ψήκτρα που συνδέεται με έναν άξονα. Ο αφρός αφαιρείται από την επιφάνεια του ύδατος και κινείται πάνω σε μια σύντομη κεκλιμένη και τελικά οδηγείται σε έναν αυλάκι συλλογής. Ο αφρός μπορεί έπειτα να ξεπλυθεί σε ένα σύστημα εκτίναξης ή μια χοάνη πριν την είσοδο στην αντλία. Μια άλλη μέθοδος αφαίρεσης αφρού αποτελείται από μια αλυσίδα με ξέστρα που συλλέγει τον αφρό σε μια πλευρά της δεξαμενής, τον σύρει επάνω σε μια κεκλιμένη επιφάνεια και τον αποθέτει στις χοάνες, από όπου μπορεί να αντληθεί στις μονάδες διάθεσης. Τα επιπλέοντα συλλέγονται επίσης

από ειδικές κτένες στις ορθογωνικές δεξαμενές που είναι εξοπλισμένες με μετακινούμενη γέφυρα. Στις εγκαταστάσεις όπου συλλέγονται μεγάλα ποσά επιπλεόντων, οι χοάνες αφρού είναι συνήθως εξοπλισμένες με αναμίκτες για να παρέχουν ένα ομοιογενές μίγμα πριν από την άντληση. Ο αφρός ξεφορτώνεται συνήθως με τα στερεά και τα οργανικά στερεά που παράγονται στις εγκαταστάσεις, εντούτοις σε πολλές εγκαταστάσεις πραγματοποιείται χωριστή διάθεση των επιπλεόντων.

Οι πολλαπλές ορθογωνικές δεξαμενές απαιτούν λιγότερη έκταση εδάφους από τις πολλαπλές κυκλικές και βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις που το κόστος της γης στην περιοχή κατασκευής είναι αυξημένο. Οι ορθογωνικές δεξαμενές μπορούν επίσης να τοποθετηθούν μαζί με τις δεξαμενές αερισμού και προαερισμού στις εγκαταστάσεις ενεργού ιλύς και με δυνατότητα κατασκευής κοινών τοιχωμάτων που έχει σαν αποτέλεσμα μείωση των δαπανών κατασκευής. Χρησιμοποιούνται επίσης γενικά όπου απαιτείται οι δεξαμενές να καλύπτονται ή να έχουν οροφή.

10. Τυπικά δεδομένα σχεδίασης για δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (πηγή: Wastewater Engineering Treatment and Reuse)

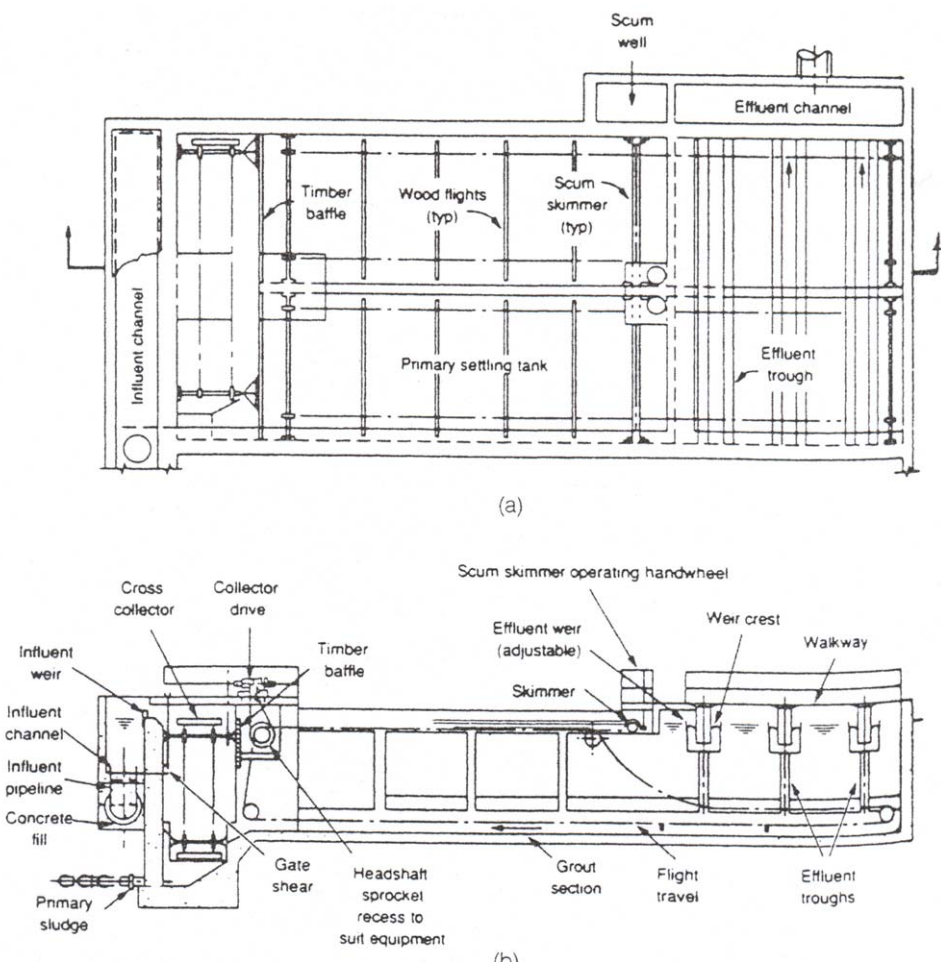
	Μονάδα	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης που προηγείται δευτεροβάθμιας επεξεργασίας			
Χρόνος κράτησης	h	1,5-2,5	2
Ρυθμός Υπερχείλισης			
Μέση παροχή	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	30-50	40
Μέγιστη ωριαία παροχή	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	80-120	100
Φόρτιση υπερχειλιστή	$\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$	125-500	250
Πρωτοβάθμια καθίζηση με επιστροφή της ενεργού ιλύος			
Χρόνος κράτησης	H	1,5-2,5	2
Ρυθμός Υπερχείλισης			
Μέση παροχή	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	24-32	28

Μέγιστη ωριαία παροχή	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	48-70	60
Φόρτιση υπερχειλιστή	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	125- 500	250

11. Τυπικές τιμές διαστάσεων για ορθογωνικές και κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (πηγή: Wastewater Engineering Treatment and Reuse)

	Μονάδες	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Ορθογωνική			
Βάθος	m	3-4,9	4,3
Μήκος	m	15-90	24-40
Πλάτος	m	3-24	4,9-9,8
Ταχύτητα ξέστρων	m/min	0,6-1,2	0,9
Κυκλική			
Βάθος	m	3-4,9	4,3
Διάμετρος	m	3-60	12-45
Κλίση πυθμένα	m	1/16-1/6	1/12
Ταχύτητα ξέστρων	m/min	0,02-0,05	0,03

Οι ορθογωνικές δεξαμενές έχουν μήκος που κυμαίνεται από 15-90m, πλάτος 3-24m και το βάθος τους συνήθως δεν υπερβαίνει τα 2m. Στις κυκλικές δεξαμενές η διάμετρος έχει μεγάλο εύρος τιμών που κυμαίνεται από 3-90m, το βάθος συνήθως είναι μεταξύ 2,4 και 4m.(Design of municipal Wastewater Treatment Plants)



σχήμα 12: Ορθογωνική δεξαμενή καθίζησης

3.5.3 Κυκλικές δεξαμενές

Στις κυκλικές δεξαμενές το σχέδιο ροής είναι ακτινωτό (σε αντιδιαστολή με το οριζόντιο στις ορθογώνιες δεξαμενές). Για να έχουμε ακτινωτή ροή, τα υγρά απόβλητα εισάγονται στο κέντρο ή γύρω από την περιφέρεια της δεξαμενής, όπως φαίνεται στο σχήμα 13. Και οι δύο τύποι ροής έχουν αποδειχθεί ικανοποιητικοί γενικά, αν και ο τύπος της τροφοδοσίας από το κέντρο χρησιμοποιείται συχνότερα, ειδικά για την αρχική επεξεργασία. Στην περίπτωση τροφοδοσίας από το κέντρο (σχήμα 13), τα υγρά απόβλητα μεταφέρονται στο κέντρο της δεξαμενής με έναν σωλήνα που κρέμεται από τη γέφυρα, ή περιβάλλεται με σκυρόδεμα κάτω από το πάτωμα των δεξαμενών.

Στο κέντρο της δεξαμενής, τα υγρά απόβλητα εισάγονται σε ένα κυκλικό φρεάτιο σχεδιασμένο με σκοπό να διανείμει τη ροή εξίσου σε όλες τις κατευθύνσεις (σχήμα 13). Το κεντρικό φρεάτιο έχει διάμετρο συνήθως μεταξύ 15 ως 20 τοις εκατό της συνολικής

διαμέτρου της δεξαμενής, κυμαίνεται από 1 έως 2.5 m σε βάθος και πρέπει να διαθέτει κόφτρες για την μείωση της ενέργειας της φλέβας εισροής των αποβλήτων.

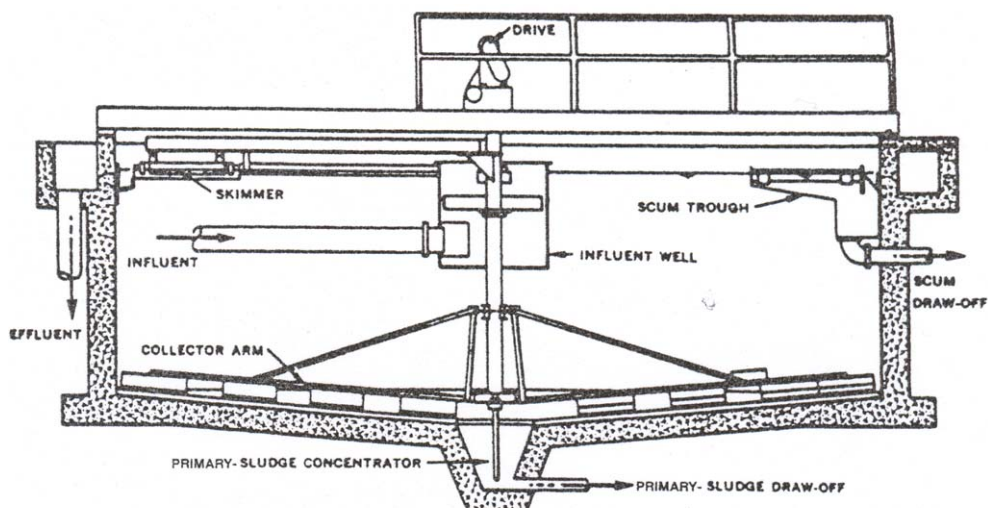
Η διάταξη καταστροφής της ενέργειας (σχήμα 13) λειτουργεί για να συλλέξει την εισροή από την κεντρική στήλη και να την αποβάλλει εφαπτομενικά στο ανώτερο τμήμα 0.5 έως 0.7m του αγωγού τροφοδοσίας. Οι θύρες εκκένωσης διαστασιολογούνται ώστε να παραγάγουν ταχύτητα $\leq 0,75$ m/s στη μέγιστη ροή και 0.30 έως 0.45 m/s σε μέση ροή. Ο αγωγός τροφοδοσίας πρέπει να διαστασιολογηθεί κατάλληλα έτσι ώστε η μέγιστη ταχύτητα εξόδου να μην υπερβαίνει 0.75 m/s. Το βάθος του φρεατίου τροφοδοσίας πρέπει να είναι περίπου 1m κάτω από τις κόφτρες που χρησιμοποιούνται για την μείωση της ενέργειας στην εισροή.

Στο σχεδιασμό της περιφερειακής τροφοδοσίας (σχήμα 14 b), ένα αιωρούμενο κυκλικό διάφραγμα διαμορφώνει ένα δακτυλιοειδές διάστημα στο οποίο η εισροή των αποβλήτων αποβάλλεται σε μια εφαπτομενική κατεύθυνση. Τα υγρά απόβλητα ρέουν σπειροειδώς γύρω από τη δεξαμενή και κάτω από το διάφραγμα, και το καθαρισμένο υγρό υπερχειλίζει από υδατοφράγματα και στις δύο πλευρές μιας λεκάνης με φράγμα που βρίσκεται στο κέντρο της δεξαμενής. Το λίπος και ο αφρός είναι περιορισμένα στην επιφάνεια του δακτυλιοειδούς διαστήματος. Οι δεξαμενές με περιφερειακή τροφοδοσία χρησιμοποιούνται γενικά για δευτεροβάθμιο καθαρισμό.

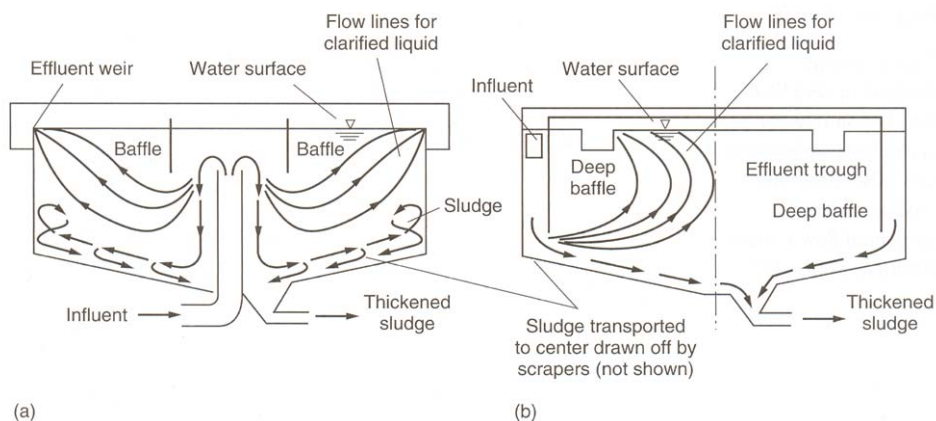
Στις κυκλικές δεξαμενές με διάμετρο 3.6 έως 9 m ο εξοπλισμός αφαίρεσης των στερεών στηρίζεται στις ακτίνες που εκτείνονται τη δεξαμενή. Οι δεξαμενές με διάμετρο μεγαλύτερη από 10,5m έχουν μια κεντρική αποβάθρα που υποστηρίζει το μηχανισμό και στην οποία είναι δυνατή η πρόσβαση με κάποιο διάδρομο ή γέφυρα.

Ο πυθμένας της δεξαμενής είναι κεκλιμένος με αναλογία 1:12 (κάθετη:οριζόντια) ώστε να σχηματίζει ένα ανεστραμμένο κώνο, και τα στερεά συγκεντρώνονται σε μία σχετικά μικρή χοάνη που βρίσκεται κοντά στο κέντρο της δεξαμενής.

Οι πολλαπλές δεξαμενές συνήθως ταξινομούνται σε ομάδες των δύο ή των τεσσάρων. Η ροή διαιρείται μεταξύ των δεξαμενών με μια διάταξη κατανομής η οποία συνήθως τοποθετείται μεταξύ των δεξαμενών. Τα στερεά συνήθως αποσύρονται με αντλίες λάσπης με τελικό προορισμό τις μονάδες επεξεργασίας και διάθεσης των στερεών.



σχήμα 13: Κυκλική δεξαμενή καθίζησης



σχήμα 14: Τροφοδοσία κυκλικών δεξαμενών καθίζησης

3.5.4 Απόδοση των δεξαμενών καθίζησης

Η αποτελεσματικότητα των δεξαμενών καθίζησης όσον αφορά την απομάκρυνση BOD και TSS ελαττώνεται από (1) ρεύματα στροβιλισμού που δημιουργούνται λόγω της αδράνειας του εισερχόμενου ρευστού, (2) από την επίδραση του ανέμου στην κυκλοφορία του ρευστού όταν η δεξαμενή είναι ακάλυπτη, (3) θερμικά ρεύματα μεταφοράς, (4) τον σχηματισμό ρευμάτων λόγω διαφορετικής πυκνότητας που προκαλούνται από ζεστό ή κρύο νερό και κινούνται κατά μήκος του πυθμένα της δεξαμενής θερμαίνοντας το νερό το οποίο ανέρχεται στην επιφάνεια της δεξαμενής, και

(5) η θερμική στρωματοποίηση στα ζεστά και ξηρά κλίματα Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της καθίζησης αναλύονται παρακάτω.

3.5.5 Μείωση BOD και TSS

Τυπικά δεδομένα για την αποδοτικότητα των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης ως προς την μείωση των φορτίων BOD και TSS, σαν συνάρτηση του χρόνου κράτησης και της συγκέντρωσης, παρουσιάζονται στο σχήμα 15. Οι καμπύλες που φαίνονται στο σχήμα 15 προέρχονται από παρατηρήσεις κατά τη λειτουργία υπαρχόντων δεξαμενών. Οι καμπύλες που σχηματίζονται μπορούν να περιγραφούν από την παρακάτω εξίσωση:

$$R = t / a + b \cdot t \quad (3.6)$$

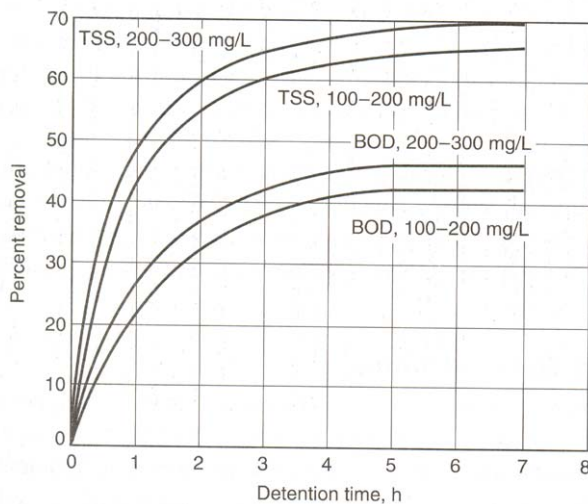
Όπου R: η αναμενόμενη τιμή απόδοσης

t: ο ονομαστικός χρόνος κράτησης

a,b: εμπειρικές σταθερές

	a	b
BOD	0,018	0,020
TSS	0,0075	0,014

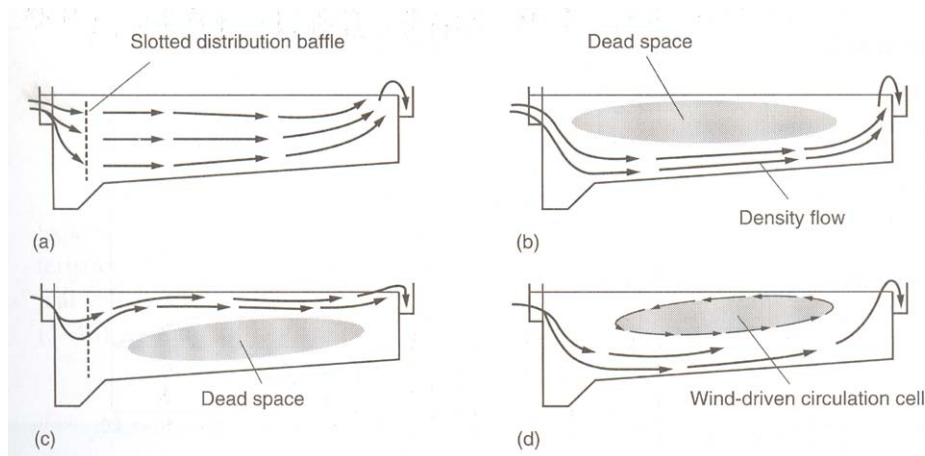
κάτι που συχνά αγνοείται στην εκτίμηση απόδοσης της δεξαμενής είναι η μεταβολή των χαρακτηριστικών των αποβλήτων που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Πρώτα καθιζάνουν τα μεγάλα και βραδέως βιοαποδομήσιμα αιωρούμενα στερεά, αυξάνοντας την αναλογία των αιωρούμενων πτητικών στα απόβλητα που οδηγούνται στην εκροή της δεξαμενής. Η πιστή χρήση καμπυλών όπως αυτή στο σχήμα 15 αποκλίνει από την πραγματικότητα αφού δεν λαμβάνει υπόψιν την μεταβολή των αποβλήτων. Όπου είναι δυνατόν, για τα οικιακά απόβλητα, η εισροή και εκροή της δεξαμενής καλό είναι να χαρακτηριστούν ως προς τη συγκέντρωση και τη σύνθεση των συστατικών. Ο χαρακτηρισμός είναι σημαντικός για τον καθορισμό του οργανικού φορτίου που πρόκειται να καθαριστεί από τις επόμενες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας.



σχήμα 15: Γραφική παράσταση της εξίσωσης (3.6)

3.5.6 Βραχυκυκλώσεις και υδραυλική σταθερότητα

Σε μία ιδανική δεξαμενή καθίζησης (σχήμα 16), τα εισερχόμενα απόβλητα πρέπει να μείνουν για χρόνο ίσο με τον χρόνο κράτησης που έχει καθοριστεί κατά τον σχεδιασμό. Δυστυχώς όμως στην πράξη οι δεξαμενές σπάνια λειτουργούν κατ'αυτόν τον ιδανικό τρόπο, συχνά παρατηρούνται βραχυκυκλώσεις για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για να διαπιστώσουμε αν σε μία δεξαμενή πραγματοποιούνται βραχυκυκλώσεις και σε πιο βαθμό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μεθόδους παρατήρησης της κίνησης με ιχνηθέτες, και να κατασκευάσουμε καμπύλες χρόνου-συγκέντρωσης για την ανάλυση της σταθερότητας. Αν στα επαναλαμβανόμενα τεστ οι καμπύλες που παίρνουμε είναι παρόμοιες τότε μπορούμε να πούμε ότι έχουμε μια υδραυλικά σταθερή δεξαμενή. Στην περίπτωση που οι καμπύλες δεν επαναλαμβάνονται η δεξαμενή είναι ασταθής και η λειτουργία της θα είναι προβληματική. Η μέθοδος εισροής με κατανομή που συζητήθηκε παραπάνω είναι ακόμα ένας παράγοντας που επηρεάζει τις βραχυκυκλώσεις.



σχήμα 16: Χαρακτηριστικοί τρόποι ροής σε ορθογωνικές δεξαμενές καθίζησης

3.5.7 Επίδραση της θερμοκρασίας

Η επίδραση της θερμοκρασίας στην λειτουργία της δεξαμενής καθίζησης είναι σημαντική. Διαφορά θερμοκρασίας κατά 1°C μεταξύ του ρεύματος εισροής και του περιεχομένου της δεξαμενής προκαλεί την δημιουργία ρεύματος στην δεξαμενή λόγω της διαφορετικής πυκνότητας σχήμα 16 b και c. Η επίδραση της θερμοκρασίας στην λειτουργία της δεξαμενής εξαρτάται από τα υλικά που απομακρύνονται και τα χαρακτηριστικά τους. Για ψυχρά κλίματα και θερμοκρασίες κάτω των 20°C για να έχουμε την ίδια απόδοση ο χρόνος κράτησης πρέπει να πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή M που δίνεται από την σχέση:

$$M = 1,82 * e^{-0,03 * t} \quad (3.7)$$

Όπου M: ο πολλαπλασιαστής του χρόνου κράτησης

t: θερμοκρασία των αποβλήτων σε $^{\circ}\text{C}$

3.5.8 Επίδραση του ανέμου

Ο άνεμος που φυσάει στην επιφάνεια μίας δεξαμενής προκαλεί διαταραχές στην κίνηση των αποβλήτων σχήμα 16 d. Ο άνεμος προκαλεί με αυτό τον τρόπο μείωση του ενεργού όγκου της δεξαμενής. Όπως και με τη θερμοκρασία, η επίδραση του ανέμου εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τα χαρακτηριστικά τους.

4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

4.1 Σχεδιασμός εγκαταστάσεων χονδρών σχαρών

Πηγές: Water and Wastewater Calculations Manual Shundar Lin ,Wastewater Engineering Treatment and Reuse Metcalf and Eddy

Κατά τον σχεδιασμό μίας εγκατάστασης εσχάρωσης εξετάζουμε την θέση την ταχύτητα με την οποία εισέρχονται τα απόβλητα, το καθαρό άνοιγμα μεταξύ των ράβδων ή το μέγεθος των βρόγχων ,τις υδραυλικές απώλειες κατά τη διέλευση των αποβλήτων από τις σχάρες, την διαχείριση επεξεργασία και διάθεση των σχαρισμάτων καθώς και άλλες παραμέτρους. Δεδομένου ότι ο ρόλος των χονδρών σχαρών είναι να απομακρύνουν μεγάλα αντικείμενα που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό που βρίσκεται στα επόμενα στάδια επεξεργασίας ή να τον επιβαρύνουν, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις τοποθετούνται πριν από την εξάμμωση. Στην περίπτωση που τοποθετούσαμε την εξάμμωση πριν την εσχάρωση κουρέλια και άλλα υλικά από κλωστές θα προκαλούσαν διαταραχές στους μηχανισμούς συλλογής της άμμου, ειδικά αν η άμμος αντλούνταν θα είχαμε επιπλέον προβλήματα.

Σε εγκαταστάσεις που καθαρίζονται χειροκίνητα είναι απαραίτητο η ταχύτητα εισόδου να είναι περίπου 0,45m/s σε συνθήκες μέσης ροής ώστε να παρέχει αρκετή επιφάνεια για την συσσώρευση σχαρισμάτων. Επιπλέον επιφάνεια για τον περιορισμό της ταχύτητας μπορεί να επιτευχθεί φαρδαίνοντας το κανάλι στη σχάρα και τοποθετώντας τη σχάρα με κατάλληλη κλίση ώστε να αυξηθεί η βυθιζόμενη επιφάνεια. Καθώς τα σχαρίσματα συγκεντρώνονται φράζοντας τη σχάρα η στάθμη πριν τη σχάρα ανέρχεται βυθίζοντας μεγαλύτερο μέρος της σχάρας από το οποίο μπορούν να διέλθουν τα απόβλητα, αρκεί η κατασκευή της σχάρας να είναι σε θέση να δεχτεί αυτό το βάρος χωρίς να καταρρεύσει σε περίπτωση που η σχάρα βουλώσει εξολοκλήρου.

Για τις περισσότερες μηχανικά καθαριζόμενες χονδρές σχάρες απαιτείται η κατασκευή δύο ή περισσότερων μονάδων ώστε κάποια να μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας για συντήρηση. Επίσης είναι απαραίτητη η ύπαρξη θυροφραγμάτων ή εσοχών για την τοποθέτηση εμποδίων πριν και μετά τις σχάρες ώστε να είναι δυνατή η εκκένωση των καναλιών σε περιόδους συντήρησης ή επισκευής. Στην περίπτωση που η εγκατάσταση διαθέτει μία μόνο μονάδα εσχάρωσης είναι απαραίτητη η ύπαρξη παρακαμπτηρίου καναλιού με χειροκίνητο καθαρισμό για περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Ορισμένες φορές οι χειρωνακτικά καθαριζόμενες σχάρες καταλήγουν να λειτουργούν σαν υπερχειλιστές όταν δεν είναι δυνατή η λειτουργία τους λόγω φραξίματος κυρίως κατά τις ώρες που δεν παρακολουθούνται. Η ροή προς το παρακαμπτήριο κανάλι θα πρέπει επίσης να ελέγχεται με κάποιο μηχανισμό θυροφράγματος. Ο σχεδιασμός της σχάρας πρέπει να αποτρέπει την καθίζηση και συγκέντρωση άμμου και άλλων βαρέων υλικών. **Η ταχύτητα εισόδου** του ρεύματος στο κανάλι συνίσταται να είναι **τουλάχιστον 0,4m/s** για την ελαχιστοποίηση των στερεών αποθέσεων στον πυθμένα του καναλιού, επίσης για την αποφυγή διέλευσης ογκωδών αντικειμένων σε περιπτώσεις αυξημένης ροής η ταχύτητα δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 0,9m/s(wastewater treatment and reuse).Επίσης σε άλλα βιβλία αναφέρεται ότι:

στη μέγιστη παροχή η ταχύτητα δεν πρέπει να είναι λιγότερη από 0,76m/s η οποία θεωρείται ικανή να προκαλέσει επαναιώρηση των στερεών που έχουν κατακαθίσει, σε περιπτώσεις αυξημένης ροής από όμβρια ύδατα για την αποφυγή της καθίζησης απαιτείται ταχύτητα 0,9 m/s,για μηχανικά καθαριζόμενες σχάρες συνίσταται ταχύτητα 0,6-1,2m/s στα διάκενα ενώ για χειρωνακτικά καθαριζόμενες σχάρες 0,3-0,6m/s. (design of municipal wastewater treatment plants)

Η ταχύτητα σε συνθήκες μέγιστης ροής δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 0,76m/s. (water and wastewater calculations manual)

Η ταχύτητα ροής στα διάκενα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,6-1,2m/s στην μέγιστη παροχή. (Βασικές αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων)

Η ταχύτητα στα διάκενα πρέπει να ελέγχεται με την εγκατάσταση κάποιας κατασκευής όπως το αυλάκι τύπου Parshall. Οι υδραυλικές απώλειες για μηχανικά καθαριζόμενες χονδρές σχάρες τυπικά πρέπει να μην υπερβαίνουν τα 150mm σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Ο μηχανισμός της κτένας καθαρισμού τίθεται σε κίνηση είτε από την διαφορά της στάθμης είτε με τη βοήθεια χρονοδιακόπτη. Στην περίπτωση χρήσης χρονοδιακόπτη συνίσταται καθαρισμός κάθε 15 περίπου λεπτά,

ωστόσο θα πρέπει να υπάρχει και κάποιος μηχανισμός που να θέτει τις σχάρες σε συνεχή λειτουργία όταν αυτό είναι απαραίτητο.

Οι υδραυλικές απώλειες κατά τη διέλευση από τη σχάρα είναι συνάρτηση της ταχύτητας εισόδου των αποβλήτων στο κανάλι και της ταχύτητας στα διάκενα, οι υδραυλικές απώλειες για τις χονδρές σχάρες μπορούν να υπολογιστούν από την παρακάτω εξίσωση:

$$h_L = \frac{1}{C} * \left(\frac{V^2 - v^2}{2 * g} \right) \quad (4.1)$$

όπου

h_L οι υδραυλικές απώλειες

C συντελεστής εκροής που εξαρτάται από τις απώλειες λόγω τύρβης ,0,7 για καθαρή σχάρα και 0,6 για φραγμένη

V ταχύτητα ροής στα ανοίγματα

v ταχύτητα εισόδου στο κανάλι

g επιτάχυνση της βαρύτητας $9,81\text{m/s}^2$

για καθαρή σχάρα χρησιμοποιείται και η εξίσωση :

$$h_L = \beta * (w/b)^{4/3} * \frac{v^2}{2 * g} * \sin \theta \quad (4.2)$$

όπου

β συντελεστής σχήματος των ράβδων

w πάχος ράβδων σχάρας

b πλάτος διάκενων σχάρας

h στάθμη πριν τη σχάρα

θ γωνία σχάρας με την οριζόντιο

12. ο συντελεστής β παίρνει τις παρακάτω τυπικές τιμές

Σχήμα ράβδου	Τιμή β
Ορθογωνικές με αιχμηρά άκρα	2,42
Ορθογωνικές με στρογγυλεμένα άκρα σε κατεύθυνση αντίθετη	1,83

του ρεύματος	
Στρογγυλές	1,79
Ορθογωνικές με στρογγυλεμένα άκρα και στις δύο κατευθύνσεις	1,67
Ατρακτοειδής	0,76

Για τον σχεδιασμό ενός συστήματος εσχάρωσης ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία

1. Θεωρούμε μία μέγιστη τιμή ροής αποβλήτων που κατά κανόνα αναφέρεται σε περιόδους βροχοπτώσεων.
2. Επιλέγουμε την ταχύτητα που επιθυμούμε στα διάκενα για την περίπτωση βροχόπτωσης (μέγιστη ροή).
3. Επιλέγουμε την ταχύτητα στα διάκενα για την μέγιστη παροχή σχεδιασμού σε ξηρές περιόδους.
4. Επιλέγουμε το βάθος ροής d στη σχάρα.
5. Επιλέγουμε την γωνία φ της σχάρας με την οριζόντιο.
6. Υπολογίζουμε τα διάκενα και τις διαστάσεις.

7. Υπολογισμός της καθαρής συνολικής επιφάνειας A ως εξής:

$$A = \text{μέγιστη ροή} / \text{ταχύτητα σε περίπτωση βροχόπτωσης (2)}$$

8. Υπολογισμός καθαρού πλάτους της σχάρας w :

$$w = A / d \quad (4.3)$$

9. Επιλέγουμε μια τιμή πλάτους για τα διάκενα

10. Υπολογίζουμε τον αριθμό των ανοιγμάτων n

$$n = w / \text{πλάτος διάκενου} \quad (4.4)$$

11. υπολογισμός συνολικού πλάτους ,width

$$\text{width} = w + n * \text{πλάτος ράβδου} \quad (4.5)$$

12. υπολογισμός ύψους σχάρας ,height

$$\text{height} = d / \sin\phi \quad (4.6)$$

13. στο ύψος της σχάρας προσθέτουμε ένα επιπλέον ύψος (0,6m τουλάχιστον)
για να πάρουμε την τελική τιμή σχεδιασμού

14. Υπολογισμός του συντελεστή απόδοσης ΣA .

$$\Sigma A = w / \text{width} = (\text{καθαρό πλάτος}) / (\text{συνολικό πλάτος}) \quad (4.7)$$

15. Υπολογισμός υδραυλικών απωλειών από την εξίσωση (4.2)

Σημείωση: Αν θέλουμε να υπολογίσουμε τις απώλειες όταν η μισή επιφάνεια φράσσεται από στερεά τότε πολλοί μηχανικοί χρησιμοποιούν την εξής προσεγγιστική μέθοδο ,όταν καλύπτεται η μισή σχάρα η επιφάνεια μειώνεται στο μισό και η ταχύτητα διπλασιάζεται ,οπότε οι απώλειες τετραπλασιάζονται.

4.2 Έλεγχος λειτουργίας εγκαταστάσεων εσχάρωσης

Για τον έλεγχο της λειτουργίας ενός συστήματος εσχάρωσης ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα

1. Σε αυτή την περίπτωση γνωρίζουμε τις διαστάσεις τις σχάρας και την παροχή των αποβλήτων και ξεκινάμε υπολογίζοντας το καθαρό πλάτος της σχάρας από την παρακάτω σχέση:

$$w = \text{width} - n * \text{πλάτος ράβδου} \quad (4.8)$$

2. Υπολογίζουμε την ταχύτητα από τη σχέση:

$$v = \text{μέγιστη ροή} / (w * \text{βάθος ροής}) \quad (4.9)$$

3. Συγκρίνουμε την τιμή που έχουμε υπολογίσει με τα κριτήρια που αναφέρονται παραπάνω για να δούμε αν οι συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης είναι φυσιολογικές.

4. Υπολογίζουμε τις υδραυλικές απώλειες της σχάρας από τη σχέση (4.2)

5. Συγκρίνουμε την τιμή των απωλειών που έχουμε υπολογίσει με τα όρια που αναφέρονται στο παραπάνω κείμενο.

4.3 Σχεδιασμός εγκατάστασης εξάμμωσης

Η άμμος προέρχεται από οικιακά λύματα, όμβρια ύδατα, βιομηχανικά απόβλητα και υπόγειες εισροές. Αποτελείται από αδρανή οργανική ύλη όπως άμμο, στάχτες και χαλίκια φίλτρα τσιγάρων και μεταλλικά τεμάχια. Επιπλέον η άμμος περιλαμβάνει μικρά κοκάλινα κομμάτια, τσόφλια, κατακάθι από καφέ, σπόρους και υπολείμματα τροφών. Τα υλικά μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένη φθορά του μηχανικού εξοπλισμού και των αντλιών της λάσπης, η συνεχής απόθεση μπορεί ακόμα και να φράξει τις αντλίες.

Η σύνθεση της άμμου ποικίλει σημαντικά με την υγρασία να κυμαίνεται από 13 ως 65% τα πτητικά οργανικά από 1ως 56%, ενώ το ειδικό βάρος των καθαρών σωματιδίων με αδρανή μπορεί να φτάνει το 2,7 και το 1,3 όταν έχουμε συσσώρευση οργανικής ύλης. Η πυκνότητα της άμμου είναι 1600 kg/m³.

Οι εξαμμωτές πρέπει να υπάρχουν σε κάθε εγκατάσταση επεξεργασίας που δέχεται απόβλητα από παντορορικά δίκτυα αποχέτευσης, και τοποθετούνται συνήθως πριν από τις αντλίες και τις συσκευές άλεσης.

Οι εξαμμωτές για εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων από παντορορικά δίκτυα διαθέτουν τουλάχιστον δύο χειρωνακτικά καθαριζόμενες μονάδες ή μηχανικά καθαριζόμενες με παρακαμπτήρια κανάλια. Οι τρεις τύποι εξαμμωτών είναι με καθαρισμό χειροκίνητο μηχανικό και οι εξαμμωτές με αερισμό και στροβιλώδους ροής. Οι θάλαμοι μπορεί να είναι τετράγωνοι, παραλληλόγραμμοι ή κυκλικοί. Η ταχύτητα των 0,3m/s χρησιμοποιείται συχνά για τον διαχωρισμό της άμμου από την οργανική ύλη. Συνήθως απαιτείται 0.0005-0,00236m³/s ανά ft μήκους του θαλάμου για τον κανονικό αερισμό του θαλάμου ή διαφορετικά 4,6-7,7l/s για κάθε μέτρο. Η εγκάρσια ταχύτητα στην επιφάνεια πρέπει να είναι 0,6-0,8m/s.

Οι εξαμμωτές συνήθως σχεδιάζονται σαν ρηχά μακρόστενα κανάλια για να παγιδεύσουν την άμμο με μεγάλο ειδικό βάρος. Οι μονάδες σχεδιάζονται ώστε να διατηρείται η ταχύτητα κοντά στα 0,3m/s και να παρέχεται αρκετός χρόνος για την καθίζηση των σωματιδίων της άμμου.

4.3.1 Σχεδιασμός εξαμμωτή ορθογωνικής διατομής με αναλογικό υπερχειλιστή

Οι εξαμμωτές σταθερής ταχύτητας ροής είναι επιμήκη κανάλια, στα οποία η ταχύτητα ροής διατηρείται σταθερή ανεξάρτητα από τις μεταβολές της παροχής. Έτσι οι συνθήκες καθίζησης παραμένουν αμετάβλητες και εξασφαλίζεται πάντα το επιθυμητό ποσοστό απομάκρυνσης άμμου. Ανάλογα με τον τρόπο που εξασφαλίζεται και ελέγχεται η σταθερή ταχύτητα ροής, διακρίνονται σε:

- εξαμμωτές ορθογωνικής διατομής με αναλογικό υπερχειλιστή
- εξαμμωτές παραβολικής διατομής με αυλάκι Parshall

Μια τυπική διατομή αναλογικού υπερχειλιστή δίνεται στο σχήμα 17. Το σχήμα της διατομής είναι αυτό που εξασφαλίζει σταθερή οριζόντια ταχύτητα ροής ανεξάρτητα από το βάθος ροής όταν το κανάλι του εξαμμωτή είναι ορθογωνικής διατομής.

Η ογκομετρική παροχή Q του αναλογικού υπερχειλιστή δίνεται από την σχέση:

$$Q = C * b(2 * g * a)^{1/2} * h \quad (4.10)$$

όπου C_w : σταθερά του υπερχειλιστή με τυπική τιμή ίση με 0,62

a,b: χαρακτηριστικές διαστάσεις του υπερχειλιστή

h: βάθος ροής

Η ταχύτητα ροής (V) στο ορθογωνικό κανάλι του εξαμμοτή είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το βάθος ροής σύμφωνα με τη σχέση:

$$V = Q / W * h = C * b(2 * g * a)^{1/2} * h / W \quad (4.11)$$

όπου W: πλάτος ορθογωνικού εξαμμοτή

Το ανώτατο πλάτος ροής καθορίζεται από το σχήμα της καμπύλης της διατομής και δίνεται από τη σχέση:

$$l = b * \left[1 - \frac{2}{180} * \arctan\left(\frac{h}{a}\right)^{1/2} \right] \quad (4.12)$$

Η απόσταση h' (βλέπε σχήμα 17) είναι:

$$h' = h - 2/3 * a \quad (4.13)$$

Για τον σχεδιασμό του υπερχειλιστή συνήθως επιλέγεται η τιμή της διάστασης a (η ελάχιστη τιμή είναι 0,025), οπότε η διάσταση b προσδιορίζεται από την εξίσωση (4.11) για βάθος ροής h_{\max} που αντιστοιχεί στην μέγιστη ογκομετρική παροχή Q_{\max} .

Για την σωστή λειτουργία του εξαμμοτή, η ταχύτητα ροής πρέπει να είναι μικρότερη από μία κρίσιμη ταχύτητα συμπαρασυρμού (scouring velocity), ώστε τα σωματίδια που έχουν ήδη καθιζήσει να μην συμπαρασύρονται σε αιώρηση. Η ταχύτητα συμπαρασυρμού V_{sc} δίνεται από τη σχέση:

$$V_{sc} = \left[\frac{8 * k * g}{f} * (s - 1) * d \right]^{1/2} \quad (4.14)$$

όπου s,d: ειδικό βάρος και διάμετρος στερεών αντίστοιχα

K: σταθερά που εξαρτάται από τη φύση των στερεών (ίση με 0,04 για άμμο)

f: συντελεστής τριβής Darcy-Fanning ίσος με 0,03 περίπου

Το βάθος του εξαμμωτή H λαμβάνεται συνήθως διπλάσιο του βάθους ροής που αντιστοιχεί στην μέγιστη παροχή:

$$H = 2 * h_{\max} \quad (4.15)$$

Το μήκος του εξαμμωτή L εξαρτάται κυρίως από το βάθος που απαιτείται για την καθίζηση των σωματιδίων, που χρειάζεται να απομακρυνθούν 100% και είναι:

$$L = a * \frac{V}{V_s} * h_{\max} \quad (4.16)$$

όπου Vs: ταχύτητα καθίζησης στερεών που απομακρύνονται κατά 100%

V: ταχύτητα ροής στον εξαμμωτή

a: συντελεστής ασφάλειας για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες εισόδου-εξόδου (τυπική τιμή μεταξύ 1 και 1,5)

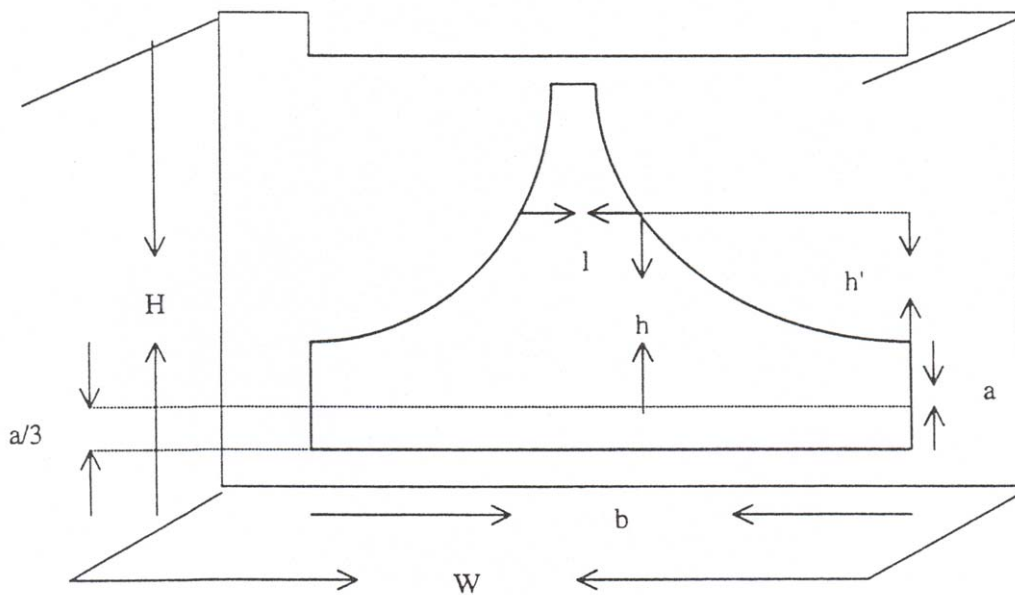
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η ταχύτητα καθίζησης των στερεών μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας την πειραματική συσκευή καθίζησης. Ωστόσο ο νόμος

Stokes ($V_s = \frac{\rho_s - \rho}{18 * \mu} * g * d^2$) (4.17) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των

θεωρητικών ταχυτήτων καθίζησης για στερεά συγκεκριμένου ειδικού βάρους και διαμέτρου. Στις συνήθεις εφαρμογές εξάμμοσης απομακρύνονται στερεά διαμέτρου μεγαλύτερης από 0,15-0,20mm και ειδικού βάρους περίπου ίσου με 2,65 όποτε η ταχύτητα είναι της τάξης των 0,022m/s.

Ο χρόνος παραμονής θ στον εξαμμωτή είναι:

$$\theta = L / V \quad (4.18)$$



σχήμα 17: Διατομή αναλογικού υπερχειλιστή

4.3.2 Σχεδιασμός εξαμωτή παραβολικής διατομής με αυλάκι Parshall

Ο σχεδιασμός εξαμωτή παραβολικής διατομής με αυλάκι Parshall στηρίζεται σε ανάλυση αντίστοιχη αυτής για τον εξαμωτή με αναλογικό υπερχειλιστή, λαμβάνοντας υπόψιν τα ιδιαίτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αυλακιού Parshall. Με αναφορά στο σχήμα 18 και την εξίσωση (4.19) υπενθυμίζεται ότι η ογκομετρική παροχή σε αυλάκι Parshall είναι:

$$Q = k * b * h^{1,5} \quad (4.19)$$

όπου k: σταθερά του αυλακιού

b: πλάτος λαιμού

h: βάθος ροής

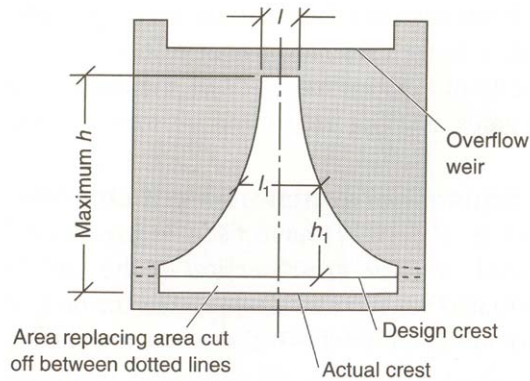
Η επιφάνεια διατομής A του παραβολικού καναλιού του εξαμωτή είναι:

$$A = k' * h^{1,5} \quad (4.20)$$

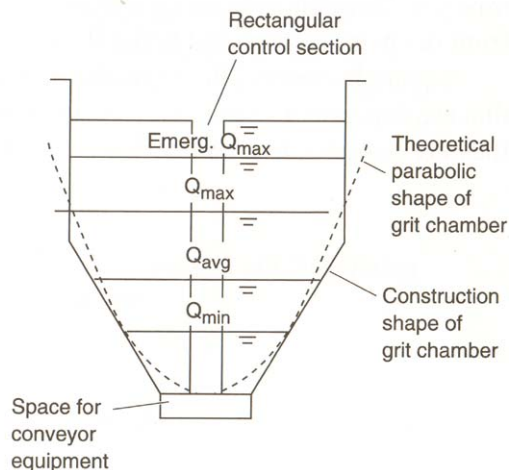
όπου k': σταθερά της παραβολικής διατομής

Η ταχύτητα ροής V στο παραβολικό κανάλι του εξαμμοτή είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το βάθος ροής σύμφωνα με τη σχέση:

$$V = Q / A = K / K' \cdot b \quad (4.21)$$



(b)



σχήμα 18: εξαμμοτής ορθογωνικής διατομής με αναλογικό υπερχειλιστή και παραβολικής διατομής με ορθογωνικό υπερχειλιστή

4.3.3 Στοιχεία σχεδιασμού αεριζόμενου εξαμμοτή

Οι αεριζόμενοι εξαμμοτές είναι ορθογωνικοί αεριζόμενοι θάλαμοι. Ο αέρας εισάγεται με διαχύτες (οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση περίπου 0,45-0,6m πάνω από τον πυθμένα του εξαμμοτή) κατά μήκος μίας πλευράς με αποτέλεσμα την δημιουργία ελικοειδούς ροής. Η επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής που επιτρέπει την απομάκρυνση της άμμου επιτυγχάνεται εύκολα με ρύθμιση της παροχής του αέρα. Η ταχύτητα δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλη, ώστε να αποφεύγεται ο συμπαρασυρμός της άμμου με την ροή, αλλά ούτε και πολύ μικρή, καθώς τότε μαζί με την άμμο

απομακρύνονται και διάφορα οργανικά στερεά. Μια τυπική τιμή ταχύτητας περιστροφής είναι 0,3m/s. Η άμμος καθιζάνει στον πυθμένα και συσσωρεύεται σε χοάνη απ'όπου απομακρύνεται.

Για τον σχεδιασμό της εξάμμωσης ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία: Θεωρούμε μία τιμή για την μέση ωριαία ροή και ένα χρόνο κράτησης αυτής για αυτή την τιμή της ροής.

1. Καθορίζουμε την μέγιστη ωριαία ροή Q , πολλαπλασιάζοντας την μέση q , με ένα συντελεστή κοντά στο 3 συνήθως οπότε:

$$Q = 3 * q \quad (4.22)$$

2. Υπολογίζουμε τον όγκο του θαλάμου εξάμμωσης, χρησιμοποιούμε δύο θαλάμους οπότε για κάθε ένα:

$$\text{Όγκος} = Q * \text{χρόνος κράτησης} / \text{αριθμός θαλάμων (τουλάχιστον 2)} \quad (4.23)$$

3. Η αναλογία μήκους-πλάτους κυμαίνεται από 2,5:1 ως 5:1, παρολαυτά τετράγωνες δεξαμενές έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία με σωστή τοποθέτηση των διαχυτών του αέρα. (Design of municipal Wastewater treatment plants)

Υπολογισμός των διαστάσεων για παραλληλόγραμμο θάλαμο, επιλέγουμε πλάτος περίπου στα 3m και αναλογία βάθους-πλάτους 1,5:1 (από 1,5:1 ως 2,0:1). (Water and wastewater calculations manual)

$$\text{Βάθος} = \text{πλάτος} * \text{αναλογία βάθους- πλάτους} \quad (4.24)$$

$$\text{Μήκος} = \text{όγκος} / (\text{βάθος} * \text{πλάτος}) \quad (4.25)$$

Οι δύο θάλαμοι έχουν ίδιες διαστάσεις

4. υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας αέρα.

επιλέγουμε μία τιμή για την ροή του αέρα ανά μονάδα μήκους

0,0005-0,00236m³/s ανά ft (Water and wastewater calculations manual)

Ο ρυθμός εισαγωγής του αέρα κυμαίνεται από 5-12 L/m*s του μήκους της δεξαμενής, ρυθμοί κοντά στα 2 L/m*s έχουν χρησιμοποιηθεί για ρηχές και στενές δεξαμενές ενώ ρυθμοί μεγαλύτεροι από 8 L/m*s χρησιμοποιούνται συχνά για βαθιές και πλατιές δεξαμενές.(Design of municipal Wastewater treatment plants)

$$\text{Αέρας} = \text{ροή ανά μονάδα μήκους} * \text{Μήκος} \quad (4.26)$$

5. Εκτίμηση του μέσου όγκου της παραγόμενης άμμου με την προϋπόθεση ότι ξέρουμε ή υποθέτουμε την ποσότητα της άμμου σε ml/m³.

$$\text{Όγκος άμμου} = \text{ποσότητα άμμου} * \text{μέση ωριαία παροχή} * 86400 \quad \text{s/d μας δίνει τον} \\ \text{όγκο σε m}^3/\text{d}. \quad (4.27)$$

4.4 Έλεγχος λειτουργίας εγκαταστάσεων εξαμμωσης

Για εξαμμοτές οριζόντιας ροής:

1. Γνωρίζοντας τις διαστάσεις του εξαμμοτή υπολογίζουμε την ταχύτητα από τη σχέση (4.11) ή (4.21) ανάλογα με το αν έχουμε υπερχειλιστή ή αυλάκι Parshall. Η ταχύτητα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,25-0,4 m/s με βέλτιστη αυτή των 0,3 m/s, το πάνω όριο της ταχύτητας μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικότερα από την σχέση (4.14).

2. Έλεγχος για το μήκος του εξαμμοτή μπορεί να γίνει από τη σχέση (4.16), αφού πρώτα υπολογίσουμε την V_s από την (4.17).

3. Ο χρόνος παραμονής στον εξαμμοτή είναι 45-90 sec, ο έλεγχος γίνεται από την σχέση (4.18)

4. Αν θέλουμε να υπολογίσουμε το μέγεθος των σωματιδίων που απομακρύνονται τότε υπολογίζουμε την επιφανειακή φόρτιση της δεξαμενής από τη σχέση $V_s = Q / W * L = Q / A$ (4.21) και την συγκρίνουμε με την ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων που

θέλουμε να απομακρύνουμε η οποία δίνεται από τον νόμο Stokes (4.17), αν η ταχύτητα που δίνει η (4.17) είναι μεγαλύτερη ή ίση από αυτή της σχέσης (4.21) τότε τα σωματίδια αυτά κάθονται στον πυθμένα της δεξαμενής.

Τιμές για την λειτουργία των εξαμωτών οριζόντιας ροής δίνονται στους πίνακες 5 και 6.

Για εξαμωτές αεριζόμενους και στροβιλώδους ροής η απομάκρυνση της άμμου εξαρτάται από τις συνθήκες αερισμού ή στροβιλισμού οι οποίες ρυθμίζονται εύκολα ώστε να έχουμε την μέγιστη δυνατή απομάκρυνση, στοιχεία σχεδιασμού δίνονται στους πίνακες 7,8 και 9.

4.5 Σχεδιασμός Δεξαμενών Πρωτοβάθμιας καθίζησης

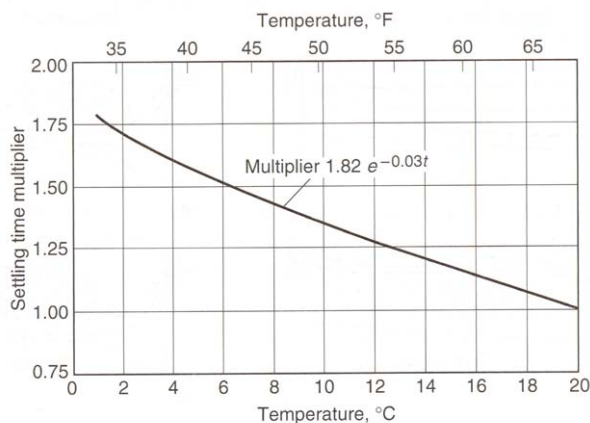
Εάν τα στερεά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα ήταν διακεκριμένα σωματίδια με ίδιο μέγεθος, πυκνότητα, ειδικό βάρος και σχήμα τότε η δυνατότητα απομάκρυνσής τους θα εξαρτώταν μόνο από την επιφάνεια της δεξαμενής και τον χρόνο κράτησης. Το βάθος της δεξαμενής θα είχε μικρή επιρροή, δεδομένου ότι οι οριζόντιες ταχύτητες θα διατηρούνταν κάτω από την ταχύτητα επαναιώρησης. Ωστόσο τα στερεά στα περισσότερα απόβλητα δεν είναι τόσο ομοειδή αλλά ετερογενή από τη φύση τους, και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες βρίσκονται κυμαίνονται από την πλήρη διασπορά ως και την πλήρη συσσωμάτωση.

4.5.1 Χρόνος κράτησης

Στη μάζα των διακεκριμένων στερεών σωματιδίων που κατευθύνονται στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η διαδικασία της συσσωμάτωσης δεν έχει ολοκληρωθεί και επομένως τα σωματίδια επιδέχονται περαιτέρω συσσωμάτωση. Η συσσωμάτωση εννοείται από τους στροβιλισμούς στην δεξαμενή και συνεχίζεται με την συνένωση των μικρών σωματιδίων με ρυθμό ο οποίος είναι συνάρτηση της συγκέντρωσής τους και της φυσικής ικανότητας των σωματιδίων να δημιουργούν συσσωματώματα όταν συγκρούονται. Γενικά η συσσωμάτωση ενός αιωρήματος στερεών γίνεται πιο πλήρης με την πάροδο του χρόνου, παρολαυτά ο χρόνος κράτησης είναι ένα

μέγεθος που υπολογίζουμε κατά το σχεδιασμό μίας δεξαμενής. Υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί συσσωμάτωσης ωστόσο όσο ο χρόνος καθίζησης μειώνεται όλο και λιγότερα από τα εναπομείναντα σωματίδια ενώνονται.

Κανονικά οι δεξαμενές πρωτοβάθμια καθίζησης σχεδιάζονται ώστε να παρέχουν χρόνους κράτησης περίπου 1,5-2,5 h σε συνθήκες μέσης παροχής. Οι δεξαμενές που έχουν μικρότερους χρόνους (0,5-1h), με μικρότερη απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών χρησιμοποιούνται κάποιες φορές σαν προεπεξεργασία πριν τις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας. Σε ψυχρά κλίματα, η αύξηση της συνεκτικότητας του νερού λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών καθυστερεί την καθίζηση των σωματιδίων και μειώνει την λειτουργία σε θερμοκρασίες κάτω των 20°C. Μία καμπύλη που δείχνει την απαιτούμενη αύξηση του χρόνου κράτησης ώστε να έχουμε ίση απομάκρυνση με αυτή των 20°C φαίνεται στο σχήμα 19. Για παράδειγμα σε υγρά απόβλητα με θερμοκρασία 10°C, ο χρόνος κράτησης είναι 1,38 φορές αυτού που απαιτείται για την ίδια αποτελεσματικότητα στους 20°C. Επομένως σε ψυχρά κλίματα πρέπει να λαμβάνεται υπ'όψιν η δυσκολία στην καθίζηση για να επιτυγχάνουμε ικανοποιητική μείωση των αιωρούμενων στερεών.



σχήμα 19: Καμπύλη αύξησης της θερμοκρασίας για ψυχρά κλίματα ώστε να επιτυγχάνεται η ίδια απόδοση της δεξαμενής

4.5.2 Επιφανειακή φόρτιση

Οι δεξαμενές καθίζησης σχεδιάζονται με βάση κάποιο ρυθμό φόρτισης που εκφράζεται σε μέτρα ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας ανά μέρα, $m^3/m^2 \cdot d$. Η επιλογή

του κατάλληλου ρυθμού φόρτισης εξαρτάται από τον τύπο του αιωρήματος που πρέπει να διαχωρίσουμε. Τυπικές τιμές για διάφορα εναιωρήματα δίνονται στον πίνακα 10. Όταν καθοριστεί η επιφάνεια της δεξαμενής, ο χρόνος κράτησης στην δεξαμενή εξαρτάται από το βάθος του υγρού. Ο ρυθμός υπερχειλίσης έχει σαν αποτέλεσμα ονομαστικούς χρόνους κράτησης από 2 ως 2,5 h και σχεδιάζεται για συνθήκες μέσης παροχής.

Η επίδραση της επιφανειακής φόρτισης και του χρόνου κράτησης στον βαθμό απομάκρυνσης των στερεών ποικίλει σημαντικά ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, την αναλογία των στερεών που καθιζάνουν, την συγκέντρωση των στερεών και άλλους παράγοντες. Πρέπει να τονιστεί ότι στο σχεδιασμό οι ρυθμοί φόρτισης πρέπει να είναι χαμηλοί ώστε να εξασφαλίσουμε την ομαλή λειτουργία της δεξαμενής σε περιόδους μεγάλων παροχών οι οποίες συνήθως είναι τριπλάσιες της μέσης σε μικρές εγκαταστάσεις και διπλάσιες σε μεγαλύτερες.

4.5.3 Φόρτιση του υπερχειλιστή

Γενικά η φόρτιση του υπερχειλιστή έχει μικρή επίδραση στην απόδοση της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης και δεν θα έπρεπε να λαμβάνεται υπ'όψιν όταν εξετάζουμε την καταλληλότητα του σχεδιασμού. Πληροφοριακά αναφέρουμε ότι τυπικές τιμές φόρτισης του υπερχειλιστή δίνονται στον πίνακα 10 κεφ.3.

4.5.4 Ταχύτητα

Για να αποφύγουμε την επαναιώρηση των σωματιδίων που έχουν κατακαθίσει οι οριζόντιες ταχύτητες στην δεξαμενή πρέπει να διατηρούνται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Για τον υπολογισμό της κρίσιμης αυτής ταχύτητας έχει αναπτυχθεί η παρακάτω εξίσωση:

$$V_{sc} = \left[\frac{8 * k * (s - 1) * g * d}{f} \right]^{1/2} \quad (4.28)$$

Όπου V_{sc} : η οριζόντια ταχύτητα που θα προκαλέσει επαναιώρηση

k: σταθερά που εξαρτάται από τον τύπο του υλικού που παρασύρεται

s: ειδικό βάρος των σωματιδίων

- g: επιτάχυνση της βαρύτητας
d: διάμετρος των σωματιδίων
f: συντελεστής τριβής Darcy-Weisbach

Τυπικές τιμές του συντελεστή k είναι 0,04 για κοκκώδη άμμο και 0,06 για ένα πιο λεπτό και κολλώδες υλικό. Ο συντελεστής f εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας πάνω στην οποία πραγματοποιείται η ροή και από τον αριθμό Reynolds. Τυπικές τιμές για τον συντελεστή f είναι 0,02-0,03.

Για τον σχεδιασμό της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

4.5.6 Ορθογωνική δεξαμενή

Θεωρούμε μέση και μέγιστη τιμή παροχής (Q_{av}, Q_{max}), επιλέγουμε των αριθμό των δεξαμενών (n), το βάθος τους (w), το πλευρικό βάθος και τον ρυθμό υπερχειλίσσης σε συνθήκες μέσης παροχής (OR , overflow rate).

1. Υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας (A), για συνθήκες μέσης παροχής η επιφάνεια είναι:

$$A = Q_{av} / n \cdot OR \quad (4.29)$$

2. Υπολογισμός του μήκους, παρατίθενται δύο μέθοδοι:

α)(Wastewater engineering treatment and reuse) Υπολογισμός του μήκους της δεξαμενής (L)

$$L = A / W \quad (4.30)$$

Στρογγυλοποιούμε το παραπάνω αποτέλεσμα

β) (Water and wastewater calculations manual) ή χρησιμοποιώντας την αναλογία μήκους πλάτους (L/W) 4:1

$$4*W^2 = A \quad (4.31)$$

στη συνέχεια επιλέγουμε βάσει του παραπάνω υπολογισμού ένα από τα τυποποιημένα πλάτη W_s : 1,52m, 3,05m, 5,49m, 8,53m, 11,58m

και τελικά βρίσκουμε το μήκος από την σχέση:

$$L = A / W_s \quad (4.32)$$

Στρογγυλοποιούμε το παραπάνω αποτέλεσμα

3. Υπολογισμός του χρόνου κράτησης (t) και του ρυθμού υπερχειλίσης σε συνθήκες μέσης και μέγιστης παροχής

Για μέση παροχή:

$$\text{Όγκος δεξαμενής} = \text{πλευρικό βάθος} * n * (L * W) \quad (4.33)$$

$$\text{Ρυθμός υπερχειλίσης} = Q_{av} / A \quad (4.34)$$

$$t_{av} = \text{Όγκος δεξαμενής} / Q_{av} \quad (4.37)$$

Για μέγιστη παροχή:

$$\text{Ρυθμός υπερχειλίσης} = Q_{max} / A \quad (4.38)$$

$$t_{max} = \text{Όγκος δεξαμενής} / Q_{max} \quad (4.39)$$

4. Υπολογισμός ταχύτητας που προκαλεί επαναιώρηση (V_{sc}) από την εξίσωση (4.28).

5. Σύγκριση της ταχύτητας που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα με αυτήν που αντιστοιχεί σε συνθήκες μέγιστης παροχής (V_{max}), που ισούται με το κλάσμα της μέγιστης παροχής δια την διατομή της δεξαμενής (A_x).

$$V_{\max} = Q_{\max} / A_x \quad (4.40)$$

Η τιμή της οριζόντιας ταχύτητας ακόμα και στην μέγιστη παροχή πρέπει να είναι σημαντικά μικρότερη από την ταχύτητα επαναιώρησης (V_{sc}).

6. Υπολογισμός του μήκους του υπερχειλιστή (l_w) , επιλέγουμε μία μέγιστη τιμή φόρτισης του υπερχειλιστή ($q_{w\max}$) και την διαιρούμε με την παροχή:

$$l_w = Q_{\max} / q_{w\max} \quad (4.41)$$

7. Υπολογισμός της μείωσης BOD και TSS σε συνθήκες μέσης και μέγιστης παροχής από την σχέση (3.6) ($BOD_{\text{removal}}, TSS_{\text{removal}} = t / a + b \cdot t$) όπου t βάζουμε τον χρόνο κράτησης για μέση και μέγιστη αντίστοιχα.

4.5.7 Κυκλική δεξαμενή

Θεωρούμε μέση και μέγιστη τιμή παροχής (Q_{av}, Q_{\max}), επιλέγουμε των αριθμό των δεξαμενών (n), το βάθος τους (w), και τον ρυθμό υπερχειλίσσης σε συνθήκες μέσης παροχής (OR , overflow rate).

1. Υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας (A), για συνθήκες μέσης παροχής η επιφάνεια είναι:

$$A = Q_{av} / n \cdot OR \quad (4.42)$$

2. Υπολογισμός της ακτίνας (r) της δεξαμενής από τη σχέση:

$$r = (A / \pi)^{1/2} \quad (4.43)$$

Στρογγυλοποιώ την ακτίνα

3. Υπολογισμός του χρόνου παραμονής (t):

$$\text{Όγκος δεξαμενών} = A \cdot \text{ύψος τοίχου} \cdot n \quad (4.44)$$

$$t = \text{Όγκος δεξαμενής} / Q_{av} \quad (4.45)$$

3. Φόρτιση υπερχειλιστή, επιλέγω τιμή για την διάμετρο (d) του υπερχειλιστή, από την διάμετρο υπολογίζω το μήκος της περιφέρειας L_w :

$$L_w = \pi * d \quad (4.46)$$

Η φόρτιση του υπερχειλιστή (Q_w) θα είναι:

$$Q_w = Q_{av} / L_w \quad (4.47)$$

4. Υπολογισμός του αριθμού (k) των τριγωνικών υπερχειλιστών (v-notch), επιλέγω την απόσταση (d_k) μεταξύ των υπερχειλιστών και στη συνέχεια διαιρώ την περιφέρεια με την απόσταση αυτή:

$$k = L_w / d_k \quad (4.48)$$

5. Υπολογίζω την απόδοση όπως και στις ορθογωνικές δεξαμενές (βήμα 7)

4.5.8 Έλεγχος λειτουργίας δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης

Για τον έλεγχο λειτουργίας έχοντας δεδομένες τις διαστάσεις της δεξαμενής και την παροχή, υπολογίζουμε την ταχύτητα V_{max} και την συγκρίνουμε με την V_{sc} , επίσης υπολογίζουμε τον χρόνο κράτησης και στη συνέχεια την απόδοση της δεξαμενής από την σχέση 3,6. Για ψυχρά κλίματα με θερμοκρασίες κάτω των 20°C μπορούμε να διορθώσουμε τον χρόνο κράτησης διαιρώντας τον με τον συντελεστή που δίνεται από την εξίσωση (3.7).

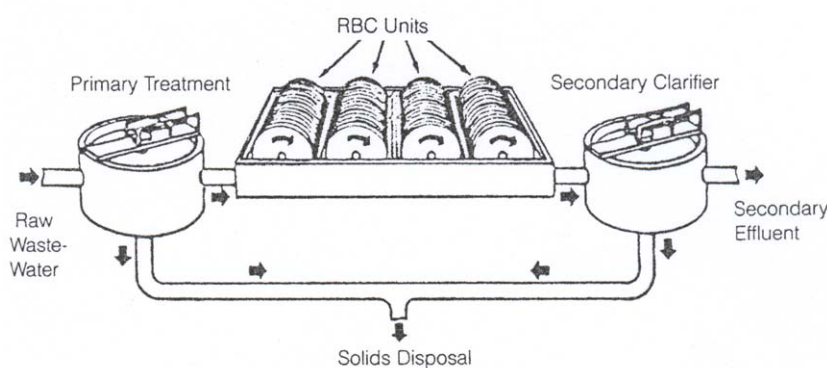
5 ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (RBC: rotating biological contactors)

Πηγές: Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Wastewater Engineering Treatment and Reuse Metcalf and Eddy, Water and Wastewater Calculations Manual Shundar Lin

5.1 Εισαγωγή

Στα τέλη της δεκαετίας του 60 το ενδιαφέρον για τα πλαστικά μέσα οδήγησε στην ανάπτυξη και μαζική παραγωγή των RBCs τα οποία παρείχαν πολλά από τα πλεονεκτήματα των βιολογικών πύργων από πέτρα και ταυτόχρονα διέθεταν λιγότερα μειονεκτήματα. Η ανάπτυξη των νέων μέσων και οι μικρές ενεργειακές απαιτήσεις των RBCs σε σύγκριση με τις μονάδες ενεργού ιλύς, οδήγησε τους μηχανικούς στην κατασκευή εγκαταστάσεων με μονάδες RBC για την επεξεργασία αστικών λυμάτων στα μέσα και τέλη της δεκαετίας του 70.

Υπολογίζεται ότι περισσότερες από 600 μονάδες με RBC χρησιμοποιούνται στις μέρες μας για την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων στις Η.Π.Α.. Η πρώτη μονάδα RBC που προήλθε από μαζική παραγωγή κατασκευάστηκε το 1960 στην δυτική Γερμανία. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις στις Η.Π.Α. σχεδιάζονται και χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα, ορισμένες για συνδυασμένη απομάκρυνση άνθρακα και νιτροποίηση και λιγότερες για νιτροποίηση και δευτεροβάθμια εκροή. Η πρώτη μεγάλης κλίμακας εγκατάσταση RBC στις Η.Π.Α. έγινε στο Pewaukee, Wisconsin.



σχήμα 20: Μονάδα ΠΣΣΥ

Τα περιστρεφόμενα συστήματα σταθερού υποστρώματος (ΠΣΣΥ) αποτελούνται από κυκλικούς πλαστικούς δίσκους που στηρίζονται σε ένα οριζόντιο άξονα σε μία δεξαμενή. Ο άξονας περιστρέφεται 1 ή 2 φορές το λεπτό με τη βοήθεια μηχανισμού ή συμπιεσμένου αέρα. Στα συνηθισμένα αερόβια συστήματα περίπου το 40% του μέσου είναι βυθισμένο στο απόβλητο. Μία εταιρία κατασκευής ΠΣΣΥ έχει αναπτύξει κάποιο εναλλακτικό σχέδιο το οποίο χρησιμοποιεί μεγαλύτερη βύθιση, περίπου 85%, και ισχυρίζεται ότι με τη διάταξη αυτή επιτυγχάνεται μικρότερη καταπόνηση του φίλτρου, των στηρίξεων και των αξόνων λόγω του μειωμένου βάρους της βιομάζας που αναλαμβάνουν ενώ ταυτόχρονα απαιτούνται λιγότερες μονάδες ΠΣΣΥ αφού το συγκεκριμένο σχέδιο έχει μεγαλύτερο όγκο και προσφέρεται σε διαμέτρους που φτάνουν τα 5,5 μέτρα.

Τα υγρά απόβλητα κατά την επεξεργασία ρέουν στο φίλτρο λόγω του εκτοπίσματος και της βαρύτητας. Η περιστροφή των δίσκων εκθέτει εναλλακτικά το βιολογικό φιλμ στην οργανική ύλη και τον αέρα. Τα βακτήρια και οι άλλοι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα υγρά απόβλητα προσκολλώνται και αναπτύσσονται στην επιφάνεια του περιστρεφόμενου μέσου. Σε χρονικό διάστημα μίας ή δύο εβδομάδων από την έναρξη της διαδικασίας τα βακτήρια θα σχηματίσουν ένα σταθερό βιολογικό φιλμ που θα καλύπτει όλη την επιφάνεια του μέσου. Ανάλογα με το οργανικό φορτίο και τις συνθήκες σε κάθε στάδιο το γλοιώδες υλικό που δημιουργείται έχει διαφορετικό πάχος και χρώμα. Συνήθως στο πρώτο στάδιο όπου η λειτουργία γίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα φόρτισης, έχουμε ένα χαρακτηριστικό καφέ-γκρι χρώμα, στα τελευταία στάδια που πραγματοποιείται η νιτροποίηση εμφανίζεται κόκκινο-μπρούτζινο χρώμα. Εξαιτίας των δυνάμεων συνάφειας το βιολογικό φιλμ τείνει να αποκόπτεται όταν η βιομάζα που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του μέσου αποκτάει μεγάλο βάρος, η ανάπτυξη και η αποκοπή του φιλμ επαναλαμβάνονται συνεχώς. Το αποσπώμενο βιολογικό φιλμ και τα υπόλοιπα αιωρούμενα στερεά μεταφέρονται μαζί με τα υγρά απόβλητα και απομακρύνονται στην δευτεροβάθμια επεξεργασία.

Στο σχήμα 20 φαίνεται μία μονάδα ΠΣΣΥ που χρησιμοποιείται για δευτεροβάθμια επεξεργασία. Τα απόβλητα ρέουν από την πρωτοβάθμια προς την τελική επεξεργασία, όπου τα στερεά κατακάθονται και συλλέγονται, περνώντας από μία μονάδα επεξεργασίας με ΠΣΣΥ. Με τα κατάλληλα απόβλητα, σωστό σχεδιασμό και ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες τα ΠΣΣΥ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δευτεροβάθμια επεξεργασία νιτροποίηση και απονιτροποίηση.

Τα μεγάλα ποσά οργανικού φορτίου, η μικρή ταχύτητα περιστροφής και άλλες παράμετροι μπορούν να οδηγήσουν σε υπερβολική ανάπτυξη της βιομάζας πάνω στο φίλτρο με αποτέλεσμα την αστοχία της κατασκευής στον άξονα ή στο περιστρεφόμενο τμήμα του φίλτρου, αδυναμία διατήρησης σταθερής ταχύτητας περιστροφής και άλλα λειτουργικά προβλήματα. Σε πολλές εγκαταστάσεις έχουν παρατηρηθεί προβλήματα όπως: μειωμένη απόδοση σε σχέση με την απόδοση σχεδιασμού, κατασκευαστικά, που εντοπίζονται στον άξονα και το περιστρεφόμενο τμήμα, υπερβολικής ανάπτυξης της βιομάζας και αναταράξεις κατά την περιστροφή του άξονα σε συστήματα με συμπιεσμένο αέρα. Τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν είχαν σαν αποτέλεσμα την μείωση της χρήσης των ΠΣΣΥ από τους σχεδιαστές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων περίπου στα μέσα της δεκαετίας του 80. Οι περιορισμοί και τα σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση των RBCs πρέπει να κατανοηθούν και να λαμβάνονται υπ' όψιν για την επιτυχή λειτουργία αυτών των συστημάτων.

5.2 Αρχή λειτουργίας

Η επεξεργασία με RBCs βασίζεται στην δημιουργία επαρκούς ποσότητας βιομάζας, την επαφή ανάμεσα στη βιομάζα και το υπόστρωμα, τα απαραίτητα θρεπτικά, το οξυγόνο και στον χρόνο κράτησης για την επίτευξη της επεξεργασίας των αποβλήτων. Η διατήρηση επαρκούς ποσότητας βιομάζας πραγματοποιείται με την παροχή της απαραίτητης επιφάνειας ή όγκου των ΠΣΣΥ και από την μετάδοση της ενέργειας περιστροφής ή της τριβής μεταξύ του φίλτρου και του υγρού που αποκόπτει την βιομάζα συμβάλλοντας στον σχηματισμό ενός λεπτού και ενεργού στρώματος. Η επαφή μεταξύ της βιομάζας και του υποστρώματος διατηρείται με παρακολούθηση των συνθηκών ανάμειξης για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του αντιδραστήρα. Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών είναι συνήθως κατάλληλες για την εφαρμογή της διαδικασίας στα περισσότερα είδη οικιακών αποβλήτων αν όμως κριθεί απαραίτητο μπορεί να ρυθμιστούν στα κατάλληλα επίπεδα. Οι αναγκαίες ποσότητες οξυγόνου παρέχονται στην διαδικασία διατηρώντας την ταχύτητα περιστροφής και τα επίπεδα αερισμού (σε όσες μονάδες διαθέτουν αερισμό) σε ικανοποιητικά επίπεδα. Επαρκής χρόνος κράτησης παρέχεται όταν ο καθορισμός της επιφάνειας του φίλτρου και του όγκου γίνεται σύμφωνα με τις τυπικές τιμές και χρησιμοποιούνται τυποποιημένοι τρόποι διαμόρφωσης των δεξαμενών.

Η μεταφορά και διάχυση του υποστρώματος και του οξυγόνου κυριαρχούν στην απομάκρυνση των οργανικών στα περισσότερα αερόβια ΠΣΣΥ. Η αντίσταση στη

μεταφορά και τη διάχυση που σχετίζεται με την υγρή φάση και το βιολογικό φιλμ προκαλεί σημαντικές διαβαθμίσεις στην συγκέντρωση από το υγρό μέχρι τις θέσεις που πραγματοποιούνται βιολογικές αντιδράσεις μέσα στο βιολογικό φιλμ. Ο ρυθμός οξυγόνωσης αποτελεί περιοριστικό παράγοντα και ελέγχει τον συνολικό ρυθμό αντίδρασης σε συστήματα που δέχονται μεγάλα οργανικά φορτία. Η απευθείας μεταφορά οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα στην επιφάνεια του φιλμ και τα απόβλητα που βρίσκονται σε αυτό αποτελεί την κύρια πηγή οξυγόνου για τους μικροοργανισμούς. Το οξυγόνο εισέρχεται και στην μάζα του υγρού λόγω των αναταραχών που δημιουργούνται κατά την περιστροφή και στα απόβλητα που ανυψώνονται με το φίλτρο και ρέουν πάνω σε αυτό.

Ο μηχανισμός απομάκρυνσης του υποστρώματος σε μία διαδικασία σταθερού υποστρώματος είναι αρκετά περίπλοκος. Οι βιολογικές απαιτήσεις της λειτουργίας των ΠΣΣΥ είναι ουσιαστικά ίδιες με φίλτρα τα οποία δεν κινούνται. Ο μέγιστος ρυθμός οξυγόνωσης και απομάκρυνσης του υποστρώματος είναι αρκετά σημαντικοί για την λειτουργία των ΠΣΣΥ. Ωστόσο εξαιτίας περίπλοκων φαινομένων κατά τη μεταφορά και διάχυση η απομάκρυνση του υποστρώματος από το υγρό δεν αναμένεται να ακολουθήσει κάποιο απλό μαθηματικό μοντέλο.

5.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση

Οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την λειτουργία και την απόδοση των ΠΣΣΥ είναι:

- Το οργανικό και υδραυλικό φορτίο
- Τα χαρακτηριστικά του απόβλητου που εισέρχεται στη μονάδα
- Η θερμοκρασία των αποβλήτων
- Ο έλεγχος του βιολογικού φιλμ
- Τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου
- Η λειτουργική ευελιξία της μονάδας

5.3.1 Οργανικό και υδραυλικό φορτίο

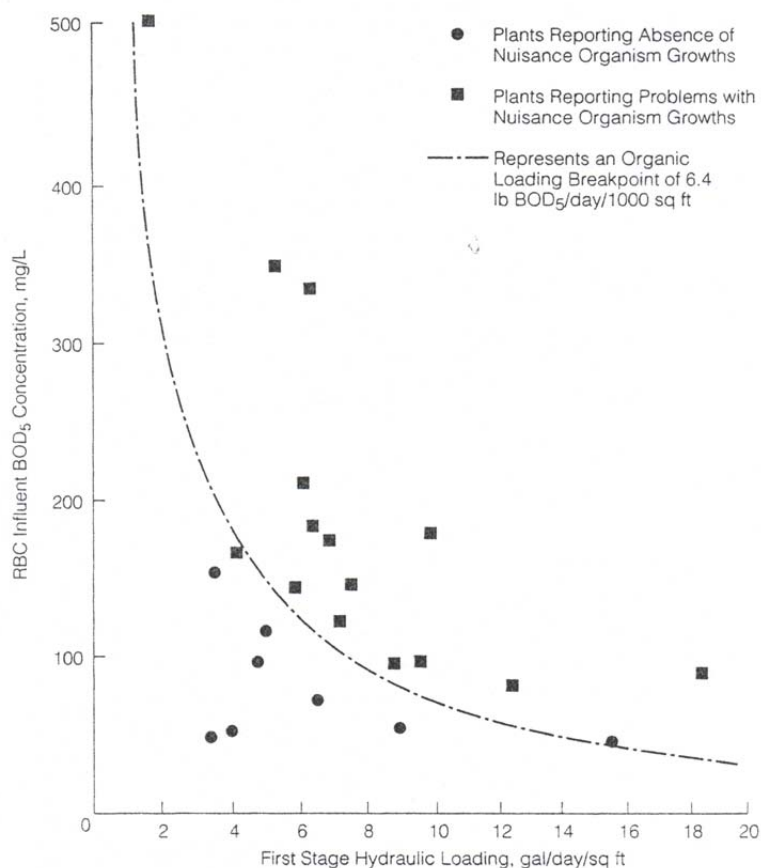
Οι αυξημένες ροές προκαλούν αύξηση του υδραυλικού φορτίου και μειώνουν τον χρόνο κράτησης. Η εξασφάλιση επαρκούς χρόνου κράτησης ή αντίδρασης είναι απαραίτητη σε κάθε βιολογικό αντιδραστήρα. Η επίδραση των διακυμάνσεων του υδραυλικού και οργανικού φορτίου στην λειτουργία των ΠΣΣΥ πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν κατά τον σχεδιασμό. Όταν ο λόγος της μέγιστης προς τη μέση ημερήσια κατανάλωση είναι 2,5 ή μεγαλύτερος τότε πρέπει να μελετηθεί η χρήση κάποιας διάταξης για την εξισορρόπηση της ροής. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο υδραυλικός χρόνος κράτησης σε κάθε στάδιο είναι σχετικά σύντομος, της τάξης των 20 λεπτών σε κανονικές συνθήκες φόρτισης.

Ένας περιοριστικός παράγοντας στον σχεδιασμό αερόβιων ΠΣΣΥ είναι το οργανικό φορτίο στο πρώτο στάδιο, το οποίο πρέπει να είναι συμβατό με την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου στο σύστημα. Τα μεγάλα οργανικά φορτία προκαλούν αύξηση στο πάχος του φιλμ, το οξυγόνο καθίσταται περιοριστικός παράγοντας και σχηματίζεται βιομάζα με άσπρο-γκρι χρώμα. Τα προβλήματα που συνήθως προκαλούνται από την υπερφόρτιση του φίλτρου είναι οσμές από την σήψη, υποβάθμιση της επεξεργασίας, καταπόνηση της κατασκευής και πιθανή πρόκληση βλαβών στον εξοπλισμό.

Οι Stover και Kincannon (1975 και 1976) παρατήρησαν ότι η συγκέντρωση του υποστρώματος και το υδραυλικό φορτίο συσχετίζονται απευθείας με τον ρυθμό απομάκρυνσης του υποστρώματος και την απόδοση. Έδειξαν ότι η απομάκρυνση του υποστρώματος δεν είναι μία ακριβής συνάρτηση του υδραυλικού φορτίου ή της συγκέντρωσης του υποστρώματος στην εισροή αλλά εξαρτάται από τον συνδυασμό των δύο αυτών μεταβλητών, δηλαδή από το ολικό οργανικό φορτίο του συστήματος. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το ολικό οργανικό φορτίο είναι το μέγεθος που πρέπει να χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό των ΠΣΣΥ. Οι Dupont και Mc Kinney (1980), Poon et al. (1979), Wilson et al. (1980) τόνισαν επίσης την σημασία του ολικού οργανικού φορτίου ($\text{kg BOD/m}^2 \cdot \text{d}$) ως σχεδιαστικής παραμέτρου.

Η εξέταση 23 εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν ΠΣΣΥ, με τα αποτελέσματα που συνοψίζονται στο 21, απέδειξε την παρουσία μικροοργανισμών που οξειδώνουν το θείο όταν οι εγκαταστάσεις δέχονται μεγάλες ποσότητες οργανικού φορτίου. Το σχήμα 21 δείχνει ότι όποτε το όριο φόρτισης κατά το πρώτο στάδιο υπερβαίνει τα $0,031 \text{ kg BOD/m}^2 \cdot \text{d}$, στο σύστημα παρατηρείται η εμφάνιση μικροοργανισμών που οξειδώνουν το

θείο. Υψηλότερα οργανικά φορτία θα αυξήσουν την πιθανότητα δημιουργίας προβλημάτων όπως την μεγαλύτερη από το κανονικό πάχυνση του φιλμ, προβληματική ανάπτυξη των μικροοργανισμών, έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου και κατά συνέπεια την συνολική υποβάθμιση της διαδικασίας.



σχήμα 21: Περιοριστικές συνθήκες για το διαλυμένο οξυγόνο που σχετίζονται με την εισροή οργανικού φορτίου και το υδραυλικό φορτίο

5.3.2 Χαρακτηριστικά της εισροής των αποβλήτων

Τα αστικά απόβλητα παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία όσον αφορά τον αριθμό των βιοαποικοδομήσιμων συστατικών και το εύρος μεγέθους των σωματιδίων. Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων και η επίδρασή τους στην βιοαποικοδόμηση είναι σημαντικοί παράγοντες για τον σχεδιασμό ενός συστήματος. Μεγάλες συγκεντρώσεις υδρόθειου (H₂S) στην εισροή μειώνουν την αποτελεσματικότητα των ΠΣΣΥ εξαιτίας της επιτάχυνσης στην εμφάνιση των ανασταλτικών παραγόντων κατά την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Όταν γίνεται αντιληπτό σε αερόβια συστήματα ότι η συγκέντρωση του υδρόθειου στην εισροή υπερβαίνει τα φυσιολογικά επίπεδα τότε λαμβάνονται μέτρα κατά

τον σχεδιασμό όπως προαερισμός, συμπληρωματικός αερισμός και μείωση των φορτίων στο πρώτο στάδιο. Το φαινόμενο των πλάγιων ρευμάτων, κυρίως από την επεξεργασία των στερεών και η επίδρασή του στην επεξεργασία των ΠΣΣΥ είναι ένας ακόμα παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί κατά τον σχεδιασμό.

Παρόλο που πολλές από τις καμπύλες σχεδιασμού έχουν δημιουργηθεί από τους κατασκευαστές και άλλες που χρησιμοποιούν μία λογική προσέγγιση θεωρούν μόνο το διαλυτό BOD, ο σχεδιαστής πρέπει να γνωρίζει ότι τα σωματίδια με BOD που υπάρχουν στην εισροή θα υποστούν υδρόλυση συμβάλλοντας στην αύξηση του οργανικού φορτίου. Επομένως ένα ΠΣΣΥ πρέπει όχι μόνο να έχει την δυνατότητα να απομακρύνει τα συστατικά που είναι διαλυτά στα απόβλητα αλλά και ένα μεγάλο ποσοστό του οργανικού υλικού που υπάρχει σε μορφή σωματιδίων για να επιτυγχάνεται αποτελεσματική λειτουργία του φίλτρου.

5.3.3 Θερμοκρασία των αποβλήτων

Μελέτες έχουν δείξει ότι ο βαθμός απομάκρυνσης των οργανικών δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία εφ' όσον αυτή υπερβαίνει τους 13°C όμως η διαδικασία εκφυλίζεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Οι κατασκευαστές των φίλτρων έχουν αναπτύξει συντελεστές διόρθωσης για θερμοκρασίες των αποβλήτων κάτω από τους 13°C.

Επειδή ο ρυθμός απομάκρυνσης των οργανικών στα ΠΣΣΥ εξαρτάται από το υπόστρωμα και τον ρυθμό μεταφοράς και διάχυσης του οξυγόνου η χρήση συντελεστών διόρθωσης που βασίζονται μόνο στις θεωρήσεις των κινητικών βιολογικών διεργασιών είναι αμφισβητήσιμη. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι χαμηλές θερμοκρασίες των αποβλήτων αυξάνουν την απομάκρυνση των οργανικών σε αερόβια συστήματα που δέχονται μεγάλα φορτία. Στις χαμηλότερες θερμοκρασίες αυξάνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού μεταφοράς του οξυγόνου στα απόβλητα. Για τα συστήματα νιτροποίησης είναι κοινά αποδεκτό ότι η μείωση της θερμοκρασίας των αποβλήτων έχει ανασταλτική δράση στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών που πραγματοποιούν την νιτροποίηση και κατά συνέπεια στην ικανότητα νιτροποίησης των ΠΣΣΥ.

5.3.4 Έλεγχος του βιολογικού φίλμ

Το πάχος του βιολογικού φιλμ είναι σημαντικό για την επεξεργασία στις μονάδες ΠΣΣΥ. Επομένως πρέπει να γίνει μία διάκριση μεταξύ του συνολικού πάχους του φιλμ και του ενεργού πάχους. Μετρήσεις του πάχους του βιολογικού φιλμ σε διάφορες μελέτες δείχνουν ότι το ολικό πάχος κυμαίνεται από 0,07 ως 4 mm ανάλογα με τις υδροδυναμικές συνθήκες. Ο ρυθμός απομάκρυνσης του υποστρώματος στις περιοχές με μεγάλο πάχος δεν φαίνεται να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές σε λεπτά φιλμ εξαιτίας της αντίστασης στη διάχυση μέσα στο φιλμ. Το ενεργό μέρος του φιλμ που συμβάλει στην απομάκρυνση του υποστρώματος ονομάζεται και ενεργό πάχος του φιλμ. Το πάχος αυτό έχει υπολογιστεί από διάφορους ερευνητές ότι είναι μεταξύ των 20 και 600 μm .

Παλαιότερες παρατηρήσεις για την απομάκρυνση του υποστρώματος με αυξανόμενο πάχος του φιλμ έχουν δείξει ότι ο ρυθμός εκμετάλλευσης του υποστρώματος αυξάνεται καθώς το πάχος φτάνει στην τιμή των 70-100 μm , μετά από την οποία κάθε αύξηση του πάχους δεν αυξάνει τον ρυθμό απομάκρυνσης. Οι έρευνες αυτές ορίζουν το ενεργό πάχος ως το πάχος κάτω από το οποίο η απομάκρυνση του υποστρώματος διατηρεί σταθερό ρυθμό αφού πρώτα αποκτήσει μία μέγιστη τιμή. Με άλλα λόγια το ενεργό πάχος του φιλμ είναι αυτό για το οποίο ο ρυθμός απομάκρυνσης του υποστρώματος είναι ανεξάρτητος του πάχους.

Αναλύσεις που έχουν γίνει σε μελέτες για τον προσδιορισμό του προφίλ του οξυγόνου μέσα στο φιλμ έχουν δείξει ότι η αναπνοή σταματάει στο βάθος των 50 ως 100 μm , ανάλογα με την συγκέντρωση του υποστρώματος. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η απομάκρυνση του υποστρώματος πραγματοποιείται από μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο ενεργό τμήμα του φιλμ. Σήμερα οι περισσότεροι ερευνητές πιστεύουν ότι το ενεργό πάχος του φιλμ εξαρτάται από την μεταφορά οξυγόνου και υποστρώματος ή περιορισμούς που εμποδίζουν την διάχυση μέσα στην μάζα του φιλμ. Οι περισσότερες μελέτες καταλήγουν στο ότι εξαιτίας των περιορισμών στην διάχυση του οξυγόνου και του υποστρώματος υπάρχει κάποιο ενεργό πάχος του φιλμ για το οποίο η απομάκρυνση του υποστρώματος φτάνει μία μέγιστη τιμή και δεν μεγαλώνει με την αύξησης του πάχους πάνω από την συγκεκριμένη τιμή.

Για τον έλεγχο του πάχους του φιλμ πρέπει να παρέχεται λειτουργική ευελιξία. Επειδή τα περισσότερα ανθρακούχα υλικά απομακρύνονται από τα πρώτα στάδια, τα δύο πρώτα στάδια συνοδεύονται με την μέγιστη ανάπτυξη του φιλμ σε πάχος. Οι διατάξεις που υπάρχουν για την ζύγιση των ΠΣΣΥ επί τόπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ανάπτυξης της βιομάζας και την συσσώρευσή της. Οι μέθοδοι ελέγχου του πάχους του φιλμ περιλαμβάνουν αυξανόμενες ταχύτητες περιστροφής που ευνοούν την

μεταφορά οξυγόνου και τις δυνάμεις συνάφειας στο φιλμ, με περιοδική αντιστροφή της φοράς περιστροφής με σκοπό την αποκοπή κομματιών, τη χρήση αερισμού για την αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου, την απομάκρυνση των διαχωριστικών για την μείωση του οργανικού φορτίου σε κάποια δεδομένα επίπεδα, κατανομή της εισροής και του φορτίου σε διάφορα στάδια και περιοδικά την απενεργοποίηση των φίλτρων που έχουν αναπτύξει φιλμ υπερβολικής μάζας.

5.3.5 Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου

Το διαλυμένο οξυγόνο έχει ζωτική σημασία στην αερόβια επεξεργασία των αποβλήτων, είναι γνωστό ότι η έλλειψη οξυγόνου μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία της διαδικασίας. Κατά την επεξεργασία με ΠΣΣΥ το διαθέσιμο DO επηρεάζει την απόδοση της διαδικασίας όπως και άλλες λειτουργικές μεταβλητές. Η ελάχιστη περιεκτικότητα των 2 mg/l γίνεται συχνά αποδεκτή ως προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία των αερόβιων συστημάτων.

Σε έκθεση αναφέρεται ότι εγκατάσταση με ΠΣΣΥ για την απομάκρυνση CBOD (carbonaceous BOD) και νιτροποίηση απέτυχε να συμμορφωθεί με τα όρια σχεδιασμού που αφορούσαν την εκροή τόσο κατά την χειμερινή όσο και κατά την θερινή περίοδο. Η αποτυχία κατά τους θερινούς μήνες αφορούσε τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου που έπεφταν κάτω από το 1 mg/l. Ωστόσο τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου αυξάνοντας κατά την χειμερινή λειτουργία συμβάλλοντας στην επαρκή απομάκρυνση CBOD σύμφωνα με τις προδιαγραφές σχεδιασμού. Ο ρυθμός νιτροποίησης βελτιωνόταν επίσης κατά τους χειμερινούς μήνες όχι όμως αρκετά ώστε να φτάσει τις τιμές σχεδιασμού στην εκροή. Στα πρώτα στάδια των ΠΣΣΥ παρατηρήθηκε μεγάλη ανάπτυξη των οργανισμών *Beggiatoa*. Οι αυξημένοι ρυθμοί απομάκρυνσης νιτρικών και ανθρακούχων κατά την χειμερινή περίοδο αποδίδονται στην αύξηση της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου λόγω αύξησης της θερμοκρασίας λόγω μείωσης της θερμοκρασίας που αυξάνει την μεταφορά οξυγόνου.

Η ανάπτυξη των *Beggiatoa* συχνά προκαλεί συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου σε συνδυασμό με μεγάλα φορτία ευνοούν την παραγωγή σουλφιδίων που διευκολύνουν την ανάπτυξη οργανισμών που οξειδώνουν τα σουλφίδια όπως οι *Beggiatoa*. Η ύπαρξη σουλφιδίων στο ρεύμα εισροής μπορεί επίσης να προκαλέσει την ανάπτυξη *Beggiatoa*. Τα *Beggiatoa* ως νηματοειδής μικροοργανισμός ενισχύουν δομικά το φιλμ όμως περιπλέκει τον έλεγχο της βιομάζας. Προκαλεί αυξημένη

παραγωγή βιομάζας και αύξηση του βάρους που μπορεί να είναι υπεύθυνες για βλάβες στον άξονα και το φίλτρο. Τα *Beggiatoa* είναι αυτότροφα βακτήρια με υπόλευκο χρώμα που χρησιμοποιούν το υδρόθειο και το θείο σαν πηγές ενέργειας παρουσία οξυγόνου. Αυτοί οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούν τα σουλφίδια ανταγωνίζονται με ετερότροφους οργανισμούς για το διαθέσιμο οξυγόνο και τον χώρο στην επιφάνεια του φίλτρου. Η υπεροχή τους μπορεί να προκαλέσει αύξηση στην συγκέντρωση ή το πάχος της βιομάζας στο φίλτρο ενώ ταυτόχρονα προκαλείται ουσιαστική μείωση του βαθμού απομάκρυνσης των οργανικών.

Τα επίπεδα DO είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην αερόβια διαδικασία νιτροποίησης διότι οι οργανισμοί που πραγματοποιούν την νιτροποίηση είναι περισσότερο ευαίσθητοι στο οξυγόνο από ότι οι ετερότροφοι οργανισμοί. Η ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται για νιτροποίηση ποικίλει από 0,5 ως 4 mg/l, ωστόσο ως ελάχιστη συγκέντρωση προτείνεται αυτή των 2 mg/l.

Κατά την νιτροποίηση τα ΠΣΣΥ είναι σχεδιασμένα ώστε να παράγουν εκροές με χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας-αζώτου της τάξης των 2 mg/l ή λιγότερο, συνήθως τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου αυξάνονται στο τέλος της εκροής αφού συνδυάζονται με τα χαμηλά επίπεδα SBOD₅ και μπορούν να μειώσουν τον ρυθμό νιτροποίησης διότι μεγαλύτεροι ζωντανοί οργανισμοί οι οποίοι απορροφούν τους οργανισμούς της νιτροποίησης αυξάνονται σε πληθυσμό. Για την αντιμετώπιση των βακτηρίων που καταναλώνουν τους μικροοργανισμούς η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 3,5 mg/l και το SBOD₅ θα πρέπει να διατηρείται στα 6 ως 8 mg/l κατά την νιτροποίηση.

Για τις αερόβιες διαδικασίες ο σχεδιασμός των ΠΣΣΥ θα πρέπει να περιλαμβάνει κάποιο μέσο αύξησης του DO παρέχοντας μεταβλητές ταχύτητες, συμπληρωματικό αερισμό, άντληση και επανακυκλοφορία της εκροής και κινούμενα διαχωριστικά ιδιαίτερα κατά τα πρώτα στάδια. Για την απονιτροποίηση πρέπει να γίνεται σχεδιασμός ώστε να είναι δυνατή η διατήρηση ανοξικών ή αναερόβιων συνθηκών.

5.3.6 Λειτουργική ευελιξία

Ένα ΠΣΣΥ πρέπει να χαρακτηρίζεται από ευελιξία ώστε να επιτυγχάνεται η εύρυθμη λειτουργία και συντήρησή του. Κατά τον σχεδιασμό πρέπει να εξετάζονται τα παρακάτω σημεία:

- Πιθανή ανάγκη για συμπληρωματικό αερισμό στα αερόβια ΠΣΣΥ με σκοπό την ικανότητα διαχείρισης μεγαλύτερου φορτίου οργανικών στο πρώτο στάδιο.
- Τα αναγκαία μέσα για την απομάκρυνση του περισσευούμενου φιλμ όπως χημικά πρόσθετα και έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής.
- Μεταβλητή ταχύτητα περιστροφής στο πρώτο και δεύτερο στάδιο.
- Διαχωριστικά μεταξύ των σταδίων που μπορούν να αφαιρούνται.
- Έλεγχος της εισροής σε κάθε μονάδα.
- Ελεγχόμενη εναλλαγή στην κατανομή της ροής.
- Μέτρηση της παροχής αέρα και έλεγχος σε κάθε άξονα στην περίπτωση συμπληρωματικού αερισμού ή μονάδων που περιστρέφονται με τη βοήθεια αέρα.
- Επανακυκλοφορία της εκροής.
- Εξοπλισμός για τον έλεγχο της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου.
- Εύκολη πρόσβαση στον άξονα, το φίλτρο και τον υπόλοιπο μηχανικό εξοπλισμό που χρειάζεται παρακολούθηση, συντήρηση και περιοδική αντικατάσταση ή απομάκρυνση.
- Σε περιπτώσεις που τα ΠΣΣΥ βρίσκονται στο εσωτερικό κτιρίων απαιτείται εξαερισμός, έλεγχος της υγρασίας και της θερμοκρασίας.

5.4 Μικροοργανισμοί

Στο πρώτο στάδιο του βιολογικού φιλμ τα πιο συχνά παρατηρούμενα νηματοειδή βακτήρια είναι τα *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Cladothrix*, *Nocardia*, *Oscillatoria* και ο νηματοειδής μύκητας *Fusarium*. Μη νηματοειδής οργανισμοί που υπάρχουν στο πρώτο στάδιο είναι οι *Zocloea*, *Zooglea*, *Aerobacter Aerogen*, *Escherichia Coli*, μονοκύτταροι ράβδοι, σπειροχαίτες και μονοκύτταρα άλγη. Στα τελευταία στάδια συναντάμε τους ίδιους μικροοργανισμούς και επιπλέον *Athrobotrys* και *Streptomyces* όπως αναφέρεται από ερευνητές (Pretorius 1971, Torpey et al. 1971, Pescod and Nair 1972, Sudo et al. 1977, Clark et al. 1978, Hittlebaugh and Miller 1980, Hoag et al. 1980, Kinner et al. 1982).

5.5 Διαδικασία σχεδιασμού

Τα ΠΣΣΥ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα, συνδυασμένη απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και νιτροποίησης ή νιτροποίηση αλλά και απονιτροποίηση σε διαφορετικά στάδια.

Μεγάλος αριθμός σχεδιαστικών προσεγγίσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί μπορούν να πετύχουν τις παραπάνω λειτουργίες χρησιμοποιώντας δεδομένα από πιλοτικές μονάδες, μαθηματικά μοντέλα και εμπειρικές διαδικασίες. Οι πιλοτικές εφαρμογές συνιστώνται όπου οι οικονομικές προϋποθέσεις και οι πιθανότητες επιτυχίας εγγυώνται τέτοιες προσπάθειες ή σε περιπτώσεις ασυνήθιστων χαρακτηριστικών των αποβλήτων. Όπου είναι δυνατό συνίσταται η χρήση του κατάλληλου μαθηματικού μοντέλου σε συνδυασμό με κάποιο πιλοτικό πρόγραμμα ώστε να λαμβάνονται τιμές για τους συντελεστές του μοντέλου. Όταν η εκτίμηση των τιμών από άλλες μονάδες δεν είναι δυνατή ο σχεδιαστής πρέπει να χρησιμοποιήσει κάποια εμπειρική προσέγγιση καθώς και την προσωπική του κρίση για την ικανότητα εφαρμογής και την προσαρμογή στις δεδομένες συνθήκες.

5.5.1 Μελέτες πιλοτικών εγκαταστάσεων

Πληροφορίες για τον σχεδιασμό ΠΣΣΥ μπορούν εύκολα να αποκτηθούν με την εκτίμηση της κατάστασης των αποβλήτων επί τόπου χρησιμοποιώντας φίλτρο σε κανονικό μέγεθος. Η χρήση φίλτρων φυσικού μεγέθους συνίσταται γιατί έχει παρατηρηθεί ότι έχουμε μεγαλύτερες απομακρύνσεις ανά μονάδα επιφάνειας όταν χρησιμοποιούμε μικρότερες διαμέτρους. Τα τεστ αυτά πρέπει να αναφέρονται σε μία εκτεταμένη χρονική περίοδο σε συνθήκες ημερήσιας και μεταβλητής φόρτισης και σε διαφορετικές εποχές για να ελέγχουν την λειτουργία του συστήματος σε όλες τις συνθήκες που δημιουργούνται στις εγκαταστάσεις. Οι δοκιμές αυτές προσδιορίζουν όλες τις μεταβολές μεγάλης κλίμακας στην λειτουργία του συστήματος που προκαλούνται από την συσσώρευση στερεών στο φίλτρο αλλά και άλλους παράγοντες. Στην περίπτωση που η μελέτη γίνεται σε φίλτρα μικρής διαμέτρου η φόρτιση σε μικρότερα επίπεδα από την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου μίας μονάδας μεγάλης διαμέτρου είναι αναγκαία για την μείωση των προβλημάτων μεγέθυνσης υπό κλίμακα.

5.5.2 Εμπειρικά δεδομένα σχεδιασμού για την μείωση του BOD

Παρόλο που για τον σχεδιασμό προτιμούνται οι συγκεκριμένες πιλοτικές δοκιμές και η μοντελοποίηση των συστημάτων, τα περισσότερα ΠΣΣΥ που κατασκευάζονται για την μείωση του BOD₅ κατά κανόνα σχεδιάζονται βάσει εμπειρικών μεθόδων που αναπτύσσονται από τους κατασκευαστές των ΠΣΣΥ και άλλους.

Μία εμπειρική εξίσωση σχεδιασμού αναπτύχθηκε σε μία μελέτη της U.S. EPA (Benjes, 1977) για να προβλέψει την απόδοση των ΠΣΣΥ. Η εξίσωση βασίστηκε σε εμπειρικές σχέσεις που είχαν δημιουργηθεί από τους Velz και Schulze για την λειτουργία των βιολογικών πύργων (Schulze, 1960, Velz, 1948). Η εξίσωση προβλέπει τα επίπεδα BOD₅ και βασίζεται στην συγκέντρωση BOD₅ στην εισροή, τον όγκο του φίλτρου και το υδραυλικό φορτίο.

$$S_e / S_i = e^{-K(0,000125 \cdot V/Q)^{0,5}} \quad (5.1)$$

Όπου S_e : η συγκέντρωση στην εκροή

S_i : η συγκέντρωση στην εισροή του ΠΣΣΥ

V : ο όγκος του μέσου

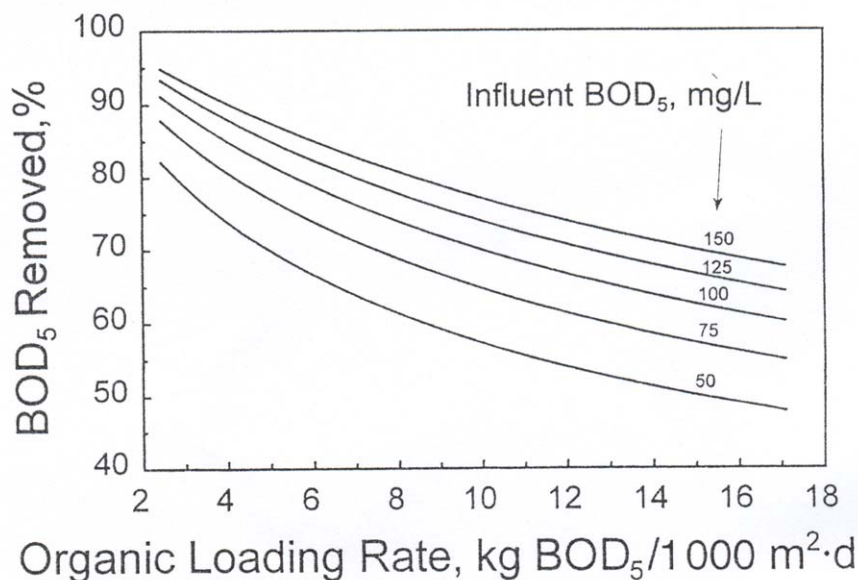
Q : το υδραυλικό φορτίο σε l/s

k : σταθερά της αντίδρασης (0,30)

Για τον υπολογισμό της σταθεράς της αντίδρασης k ο Benjes (1977) συγκέντρωσε δεδομένα από ένα μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων. Το σχήμα 22 δίνει μία γραφική αναπαράσταση της σχέσης για συγκεκριμένες συνθήκες.

Πολλοί κατασκευαστές ΠΣΣΥ δίνουν εμπειρικές μεθόδους σχεδιασμού τις οποίες μπορούμε να συμβουλευτούμε. Πριν τη χρήση αυτών των μεθόδων ο σχεδιαστής έπρεπε να ερευνήσει την ανάπτυξη των μεθόδων να κατανοήσει του συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται και να επαληθεύσει την ισχύ της μεθόδου του κατασκευαστή με δεδομένα από αντιπροσωπευτικές εγκαταστάσεις κανονικού μεγέθους.

Η επίδραση του ψύχους στην λειτουργία πρέπει να εξετάζεται κατά τον σχεδιασμό ενός αερόβιου ΠΣΣΥ για την μείωση του BOD₅. Οι κατασκευαστές των ΠΣΣΥ δίνουν κάποιες εμπειρικές εξισώσεις σχεδιασμού για την μείωση της απόδοσης κατά τη λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ο Benjes (1977) αναφέρει μείωση του k από 0,3 στους 13°C σε 0,2 στους 5°C.



σχήμα 22: Γραφική παράσταση της εξίσωσης (5.1)

5.6 Σχεδιασμός της νιτροποίησης

Υπάρχουν σημαντικές μεταβλητές που επηρεάζουν την νιτροποίηση σε ένα ΠΣΣΥ όπως οι συγκεντρώσεις εισροής οργανικών και νιτρικών, το διαλυμένο οξυγόνο, η θερμοκρασία των αποβλήτων, το Ph, η αλκαλικότητα, η παροχή εισροής και οι μεταβολές του φορτίου.

Ο σχεδιασμός της νιτροποίησης στα ΠΣΣΥ συχνά βασίζεται σε μελέτες δοκιμαστικών εγκαταστάσεων. Ωστόσο ορισμένοι κατασκευαστές έχουν δημιουργήσει εμπειρικές διαδικασίες για τον σχεδιασμό της νιτροποίησης. Οι διατάξεις συνεχούς εισροής ή εισροής σε στάδια ευνοούν την ανάπτυξη των νιτροποιητικών οργανισμών. Επομένως η σωστή σχεδίαση των σταδίων είναι σημαντική για την πραγματοποίηση της νιτροποίησης στα ΠΣΣΥ. Η ανάπτυξη των νιτροποιητών σε κάθε στάδιο εξαρτάται κυρίως από την συγκέντρωση των διαλυμένων οργανικών που βρίσκονται στα απόβλητα. Συνήθως σε υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών κυριαρχούν τα ετερότροφα βακτήρια. Δεδομένα από το πεδίο δείχνουν ότι η νιτροποίηση παρατηρείται όταν το SBOD₅ στα απόβλητα κάποιου σταδίου πέφτει περίπου στα 15 mg/l και η μέγιστη δραστηριότητα συμβαίνει όταν το SBOD₅ πέφτει στα 10 mg/l ή λιγότερο (Brenner et al., 1984).

Η βάση σχεδιασμού για τα συστήματα νιτροποίησης πρέπει να είναι το ολικό άζωτο Kjeldahl σε συνδυασμό με τη χρήση συντελεστών για τις διακυμάνσεις. Ο σχεδιασμός νιτροποίησης σε ΠΣΣΥ που βασίζεται μόνο στην συγκέντρωση εισροής αμμωνίας και αζώτου μπορεί να οδηγήσει σε υποδιαστασιολόγηση εξαιτίας της υδρόλυσης που

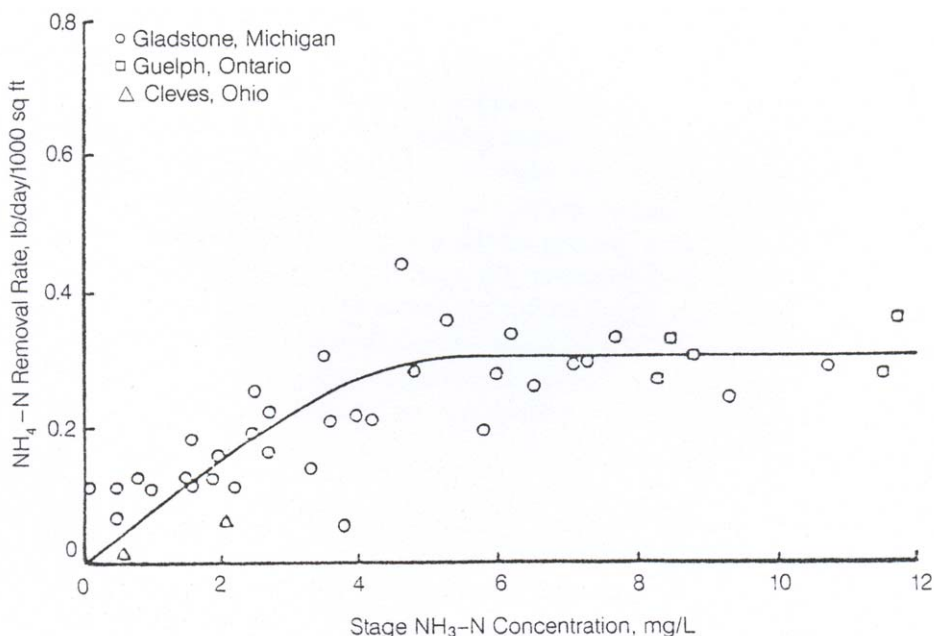
συμβαίνει στα συστήματα επεξεργασίας έχοντας σαν αποτέλεσμα την μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμωνία. Οι μεταβολές της παροχής και της συνολικής φόρτισης έχουν σημαντική επίδραση στην αποτελεσματικότητα της νιτροποίησης των ΠΣΣΥ σε σύγκριση με τις επιπτώσεις που έχουν στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου. Έτσι όποτε έχουμε απότομες αυξομειώσεις της παροχής ή εκροή του ΠΣΣΥ συνήθως περιέχει περισσότερη αμμωνία και άζωτο εκτός και αν η επιφάνεια του φίλτρου δεν επαρκεί για να καλύψει τις διακυμάνσεις της εισροής. Όταν έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις της παροχής και θέλουμε να έχουμε χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας και αζώτου στην εκροή χρησιμοποιούμε κάποια διάταξη για την εξισορρόπηση της ροής.

Αν η αμμωνία και το άζωτο ξεπερνούν τα 5 mg/l τότε λέμε ότι έχουμε μηδενικής τάξης ρυθμό απομάκρυνσης που είναι της τάξης των 0,0015kg NH₄-N/m²*d στους 13°C όπως φαίνεται στο σχήμα 23. Εξαιτίας της διασποράς των δεδομένων από διάφορες μονάδες, με κάποιες να έχουν ρυθμούς απομάκρυνσης της αμμωνίας πολύ κάτω από την τιμή που δίνει το διάγραμμα του σχήματος 23, συνίσταται συντηρητική προσέγγιση κατά τον σχεδιασμό της νιτροποίησης.

Ο μέγιστος βαθμός νιτροποίησης των 0,0015 kg NH₄-N/m²*d κατανάλωση οξυγόνου της τάξης των 0,0068 kg/m²*d που προσεγγίζει τον μέγιστο ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου που είναι περίπου 0,0073 kg O₂/m²*d που παρατηρείται για ταχύτητα περιστροφής 1,6 r/min. Επομένως ο μέγιστος ρυθμός νιτροποίησης των 0,0015 kg NH₄-N/m²*d περιορίζεται από την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου του ΠΣΣΥ. Παρόλο που κάποιες πιλοτικές μελέτες (Borchardt et al., 1978) αναφέρουν ρυθμούς νιτροποίησης της τάξης των 0,0034 kg NH₄-N/m²*d, οι ρυθμοί αυτοί δεν είναι εφικτοί σε μονάδες κανονικής διαμέτρου που περιστρέφονται με 1,6 r/min. Μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφορές οξυγόνου είναι εφικτές μόνο σε πιλοτικές μονάδες με αυξημένες ταχύτητες περιστροφής.

Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι η κύρια μεταβλητή που ελέγχει την νιτροποίηση κάτω από τους 13°C και η βαρύτητά της αυξάνεται όταν φτάνουμε την θερμοκρασία των 4°C. Θερμοκρασίες των αποβλήτων πάνω από 13°C δεν προκαλούν μεγαλύτερους ρυθμούς νιτροποίησης διότι η μεταφορά του οξυγόνου ελέγχει την ταχύτητα νιτροποίησης σε μεγαλύτερο βαθμό από τον ρυθμό βιολογικής ανάπτυξης. Μελέτες σε πιλοτικές εγκαταστάσεις έχουν δείξει αυξημένους ρυθμούς νιτροποίησης όταν το Ph αυξάνεται από 6,5 στο 8,6, ωστόσο αυτή η συμπεριφορά σπάνια επαληθεύεται σε μονάδες κανονικού μεγέθους.

Οι κατασκευαστές των ΠΣΣΥ έχουν αναπτύξει εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση της μείωσης της απόδοσης κατά τη λειτουργία σε συνθήκες ψύχους. Οι σχέσεις αυτές συνήθως δείχνουν ότι η λειτουργία στη θερμοκρασία των 5°C απαιτεί περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με τη θερμοκρασία των 13°C για την επίτευξη της ίδιας απόδοσης.



σχήμα 23: ρυθμός νιτροποίησης σε ΠΣΣΥ για θερμοκρασία σχεδιασμού 13+1°C

5.7 Σχεδιασμός της απονιτροποίησης

Η χρήση των ΠΣΣΥ για απονιτροποίησης δεν είναι αρκετά διαδεδομένη και ο σχεδιασμός πρέπει να βασίζεται σε προσεκτική εκτίμηση πιλοτικών δεδομένων και αποτελεσμάτων από αντιπροσωπευτικές μονάδες εγκαταστάσεων. Τα σχέδια που ενσωματώνουν μία διαδικασία απονιτροποίησης μετά από την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα και τις διαδικασίες νιτροποίησης έχουν προταθεί όπως και η χρήση ανοξικών σταδίων στα ΠΣΣΥ στην έναρξη της απομάκρυνσης του οργανικού άνθρακα, οι οποίες περιλαμβάνουν την ανακύκλωση των νιτρικών από τα στάδια νιτροποίησης που υπάρχουν στα ΠΣΣΥ. Ο Murphy (1977) βασιζόμενος στα αποτελέσματα μίας πιλοτικής εγκατάστασης αναφέρει μηδενικής τάξης ρυθμό απομάκρυνσης των νιτρικών 0,0041 kg NO₃-N/m²*d στους 13°C. Ο Blanc (1980) αναφέρει πρώτης τάξης ρυθμό απονιτροποίησης 0,0004 kg NO₃-N/m²*d για συγκέντρωση νιτρικών 1 mg/l και 0,0032 kg NO₃-N/m²*d για 6mg/l από πιλοτικές μελέτες.

Μία εμπειρική ρύθμιση της λειτουργίας για συνθήκες ψύχους για την απονιτροποίηση έχει αναπτυχθεί από κατασκευαστές και ισχυρίζεται ότι χρειάζεται 100% περίπου περισσότερη επιφάνεια για πτώση της θερμοκρασία από τους 18°C στους 7°C.

5.8 Παράμετροι σχεδιασμού

Κατά τον σχεδιασμό ενός ΠΣΣΥ πρέπει να προσεχθούν τα παρακάτω σημεία:

- Η ύπαρξη λεπτών σχαρών ή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας πριν τα ΠΣΣΥ.
- Όταν προβλέπεται εισροή σηπτικών πρέπει να εκτιμηθεί ο βαθμός αερισμού ή συμπληρωματικού αερισμού.
- Όταν ο λόγος της μέγιστης ημερήσιας προς τη μέση παροχή υπερβαίνει το 2,5 πρέπει να υπάρχει εξισορρόπηση της ροής.
- Να περιληφθούν στον σχεδιασμό τα πλευρικά ρεύματα που δημιουργούνται στην εγκατάσταση.
- Να εκτιμηθούν οι επιδράσεις της μέγιστης φόρτισης στην επεξεργασία των ΠΣΣΥ σαν μέρος του σχεδίου.
- Το οργανικό φορτίο στο πρώτο στάδιο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,031 kg ολικού BOD₅/m²*d ή 0,012 kg SBOD₅/m²*d.
- Να υπολογιστούν τα απαραίτητα στάδια και η κατάλληλη διαμόρφωση ώστε η εκροή να κινείται μέσα στα επιτρεπτά όρια.
- Όταν οι θερμοκρασίες πέφτουν κάτω από τους 13°C να περιληφθεί στην πιλοτική μελέτη η λειτουργία σε αυτές τις συνθήκες.
- Να παρέχεται λειτουργική ευελιξία για την βελτίωση της απόδοσης και την σωστή συντήρηση των ΠΣΣΥ.

Ο σωστός σχεδιασμός ενός ΠΣΣΥ περιλαμβάνει τον επαρκή καθορισμό των εισερχόμενων φορτίων και των επιδράσεων των πλευρικών φορτίσεων, την επιλογή μίας συνολικής διάταξης της εγκατάστασης που να είναι συμβατή με τις άλλες μονάδες επεξεργασίας του συστήματος επεξεργασίας και επαρκή ευελιξία ώστε να προωθείται η καλή λειτουργία και συντήρηση. Σε αυτό το υποκεφάλαιο αναφέρονται οι παράγοντες

φυσικού σχεδιασμού όπως η μορφή, ο αριθμός των σταδίων, ο εξοπλισμός και η λειτουργική ευελιξία.

Υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές ΠΣΣΥ, κάθε κατασκευαστής παράγει μονάδες με τα δικά του μοναδικά κριτήρια και χαρακτηριστικά. Συνεπώς ΠΣΣΥ από διαφορετικούς κατασκευαστές έχουν κυρίως ανόμοια τμήματα, όπως οι άξονες, το πλαστικό φίλτρο, το σχήμα του και μεθόδους στήριξης του κυλίνδρου.

5.8.1 Κύλινδρος

Η πυκνότητα του κυλίνδρου πρέπει να εκλέγεται για το ΠΣΣΥ ώστε να μεγιστοποιεί την απομάκρυνση χωρίς να θυσιάζει τον χρόνο ζωής του εξοπλισμού και την λειτουργία λόγω της υπερφόρτωσης. Όσο η πυκνότητα ανά μονάδα επιφάνειας αυξάνεται μειώνεται η διατομή των ανοιγμάτων του αέρα και του νερού, περιορίζοντας το οργανικό φορτίο που μπορεί να δεχτεί η μονάδα και το πάχος της βιομάζας, τα οποία μπορεί να έχουν καταστροφικές συνέπειες για την διαδικασία και τον εξοπλισμό. Ο κύλινδρος πρέπει να περιέχει κάποιο αναστολέα των υπέρυθρων ακτινών όπως ο μαύρος άνθρακας.

Το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας είναι το συνηθέστερο υλικό κατασκευής των πλαστικών φίλτρων από τις αρχές του 1970 εξαιτίας του μειωμένου κόστους σε σύγκριση με το πολυστυρένιο. Ο κύλινδρος έχει 3,7 m διάμετρο και 8,2 m μήκος άξονα. Οι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει διάφορους τύπους αυλακώσεων, καθεμία με τα δικά της πλεονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα των διαφόρων αυλακώσεων περιλαμβάνουν αυξημένη ακαμψία των δίσκων, αυξημένη ωφέλιμη επιφάνεια, αύξηση του χρόνου έκθεσης στον αέρα για μεγαλύτερη μεταφορά οξυγόνου, σταθερή και ομοιόμορφη διαβροχή του βιολογικού φιλμ με το απόβλητο.

Γενικά στα αρχικά στάδια των ΠΣΣΥ χρησιμοποιούνται για τον κύλινδρο υλικά χαμηλής πυκνότητας για την μείωση των προβλημάτων υπερφόρτωσης εξαιτίας των υψηλών οργανικών φορτίων στα πρώτα στάδια. Ένας κύλινδρος με επιφάνεια περίπου 9300 m², διαμέτρου 3,7 m στηρίζεται συνήθως σε άξονα μήκους 8,2 m. Κύλινδροι μέσης και μεγάλης πυκνότητας συνήθως εγκαθίστανται στα τελευταία στάδια των ΠΣΣΥ προσφέροντας επιφάνεια από 11100 ως 16700 m² στην ίδια διάμετρο και με το ίδιο μήκος άξονα.

5.8.2 Άξονας

Ο άξονας υποστηρίζει και περιστρέφει τον κύλινδρο όταν το ΠΣΣΥ κινείται μηχανικά. Στα ΠΣΣΥ που η κίνηση γίνεται με ρεύμα αέρα ο άξονας απλά στηρίζει τον κύλινδρο. Τυπικές μέγιστες τιμές για το μήκος του άξονα είναι 8,2 m με τα 7,6 m να καλύπτονται από τον κύλινδρο. Η επιλογή του άξονα κατά τον σχεδιασμό εξαρτάται από το φορτίο, τις απαιτήσεις της διαδικασίας, το περιβάλλον χειρισμού, την λειτουργία και τις δομικές απαιτήσεις. Οι διάφοροι κατασκευαστές χρησιμοποιούν πολλά είδη αξόνων τα οποία διαφέρουν εν μέρει στον τρόπο στήριξης και σύνδεσης με τον κύλινδρο. Το σχήμα του άξονα μπορεί να είναι τετράγωνο κυκλικό ή και οκταγωνικό ανάλογα με τον κατασκευαστή. Το πάχος του ατσάλινου άξονα κυμαίνεται από 13 ως 30 mm και χρησιμοποιείται με διάφορες συνθετικές και γαλβανισμένες επικαλύψεις για την αντιμετώπιση φαινομένων διάβρωσης. Κατά την επιλογή του άξονα ο σχεδιαστής πρέπει επίσης να αποφασίσει για τον τρόπο σύνδεσης του άξονα με τη βάση, του κυλίνδρου με τον άξονα, την μέγιστη ανεκτή παρεκτροπή του άξονα σε συνθήκες μέγιστης φόρτισης, την αντίσταση στη διάβρωση, τους παράγοντες φθοράς και τις τεχνικές κατασκευής για τη δημιουργία των αξόνων.

Το μήκος του άξονα, η διάμετρος, το μήκος της άρθρωσης και η πυκνότητα του κυλίνδρου καθορίζουν την ποσότητα της επιφάνειας του κυλίνδρου που θα στηρίξει ο άξονας. Ο άξονας πρέπει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις, όσον αφορά την στήριξη του φορτίου, για την εξασφάλιση της αντοχής του στο χρόνο με την συγκεκριμένη χρήση. Τα σχέδια των αξόνων πρέπει να δοκιμάζονται, η χρησιμότητά τους να επαληθεύεται εμπειρικά, και η ποιότητα κατασκευής τους να εξασφαλίζεται με κάποιες μετρήσεις.

5.8.3 Σύστημα κίνησης

Στα ΠΣΣΥ η κίνηση μπορεί να είναι μηχανική ή να προκαλείται από ρεύμα αέρα. Απαιτείται κατάλληλη ταχύτητα περιστροφής ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη ανάπτυξη στην επιφάνεια του φίλτρου. Η ομοιόμορφη ανάπτυξη διαφυλάσσει την ισορροπία του κυλίνδρου, εκτός από την διατήρηση της κατάλληλης περιστροφής του ΠΣΣΥ, ο τρόπος κίνησης δεν επηρεάζει την λειτουργία της επεξεργασίας με κάποιο άλλο τρόπο.

Συνήθως τα ΠΣΣΥ κινούνται με τη βοήθεια κάποιου μηχανισμού που αποτελείται από μοτέρ, συσκευή μείωσης της ταχύτητας και ιμάντα σχήματος V ή αλυσίδα. Η ταχύτητα περιστροφής που δίνει το μοτέρ μειώνεται περίπου στο 1,6 r/min με τη χρήση διαφόρων συνδυασμών ιμάντων, κιβωτίου ταχυτήτων, αλυσίδων και οδοντωτών τροχών.

Τα ηλεκτρικά μοτέρ που χρησιμοποιούνται για αυτό τον σκοπό είναι συνήθως μεγάλης απόδοσης, είναι τριφασικά με συχνότητα 60 Hz. Τα μοτέρ που σχεδιάζονται με προστατευτικά καλύμματα για περιβάλλοντα με μεγάλη υγρασία είναι πολύ αξιόπιστα και έχουν μεγάλο χρόνο ζωής. Τα μοτέρ προσφέρουν περίπου 3,7 με 5,6 kW ανά άξονα.

Οι κατασκευαστές μπορούν να τροποποιήσουν τον μηχανισμό κίνησης για να δώσουν την δυνατότητα περιστροφής με μεταβλητή ταχύτητα η οποία προσδίδει λειτουργική ευελιξία στο σύστημα για τον έλεγχο του πάχους του βιολογικού φιλμ και την συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Αυτή η δυνατότητα παρέχεται αλλάζοντας τον οδοντωτό τροχό ή με την εγκατάσταση ηλεκτρονικού ελέγχου της ταχύτητας. Τα ΠΣΣΥ που κινούνται με αέρα μπορούν να παρέχουν επιπλέον οξυγόνο, να αναπτύξουν μεγαλύτερες δυνάμεις αποκοπής στην επιφάνεια του φιλμ και επομένως μπορούν να ανεχτούν μεγαλύτερα φορτία. Οι άξονες των συστημάτων που κινούνται με τον αέρα τελευταία αντιμετωπίζουν λειτουργικά προβλήματα σχετικά με την διατήρηση της υγιούς ανάπτυξης στην επιφάνεια του φίλτρου και της κατάλληλης ταχύτητας περιστροφής. Οι μονάδες αυτές είναι περισσότερο ευαίσθητες σε σχέση με τις μηχανικά κινούμενες σε φορτία που δεν είναι ισόρροπα κατανεμημένα. Τα ΠΣΣΥ μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα κραδασμών κατά την περιστροφή τα οποία αν δεν επιδιορθωθούν μπορεί να οδηγήσουν τελικά ακόμα και σε ανικανότητα διατήρησης της περιστροφής του κυλίνδρου. Η εμπειρία από συστήματα κινούμενα με ρεύμα αέρα έχει δείξει την ανάγκη για πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα αέρα από αυτή που προτείνει ο κατασκευαστής. Η εξέταση τέτοιων μονάδων που υπάρχουν στην Morgantown, West Virginia, για παράδειγμα, έχει δείξει ότι για την επίτευξη της ταχύτητας περιστροφής σχεδιασμού απαιτούνται περίπου 5,3 m³/min αέρα για άξονες συνηθισμένης πυκνότητας και 7,6 m³/min για άξονες μεγάλης πυκνότητας. Αυτές οι απαιτήσεις αέρα είναι περίπου 60% μεγαλύτερες από τις πραγματικές στις οποίες βασίζεται ο σχεδιασμός του εξοπλισμού.

5.8.4 Ρουλεμάν

Στο παρελθόν τα ΠΣΣΥ αντιμετώπιζαν προβλήματα παρεκτροπής ιδιαίτερα με μακρύς άξονες που είχαν σαν αποτέλεσμα την ανισομερή καταπόνηση των άκρων του άξονα και των ρουλεμάν. Η χρήση αυτοευθυγραμμιζόμενων στηρίξεων φαίνεται να έχει περιορίσει αυτό το πρόβλημα. Η προστασία κατά της διάβρωσης με τη χρήση αδιάβροχων ρουλεμάν που καλύπτονται από πιάτα στο αδρανές άκρο του άξονα έχει μειώσει το ενδεχόμενο δυσλειτουργίας του άξονα και της άρθρωσης. Επίσης τα ρουλεμάν

μπορούν να τοποθετηθούν έξω από το κάλυμμα του κυλίνδρου που είναι κατασκευασμένο από fiber-glass ώστε να είναι ευκολότερη η πρόσβαση σε αυτές για λίπανση και συντήρηση για να έχουμε μικρές πιθανότητες διάβρωσης. Διαφορετικά το κάλυμμα μπορεί να περιλαμβάνει αρκετό χώρο και μία πόρτα για πρόσβαση ώστε να διευκολύνεται η συντήρηση. Το νερό που είναι κορεσμένο σε αέρα και τα ίχνη ποσοτήτων διαβρωτικών αερίων στοιχείων πιστεύεται ότι είναι υπεύθυνα για πρόωρες αστοχίες στα ρουλεμάν. Μπορεί επίσης να τοποθετηθεί μία ασπίδα προστασίας γύρω από τον άξονα για να εμποδίσει τη ροή του νερού κατά μήκος του άξονα και στο ρουλεμάν. Συνήθως στα ΠΣΣΥ χρησιμοποιούνται κωνικά και σφαιρικά ρουλεμάν. Τα σφαιρικά ρουλεμάν προτιμούνται διότι ο σχεδιασμός τους είναι πιο ανεκτικός στην κακή ευθυγράμμιση. Η ανοχή στην κακή ευθυγράμμιση εξαρτάται από τον κατασκευαστή του ρουλεμάν, την στεγανότητα και το μέγεθος.

5.8.5 Καλύμματα

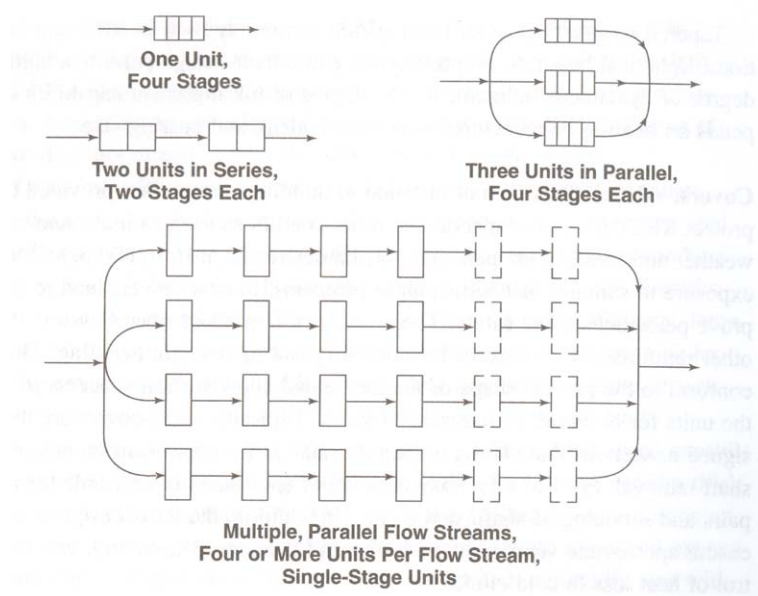
Όπου τα ΠΣΣΥ δεν είναι εγκατεστημένα στο εσωτερικό κτιρίων προστίθενται καλύμματα για την προστασία από τις ατμοσφαιρικές και άλλες συνθήκες όπως η κακοκαιρία, το ψύχος και η φθορά του φίλτρου από την υπέρυθρη ακτινοβολία και την έκθεση στο ηλιακό φως που προκαλεί προβλήματα στα άλγη. Τα καλύμματα βελτιώνουν την λειτουργία και την ασφάλεια των ΠΣΣΥ. Τα καλύμματα κατασκευάζονται από fiber-glass ή άλλα ενισχυμένα πλαστικά από ρητίνες λόγω της αντοχής και της ελαφρότητας. Προσαρμόζονται στο σχήμα του φίλτρου και επιτρέπουν επαρκή πρόσβαση στις μονάδες για επίβλεψη και μικροεπισκευές. Συνήθως τα περισσότερα καλύμματα σχεδιάζονται σε τμήματα τα οποία μπορούν εύκολα να αποσυναρμολογηθούν σε περίπτωση σημαντικών βλαβών ή για την αφαίρεση του άξονα. Καλό είναι να προβλέπεται η εύκολη αφαίρεση του καλύμματος για την πραγματοποίηση επισκευών και συντήρησης των αξόνων και του κυλίνδρου. Επίσης ο σχεδιασμός του ΠΣΣΥ πρέπει να εξασφαλίζει τον κατάλληλο αερισμό, έλεγχο της υγρασίας, της υγροποίησης και της απώλειας θερμότητας σε ψυχρά κλίματα.

5.8.6 Στάδια

Ο υπολογισμός των σταδίων είναι ένα αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού των ΠΣΣΥ και αποτελεί μία πολύ καλή πρακτική για την μεγιστοποίηση της

απομάκρυνσης BOD και αζώτου-αμμωνίας. Για κάθε τάξη κινητικής πάνω από το μηδέν η συνολική απομάκρυνση ανθρακούχων για δεδομένη επιφάνεια φίλτρου ευνοείται από την αύξηση του αριθμού των σταδίων. Μελέτες για τα ΠΣΣΥ αναφέρουν ότι για ένα εύρος υδραυλικού φορτίου 40 ως 200 l/m²*d μία μονάδα τεσσάρων σταδίων παράγει καλύτερες εκροές από μία μονάδα δύο σταδίων που έχει την ίδια συνολική επιφάνεια και διαχειρίζεται τα ίδια απόβλητα. Σε χαμηλότερα φορτία, κάτω από 20 l/m²*d, συστήματα τεσσάρων και έξι σταδίων λειτουργούν παρόμοια. Σαν μία πρώτη θεώρηση κατά την επιλογή του αριθμού των σταδίων σε ένα ΠΣΣΥ ο σχεδιαστής πρέπει να εξασφαλίσει ότι το οργανικό φορτίο σε κάθε στάδιο χωριστά είναι λιγότερο από 0,012 kg SBOD₅/m²*d και 0,031 kg συνολικού BOD₅/m²*d. Το σχήμα 24 δείχνει διάφορες επιλογές για τα στάδια για ένα ΠΣΣΥ. Οι καμπύλες που δίνουν οι κατασκευαστές για τα στάδια διαφέρουν σημαντικά και επομένως πρέπει να χρησιμοποιούνται με σύνεση.

Συνήθως η αποδοτικότητα της μείωσης του BOD είναι μεγαλύτερη στο πρώτο στάδιο και μειώνεται διαδοχικά στα επόμενα. Για την δευτεροβάθμια επεξεργασία οι σχεδιαστές συνήθως επιλέγουν τρία ή τέσσερα στάδια και μπορούν να προσθέσουν και άλλα για την νιτροποίηση. Σε μικρές εγκαταστάσεις τέσσερα στάδια μπορούν να στηριχθούν σε ένα άξονα κατασκευάζοντας τρία διαχωριστικά στο εσωτερικό της δεξαμενής. Τα προβλήματα υπερφόρτισης μπορούν να αντιμετωπιστούν στο πρώτο στάδιο αφαιρώντας το διαχωριστικό μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου σταδίου.



σχήμα 24: Διατάξεις των ΠΣΣΥ

5.8.7 Έλεγχος της ροής

Η κατανομή της ροής έχει πολύ σημαντικό ρόλο στην λειτουργία του ΠΣΣΥ. Συνήθως τα ΠΣΣΥ τοποθετούνται παράλληλα. Ένα σχέδιο που περιλαμβάνει συσκευές μέτρησης της ροής που συνοδεύονται με μηχανισμούς για την ρύθμιση της παροχής δίνουν την δυνατότητα διατήρησης της κατάλληλης κατανομής της ροής. Η ισορροπημένη κατανομή της παροχής περιορίζει τις αυξομειώσεις του φορτίου σε κάθε αλληλουχία ΠΣΣΥ. Επιπλέον η επανακυκλοφορία και η τροφοδοσία με βήμα υπάρχουν ως επιλογές και μπορούν να παρέχουν πρόσθετες λειτουργικές ικανότητες για την κατανομή και τον έλεγχο της παροχής. Οι δύο αυτοί μέθοδοι αποτελούν εναλλακτική λύση για την κατανομή της παροχής και του φορτίου στην διαθέσιμη επιφάνεια των διαφόρων σταδίων ενός ΠΣΣΥ. Σε περιπτώσεις μειωμένης παροχής η επανακυκλοφορία μπορεί να διατηρήσει ένα επαρκή πληθυσμό βακτηρίων στο φίλτρο. Η τροφοδοσία με βήμα μπορεί να μειώσει το οργανικό φορτίο και τις ανάγκες για οξυγόνο στα πρώτα στάδια με εξ' ίσου κατανομή της παροχής και του φορτίου στα διάφορα στάδια σε ένα ΠΣΣΥ. Ο σχεδιασμός πρέπει να προβλέπει αυξημένα οργανικά και υδραυλικά φορτία λόγω της επανακυκλοφορίας της εκροής. Η ανακύκλωση της εκροής μπορεί επίσης να βελτιώσει τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου στα διάφορα στάδια του ΠΣΣΥ.

5.8.8 Όργανα ελέγχου

Είναι δυνατή η χρήση ηλεκτρονικών και υδραυλικών συσκευών για περιοδική μέτρηση του συνολικού βάρους στον άξονα η οποία μπορεί να μεταφραστεί σε μία εκτίμηση του πάχους του βιολογικού φιλμ. Η διάταξη ζύγισης του άξονα αποτελείται από ένα ρουλεμάν που βρίσκεται κάτω από το ρουλεμάν στην στήριξη του άξονα στο αδρανές άκρο του. Για το υδραυλικό φορτίο μία χειροκίνητη αντλία μετακινεί το ρουλεμάν από τη βάση του αφού πρώτα ξεσφίξει τα μπουλόνια που το συγκρατούν, ενώ ο άξονας συνεχίζει να περιστρέφεται ή σταματάει στιγμιαία. Ο χειριστής διαβάζει την υδραυλική πίεση από ένα μετρητή και τη μεταφράζει σε βάρος του άξονα. Τέτοιες μετρήσεις είναι χρήσιμες για τον καθορισμό των συνθηκών που μπορούν να προκαλέσουν υπερβολική φόρτιση των αξόνων ή του κυλίνδρου. Οι μετρήσεις μπορούν να προβλέψουν τους χειριστές για την ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών όπως τα *Beggiatoa*. Η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την λήψη των κατάλληλων μέτρων για τον έλεγχο της ανάπτυξης του βιολογικού φιλμ και του πάχους του.

Ο ηλεκτρονικός μετρητής, μία τελευταία εφεύρεση δίνει τη δυνατότητα συνεχούς μέτρησης του φορτίου χωρίς τη μετακίνηση του άκρου του άξονα εκτός της βάσης του.

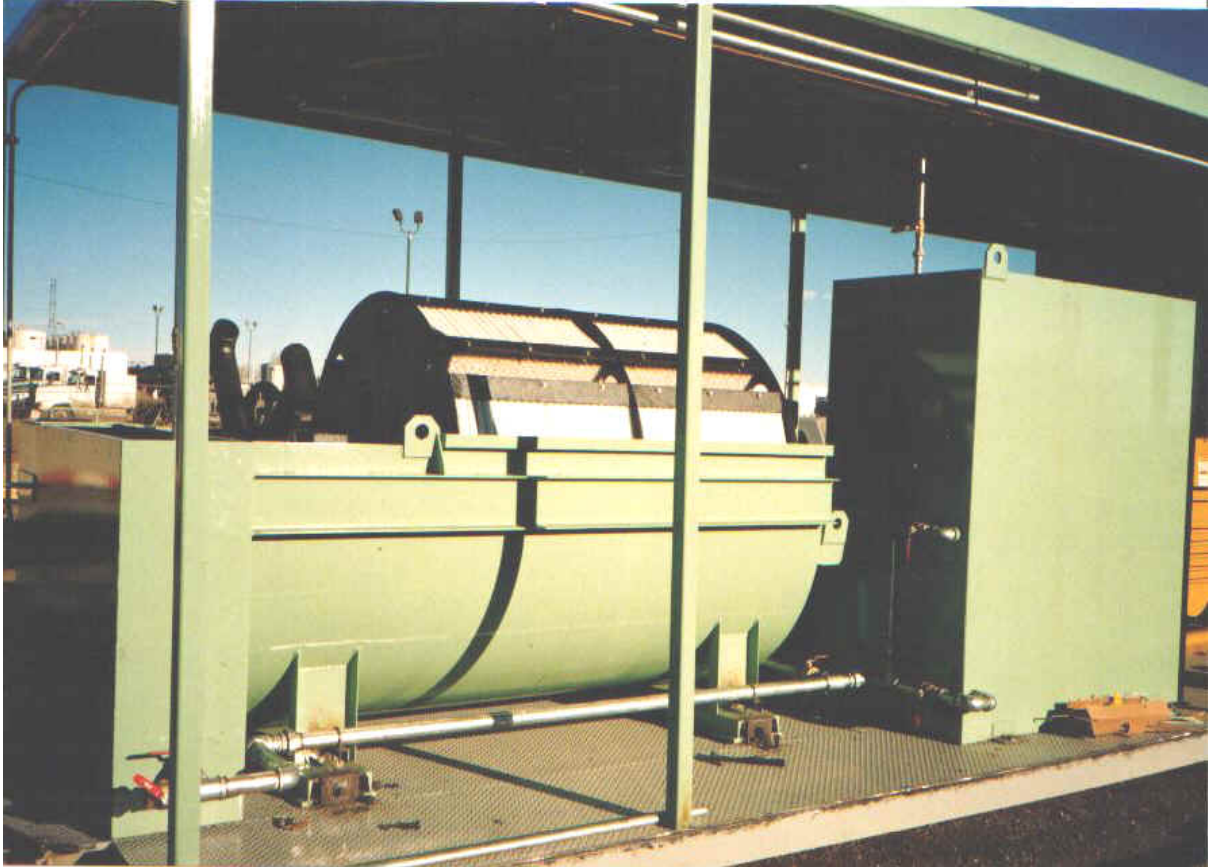
Επίσης υπάρχουν μετατροπείς οι οποίοι μπορούν να συνδεθούν με αυτή τη συσκευή για να παρέχει απευθείας την τιμή του συνολικού βάρους στον άξονα. Οι ηλεκτρονικοί μετρητές χρησιμοποιούνται ευρέως στις καινούριες εγκαταστάσεις. Ο σχεδιαστής πρέπει να εξασφαλίσει ότι σε όλους τους άξονες υπάρχουν ηλεκτρονικοί ή συμβατικοί μετρητές για τον έλεγχο του βάρους.

Η παρακολούθηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου είναι άλλο ένα βοήθημα για την επιτυχία της επεξεργασίας σε ένα ΠΣΣΥ. Εξαιτίας των μεγάλων οργανικών φορτίων οι καλύτερες θέσεις για την τοποθέτηση των μηχανημάτων που μετρούν το διαλυμένο οξυγόνο είναι στο πρώτο και δεύτερο στάδιο των ΠΣΣΥ.

Τα χαμηλά επίπεδα DO δείχνουν αύξηση του οργανικού ή και του υδραυλικού φορτίου. Άλλοι μηχανισμοί που αξίζει να αναφερθούν είναι οι μετρητές των περιστροφών ανά λεπτό και οι βαλβίδες αέρα με τηλεχειρισμό του μοτέρ για τον έλεγχο της ταχύτητας σε ΠΣΣΥ που κινούνται με τη δημιουργία ρεύματος αέρα.

13. Τιμές σχεδιασμού για ΠΣΣΥ

Παράμετρος	Μονάδες	Μείωση BOD	Μείωση BOD και νιτροποίηση	Νιτροποίηση
Υδραυλικό φορτίο	$m^3/m^2 \cdot d$	0,081-0,163	0,03-0,081	0,041-0,102
Οργανικό φορτίο	$g \text{ BOD} / m^2 \cdot d$	8-20	5-16	1-2
Φορτίο διαλυτού BOD ₅	$g \text{ sBOD} / m^2 \cdot d$	4-10	2,5-8	0,5-1
Μέγιστο οργανικό φορτίο (BOD) στο πρώτο στάδιο	$g \text{ BOD} / m^2 \cdot d$	24-30	24-30	
Μέγιστο οργανικό φορτίο (sBOD) στο πρώτο στάδιο	$g \text{ BOD} / m^2 \cdot d$	12-15	12-15	
Φορτίο NH ₃	$g \text{ N} / m^2 \cdot d$		0,75-1,5	
Υδραυλικός χρόνος κράτησης	h	0,7-1,5	1,5-4	1,2-3
BOD ₅ στην εκροή	mg/l	15-30	7-15	7-15
NH ₃ -N στην εκροή	mg/l		<2	1-2



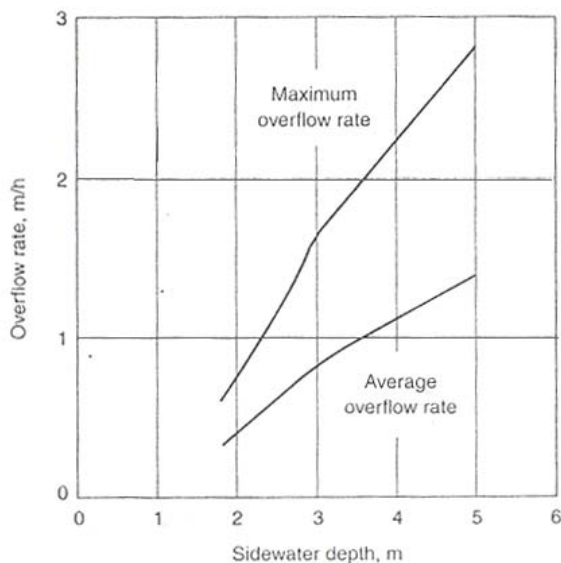


σχήμα 25,26,27: Φωτογραφίες ΠΣΣΥ

5.9 Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης

Η λειτουργία των δεξαμενών καθίζησης που ακολουθούν τα ΠΣΣΥ στοχεύει στον καθαρισμό της εκροής από τα στερεά που παράγονται κατά την βιολογική επεξεργασία. Διαφέρουν από τις δεξαμενές καθίζησης που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες ενεργού ιλύος όπου η περιεκτικότητα του υγρού σε στερεά είναι μικρότερη και επίσης δεν διαθέτουν επανακυκλοφορία της λάσπης. Η ποσότητα της λάσπης που παράγεται αποστέλλεται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λάσπης ή επιστρέφει στην πρωτοβάθμια επεξεργασία για να καθιζήσει μαζί με τα στερεά της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Συχνά έχουμε κατασκευή δεξαμενών με βάθος μικρότερο από το απαιτούμενο με αποτέλεσμα τη μειωμένη απόδοση στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Γενικά ο ρυθμός υπερχείλισης των δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης είναι μικρότερος σε σχέση με τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Ο σχεδιασμός δεξαμενών για ΠΣΣΥ μοιάζει με τις δεξαμενές που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες ενεργού ιλύος με σωστό υπολογισμό του μεγέθους της διάταξης εισροής, αυξημένο βάθος και παραπλήσιους ρυθμούς

υπερχείλισης. Στο σχήμα 28 δίνεται ο ρυθμός υπερχείλισης σε συνάρτηση με το πλευρικό βάθος της δεξαμενής.



σχήμα 28: Ρυθμός υπερχείλισης δευτεροβάθμιας καθίζησης συναρτήσει του πλευρικού βάθους της δεξαμενής (WEF 2000)

5.10 Σχεδιασμός εγκαταστάσεων ΠΣΣΥ

Για τον σχεδιασμό των ΠΣΣΥ βάσει της μείωσης του BOD ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

1. Ορίζουμε μία τιμή για το sBOD στο πρώτο στάδιο π.χ. $15 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$

2. Υπολογίζουμε το ολικό φορτίο sBOD από την παρακάτω σχέση

$$\text{Φορτίο SBOD} = \text{sBOD}_{\text{εισροής}} \cdot \text{παροχή} \quad (5.2)$$

3. Η επιφάνεια του πρώτου σταδίου υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\text{Επιφάνεια} = \text{φορτίο sBOD} / \text{sBOD } 1^{\circ} \text{ στάδιο} \quad (5.3)$$

4. Επιλέγουμε κάποιο τύπο φίλτρου και υπολογίζουμε τον αριθμό που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ως εξής

$$\text{Αριθμός φίλτρων} = \text{Επιφάνεια} / \text{επιφάνεια φίλτρου}$$

5. Επιλέγουμε τον αριθμό των σταδίων και των σειρών και υπολογίζουμε την παροχή ανά σειρά

6. Υπολογίζουμε την συγκέντρωση sBOD σε κάθε στάδιο από την ακόλουθη εξίσωση:

$$S_n = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4 * 0,00974 * (A_s / Q) * S_{n-1}}}{2 * 0,00974 * (A_s / Q)} \quad (5.4)$$

Όπου S_n : η συγκέντρωση sBOD στο στάδιο n σε mg/l

A_s : η επιφάνεια των δίσκων στο στάδιο n σε m^2

Q: η παροχή

7. Ελέγχουμε εάν η συγκέντρωση στο τελικό στάδιο είναι ίση ή μικρότερη από την επιθυμητή και ανάλογα προχωράμε στο επόμενο βήμα ή επαναλαμβάνουμε την διαδικασία.

8. Υπολογίζουμε από τις παρακάτω σχέσεις το οργανικό φορτίο συνολικά, στο πρώτο στάδιο και το υδραυλικό φορτίο.

Οργ. Φορτίο 1^ο στάδιο = παροχή * εισροή sBOD / αριθμός σειρών * επιφάνεια ανά φίλτρο (5.5)

Ολικό οργ. Φορτίο = παροχή * εισροή BOD / αρ. σειρών * αρ. σταδίων * επιφάνεια ανά φίλτρο (5.6)

Υδραυλικό φορτίο = παροχή / αρ. σειρών * αρ. σταδίων * επιφάνεια ανά φίλτρο (5.7)

5.10 Έλεγχος λειτουργίας εγκαταστάσεων ΠΣΣΥ

Για μία εγκατάσταση που γνωρίζουμε τον αριθμό των σειρών, των σταδίων και τα φίλτρα που έχουν χρησιμοποιηθεί καθώς και τα χαρακτηριστικά της πρωτοβάθμιας

εκροής, μπορούμε να υπολογίσουμε τα επίπεδα του οργανικού φορτίου στην έξοδο και να τα συγκρίνουμε με τα όρια που θέλουμε να πετύχουμε με τον ακόλουθο τρόπο.

1. Υπολογίζουμε την παροχή ανά σειρά από το πηλίκο παροχή / σειρές
2. Υπολογίζουμε τα επίπεδα sBOD για κάθε στάδιο και επομένως και την τελική τιμή της συγκέντρωσης.
3. Συγκρίνουμε την τιμή με τον στόχο που έχουμε θέσει και κρίνουμε ανάλογα κατά πόσο η εγκατάσταση είναι αποτελεσματική.

6 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

6.1 Σκοπός των προγραμμάτων

Το πρόγραμμα σχεδιασμού έχει γραφτεί σε fortran 95 και υπολογίζει τις κύριες διαστάσεις για σχάρες, εξαμμωτές, δεξαμενές καθίζησης και ΠΣΣΥ. Οι προεπιλεγμένες τιμές των μεταβλητών και οι αναλογίες που έχουν υιοθετηθεί ταιριάζουν περισσότερο σε εγκαταστάσεις μικρού μεγέθους, δίνεται όμως η δυνατότητα στον χρήστη να τις αλλάξει κατά την προσωπική του κρίση, για την διευκόλυνση του χρήστη δίνονται τυπικές τιμές των διαστάσεων καθώς και εύρος τιμών.

Εκτός από τον υπολογισμό των διαστάσεων βάσει των τιμών της παροχής, απώτερος σκοπός του προγράμματος σχεδιασμού είναι ο σχεδιασμός μίας εγκατάστασης που χρησιμοποιεί RBC για την μείωση του οργανικού φορτίου στα επίπεδα που επιλέγει ο χρήστης

Το πρόγραμμα ελέγχου της λειτουργίας των εγκαταστάσεων συγκρίνει κάποια χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων (π.χ. χρόνος κράτησης, ταχύτητα ροής, απόδοση) με τυπικές τιμές ή τιμές που υπολογίζονται από τα χαρακτηριστικά του φορτίου που θέλουμε να απομακρύνουμε.

6.2 Περιγραφή του προγράμματος

Ξεκινώντας την εκτέλεση το πρόγραμμα σχεδιασμού ζητάει από τον χρήστη την μέγιστη, μέση και ελάχιστη ωριαία παροχή, τα επίπεδα BOD και TSS και την επιθυμητή συγκέντρωση BOD στην εκροή. Το πρόγραμμα καλεί κατά σειρά τα υποπρογράμματα της εσχάρωσης, εξάμμωσης, καθίζησης και ΠΣΣΥ παρέχοντας στον χρήστη την δυνατότητα να παραλείψει τα στάδια που θεωρεί περιττά. Οι διαστάσεις των μονάδων καθώς και οι συγκεντρώσεις BOD και TSS μετά την καθίζηση και στην εκροή της εγκατάστασης αποθηκεύονται σε αρχείο doc από όπου ο χρήστης μπορεί να τα αναγνώσει.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το υποπρόγραμμα που αφορά τα ΠΣΣΥ στο οποίο γίνεται δοκιμή πλήθους διαφορετικών διατάξεων για την επίτευξη της επιθυμητής

συγκέντρωσης, η διαδικασία αυτή δεν είναι δυνατόν να γίνει με μολύβι και χαρτί αφού απαιτεί μεγάλο αριθμό υπολογισμών και πολύ χρόνο, οι μέθοδοι που προτείνονται από τα βιβλία προϋποθέτουν την προεπιλογή του αριθμού των φίλτρων καθώς και της διάταξης που θα χρησιμοποιηθεί γεγονός που δεν ευνοεί τον βέλτιστο οικονομικά σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων.

Το πρόγραμμα ελέγχουν απαιτεί και αυτό την εισαγωγή των ίδιων δεδομένων για την παροχή και τα φορτία BOD και TSS και επίσης την εισαγωγή των διαστάσεων των μονάδων για τον υπολογισμό χαρακτηριστικών μεγεθών από τα οποία κρίνεται η λειτουργικότητα και η αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης. Τα συμπεράσματα από τον έλεγχο αποθηκεύονται και σε αυτή την περίπτωση σε αρχείο με κατάληξη doc από όπου ο χρήστης μπορεί να τα διαβάσει.

6.3 Παραδείγματα των προγραμμάτων

6.3.1 Παράδειγμα σχεδιασμού

Κατά την έναρξη της εκτέλεσης του προγράμματος σχεδιασμού στην οθόνη του υπολογιστή εμφανίζονται τα εξής

give average flowrate (m³/d)

2000

give maximum flowrate (m³/d)

3000

give minimum flowrate (m³/d)

1000

give TSS influent concentration

250

give BOD influent concentration (g/m³)

200

give soluble BOD influent concentration, use default value (60% of BOD) y/n?

y

assume soluble BOD influent concentration 120.0000 g/m³

type

1 for BOD target effluent

2 for soluble BOD target effluent

1

give BOD target effluent (g/m³)

10

Το πρόγραμμα ζητάει την μέση ημερήσια παροχή καθώς και την μέγιστη και ελάχιστη τιμή της παροχής σε (m³/d). Επίσης εισάγονται οι συγκεντρώσεις των TSS και BOD στην εισροή, για την συγκέντρωση του soluble BOD δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού εφόσον ο χρήστης δεν έχει στοιχεία. Στο τέλος ζητείται και η επιθυμητή συγκέντρωση BOD ή sBOD ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη στην έξοδο της μονάδας ΠΣΣΥ.

Στην συνέχεια αρχίζει ο σχεδιασμός των μονάδων προεπεξεργασίας ξεκινώντας από την εσχάρωση.

use screen units y/n?

y

Ο χρήστης πρέπει να αποφασίσει αν θα χρησιμοποιήσει σχάρες για την προεπεξεργασία, η επιλογή αυτή υπάρχει σε όλα τα στάδια επεξεργασίας και δίνει την δυνατότητα χρήσης του προγράμματος τμηματικά απομονώνοντας το κομμάτι σχεδιασμού που ενδιαφέρει τον χρήστη. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός των σχαρών γίνεται βάσει της μέγιστης τιμής της παροχής.

type 1 for manually cleaned screens

type 2 for mechanically cleaned screens

1

Ο χρήστης καλείται να επιλέξει ανάμεσα στις χειρωνακτικά και μηχανικά καθαριζόμενες σχάρες.

give velocity through racks at peak flow,

range 0,3-0,6 m/s, use typical value of 0.4 m/s y/n?

y

Ζητείται η ταχύτητα στα διάκενα της σχάρας και προτείνεται κάποια τιμή που θεωρείται βέλτιστη για τον τύπο σχαρών που έχουμε επιλέξει.

for average flowrate given suggested number of channel(s)= 1

accept value y/n?

y

Με βάση την τιμή της μέγιστης παροχής το πρόγραμμα προτείνει ένα αριθμό καναλιών με σχάρες. Ο χρήστης μπορεί αν επιθυμεί να δώσει μια διαφορετική τιμή πληκτρολογώντας n και enter.

use default ratio: width of channel:upstream depth of wastewater = 1:1, y/n?

y

Βιβλιογραφικά η αναλογία κυμαίνεται από 0,9-1,2 το πρόγραμμα προτείνει την τιμή 1.

choose opening between racks (m)

range 0,025-0,05m,use typical value of 0.03m y/n?

Ζητείται το άνοιγμα μεταξύ των ράβδων, δίνεται το εύρος τιμών και προτείνεται προεπιλεγμένη τυπική τιμή.

give bar width, range 0,005-0,015 m, use typical value of 0.01 m y/n?

y

give angle of the rack to the horizontal, range 30-45, use default value of 40

y/n?

y

Το ίδιο γίνεται για το πάχος των ράβδων και την γωνία της σχάρας με την οριζόντιο.

B value

2.42 sharp edged-rectangular

1.83 rectangular with semicircular face

1.79 circular

1.67 rectangular with semicircular upstream and downstream faces

0.76 tear shape

choose B

1.83

Δίνονται διάφορες τιμές για τον συντελεστή B που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των υδραυλικών απωλειών. Η τιμή του συντελεστή εξαρτάται από το σχήμα της ράβδου και ο χρήστης καλείται να δώσει μία τιμή από αυτές που αναφέρονται ή και κάποια άλλη σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί κάποιο άλλο σχήμα. Εδώ ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός των σχαρών.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα σχεδιάζει τις εγκαταστάσεις εξάμμωσης.

use grit chamber y/n?

y

choose type of chamber

1 for horizontal flow

2 for aerated rectangular

1

Το πρόγραμμα ρωτάει τον χρήστη αν επιθυμεί να σχεδιάσει μονάδες εξάμμωσης, κατόπιν εφόσον η απάντηση είναι θετική τον καλεί να επιλέξει ανάμεσα σε εξαμμωτή οριζόντιας ροής και αεριζόμενο εξαμμωτή. Ο σχεδιασμός των εξαμμωτών γίνεται κυρίως βάσει της μέγιστης τιμής της παροχής.

type

1 for rectangular cross sectional area with proportional weir

2 for parabolic cross-sectional area with parshall flume

1

Ζητείται ο τύπος του εξαμμωτή οριζόντιας ροής, δίνονται οι επιλογές του ορθογωνικού εξαμμωτή με αναλογικό υπερχειλιστή και του παραβολικού με αυλάκι Parshall.

give settling velocity of grit

for 0,30 mm material settling velocity is 0,047-0,052 m/s, typical value 0,048m/s

for 0,21 mm material settling velocity is 0,0167-0,022 m/s, typical value 0,019 m/s

for 0,15 mm material settling velocity is 0,01-0,015 m/s, typical value 0,013 m/s

if the specific gravity of the grit is significantly less than 2,65, lower velocities should be used

use default value of 0,02 m/s y/n?

y

Το πρόγραμμα ζητάει την ταχύτητα καθίζησης της άμμου και προτείνει χαρακτηριστικές τιμές ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων που καθιζάνουν στο κανάλι του εξαμμωτή.

for average flowrate given suggested number of chambers= 1

accept value y/n?

Προτείνεται ο αριθμός των θαλάμων εξαμμωσης βάσει της δοθείσας μέγιστης παροχής.

horizontal velocity, use suggested value of 0.2600000 m/s y/n?

y

Το πρόγραμμα προτείνει μία τιμή για την ταχύτητα ροής στο κανάλι ανάλογα με την παροχή, παρόλο που η βέλτιστη τιμή θεωρείται 0,3 m/s ωστόσο είναι προτιμότερο σε εγκαταστάσεις μικρού μεγέθους να χρησιμοποιήσουμε μικρότερες ταχύτητες, λόγω των μικρών διαστάσεων του καναλιού ώστε να αποφύγουμε τυχόν επαναιώρηση της άμμου.

for flowrate given, use suggested default ratio: width of chamber:water depth=2.100000 y/n?

y

Δίνεται η αναλογία πλάτος καναλιού:βάθος ροής, πάλι βάσει της παροχής.

height value for the rectangular part at the base of the weir 0,05 m (a), accept value y/n?

Ζητείται το ύψος της βάσης του υπερχειλιστή και προτείνεται η προεπιλεγμένη τιμή των 0,05 m.

Ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός της μονάδας εξάμμωσης και το πρόγραμμα προχωράει στο σχεδιασμό της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Για την πρωτοβάθμια καθίζηση χρησιμοποιείται κυρίως η μέση τιμή της παροχής.

use primary sedimentation y/n?

y

choose shape of tank

type

1 for rectangular

2 for circular

2

Καλείται ο χρήστης να επιλέξει ανάμεσα σε κυκλική και ορθογωνική δεξαμενή.

use one sedimentation tank y/n?

y

Το πρόγραμμα κρίνοντας και πάλι από την παροχή προτείνει την κατασκευή μίας δεξαμενής.

detention time, use default value of 2h y/n?

y

Στο σημείο αυτό εισάγεται ο χρόνος κράτηση στη δεξαμενή καθίζησης και σαν προτεινόμενη τιμή δίνεται αυτή των 2 h.

type

1 for tanks followed by secondary treatment

2 for tanks with waste activated sludge

1

Εδώ πρέπει να επιλέξουμε αν θα συνεχίσουμε με δευτεροβάθμια επεξεργασία που στο συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι τα ΠΣΣΥ ή με διεργασίες ενεργού ιλύος.

average overflow rate, range 30-50 m³/m²*d, use typical value of 40 m³/m²*d y/n?

y

Ανάλογα με το αν έχουμε επιλέξει ή όχι δευτεροβάθμια επεξεργασία το πρόγραμμα μας προτείνει ένα ρυθμό υπερχείλισης της δεξαμενής.

for cold climates with wastewater temperatures lower than 20C type c or any other key to skip

c

give temperature of wastewater (C)

15

Για ψυχρά κλίματα (θερμοκρασίες κάτω των 20°C) το πρόγραμμα υπολογίζει συντελεστές διόρθωσης του χρόνου κράτησης και επανασχεδιάζει την δεξαμενή.

Με την συνθήκη αυτή ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός της πρωτοβάθμιας καθίζησης και προχωράμε στην δευτεροβάθμια επεξεργασία με ΠΣΣΥ που γίνεται χρησιμοποιώντας την μέση παροχή.

use rotating biological contactors y/n?

y

give surface per shaft, use default value of 9300 m²/shaft, y/n?

y

Το πρόγραμμα γνωρίζει την απαιτούμενη τιμή συγκέντρωσης BOD ή sBOD στην εκροή και ζητάει μόνο το μέγεθος του φίλτρου που θα χρησιμοποιήσουμε προτείνοντας την τυπική τιμή των 9300m²/άξονα.

Τα αποτελέσματα του σχεδιασμού αποθηκεύονται στο αρχείο design.doc και έχουν την παρακάτω μορφή.

```

assume soluble BOD influent concentration    120.0000    g/m3

screen(s)
manually cleaned screens
velocity through racks is  0.4000000    m/s
    lchannel(s)
upstream depth of wastewater is  0.2946278    m
total width of the opening at the rack is  0.2946278    m
opening between racks is 0.030m
number of openings is n=          9
barwidth is 0.010m
width of the chamber is  0.3746278    m
angle of the rack to the horizontal is 40.00
height of the rack is  0.4583596    m
hydraulic headloss will be aproximately=  3.1975566E-03m

grit chamber(s)
horizontal flow,rectangular cross-sectional area with proportional weir
    lchamber(s)
horizontal velocity  0.2600000    m/s
water depth  0.2521782    m
depth of chamber is  0.5043563    m
width of chamber is  0.5295741    m
height value for the rectangular part at the base of the weir is
5.0000001E-02
m
width of weir is  0.2257201    m
length of chamber is  15.08025    m
detention time is  58.00098    s
weir shape-function is  $l = c - b \cdot \arctan [(h+a/3)/a]$ 
where
l:opening of weir
h:depth of flow
a:height for the rectangular part at the base of the weir=  5.0000001E-02m
c=  0.2257201
b=  2.5080009E-03
for average flow conditions  2000.000    m3/d water depth will be
  0.1681188    m
for minimum flow conditions  1000.000    m3/d water depth will be
  8.4059380E-02 m
at minimum flowrate flow level is over rectangular area of weir

sedimentation tank(s)
use    ltank(s)
circular tank(s)
diameter of tank is  8.000000    m, surface of tank is  50.26400    m2
sidewater depth is  3.315826    m
average detention time is (d):  2.000000    minimum detention time is
(d):
  1.333333
average overflow rate is (m3/m2*d):  39.78991
maximum overflow rate is (m3/m2*d):  59.68486
at average flow conditions BOD removal is  34.48276    % TSS removal is
  56.33803    %
BOD primary effluent is  131.0345    g/m3, TSS primary effluent is
  109.1549    g/m3
at maximum flow conditions BOD removal is  29.85075    % TSS removal is
  50.95541    %
diameter of center well for flow distribution is  1.360000    m
for temperature given
surface per tank needed is  58.33053    m2
diameter of tank  8.618058    m
overflow rate is  34.28736    m3/m2*d
to achieve removal efficiencies computed above, average detention time is
  2.320966    minimum, detention time is  1.547311    (h)

```

rotating biological contactors
 surface per shaft 9300.000 m²
 volume of tankage is 315.0000 m³
 surface of tank is 210.0000 m², sidewater depth is 1,5 m
 40% submergency of the disks
 at first 3stages we will use 2 trains, at last stage we will use
 1train(s)
 BOD concentration will be 9.491835 g/m³
 soluble BOD concentration will be 5.695101 mg/m³
 settling tank diameter is 10.88306 m²
 sidewater depth is 1.554723 m

6.3.2 Παράδειγμα ελέγχου λειτουργίας

Σε αυτό το παράδειγμα θα εισάγουμε τις διαστάσεις που υπολογίστηκαν στο παράδειγμα σχεδιασμού για να ελέγξουμε την λειτουργία της εγκατάστασης που σχεδιάσαμε. Το πρόγραμμα ξεκινάει με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και κατά τον σχεδιασμό, ζητώντας δηλαδή τα χαρακτηριστικά του ρεύματος εισροής και εκροής.

give average flowrate (m³/d)

2000

give maximum flowrate (m³/d)

3000

give minimum flowrate (m³/d)

1000

give TSS influent concentration

250

give BOD influent concentration (g/m³)

200

give soluble BOD influent concentration,use default value (60% of BOD) y/n?

y

assume soluble BOD influent concentration 120.0000 g/m³

type

1 for BOD target effluent

2 for soluble BOD target effluent

1

give BOD target effluent (g/m³)

10

use screen units y/n?

και σε αυτό το πρόγραμμα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να χρησιμοποιήσει το τμήμα που τον ενδιαφέρει, έτσι η εκτέλεση κάθε υπορουτίνας γίνεται μετά από απόφαση του χρήστη.

give upstream depth of wastewater at peak flow (m)

0.2946

give width of the chamber (m)

0.3746

give barwidth (m)

0.01

give number of openings

9

give number of channels

1

Το πρόγραμμα ζητάει την εισαγωγή του βάθους ροής σε συνθήκες μέγιστης παροχής, το πλάτος του καναλιού του εξαμμωτή, το πάχος κάθε ράβδου, τον αριθμό των διάκενων και των καναλιών που χρησιμοποιούνται.

choose type of screen

type

1 for manual cleaning

2 for mechanical cleaning

1

Στο σημείο αυτό ο χρήστης καλείται να δηλώσει τον τρόπο καθαρισμού των σχαρών.

give angle of the rack to the horizontal

40

appropriate height= 0.4583163 m

B value

2.42 sharp edged-rectangular

1.83 rectangularwith semicircular face

1.79 circular

1.67 rectangular with semicircular upstream and downstream faces

0.76 tear shape

choose B

1.83

Ο έλεγχος των σχαρών ολοκληρώνεται με τη δήλωση της γωνίας της σχάρας με την οριζόντιο και του συντελεστή B.

use grit chamber y/n?

y

type

1 for rectangular cross sectional area with proportional weir

2 for parabolic cross-sectional area with parshall flume

1

Το πρόγραμμα με την άδεια του χρήστη προχωράει στον έλεγχο της εξάμμωσης, ο χρήστης δηλώνει τον τύπο του εξαμμοτή που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση. Το πρόγραμμα δεν προβλέπει τον έλεγχο αεριζόμενων εξαμμοτών διότι σε αυτούς κύριο ρόλο παίζει η χρησιμοποιούμενη παροχή οξυγόνου η οποία ρυθμίζεται πολύ εύκολα και μας δίνει τις επιθυμητές απομακρύνσεις στερεών.

give width of weir (m)

0.245

give height value for the rectangular part at the base of the weir (m)

0.05

give channel width (m)

0.4988

give channel length (m)

18

Εδώ ζητούνται το πλάτος του υπερχειλιστή, το ύψος της βάσης του και το μήκος του καναλιού.

use default critical velocity for succesful grit settling (0.3m/s) y/n?

y

Ο έλεγχος της εξάμμωσης ολοκληρώνεται με την εισαγωγή της βέλτιστης θεωρούμενης ταχύτητας. Το πρόγραμμα δίνει στον χρήστη την προεπιλεγμένη τιμή των 0,3 m/s όμως αν ο χρήστης το επιθυμεί το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει την ιδανική ταχύτητα συναρτήσει της διαμέτρου και του ειδικού βάρους των σωματιδίων που θέλουμε να καθιζάνουν.

use primary sedimentation y/n?

y

choose shape of tank

type

1 for rectangular

2 for circular

2

Κατά τον έλεγχο της καθίζησης ο χρήστης ξεκινάει με την επιλογή του σχήματος της δεξαμενής.

give number of tanks

1

give tank diameter (m)

8

give sidewater depth (m)

3.315

Γίνεται εισαγωγή των διαστάσεων της δεξαμενής, στην προκειμένη περίπτωση της διαμέτρου και του βάθους αφού πρώτα δηλωθεί ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων δεξαμενών.

for cold climates with wastewater temperatures lower than 20C press c or any ot

her key to skip

c

give temperature of wastewater (C)

15

Η εκτέλεση της υπορουτίνας ολοκληρώνεται με τον έλεγχο λειτουργίας της καθίζησης σε χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω των 20°C)

use rotating biological contactors y/n?

y

give number of stages

4

Για τον έλεγχο των ΠΣΣΥ εισάγουμε αρχικά τον συνολικό αριθμό των σταδίων. Στη συνέχεια το πρόγραμμα μας ρωτάει για κάθε στάδιο ξεχωριστά την επιφάνεια ανά άξονα και τον αριθμό των φίλτρων που έχουμε χρησιμοποιήσει στο συγκεκριμένο στάδιο.

give surface per shaft for stage 1

use default value of 9300 m²/shaft, y/n?

y

give number of trains at stage 1

2

give surface per shaft for stage 2

use default value of 9300 m²/shaft, y/n?

y

give number of trains at stage 2

2

give surface per shaft for stage 3

use default value of 9300 m²/shaft, y/n?

y

give number of trains at stage 3

2

give surface per shaft for stage 4

use default value of 9300 m²/shaft, y/n?

y

give number of trains at stage 4

Τα αποτελέσματα του ελέγχου αποθηκεύονται στο αρχείο control.doc και έχουν την εξής μορφή:

```
assume soluble BOD influent concentration    120.0000    g/m3

screen(s)
velocity through racks=  0.4141330    m/s
velocity is normal
hydraulic headloss will be aproximately=  3.4275043E-03
hydraulic headloss low

grit chamber(s)
velocity at weir is  0.3016240    m/s
velocity is normal
detention time is  59.67696    s (typical value 60s)
detention time is normal

sedimentation tank(s)
average detention time is  1.999184    minimum detention time is
1.332789    (h)
detention time is normal
at average flow conditions BOD removal is  32.84222    % TSS removal is
54.48526    %
BOD primary effluent is  134.3156    g/m3, tss primary effluent is
113.7869    g/m3
at maximum flow conditions BOD removal is  28.03247    % TSS removal is
48.70830    %

rotating biological contactors
BOD concentration in stage      1is  41.35693    g/m3
sBOD concentration in stage     1is  24.81416    g/m3
BOD concentration in stage      2is  19.87916    g/m3
sBOD concentration in stage     2is  11.92750    g/m3
BOD concentration in stage      3is  12.02293    g/m3
sBOD concentration in stage     3is  7.213760    g/m3
BOD concentration in stage      4is  9.546406    g/m3
sBOD concentration in stage     4is  5.727844    g/m3
plant design is satisfactory, concentration lower than target
```

Όπως ήταν αναμενόμενο η λειτουργία της εγκατάστασης επαληθεύεται από το πρόγραμμα ελέγχου.

6.4 Σύγκριση προγράμματος με παράδειγμα (από το Wastewater Engineering, G. Tchobanoglous, L. Burton, D. Stensel)

Στο βιβλίο Wastewater Engineering Treatment and Reuse, G. Tchobanoglous, L. Burton, D. Stensel υπάρχει το παράδειγμα 9-7 για τον σχεδιασμό ΠΣΣΥ. Το οποίο αναφέρει τα ακόλουθα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΚΡΟΗ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΚΡΟΗΣ
ΠΑΡΟΧΗ	m ³ /d	4000	
BOD	g/m ³	140	20
Soluble BOD	g/m ³	90	10
TSS	g/m ³	70	20

Υποθέτουμε ότι μετά το πρώτο στάδιο επεξεργασίας με ΠΣΣΥ η συγκέντρωση sBOD θα είναι 15 g/m²*d.

Το φορτίο που δέχεται το πρώτο στάδιο είναι sBOD loading= 90 g/m³ * 4000 m³/d =360.000 g/d

Η επιφάνεια που απαιτείται για το πρώτο στάδιο είναι: 360.000 /15=24.000 m²

Και δεδομένου ότι χρησιμοποιούμε άξονες των 9300 m² ο αριθμός των αξόνων θα είναι: $n = 24.000 / 9300 = 2,6$ επομένως θα χρησιμοποιήσουμε τρεις άξονες

Στη συνέχεια υπολογίζεται η συγκέντρωση sBOD για τα τρία στάδια και έχουμε:

$$S_1 = 29,8 \text{ g/m}^3$$

$$S_2 = 14,8 \text{ g/m}^3$$

$$S_3 = 9,1 \text{ g/m}^3$$

Και επειδή 9,3 g/m³ < 10 g/m³ έχουμε πετύχει το στόχο.

Το παράδειγμα επιλέγει την κατασκευή τριών σταδίων με τρεις άξονες στο κάθε στάδιο χωρίς όμως να στηρίζει κάπου αυτή την επιλογή η οποία τελικά επιβεβαιώνεται. Σίγουρα όμως απαιτεί κάποια εμπειρία ενώ δεν είναι εύκολο κατ'αυτό τον τρόπο να βρεθεί η βέλτιστη οικονομικά λύση. Η εκτέλεση του προγράμματος μας δίνει το ίδιο αποτέλεσμα έχοντας όμως ελέγξει όλους του δυνατούς συνδυασμούς φίλτρων.

give average flowrate (m3/d)

4000

give maximum flowrate (m3/d)

5000

give minimum flowrate (m3/d)

1000

give TSS influent concentration

70

give BOD influent concentration (g/m3)

140

give soluble BOD influent concentration, use default value (60% of BOD) y/n?

n

give soluble BOD influent concentration (g/m3)

90

type

1 for BOD target effluent

2 for soluble BOD target effluent

2

give soluble BOD target effluent (g/m3)

10

use screen units y/n?

n

use grit chamber y/n?

n

use primary sedimentation y/n?

n

use rotating biological contactors y/n?

y

give surface per shaft, use default value of 9300 m2/shaft, y/n?

y

Press any key to continue

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε ότι ο σχεδιασμός των ΠΣΣΥ γίνεται βάσει της μέσης παροχής οπότε τα στοιχεία της μέγιστης και ελάχιστης παροχής δεν επηρεάζουν το πρόγραμμα. Οι απαιτήσεις της εκροής και ο έλεγχος στις συνθήκες της υπορουτίνας ορίζονται βάσει του soluble BOD όπως και στο παράδειγμα. Τελικά τα αποτελέσματα είναι:

```
rotating biological contactors
surface per shaft    9300.000    m2
volume of tankage is  495.0000    m3
surface of tank is   330.0000    m2, sidewater depth is 1,5 m
40% submergency of the disks
```

```
at first      2stages we will use 5 trains, at last stage we will use
              1train(s)
BOD concentration will be  13.99871    g/m3
```

soluble BOD concentration will be 8.999173 mg/m3
 BOD concentration will be 13.99871 g/m3
 soluble BOD concentration will be 8.999173 mg/m3
 settling tank diameter is 15.39097 m
 sidewater depth is 2.198710 m
 volume of tankage is 450.0000 m3
 surface of tank is 300.0000 m2, sidewater depth is 1,5 m
 40% submergency of the disks

at first 2stages we will use 4 trains, at last stage we will use 2train(s)

BOD concentration will be 13.80958 g/m3
 soluble BOD concentration will be 8.877590 mg/m3
 BOD concentration will be 13.80958 g/m3
 soluble BOD concentration will be 8.877590 mg/m3
 settling tank diameter is 15.39097 m
 sidewater depth is 2.198710 m
 volume of tankage is 405.0000 m3
 surface of tank is 270.0000 m2, sidewater depth is 1,5 m
 40% submergency of the disks

we will use 3stages with 3 trains

BOD concentration will be 14.22860 g/m3
 soluble BOD concentration will be 9.146957 mg/m3
 BOD concentration will be 14.22860 g/m3
 soluble BOD concentration will be 9.146957 mg/m3
 settling tank diameter is 15.39097 m
 sidewater depth is 2.198710 m

Από τις τρεις προτεινόμενες λύσεις η τελευταία είναι αυτή που χρησιμοποιεί μικρότερο αριθμό φίλτρων και συμφωνεί με το παράδειγμα.

6.5 Συμπεράσματα για τη χρήση των ΠΣΣΥ

Τα ΠΣΣΥ είναι συστήματα που χρησιμοποιούνται κυρίως σε μονάδες μικρομεσαίου μεγέθους. Η χώρα μας ανήκει στην Ευρωπαϊκή Ένωση και είναι αναγκαία η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις που προβλέπουν δευτεροβάθμια επεξεργασία αποβλήτων για πόλεις με ισοδύναμο πληθυσμό πάνω από 10.000, επίσης σε περιπτώσεις διάθεσης των αποβλήτων σε επιφανειακά νερά ισχύουν ακόμα αυστηρότεροι όροι με το όριο για δευτεροβάθμια επεξεργασία να πέφτει στις 2.000ι.π.. Στην Ελλάδα υπάρχουν περισσότεροι από 350 ΟΤΑ με εποχιακό πληθυσμό 2-10 χιλιάδων κατοίκων. Σε περίπτωση που αυτοί οι ΟΤΑ αποφασίσουν να οδηγήσουν την αποχέτευση του οικισμού σε κάποιο ποτάμι ή λίμνη απαιτείται δευτεροβάθμια επεξεργασία. Ανεξάρτητα όμως από τις απαιτήσεις των οδηγιών της Ε.Ε. σε μία χώρα με σημαντική τουριστική κίνηση επιβάλλεται η προστασία των ακτών και η επεξεργασία των αποβλήτων που καταλήγουν κυρίως στη θάλασσα μολύνοντας τις ακτές που κολυμπάει το κοινό. Μπορούμε να πούμε

ότι η επεξεργασία των αποβλήτων στις κοινότητες που διοχετεύουν τα απόβλητά τους στη θάλασσα είναι μία αναγκαιότητα και η κατασκευή εγκαταστάσεων μικρού μεγέθους είναι αυτή που πρόκειται να κυριαρχήσει τα επόμενα χρόνια όσον αφορά την επεξεργασία των αποβλήτων. Οι λιγοστές πόλεις με μεγάλο πληθυσμό διαθέτουν ήδη μονάδες επεξεργασίας. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2005 θα απαιτηθεί η κατασκευή περίπου 230 εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού, αριθμός αρκετά μεγάλος αν σκεφτούμε ότι μέχρι το τέλος του 1998 στη χώρα μας είχαν κατασκευαστεί 270 μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Είναι φανερό ότι η επεξεργασία των αποβλήτων επικεντρώνεται πλέον σε εγκαταστάσεις μικρού μεγέθους και επομένως οι μηχανικοί που πρόκειται να σχεδιάσουν αυτές τις μονάδες πρέπει να προσανατολιστούν σε αυτό το πεδίο. Η χρήση των ΠΣΣΥ ταιριάζει περισσότερο σε μονάδες αυτού του μεγέθους και μπορεί να αποτελέσει μία λύση για την δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων από τους πολυάριθμους ΟΤΑ με μικρό πληθυσμό.

Επίσης τα ΠΣΣΥ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ξενοδοχειακές μονάδες όπου απαιτείται βιολογικός καθαρισμός των αποβλήτων με μεγάλη ευκολία σε σχέση με τις άλλες μεθόδους βιολογικού καθαρισμού λόγω της απλότητας λειτουργίας και του μικρού μεγέθους που είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος για εφαρμογές αυτού του είδους δηλαδή καθαρισμού στην πηγή των αποβλήτων. Παρολαυτά η λειτουργία και η χρήση των ΠΣΣΥ δεν έχει μελετηθεί επαρκώς από τους επιστήμονες με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται αρκετές δυσκολίες και ασάφειες που δημιουργούν αίσθημα ανασφάλειας και αποτρέπουν τον σχεδιαστή από τη χρήση τους. Έτσι προτιμούνται άλλες μέθοδοι περισσότερο δοκιμασμένες ακόμα και αν δεν είναι οι καταλληλότερες για κάποιες εφαρμογές. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι για την πρόβλεψη της απομάκρυνσης BOD με σκοπό τον προσδιορισμό των σχεδιαστικών απαιτήσεων, αναφέρεται ένα μόνο μοντέλο ενώ σε άλλες μεθόδους υπάρχει πλήθος αξιόπιστων μοντέλων που χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των ΠΣΣΥ έναντι των άλλων μεθόδων που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη συχνότητα όπως οι δεξαμενές παρατεταμένου αερισμού και οι βιολογικοί πύργοι είναι η απλότητα στην λειτουργία αυτών των συστημάτων και οι μικρές απαιτήσεις χώρου για την κατασκευή μίας τέτοιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην Ελλάδα δεν υπάρχουν στοιχεία για την χρήση ΠΣΣΥ σε κάποια εγκατάσταση.

Βιβλιογραφία

Αγγελάκης Α.Ν., G. Tchobanoglous (1995). «Υγρά απόβλητα», Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης

Κατσίβελα Ε., Ν. Καλογεράκης (2000). «Περιβαλλοντική μικροβιολογία», Πολυτεχνείο Κρήτης,

Κουτσόγιαννης Δ. (1999). «Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης», ΕΜΠ

Μαντζαβίνος Δ. (2002). «Επεξεργασία υγρών αποβλήτων». Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Στάμου Α.Ι., Ζ.Σ.-Βογιατζής (1985). «Βασικές αρχές και σχεδιασμός συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων»

Α. Οικονομόπουλος (2000). «Χημεία και έλεγχος ρύπανσης νερών», Πολυτεχνείο Κρήτης

Crites R, G.Tchobanoglous (1998). “Small and decentralized wastewater management systems”, McGraw-Hill

Shundar Lin (2001). “Water and wastewater calculations manual”, McGraw-Hill

Tchobanoglous G., F. Burton and D.Stensel (2002). “Wastewater engineering treatment and reuse”, Metcalf & Eddy

(1998). “Design of municipal wastewater treatment plants”, Water environment federation

Δημοσιεύσεις

Economopoulou M., A. Economopoulos (1999). “Potential use of natural systems for treating municipal effluents in Greece”, 6^ο Διεθνές Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Πυθαγόρειο Σάμου

Perez uz B. et al. (1998). “Biofilm characterization of several wastewater treatment plants with rotating biological contactors in Madrid”, Water science and technology, vol. 37, No 4-5, pp 215-218

Griffin P., G.E. Findlay (2000). “Process and engineering improvements to rotating biological contactors”, Water science and technology, vol. 41, No 1, pp137-144

Wilson F., W.M. Lee (1997). “Rotating biological contactors for wastewater treatment in an equatorial climate”, Water science and technology, vol.35, No 8, pp177-184

(1992). “Rotating Biological Contactors”, Engineering bulletin, EPA/540/S-92/007

Tsagarakis K.P., D.D. Mara and A.N. Angelakis (2001). “Wastewater management in Greece: Experience and lessons for developing countries, Water science and technology, vol. 44, No 6, pp163-172

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
!      Last change:  AE   20 Aug 2003   2:23 pm
program control

real::qave,qmax,qmin,bod,sbod,tbod,tsbod,rbod,rtss
character::ques,zi

open (8,file='control.doc')

print*,'give average flowrate (m3/d)'
read*,qave
print*,'give maximum flowrate (m3/d)'
read*,qmax
print*,'give minimum flowrate (m3/d)'
read*,qmin
print*,'give TSS influent concentration'
read*,tss
print*,'give BOD  influent concentration (g/m3)'
read*,bod
print*,'give soluble BOD influent concentration,use default value (60% of
BOD) y/n?'
read*,zi
if (zi=='y') then
sbod=0.6*bod;
print*,'assume soluble BOD influent concentration',sbod,'g/m3'
write(8,*)'assume soluble BOD influent concentration',sbod,'g/m3'
else
print*,'give soluble BOD influent concentration (g/m3)'
read*,sbod
end if
print*,'type'
print*,'1 for BOD target effluent'
print*,'2 for soluble BOD target effluent'
read*,ques
select case (ques)
case('1')
print*,'give BOD target effluent (g/m3)'
read*,tbod
tsbod=tbod*(sbod/bod)
case('2')
print*,'give soluble BOD target effluent (g/m3)'
read*,tsbod
end select

print*,'use screen units y/n?'

read*,ques
if (ques=='y') then

call screeningcontrol

end if

print*,'use grit chamber y/n?'

read*,ques
```



```

if (ques=='y') then

call gritcontrol

end if

print*,'use primary sedimentation y/n?'

read*,ques
if (ques=='y') then

call sedicont
else

rbod=0

end if

print*,'use rotating biological contactors y/n?'

read*,ques
if (ques=='y') then

call rbcontrol

end if

contains

subroutine screeningcontrol

real::A,v,w,qmaxi,opening,width,height,EC,H,barwidth,depth,angle,B,k
integer:: n,typ
character::ques
real,parameter::pi=3.141592,g=9.81

write(8,*)'screen(s)'

qmaxi=qmax/86400;
print*,'give upstream depth of wastewater at peak flow (m)'
read*,depth
print*,'give width of the chamber (m)'
read*,width
print*,'give barwidth (m)'
read*,barwidth
print*,'give number of openings'
read*,n
print*,'give number of channels'
read*,nu
w=width-n*barwidth;
v=qmaxi/(nu*w*depth)
write(8,*)'velocity through racks=',v,'m/s'
if (v<0.3) then
write(8,*)'velocity too low, danger of sedimentation'
else
print*,'choose type of screen'
print*,'type'
print*,'1 for manual cleaning'
print*,'2 for mechanical cleaning'
read*,typ
select case (typ==2)

```

```

case (.true.)
if (v>1.2) then
write(8,*)'velocity very high, possible pass through of debris'
else if (v<0.6) then
write(8,*)'velocity is quite low'
else
write(8,*)'velocity is normal'
end if
case (.false.)
if (v>0.6) then
write(8,*)'velocity very high, possible pass through of debris'
else
write(8,*)'velocity is normal'
end if
end select
end if
print*, 'give angle of the rack to the horizontal'
read*, angle;
angle=angle*pi/180;
height=depth/sin(angle);
write(*,*)'appropriate height=', height, 'm'
print*, 'B value'
print*, '2.42 sharp edged-rectangular'
print*, '1.83 rectangular with semicircular face'
print*, '1.79 circular'
print*, '1.67 rectangular with semicircular upstream and downstream faces'
print*, '0.76 tear shape'
print*, 'choose B'
read*, B
k=1

H=B*((k)**4/3)*(v**2)*sin(angle)/(2*g);
write(8,*)'hydraulic headloss will be approximately=', H
if (H<0.05) then
write(8,*)'hydraulic headloss low'
else if (H>0.3) then
write(8,*)'hydraulic headloss high'
else
write(8,*)'hydraulic headloss normal'
end if
end subroutine screeningcontrol

subroutine gritcontrol
real::vweir,w,b,a,c,vparsh,k,kp,s,d,l,t
integer::n,v,vsc,tc
character::i,z,x,r
real,parameter::g=9.81

write(8,*)'grit chamber(s)'

print*, 'type'
print*, '1 for rectangular cross sectional area with proportional weir'
print*, '2 for parabolic cross-sectional area with parshall flume'
read*, i

qma=qmax/86400;

select case (i)

```

```

case('1')
print*, 'give width of weir (m)'
read*, w
print*, 'give height value for the rectangular part at the base of the weir
(m)'
read*, a
c=0.62
print*, 'give channel width (m)'
read*, b
vweir=c*w*(2*g*a)**0.5/b;
v=vweir*100;
print*, 'give channel length (m)'
read*, l
t=l/vweir;
write(8,*) 'velocity at weir is', vweir, 'm/s'

case('2')
print*, 'give number of channels'
read*, nu
print*, 'give water depth in chamber (m)'
read*, h
print*, 'give width of flume (m)'
read*, w
k=qma/(nu*(h**1.5)*w);
print*, 'give channel width'
read*, b
kp=2*b/(3*(h**0.5));
vparsh=k*w/kp;
print*, 'give channel length'
read*, l
t=l/vparsh;
v=vparsh*100;
write(8,*) 'velocity is', vparsh, 'm/s'
end select
print*, 'use default critical velocity for succesful grit settling (0.3m/s)
y/n?'
read*, x
if (x=='n') then
print*, 'give diameter of grit (m), use default value of 100 * 10**-6 m y/n?'
read*, z
if (z=='y') then
d=0.0001;
else
print*, 'give grit particles diameter (m)'
read*, d
end if
print*, 'give grit special gravity, use default value of 1,25 y/n?'
read*, z
if (z=='y') then
s=1.25;
else
print*, 'give grit special gravity'
read*, s
end if
vc=0.4*((s-1)*d)**0.5;
vsc=100*vc;
write(8,*) 'critical velocity is', vc, 'm/s'
if(v>=(vsc+10)) then
write(8,*) 'velocity is extremely high'
else if ((vsc+7)<v .and. v<(vsc+9)) then
write(8,*) 'velocity is very high'
else if ((vsc+4)<v .and. v<(vsc+6)) then
write(8,*) 'velocity is high'
else if ((vsc-3)<v .and. v<(vsc+3)) then
write(8,*) 'velocity is normal'

```

```

else if ((vsc-8)<v .and. v<(vsc-4)) then
write(8,*)'velocity is low'
else if ((vsc-14)<v .and. v<(vsc-9)) then
write(8,*)'velocity is very low'
else if (v<(vsc-15)) then
write(8,*)'velocity is extremely low'
end if

else

select case (v)
case (51:)
write(8,*)'velocity is extremely high'
case (43:50)
write(8,*)'velocity is very high'
case(38:42)
write(8,*)'velocity is high'
case(17:37)
write(8,*)'velocity is normal'
case(13:16)
write(8,*)'velocity is low'
case(9:12)
write(8,*)'velocity is very low'
case(:8)
write(8,*)'velocity is extremely low'
end select
end if

write(8,*)'detention time is',t,'s (typical value 60s)'
tc=t;

select case (tc)
case (90:)
write(8,*)'detention time is very high'
case (70:89)
write(8,*)'detention time is high'
case(39:69)
write(8,*)'detention time is normal'
case(27:38)
write(8,*)'detention time is low'
case(14:26)
write(8,*)'detention time is very low'
case(:13)
write(8,*)'detention time is extremely low'
end select

end subroutine gritcontrol

subroutine sedicont
real::vh,v,w,d,l,n,vol,tav,tmax,di,sg,kc,df,temp,mu,rmbod,rmtss
character::m,z
integer::va,vb,vc,tca,zt
real,parameter::g=9.81

write(8,*)'sedimentation tank(s)'

print*,'choose shape of tank'
print*,'type'
print*,'1 for rectangular'
print*,'2 for circular'
read*,zt
select case (zt)

case(1)

```

```

print*, 'give number of tanks'
read*, n
print*, 'give tank width (m)'
read*, w
print*, 'give tank length'
read*, l
print*, 'give sidewater depth (m)'
read*, d
vol=w*l*d*n;
tav=vol*24/qave;
tmax=vol*24/qmax;
write(8,*) 'average detention time is', tav, 'minimum detention time
is', tmax, '(h)'
tca=tav*10
select case (tca)

case (28:)
write(8,*) 'detention time is high'
case(13:27)
write(8,*) 'detention time is normal'
case(:12)
write(8,*) 'detention time is low'
end select


print*, 'give diameter of particles (m), use default value of 100 * 10**-6 m
y/n?'
read*, z
if (z=='y') then
di=0.0001;
else
print*, 'give particles diameter (m)'
read*, di
end if
print*, 'give particles specific gravity, use default value of 1,25 y/n?'
read*, z
if (z=='y') then
sg=1.25;
else
print*, 'give particles specific gravity'
read*, sg
end if
print*, 'cohesion constant=0.05, accept value y/n?'
read*, z
if(z=='y') then
kc=0.025
else
print*, 'give cohesion constant, 0,04 for unigranular sand and 0,06 for more
sticky, interlocking matter'
read*, kc
end if
print*, 'Darcy-Weisbach factor=0.025, accept value y/n?'
read*, z
if(z=='y') then
df=0.025
else
print*, 'give Darcy-Weisbach factor, typical values 0,02-0,03'
read*, df
end if
vh=sqrt(8*kc*(sg-1)*g*di/df);
v=qmax/(n*w*d*(24*3600));
write(8,*) 'the horizontal velocity value, even at peak flow, must be
substantially less than the scour velocity, otherwise settled matter will be
resuspended'

```

```

case (2)

print*, 'give number of tanks'
read*, n
print*, 'give tank diameter (m)'
read*, di
w=di/2
print*, 'give sidewater depth (m)'
read*, d
vol=3.141*(w**2)*d*n;
tav=vol*24/qave;
tmax=vol*24/qmax;
write(8,*) 'average detention time is', tav, 'minimum detention time
is', tmax, '(h)'
tca=tav*10
select case (tca)

case (28:)
write(8,*) 'detention time is high'
case(13:27)
write(8,*) 'detention time is normal'
case(:12)
write(8,*) 'detention time is low'
end select

end select

print*, 'for cold climates with wastewater temperatures lower than 20C press
c or any other key to skip'
read*, m
if (m=='c') then
print*, 'give temperature of wastewater (C)'
read*, temp
mu=1.82*EXP(-0.03*temp);
tav=tav/mu;
tmax=tmax/mu;
end if
rbod=tav/(0.018+0.020*tav);
rtss=tav/(0.0075+0.014*tav);
write(8,*) 'at average flow conditions BOD removal is', rbod, '%', ' TSS
removal is', rtss, '%'
write(8,*) 'BOD primary effluent is', bod*(1-(rbod/100)), 'g/m3, tss primary
effluent is', tss*(1-(rtss/100)), 'g/m3'
rmbod=tmax/(0.018+0.020*tmax);
rmtss=tmax/(0.0075+0.014*tmax);
write(8,*) 'at maximum flow conditions BOD removal is', rmbod, '%', ' TSS
removal is', rmtss, '%'

end subroutine sedicont

subroutine rbcontrol

real::fl, cbod, csbod, tbod, fltr, s1, s2, fsharea
integer::tr, st, ns
character::i

```

```

write(8,*)'rotating biological contactors'

fl=qave

cbod=bod*(1-rbod/100)
csbod=cbod*(sbod/bod)


print*,'give number of stages'
read*,st

s1=csbod;

do ns=1,st

print*,'give surface per shaft for stage',ns,'use default value of 9300
m2/shaft, y/n?'
read*,i
if (i=='n') then
print*,'give surface per shaft (m2/shaft)'
read*,sharea
else
sharea=9300;
end if
print*,'give number of trains at stage',ns
read*,tr
fltr=fl/tr;
s2=(sqrt(1+4*0.00974*(sharea/fltr)*s1)-1)/(2*0.00974*sharea/fltr);
s1=s2
write(8,*)'BOD concentration in stage',ns,'is',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'sBOD concentration in stage',ns,'is',s2,'g/m3'

end do

if(s2>=tsbod)then
write(8,*)'unsatisfactory design,soluble BOD and BOD concentration at final
stage is more than target concentration'
else
write(8,*)'plant design is satisfactory, concentration lower than target'
end if

end subroutine rbcontrol

end program

```

! Last change: AE 20 Aug 2003 1:07 pm

program designtot

real::qave,qmax,qmin,bod,sbod,tbod,tsbod,rbod,rtss
character::ques,zi

open (8,file='design.doc')

```
print*,'give average flowrate (m3/d)'
read*,qave
print*,'give maximum flowrate (m3/d)'
read*,qmax
print*,'give minimum flowrate (m3/d)'
read*,qmin
print*,'give TSS influent concentration'
read*,tss
print*,'give BOD influent concentration (g/m3)'
read*,bod
print*,'give soluble BOD influent concentration,use default value (60% of
BOD) y/n?'
read*,zi
if (zi=='y') then
sbod=0.6*bod;
print*,'assume soluble BOD influent concentration',sbod,'g/m3'
write(8,*)'assume soluble BOD influent concentration',sbod,'g/m3'
else
print*,'give soluble BOD influent concentration (g/m3)'
read*,sbod
end if
print*,'type'
print*,'1 for BOD target effluent'
print*,'2 for soluble BOD target effluent'
read*,ques
select case (ques)
case('1')
print*,'give BOD target effluent (g/m3)'
read*,tbod
tsbod=tbod*(sbod/bod)
case('2')
print*,'give soluble BOD target effluent (g/m3)'
read*,tsbod
end select
```

print*,'use screen units y/n?'

read*,ques
if (ques=='y') then

call screening

end if

print*,'use grit chamber y/n?'

read*,ques

if (ques=='y') then

call gritcham

end if


```

print*, 'use primary sedimentation y/n?'

read*, ques
if (ques=='y') then

call sedim
else

rbod=0

end if

print*, 'use rotating biological contactors y/n?'

read*, ques
if (ques=='y') then

call rbcdesign

end if

contains
subroutine screening

real::depth,A,v,w,opening,width,height,EC,H,barwidth,angle,B,k,ra
integer:: n,kd
real,parameter::pi=3.141592,g=9.81
character::ques,x,z

write(8,*) 'screen(s)'

print*, 'type 1 for manually cleaned screens'
print*, 'type 2 for mechanically cleaned screens'
read*, x
select case (x)

case('1')

write(8,*) 'manually cleaned screens'
print*, 'give velocity through racks at peak flow,'
print*, 'range 0,3-0,6 m/s, use typical value of 0.4 m/s y/n?'
read*, ques
if (ques=='y') then
v=0.4
else
print*, 'give velocity through racks (m/s)'
read*, v
end if
write(8,*) 'velocity through racks is',v,'m/s'
n=nint(qmax/55000)
if (n==0) then
n=1
end if

print*, 'for average flowrate given suggested number of
channel(s)=' ,n, 'accept value y/n?'
read*, z
if (z=='n') then
print*, 'give number of channels'
read*, n
end if
write(8,*) n, 'channel(s)'

```

```

print*, 'use default ratio: width of channel:upstream depth of wastewater =
1:1, y/n?'
read*, ques
if(ques=='y') then
depth=sqrt(qmax/(n*v*86400));
else
print*, 'give new ratio, (typical range:0,8-1,1)'
read*, ra
depth=sqrt(qmax/(n*ra*v*86400));
end if

kd=qmax/n*v;
write(8,*) 'upstream depth of wastewater is', depth, 'm'
A=qmax/(v*n*86400);
w=A/depth;
write(8,*) 'total width of the opening at the rack is', w, 'm'
print*, 'choose opening between racks (m)'
print*, 'range 0,025-0,05m, use typical value of 0.03m y/n?'
read*, ques
if (ques=='y') then
opening=0.03
else
print*, 'give opening between racks (m)'
read*, opening
end if
write(8, '('opening between racks is ', F5.3, "m")') opening
n=w/opening
write(8,*) 'number of openings is n=', n
print*, 'give bar width, range 0,005-0,015 m, use typical value of 0.01 m
y/n?'
read*, ques
if (ques=='y') then
barwidth=0.01
else
print*, 'give barwidth (m)'
read*, barwidth
end if
width=w+(n-1)*barwidth
write(8, '('barwidth is ', F5.3, "m")') barwidth
write(8,*) 'width of the chamber is', width, 'm'
print*, 'give angle of the rack to the horizontal, range 30-45, use default
value of 40 y/n?'
read*, ques
if (ques=='y') then
angle=40
else
print*, 'give angle of the rack to the horizontal'
read*, angle;
end if
write(8, '('angle of the rack to the horizontal is ', F5.2')') angle
angle=angle*pi/180;
height=depth/sin(angle);

case('2')

print*, 'give velocity through racks at peak flow,'
print*, 'range 0,6-1,2 m/s, use typical value of 0.9 m/s (at peak flow)
y/n?'
read*, ques
if (ques=='y') then
v=0.9
else

```

```

print*, 'give velocity through racks (m/s)'
read*, v
end if
n=nint(qmax/60000)
if (n==0) then
n=1
end if
print*, 'for average flowrate given suggested number of
channel(s)=', n, 'accept value y/n?'
read*, z
if (z=='n') then
print*, 'give number of channels'
read*, n
end if
write(8,*) n, 'channel(s)'
print*, 'use default ratio: width of channel:upstream depth of wastewater =
1:1, y/n?'
read*, ques
if(ques=='y') then
depth=sqrt(qmax/(n*v*86400));
else
print*, 'give new ratio, (typical range 0,8-1,1)'
read*, ra
depth=sqrt(qmax/(n*ra*v*86400));
end if
write(8,*) 'upstream depth of wastewater is', depth, 'm'
A=qmax/(v*n*86400);
w=A/depth;
write(8,*) 'total width of the opening at the rack is', w, 'm'
print*, 'choose opening between racks (m)'
print*, 'range 0,025-0,05m, use typical value of 0.03m y/n?'
read*, ques
if (ques=='y') then
opening=0.03
else
print*, 'give opening between racks (m)'
read*, opening
end if
write(8, '('opening between racks is ', F5.3, "m")') opening
n=w/opening
write(8,*) 'number of openings is n=', n
print*, 'give bar width, range 0,005-0,015 m, use typical value of 0.01 m
y/n?'
read*, ques
if (ques=='y') then
barwidth=0.01
else
print*, 'give barwidth (m)'
read*, barwidth
end if
write(8, '('barwidth is ', F5.3, "m")') barwidth
width=w+(n-1)*barwidth
write(8,*) 'width of the chamber is', width, 'm'
print*, 'give angle of the rack to the horizontal, range 0-30, use default
value of 30 y/n?'
read*, ques
if (ques=='y') then
angle=40
else
print*, 'give angle of the rack to the horizontal'
read*, angle;
end if
write(8, '('angle of the rack to the horizontal is ', F5.2')') angle
angle=angle*pi/180;
height=depth/sin(angle);

```

```

end select

write(8,*)'height of the rack is',height,'m'

print*, 'B value'
print*, '2.42 sharp edged-rectangular'
print*, '1.83 rectangular with semicircular face'
print*, '1.79 circular'
print*, '1.67 rectangular with semicircular upstream and downstream faces'
print*, '0.76 tear shape'
print*, 'choose B'
read*, B

k=1

H=B*((k)**4/3)*(v**2)*sin(angle)/(2*g);
write(8,*)'hydraulic headloss will be aproximately=',H,'m'

end subroutine screening

subroutine gritcham
real::qavd,v,b,q,h,hei,a,c,w,L,hmax,ra,lr,wra,cra,t,dt,qc,hc,qm,hm,hav,Vc
,Wc,hcm,Vm,bm,K,Km,Kf,qav,d,lr,vol,air,Ac,con,volgrit
integer::n,qcma
character::i,z,x,r
real,parameter::g=9.81

write(8,*)'grit chamber(s)'
print*, 'choose type of chamber'
print*, '1 for horizontal flow'
print*, '2 for aerated rectangular'
read*, z
select case (z)
case ('1')
print*, 'type'
print*, '1 for rectangular cross sectional area with proportional weir'
print*, '2 for parabolic cross-sectional area with parshall flume'
read*, i
select case (i)

case ('1')
write(8,*)'horizontal flow,rectangular cross-sectional area with
proportional weir'

print*, 'give settling velocity of grit'
print*, 'for 0,30 mm material settling velocity is 0,047-0,052 m/s, typical
value 0,048 m/s'
print*, 'for 0,21 mm material settling velocity is 0,0167-0,022 m/s, typical
value 0,019 m/s'
print*, 'for 0,15 mm material settling velocity is 0,01-0,015 m/s, typical
value 0,013 m/s'
print*, 'if the specific gravity of the grit is signifacantly less than
2,65,lower velocities should be used'
print*, 'use default value of 0,02 m/s y/n?'
read*, z

if (z=='y') then
Vs=0.02

```

```

else
print*, 'give settling velocity of grit (m/s)'
read*, Vs
end if

n=nint(qmax/20000);
if (n==0) then
n=1
end if
print*, 'for average flowrate given suggested number of chambers=', n, 'accept
value y/n?'
read*, z
if (z=='n') then
print*, 'give number of chambers'
read*, n
end if
write(8,*)n, 'chamber(s)'

qcma=qmax/n;
select case (qcma)
case(15501:)
wra=2
lra=1.8
v=0.3
case(11001:15500)
wra=2
lra=2.2
v=0.3
case (5901:11000)
wra=2.1
lra=2.7
v=0.3
case (3501:5900)
wra=2
lra=3.5
v=0.28
case (2000:3500)
wra=2.1
lra=4.6
v=0.26
case(:1999)
wra=1.7
lra=5
v=0.23
end select

print*, 'horizontal velocity, use suggested value of', v, 'm/s y/n?'
read*, z
if (z=='n') then
print*, 'give horizontal velocity, range 0,15-0,4 m/s'
read*, v
end if

write(8,*) 'horizontal velocity', v, 'm/s'

print*, 'for flowrate given, use suggested default ratio: width of
chamber:water depth=', wra, 'y/n?'
read*, z
if (z=='y') then
h=sqrt(qmax/(n*v*86400*wra))
else
print*, 'give new ratio'
read*, rat
h=sqrt(qmax/(n*v*86400*rat))
end if

```

```

write(8,*)'water depth',h,'m'
q=qmax/(n*86400);
b=q/(h*v);
hei=2*h;
write(8,*)'depth of chamber is',hei,'m'
write(8,*)'width of chamber is',b,'m'
print*,'height value for the rectangular part at the base of the weir 0,05
m (a), accept value y/n?'
read*,z
if (z=='y') then
a=0.05
else
print*,'give new value, minimum 0,025 m'
read*,a
end if
write(8,*)'height value for the rectangular part at the base of the weir
is',a,'m'
c=0.62
w=(v/0.61)*b;
write(8,*)'width of weir is',w,'m'
L=lra*h*v/Vs;
t=L/v;
write(8,*)'length of chamber is',L,'m'
write(8,*)'detention time is',t,'s'
write(8,*)'weir shape-function is  $l = c - b * \arctan [(h+a/3)/a]$ '
write(8,*)'where'
write(8,*)'l:opening of weir'
write(8,*)'h:depth of flow'
write(8,*)'a:height for the rectangular part at the base of the
weir=',a,'m'
write(8,*)'c=',w
write(8,*)'b=',2*w/180
if (n>1) then
qc=qmax/(n-1);
hc=qc/(b*v);
write(8,*)'for maximum flow conditions',qc,' m3/d ','water depth will
be',hc,' m'
if(hc<hei) then
write(8,*)'in case that one chamber is out of order proportional weir will
not submerge'
else
write(8,*)'in case that one chamber is out of order proportional weir will
submerge'
end if
end if
qavd=qave/n;
hav=qavd/(b*v*86400);
write(8,*)'for average flow conditions',qavd,' m3/d ','water depth will
be',hav,' m'

qm=qmin/n;
hm=qm/(b*v*86400);
write(8,*)'for minimum flow conditions',qm,' m3/d ','water depth will
be',hm,' m'
if (hm>a) then
write(8,*)'at minimum flowrate flow level is over rectangular area of weir'
else
write(8,*)'at minimum flowrate flow level is below rectangular area of
weir'
end if

case ('2')

```

```

write(8,*)'horizontal flow with parabolic cross-sectional area with
parshall flume'
print*, 'give settling velocity of grit'
print*, 'for 0,30 mm material settling velocity is 0,047-0,052 m/s, typical
value 0,048 m/s'
print*, 'for 0,21 mm material settling velocity is 0,0167-0,022 m/s, typical
value 0,019 m/s'
print*, 'for 0,15 mm material settling velocity is 0,01-0,015 m/s, typical
value 0,013 m/s'
print*, 'if the specific gravity of the grit is signifacantly less than
2,65, lower velocities should be used'
print*, 'use default value of 0,02 m/s y/n?'
read*, z

if (z=='y') then
Vs=0.02
else
print*, 'give settling velocity of grit (m/s)'
read*, Vs
end if

n=nint(qmax/20000);
if (n==0) then
n=1
end if
print*, 'for maximum flowrate given suggested number of chambers=', n, 'accept
value y/n?'
read*, z
if (z=='n') then
print*, 'give number of chambers'
read*, n
end if
write(8,*) 'use', n, 'chambers'

qcma=qmax/n;
select case (qcma)

case (7000:)

print*, 'horizontal velocity, use typical optimum value of 0,3m/s y/n?'
read*, z
if (z=='y') then
v=0.3
h=0.6
lra=1.5
else
print*, 'give horizontal velocity, range 0,15-0,4 m/s'
read*, v
end if

case (3501:6999)
print*, 'for flowrate given suggested value of velocity 0,25m/s, accept
y/n?'
read*, r
if (r=='y') then
v=0.25
h=0.6
lra=1.7
else
print*, 'give horizontal velocity, range 0,15-0,4 m/s'
read*, v
end if

case (2001:3500)
print*, 'for flowrate given suggested value of velocity 0,2m/s, accept y/n?'

```

```

read*,r
if (r=='y') then
v=0.2
h=0.5
lra=1.9
else
print*, 'give horizontal velocity, range 0,15-0,4 m/s'
read*,v
end if

case (:2000)
print*, 'for flowrate given suggested value of velocity 0,15m/s, accept
y/n?'
read*,r
if (r=='y') then
v=0.2
h=0.4
lra=2.1
else
print*, 'give horizontal velocity, range 0,15-0,4 m/s'
read*,v
end if
end select
write(8,*) 'horizontal velocity',v,'m/s'

print*, 'water depth, for flowrate given, use suggested value of',h,' y/n?'
read*,z
if (z=='n') then
print*, 'give water depth, range 0,6-1,5 m'
read*,h
end if
write(8,*) 'at maximum flow rate water depth is',h,'m'
q=qmax/(n*86400);
b=3*q/(2*h*v);
hei=2*h;
write(8,*) 'width of channel is',b,'m'
write(8,*) 'depth of chamber is',hei,'m'
Vc=((2*g/3.1)*(h+(v**2/(2*g))))**0.5;
hc=Vc**2/g;
Wc=q/(Vc*hc);
write(8,*) 'velocity in flume area',Vc,'m/s'
write(8,*) 'depth of flow in flume area',hc,'m'
write(8,*) 'width of flow in flume area',Wc,' m'
if (n>1) then
qm=qmax/(86400*(n-1));
Ac=(Wc*qm**2/g)**0.33333;
hcm=Ac/Wc;
Vm=sqrt(g*hcm);
hm=(3.1*(Vm**2)/(2*g))-(v**2)/(2*g);
bm=3*qm/(2*v*hm);
write(8,*) 'in case that one chamber is out of order velocity is',Vm,'m/s'
if(hm<hei) then
write(8,*) 'in case that one chamber is out of order parshall flume will not
submerge'
else
write(8,*) 'in case that one chamber is out of order parshall flume will
submerge'
end if
end if
K=2*b/(3*(h**0.5));
Km=2*bm/(3*(hm**0.5));
L=lra*h*v/Vs;
t=L/v;
write(8,*) 'length of chamber is',L,'m'
write(8,*) 'detention time is',t,'s'

```



```

if (n>1) then
Kf=Km*3/2;
write(8,*)'we design the flume considering that one chamber is not in use'
write(8,*)'the parabolic function of the flume is: W=',Kf,'*h**1/2'
else
Kf=K*3/2;
write(8,*)'the parabolic function of the flume is: W=',Kf,'*h**1/2'
end if
end select

case ('2')

print*, 'give detention time at peak flowrate, range 2-5 min, use typical
value of 3 min y/n?'
read*,x
if (x=='y') then
t=3
else
print*, 'give detention time (min)'
read*,t
end if
write(8,*)'detention time is',t,'min'
n=nint(qave/26000);
if (n==0) then
n=1
end if
print*, 'for average flowrate given suggested number of chambers=',n,'accept
value y/n?'
read*,z
if (z=='n') then
print*, 'give number of chambers'
read*,n
end if
write(8,*)'use',n,'chambers'
q=3*qave/86400;
vol=(q*t*60)/n
print*, 'use default length-to-width ratio (4:1) y/n?'
read*,x
if (x=='n') then
print*, 'give new ratio (3-5)'
read*,lr
else
lr=4
end if

print*, 'use default depth-to-width ratio (1,5:1) y/n?'
read*,x
if (x=='n') then
print*, 'give new ratio (1-5)'
read*,b
else
b=1.5
end if
w=(vol*b/lr)**0.333333
d=w/b;
L=lr*w;
write(8,*)'chamber dimensions:length=',L,'(m) depth=',d,'(m), width=',w,'m'
print*, 'use default air supply (0,00774 m3/s per m length) y/n?'
read*,r
if (r=='n') then
print*, 'give new value for aeration (0,00164-0,00774 m3/s per m length)'
read*,Ac
else
Ac=0.00774

```

```

end if
air=Ac*L;
write(8,*)'air supply needed:',air,'(m3/s)'
print*, 'assume grit concentration of 52.4 mL/m3 y/n?'
read*,x
if (x=='y') then
con=52.4
else
print*, 'give concentration value (mL/m3)'
read*,con
end if
volgrit=con*qave*864/(10000*86400);
write(8,*)'the average volume of grit produced is',volgrit,'(m3/d)'
end select

end subroutine gritcham


subroutine sedim

real::
qaver,ovr,a,l,tav,tmax,d,lw,w,tvol,orav,ormax,vh,v,rmbod,rmtss,ln,sw,sg,kc,
df,mu,temp,r,lp,wl,vn
integer::n,qcma
character::z,x,k,m,que
real,parameter::g=9.81,pi=3.1415

write(8,*)'sedimentation tank(s)'

qaver=qave

print*, 'choose shape of tank'
print*, 'type'
print*, '1 for rectangular'
print*, '2 for circular'
read*,z

if (qaver>6000) then
n=nint(qaver/6000);
print*, 'suggested number of tanks',n,' accept value y/n?'
read*,m
if (m=='n') then
print*, 'give number of tanks'
read*,n
end if

else
print*, 'use one sedimentation tank y/n?'
read*,que

if (que=='y') then
n=1
else
print*, 'give number of tanks'
read*,n
end if
end if
write(8,*)'use',n,'tank(s)'

print*, 'detention time, use default value of 2h y/n?'

```

```

read*,k
if (k=='y') then
t=2
else
print*,'give detention time, range 1,5-2,5h'
read*,t
end if

select case (z)

case ('1')

write(8,*)'rectangular tank(s)'


print*,'use length to width default ratio 4,5:1 y/n?'
read*,m
if (m=='y') then
lw=4.5;
else
print*,'give new length to width ratio'
read*,lw
end if

print*,'type 1 for tanks followed by secondary treatment,2 for tanks with
waste activated sludge'
read*,z

select case (z)

case('1')


print*,'average overflow rate, range 30-50m3/m2*d, use typical value of
40m3/m2*d y/n?'
read*,k
if (k=='n') then
print*,'give average overflow rate (m3/m2*d)'
read*,ovr
else
ovr=40;
end if

case('2')


print*,'average overflow rate, range 24-32m3/m2*d, use typical value of
30m3/m2*d y/n?'
read*,k
if (k=='n') then
print*,'give average overflow rate (m3/m2*d)'
read*,ovr
else
ovr=30;
end if
end select

a=qaver/ovr;
w=sqrt(a/(lw*n));
ln=lw*w;
l=nint(ln);

```

```

write(8,*)'length of tank is',l,'m'
write(8,*)'width of tank is',w,'m'
tvol=t*qaver/24
sw=tvol/(n*w*l);
write(8,*)'sidewater depth is',sw,'m'
orav=qaver/(w*n*l);
tav=tvol*24/qaver;
ormax=qmax/(w*n*l);
tmax=tvol*24/qmax;
write(8,*)'average detention time is:',tav,'minimum detention time
is:',tmax,'(h)'
write(8,*)'average overflow rate is:',orav,'maximum overflow rate
is:',ormax,'(m3/m2*d)'
print*,'give diameter of grit particles (m),use default value of 100 *
10**-6 m y/n?'
read*,z
if (z=='y') then
d=0.0001;
else
print*,'give grit diameter (m)'
read*,d
end if
print*,'give grit specific gravity, use default value of 1,25 y/n?'
read*,z
if (z=='y') then
sg=1.25;
else
print*,'give grit specific gravity'
read*,sg
end if
print*,'cohesion constant=0.05, accept value y/n?'
read*,z
if(z=='y') then
kc=0.025
else
print*,'give cohesion constant, 0,04 for unigranular sand and 0,06 for more
sticky,interlocking matter'
read*,kc
end if

print*,'Darcy-Weisbach factor=0.025, accept value y/n?'
read*,z
if(z=='y') then
df=0.025
else
print*,'give Darcy-Weisbach factor, typical values 0,02-0,03'
read*,df
end if
vh=sqrt(8*kc*(sg-1)*g*d/df);
v=qmax/(n*w*sw*(24*3600));
write(8,*)'scouring velocity is',vh,'maximum horizontal velocity is',v
write(8,*)'horizontal velocity value, even at peak flow, must be
substuntially less than the scour velocity,otherwise settled matter will be
resuspended'
rbod=tav/(0.018+0.020*tav);
rtss=tav/(0.0075+0.014*tav);
write(8,*)'at average flow conditions BOD removal is',rbod,'%',' TSS
removal is',rtss,'% '
write(8,*)'BOD primary effluent is',bod*(1-(rbod/100)), 'g/m3, tss primary
effluent is',tss*(1-(rtss/100)), 'g/m3'

rmbod=tmax/(0.018+0.020*tmax);
rmtss=tmax/(0.0075+0.014*tmax);
write(8,*)'at maximum flow conditions BOD removal is',rmbod,'%',' TSS
removal is',rmtss,'% '

```

```

print*, 'for cold climates with wastewater temperatures lower than 20C
press c or any other key to skip'
read*, m
if (m=='c') then
print*, 'give temperature of wastewater (C)'
read*, temp
write(8,*) 'for cold weather, temperature', temp, 'C'
mu=1.82*EXP(-0.03*temp);
tav=tav*mu;
tmax=tmax*mu;
tvol=tav*qaver/24;
a=tvol/sw;
ovr=qaver/a;
w=sqrt(a/(lw*n));
ln=lw*w;
l=nint(ln);
write(8,*) 'length of tank is', l, 'm'
write(8,*) 'width of tank is', w, 'm'
write(8,*) 'surface needed is', a, 'm2'
write(8,*) 'overflow rate is', ovr, 'm3/m2*d'
write(8,*) 'to achieve removal efficiencies computed above, average
detention time is', tav, 'minimum, detention time is', tmax, '(h)'
end if

case ('2')

write(8,*) 'circular tank(s)'
print*, 'type'
print*, '1 for tanks followed by secondary treatment'
print*, '2 for tanks with waste activated sludge'
read*, z
select case (z)

case('1')

print*, 'average overflow rate, range 30-50 m3/m2*d, use typical value of 40
m3/m2*d y/n?'
read*, k
if (k=='n') then
print*, 'give average overflow rate (m3/m2*d)'
read*, ovr
else
ovr=40;
end if

case('2')

print*, 'average overflow rate, range 24-32 m3/m2*d, use typical value of 28
m3/m2*d y/n?'
read*, k
if (k=='n') then
print*, 'give average overflow rate (m3/m2*d)'
read*, ovr
else
ovr=28;
end if
end select

a=qaver/(n*ovr);
r=sqrt(a/pi);
r=nint(r);
a=pi*r**2;
write(8,*) 'diameter of tank is ', 2*r, 'm, surface of tank is ', a, 'm2'

```

```

tvol=qaver*t/24;
sw=tvol/(pi*r**2);
write(8,*)'sidewater depth is',sw,'m'
tav=tvol*24/qaver;
orav=qaver/(n*a);
ormax=qmax/(n*a);
tmax=tvol*24/qmax;
write(8,*)'average detention time is (d):',tav,'minimum detention time is
(d):',tmax
write(8,*)'average overflow rate is (m3/m2*d):',orav,'maximum overflow rate
is (m3/m2*d):',ormax
rbod=tav/(0.018+0.020*tav);
rtss=tav/(0.0075+0.014*tav);
write(8,*)'at average flow conditions BOD removal is',rbod,'%',' TSS
removal is',rtss,'%
write(8,*)'BOD primary effluent is',bod*(1-(rbod/100)), 'g/m3, TSS primary
effluent is',tss*(1-(rtss/100)), 'g/m3'
rmbod=tmax/(0.018+0.020*tmax);
rmtss=tmax/(0.0075+0.014*tmax);
write(8,*)'at maximum flow conditions BOD removal is',rmbod,'%',' TSS
removal is',rmtss,'%
lp=0.17*r;
write(8,*)'diameter of center well for flow distribution is',2*lp,'m'
print*, 'for cold climates with wastewater temperatures lower than 20C type
c or any other key to skip'
read*,m
if (m=='c') then
print*, 'give temperature of wastewater (C)'
read*,temp
mu=1.82*EXP(-0.03*temp);
tav=tav*mu;
tmax=tmax*mu;
tvol=tav*qaver/24;
a=tvol/sw;
ovr=qaver/a;
r=sqrt(a/pi);
write(8,*)'for temperature given'
write(8,*)'surface per tank needed is ',a,'m2'
lp=0.17*r;
write(8,*)'diameter of tank',2*r,'m'
write(8,*)'overflow rate is',ovr,'m3/m2*d'
write(8,*)'to achieve removal efficiencies computed above, average
detention time is',tav,'minimum, detention time is',tmax,'(h)'
end if
end select

```

end subroutine sedim

subroutine rbcdesign

```

real::qav,cbod,csbod,losbod,area,fsharea,sharea,fltr,s1,s2,lorg,rep,ovorg,n
m,tar,lor,hlr,fsh,tvol,di
integer::tr,st,ifsh,ns,k,nt,trn
character::z,x,i
real,parameter::pi=3.14159

qav=qave

```

```

cbod=bod*(1-rbod/100)
csbod=cbod*(sbod/bod)

write(8,*)'rotating biological contactors'
print*, 'give surface per shaft, use default value of 9300 m2/shaft, y/n?'
read*,x
if (x=='n') then
print*, 'give surface per shaft (m2/shaft)'
read*,sharea
else
sharea=9300;
end if
write(8,*)'surface per shaft',sharea,'m2'

s2=csbod
s1=csbod
do ns=1,12

s1=s2

do nt=1,7
if(s2<tsbod) exit

fltr=qav/nt
if (qav/7<(0.08*sharea)) exit
s2=(sqrt(1+4*0.00974*(sharea/fltr)*s1)-1)/(2*0.00974*sharea/fltr);

if (s2<tsbod) then
trn=7
tvol=(trn*(ns-1)+nt)*45
write(8,*)'volume of tankage is',tvol,'m3'
write(8,*)'surface of tank is',tvol/1.5,'m2, sidewater depth is 1,5 m'
write(8,*)'40% submergency of the disks'
if (nt<7) then

select case (ns)
case (3:)
write(8,*)'at first',ns-1,'stages we will use 7 trains, at last stage we
will use',nt,'train(s)'
case (2)
write(8,*)'at first stage we will use 7 trains, at last stage we will
use',nt,'train(s)'
case(1)
write(8,*)'we will use one stage with',nt,'train(s)'
end select
else
write(8,*)'we will use',ns,'stages with 7 trains'
end if
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
di=2*sqrt((qav/21.5)/pi)
write(8,*)'settling tank diameter is',di,'m'
write(8,*)'sidewater depth is',di/7,'m'
end if
end do
end do

s2=csbod
s1=csbod
do ns=1,10

```

```

s1=s2

do nt=1,6
if(s2<tsbod) exit

fltr=qav/nt
if (qav/6<(0.08*sharea)) exit
if ((qav*csbod)/(6*sharea)>15) exit
if (qav/6>(0.16*sharea)) exit

s2=(sqrt(1+4*0.00974*(sharea/fltr)*s1)-1)/(2*0.00974*sharea/fltr);

if (s2<tsbod) then
trn=6
tvol=(trn*(ns-1)+nt)*45
write(8,*)'volume of tankage is',tvol,'m3'
write(8,*)'surface of tank is',tvol/1.5,'m2, sidewater depth is 1,5 m'
write(8,*)'40% submergency of the disks'
if (nt<6) then

select case (ns)
case (3:)
write(8,*)'at first',ns-1,'stages we will use 6 trains, at last stage we
will use',nt,'train(s)'
case (2)
write(8,*)'at first stage we will use 6 trains, at last stage we will
use',nt,'train(s)'
case(1)
write(8,*)'we will use one stage with',nt,'train(s)'
end select
else
write(8,*)'we will use',ns,'stages with 6 trains'
end if
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
di=2*sqrt((qav/21.5)/pi)
write(8,*)'settling tank diameter is',di,'m'
write(8,*)'sidewater depth is',di/7,'m'
end if
end do
end do

s2=csbod
s1=csbod
do ns=1,6

s1=s2

do nt=1,5
if(s2<tsbod) exit

fltr=qav/nt

if ((qav*csbod)/(5*sharea)>15) exit
if (qav/5>(0.16*sharea)) exit
if (qav/5<(0.08*sharea)) exit
s2=(sqrt(1+4*0.00974*(sharea/fltr)*s1)-1)/(2*0.00974*sharea/fltr);

```



```

if (s2<tsbod) then
trn=5
tvol=(trn*(ns-1)+nt)*45
write(8,*)'volume of tankage is',tvol,'m3'
write(8,*)'surface of tank is',tvol/1.5,'m2, sidewater depth is 1,5 m'
write(8,*)'40% submergency of the disks'
if (nt<5) then

select case (ns)
case (3:)
write(8,*)'at first',ns-1,'stages we will use 5 trains, at last stage we
will use',nt,'train(s)'
case (2)
write(8,*)'at first stage we will use 5 trains, at last stage we will
use',nt,'train(s)'
case(1)
write(8,*)'we will use one stage with',nt,'train(s)'
end select
else
write(8,*)'we will use',ns,'stages with 5 trains'
end if
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
di=2*sqrt((qav/21.5)/pi)
write(8,*)'settling tank diameter is',di,'m'
write(8,*)'sidewater depth is',di/7,'m'
end if
end do
end do

s2=csbod
s1=csbod
do ns=1,5

s1=s2

do nt=1,4
if(s2<tsbod) exit

fltr=qav/nt
if (qav/4<(0.08*sharea)) exit
if ((qav*csbod)/(4*sharea)>15) exit
if (qav/4>(0.16*sharea)) exit
s2=(sqrt(1+4*0.00974*(sharea/fltr)*s1)-1)/(2*0.00974*sharea/fltr);

if (s2<tsbod) then
trn=4
tvol=(trn*(ns-1)+nt)*45
write(8,*)'volume of tankage is',tvol,'m3'
write(8,*)'surface of tank is',tvol/1.5,'m2, sidewater depth is 1,5 m'
write(8,*)'40% submergency of the disks'
if (nt<4) then

select case (ns)
case (3:)
write(8,*)'at first',ns-1,'stages we will use 4 trains, at last stage we
will use',nt,'train(s)'
case (2)

```

```

write(8,*)'at first stage we will use 4 trains, at last stage we will
use',nt,'train(s)'
case(1)
write(8,*)'we will use one stage with',nt,'train(s)'
end select
else
write(8,*)'we will use',ns,'stages with 4 trains'
end if
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
di=2*sqrt((qav/21.5)/pi)
write(8,*)'settling tank diameter is',di,'m'
write(8,*)'sidewater depth is',di/7,'m'
end if
end do
end do

s2=csbod
s1=csbod
do ns=1,4

s1=s2

do nt=1,3
if(s2<tsbod) exit

fltr=qav/nt
if (qav/3<(0.08*sharea)) exit
if ((qav*csbod)/(3*sharea)>15) exit
if (qav/3>(0.16*sharea)) exit
s2=(sqrt(1+4*0.00974*(sharea/fltr)*s1)-1)/(2*0.00974*sharea/fltr);

if (s2<tsbod) then
trn=3
tvol=(trn*(ns-1)+nt)*45
write(8,*)'volume of tankage is',tvol,'m3'
write(8,*)'surface of tank is',tvol/1.5,'m2, sidewater depth is 1,5 m'
write(8,*)'40% submergency of the disks'
if (nt<3) then

select case (ns)
case (3:)
write(8,*)'at first',ns-1,'stages we will use 3 trains, at last stage we
will use',nt,'train(s)'
case (2)
write(8,*)'at first stage we will use 3 trains, at last stage we will
use',nt,'train(s)'
case(1)
write(8,*)'we will use one stage with',nt,'train(s)'
end select
else
write(8,*)'we will use',ns,'stages with 3 trains'
end if
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
di=2*sqrt((qav/21.5)/pi)
write(8,*)'settling tank diameter is',di,'m'
write(8,*)'sidewater depth is',di/7,'m'
end if
end do

```

```

end do

s2=csbod
s1=csbod
do ns=1,4

s1=s2

do nt=1,2
if(s2<tsbod) exit

fltr=qav/nt
if ((qav*csbod)/(2*sharea)>15) exit
if (qav/2>(0.16*sharea)) exit
s2=(sqrt(1+4*0.00974*(sharea/fltr)*s1)-1)/(2*0.00974*sharea/fltr);

if (s2<tsbod) then
trn=2
tvol=(trn*(ns-1)+nt)*45
write(8,*)'volume of tankage is',tvol,'m3'
write(8,*)'surface of tank is',tvol/1.5,'m2, sidewater depth is 1,5 m'
write(8,*)'40% submergency of the disks'
if (nt<2) then

select case (ns)
case (3:)
write(8,*)'at first',ns-1,'stages we will use 2 trains, at last stage we
will use',nt,'train(s)'
case (2)
write(8,*)'at first stage we will use 2 trains, at last stage we will
use',nt,'train(s)'
case(1)
write(8,*)'we will use one stage with',nt,'trains'
end select
else
write(8,*)'we will use',ns,'stages with 2 trains'
end if
write(8,*)'BOD concentration will be',s2*(bod/sbod),'g/m3'
write(8,*)'soluble BOD concentration will be',s2,'mg/m3'
di=2*sqrt((qav/21.5)/pi)
write(8,*)'settling tank diameter is',di,'m2'
write(8,*)'sidewater depth is',di/7,'m'
end if
end do
end do

end subroutine rbcdesign

end program

```