



**Βελτιστοποίηση και Λειτουργία Εγκατάστασης
Επεξεργασίας Αποβλήτων από Εργοστάσια Παραγωγής
Χυμών και Κομπόστας**
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΑΤΣΟΥΡΑ ΠΗΝΕΛΟΠΗ



Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2015

Βελτιστοποίηση και Λειτουργία Εγκατάστασης Επεξεργασίας Αποβλήτων από
Εργοστάσια Παραγωγής Χυμών και Κομπόστας

ΝΑΤΣΟΥΡΑ ΠΗΝΕΛΟΠΗ

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την
απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΤΕΙ
Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία.

Εισηγητής

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2015

ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη αποτελεί τη πτυχιακή μου εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Πέτρου Σαμαρά, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες, τόσο για την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, όσο και για την αμέριστη βοήθειά του κατά την διεκπεραίωσή της.

Επίσης ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Στογιαννίδη Ευστάθιο χημικό μηχανικό για την βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές του.

Θα θελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου. Τέλος ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη οφείλω στον κ. Χρήστο Ανθιμίδη για την υποστήριξη και τη κατανόηση που μου παρείχε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Βελτιστοποίηση και Λειτουργία Εγκατάστασης Επεξεργασίας Αποβλήτων από Εργοστάσια
Παραγωγής Χυμών και Κομπόστας

ΝΑΤΣΟΥΡΑ ΠΗΝΕΛΟΠΗ

ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής, Τμήμα Τεχνολογίας
Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

1.

2. Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποτελεί αναφορά της λειτουργίας μονάδας βιολογικού φίλτρου σε εγκατάσταση επεξεργασίας αποβλήτων βιομηχανίας φρούτων (χυμού και κονσέρβας) κατά την παραγωγική περίοδο του ροδάκινου (καλοκαίρι 2014). Εξετάζονται διάφορες παράμετροι οι οποίες επιδρούν στη λειτουργία ενός βιόφιλτρου. Αρχικά αναφέρονται βασικές αρχές και μέθοδοι επεξεργασίας των βιομηχανικών αποβλήτων με εστίαση στις βιομηχανίες φρούτων και τέλος στη μέθοδο αερισμού μέσω του βιόφιλτρου. Παράμετροι που δείχνουν και επηρεάζουν τη λειτουργία του του βιόφιλτρου τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πειραματικό επίπεδο μελετούνται με σκοπό την βελτίωση και βελτιστοποίηση του βιόφιλτρου.

Πίνακας περιεχομένων

2. Περίληψη.....	4
3. Εισαγωγή.....	6
3.1. Βιομηχανικά απόβλητα.....	6
3.2. Κονσερβοποίηση φρούτων - Παραγωγική διαδικασία.....	6
3.3. Χυμοί φρούτων.....	7
3.4. Κατανάλωση νερού στα κονσερβοποιεία.....	7
3.5. Απόβλητα κονσερβοποιείων.....	8
3.6. Υφιστάμενο νομικό πλαίσιο για τα υγρά απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων.....	9
3.7. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε βιομηχανίες επεξεργασίας φρούτων.....	10
3.8. Αερόβια επεξεργασία.....	11
3.9. Αναερόβια συστήματα.....	12
3.10. Συστήματα χημικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βιομηχανιών τροφίμων.....	12
3.11. Συστήματα διάθεσης υγρών αποβλήτων βιομηχανιών τροφίμων.....	13
3.12. Βιόφιλτρα.....	13
5. Πειραματικό Μέρος.....	17
5.1. Διάταξη της ΜΕΥΑ.....	18
5.2. Περίοδος Παρακολούθησης.....	19
5.3. Παρακολουθείσες παράμετροι.....	19
6. Αποτελέσματα.....	20
6.1. Παραγωγή.....	20
6.2. Παροχή εισερχομένων.....	20
6.3. Συμβάντα και γεγονότα τα οποία επηρέασαν την ροή των αποβλήτων.....	21
6.4. pH.....	21
6.5. Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	21
8. Διάλογος επί των αποτελεσμάτων.....	22
8.1. Απόδοση του Βιόπυργου.....	22
8.2. pH.....	23
8.3. Οξίνιση.....	23
9. Συμπεράσματα - Σύνοψη.....	23
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	25

3. Εισαγωγή

3.1. Βιομηχανικά απόβλητα

Βιομηχανικά απόβλητα προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία (κατανάλωση νερού σε πολυάριθμες υγρές διεργασίες) όπως π.χ. από βιομηχανίες μετάλλου, χημικών προϊόντων, συνθετικών υλών, κονσερβοποιείων, βαφείων, γαλακτοβιομηχανιών κλπ. Αυτά περιέχουν υπολείμματα υλών οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία ή παράγονται από τη βιοτεχνία ή τη βιομηχανία. Η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων είναι διαφορετική για κάθε βιομηχανία, ακόμα και ανάμεσα σε ομοειδείς βιομηχανίες. Αυτό είναι συνάρτηση της δυναμικότητας του εργοστασίου και οφείλεται στον τρόπο παραγωγικής διαδικασίας, στην ποιότητα της πρώτης ύλης και στο είδος του τελικού προϊόντος. Η παραγωγή των αποβλήτων μπορεί να είναι συνεχής ή διακεκομμένη κατά το χρόνο λειτουργίας του εργοστασίου, επίσης μπορεί να περιορίζεται μόνο σε συγκεκριμένες εποχές του χρόνου (π.χ. κονσερβοποίηση φρούτων).

Τα απόβλητα των βιομηχανιών τροφίμων φέρουν σημαντικό ρυπαντικό φορτίο και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στους διαφορετικούς κλάδους της βιομηχανίας τροφίμων ή ακόμη και μεταξύ μονάδων του ίδιου κλάδου. Η παραγωγική διαδικασία αλλά και ο βαθμός επεξεργασίας των αποβλήτων επηρεάζουν τον όγκο και την ποιότητα των αποβλήτων που καταλήγουν στον τελικό αποδέκτη.

Η γνώση των ρυπαντικών ουσιών, φυσικών (αδιάλυτες, διαλυτές, κolloειδείς), ή χημικών (ανόργανες, οργανικές, ραδιενεργά και τοξικά στοιχεία) είναι βασική προϋπόθεση για τον

έλεγχου της λειτουργίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων. Ο σωστός εξοπλισμός, η καλή οργάνωση του εργαστηρίου και η τήρηση των γενικών κανόνων δειγματοληψίας και ανάλυσης αποτελούν βασική προϋπόθεση για τον έλεγχο της λειτουργίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων. Προκειμένου να προσδιοριστεί η επεξεργασιμότητα των αποβλήτων και το βέλτιστο δυνατό σύστημα επεξεργασίας, είναι απαραίτητο να διερευνηθεί η ποιότητα και η μορφή των ρύπων και οι απαιτήσεις διάθεσης ανάλογα με τα θεσπισμένα όρια για τον αποδέκτη. Επίσης θα πρέπει οπωσδήποτε να μελετηθεί το σύστημα σε πειραματική μονάδα (pilot plant) και να διεξαχθούν εργαστηριακές δοκιμές (π.χ. jar tests) για τον προσδιορισμό των ειδικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων.

Οι ρυπαντικές ουσίες των βιομηχανικών αποβλήτων, ανάλογα με τις ιδιότητες τους, τη συμπεριφορά και την επίδρασή τους διακρίνονται σε φυσικές και χημικές. Οι φυσικοί ρυπαντές προσδίδουν στα απόβλητα χρώμα, οσμή και θολότητα. Παραδείγματα φυσικών ρυπαντών είναι αδιάλυτες ουσίες, (επιπλέουσες, αιωρούμενες, καθιζάνουσες), διαλυτές ουσίες (ζάχαρη, άλλες γλυκαντικές ύλες, αλάτι, διάφορα άλατα), κολλοειδείς ουσίες σε λεπτό καταμερισμό (ουσίες που κυρίως προσδίδουν θολότητα).

Στους χημικούς ρυπαντές των αποβλήτων ανήκουν οι ανόργανες ουσίες, (χλωριούχα ιόντα, φώσφορος, άζωτο, διάφορες τοξικές ενώσεις, βαρέα μέταλλα κλπ.), οργανικές ουσίες, (υδρογονάνθρακες, αλκοόλες, υδατάνθρακες, λίπη, έλαια, φαινόλες, πρωτεΐνες, παρασιτοκτόνα, εντομοκτόνα κλπ.), ραδιενεργά στοιχεία και ενώσεις τους. Η παρουσία των χημικών ρυπαντών στα απόβλητα επηρεάζει και αλλοιώνει τα βιολογικά και τα χημικά χαρακτηριστικά του νερού.

Ο τελικός βαθμός καθαρισμού / επεξεργασίας στον οποίο θα προχωρήσει μια συγκεκριμένη εγκατάσταση εξαρτάται από τον καθορισμό της χρήσης του αποδέκτη και τις νομικές απαιτήσεις που ισχύουν για την απόρριψη σε αυτόν (όρια εκπομπής ανά παράμετρο). Έτσι για παράδειγμα διαφορετική είναι η απαιτούμενη επεξεργασία όταν ο αποδέκτης είναι η εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων ή όταν αυτός είναι ένας φυσικός αποδέκτης όπως η θάλασσα ή ένα ποτάμι ή μια λίμνη.

3.2. Κονσερβοποίηση φρούτων - Παραγωγική διαδικασία

Τα τυπικά κονσερβοποιημένα φρούτα περιλαμβάνουν μήλα, ροδάκινα, ανανά, αχλάδια, βερίκοκα, φράουλες, βύσσινα, σταφύλια, κεράσια, βατόμουρα και εσπεριδοειδή. Οι τυπικοί χυμοί προέρχονται από εσπεριδοειδή, ανανά, γκρέιπφρουτ, μήλο, και βατόμουρο. Η επεξεργασία των φρούτων περιλαμβάνει διάφορα στάδια:

3.2.i. Το στάδιο της προετοιμασίας των φρούτων

Το πλύσιμο των πρώτων υλών απομακρύνει το χώμα, τη σκόνη, φυτοφάρμακα, μικρόβια, αποξηραμένους χυμούς, υπολείμματα φύλλων, ξένες ύλες κλπ. Επίσης, με το πλύσιμο που συνοδεύει τα επόμενα στάδια, επιτυγχάνεται η απομάκρυνση αδρομερών που έχουν προκύψει στα στάδια αυτά (π.χ. φλοιοί και σπόροι από τον τεμαχισμό και την αποφλοιώση) και των υπολειμμάτων που δεν απομακρύνθηκαν κατά την πρώτη πλύση

Η μεταφορά από τα σημεία εκφόρτωσης στις μονάδες επεξεργασίας επιτυγχάνεται με αγωγούς, αναβατόρια, δόνηση, κοχλίες μεταφοράς, προώθηση με αέρα, υδραυλική ροή, πίδακα αερίου κλπ. Στις περισσότερες περιπτώσεις το νερό χρησιμοποιείται εκτεταμένα κατά

την εσωτερική μεταφορά των πρώτων υλών, λόγω της οικονομικότητας της χρήσης του και της συνδυασμένης πλύσης και ψύξης που παρέχει. Βασικό μειονέκτημα αυτής της χρήσης του νερού είναι η «ρύπανσή» του με χυμούς, ζάχαρη, οξέα που προέρχονται από την πολτοποίηση της πρώτης ύλης και τη ζύμωση της. Όσο εντονότερη είναι η ροή του νερού τόσο περισσότερο ευνοούνται τα φαινόμενα απόσπασης των υλών από τους καρπούς.

Ο τεμαχισμός πραγματοποιείται συνήθως με μηχανικά μέσα και ακολουθεί η αφαίρεση πυρήνων και σπόρων (με κατάλληλο μηχανικό τρόπο, ανάλογα με το φρούτο ή το λαχανικό). Τμήματα του καρπού και εκροές χυμών καταλήγουν στα υγρά ή στερεά απόβλητα.

Η διαλογή (μηχανική ή χειρονακτική ή με οπτικά ή υδραυλικά μέσα) γίνεται βάσει μεγέθους και ποιότητας (βαθμός ωρίμανσης, πυκνότητα, εμφάνιση, χρώμα). Ακολουθεί η αφαίρεση μίσχων χειρονακτικά ή με μηχανικά μέσα και το καθάρισμα. Τμήματα του καρπού και εκροές χυμών καταλήγουν στα υγρά ή στερεά απόβλητα.

Η αποφλοιώση γίνεται για λόγους καθαριότητας (απομάκρυνση υπολειμμάτων που βρίσκονται πάνω στην φλούδα) ή για λόγους εμφάνισης του τελικού προϊόντος, γεύσης και καλύτερης πέψης. Επιτυγχάνεται με μηχανικό, θερμικό (χρήση θερμού νερού, ατμού, θερμού αέρα υπό πίεση) ή χημικό (χρήση καυστικής σόδας) τρόπο, που μαλακώνει τον φλοιό για την εύκολη απομάκρυνσή του με νερό υπό πίεση. Η χρήση καυστικής σόδας απαιτεί έκπλυση και ενδεχομένως εξουδετέρωση του βασικού pH του τροφίμου. Σ' αυτό το στάδιο μεταφέρονται σημαντικές ποσότητες συστατικών των φρούτων στα υγρά απόβλητα. Ωστόσο, μέσω ξηρής αποφλοιώσης το ρυπαντικό φορτίο του σταδίου της αποφλοιώσης εμφανίζεται μειωμένο κατά τουλάχιστον 60% καθώς γίνεται διαχωρισμός μέρους των στερεών κομματιών των φρούτων ούτως ώστε αυτά να μην καταλήξουν στα απόβλητα (Carawan κ.α. 1979). Παρόλα αυτά η

μέθοδος εγκαταλείφθηκε καθώς δημιουργούταν πρόβλημα διαχείρισης των στερεών αποβλήτων.

3.2.ii. Επεξεργασία των φρούτων.

Τα φρούτα μετά την αποφλοιώση οδηγούνται στο μηχάνημα ταξινομήσεως κατά μέγεθος, στη συνέχεια τοποθετούνται πάνω σε μεταφορική ταινία που κινείται αργά ώστε το φρούτο να υφίσταται διαλογή με το χέρι. Κομμάτια με κηλίδες, με μερική αποφλοιώση, με σύνθλιψη και γενικά ακατάλληλα απομακρύνονται. Το στάδιο της επεξεργασίας περιλαμβάνει επίσης τον τεμαχισμό, όπου το φρούτο παίρνει τη μορφή φετών καθώς και τη κυβοποίηση.

3.2.iii. Συσκευασία

Το στάδιο της συσκευασίας περιλαμβάνει πλύσιμο των κονσερβών ή γυάλινων δοχείων με νερό υπό πίεση, αποστείρωση και στράγγισμα. Ακολουθεί πλήρωση των δοχείων με το προϊόν, με αυτόματες μηχανές πλήρωσης η προσθήκη σιροπιού ή χυμού κατά περίπτωση. Μετά δημιουργείται κενό (πλήρωση με θερμό προϊόν, μηχανική άντληση του αέρα, αντικατάσταση του αέρα με ατμό) και τα δοχεία σφραγίζονται. Το στάδιο ολοκληρώνεται με παστερίωση (για μεγάλες συσκευασίες γίνεται μεμονωμένα παστερίωση κουτιού και περιεχόμενου) και ψύξη.

3.3. Χυμοί φρούτων

Με το πλύσιμο των φρούτων απομακρύνεται η σκόνη, και υπολείμματα αντιπαρασιτικών φαρμάκων και εντομοκτόνων. Το πλύσιμο είναι απαραίτητο γιατί ανεξάρτητα από την τοξικότητά τους οι ουσίες αυτές δύνανται να αλλοιώσουν το χρώμα και τη γεύση του χυμού.

Για την εξαγωγή των χυμών χρησιμοποιούνται μηχανήματα διαφόρων τύπων ανάλογα με το είδος των φρούτων και το είδος του επιθυμητού τελικού προϊόντος. Πρέπει να είναι κατασκευασμένα από υλικά ανθεκτικά σε οξέα (συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα) τόσο για την πρόληψη διαβρώσεώς τους όσο και για την αποφυγή αλλοιώσεων του χυμού από ορισμένα μέταλλα όπως ο Cu και ο Fe. Η διάταξη των μηχανημάτων γίνεται με τρόπο που να επιτρέπει τη γρήγορη επεξεργασία των κατεργαζόμενων φρούτων για να περιορισθεί η ανεπιθύμητη δράση ενζύμων, μικροοργανισμών και του ατμοσφαιρικού οξυγόνου.

Μετά την παραλαβή τους, οι χυμοί περιέχουν ανάλογα με τη μέθοδο εξαγωγής που χρησιμοποιήθηκε κυμαινόμενα ποσά ουσιών σε αιώρηση και σε κολλοειδή διασπορά. Με τις επεξεργασίες καθαρισμού επιδιώκεται αφενός η απομάκρυνση από τον ακατέργαστο χυμό των ανεπιθύμητων προσμίξεων όπως σπόρων, τμημάτων κυτταρικών μεμβρανών κλπ. και αφετέρου η λήψη χυμού με χαρακτηριστικά σταθερά και ανταποκρινόμενα στην τελική μορφή του παρασκευαζόμενου προϊόντος. Η διαδικασία καθαρισμού περιλαμβάνει φυσική καθίζηση, φυγοκέντριση, διαύγαση, διήθηση. Με την ομογενοποίηση επιτυγχάνεται κατάτμηση των αιωρούμενων σωματιδίων σε πολύ μικρά τμήματα. Πραγματοποιείται με διέλευση του χυμού σε θερμοκρασία 80 – 85 °C υπό μεγάλη πίεση μέσα από τις μικρές οπές των κεφαλών του ομογενοποιητού με αποτέλεσμα την ελάττωση των διαστάσεων των αιωρούμενων στερεών,

την αύξηση του ιξώδους και την παραλαβή χυμού ομοιογενούς, σταθερού και οργανοληπτικά ευχάριστου.

Όταν οι χυμοί περιέχουν διαλυμένο αέρα που σε μικρό ποσό μπορεί να προέρχεται από τους ιστούς των φρούτων αλλά που κατά κύριο λόγο ενσωματώνεται κατά τις κατεργασίες θραύσης των καρπών και εξαγωγής των χυμών τότε η παρουσία του οξυγόνου όχι μόνο επιταχύνει την οξείδωση των λευκοσιδηρών δοχείων συσκευασίας αλλά προκαλεί οξειδώσεις σε ευπαθή συστατικά του χυμού, όπως στη βιταμίνη C και σε ορισμένες αρωματικές και χρωστικές ουσίες. Η απαέρωση των χυμών μπορεί να γίνει με ροή τους σε λεπτό στρώμα ή με ψεκασμό τους μέσα σε απαερωτές που λειτουργούν υπό κενό ή ακόμη με απογύμνωσή τους με διαβίβαση αζώτου. Η απαέρωση εφαρμόζεται γενικά στους χυμούς τομάτας και εσπεριδοειδών, ενώ δεν γίνεται στους χυμούς μήλων και σταφυλιών, γιατί προκαλεί απώλεια μεγάλου ποσοστού του αρώματός του.

Η παστερίωση είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος συντήρησης των χυμών. Μεγαλύτερη εφαρμογή έχει η στιγμιαία παστερίωση συνήθως στους 95 – 97 °C επί 8-10 sec ακολουθούμενη από ταχεία ψύξη. Για παστεριωτές που έχουν τη δυνατότητα θέρμανσης σε υψηλότερη θερμοκρασία ο χρόνος παραμονής είναι μικρότερος. Όταν πρόκειται να παστεριωθούν στη φάση της τελικής συσκευασίας έτοιμοι προϊόντος που θα διατεθεί στην κατανάλωση, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθούν τεχνικές όπως παστερίωση μετά την συσκευασία, θερμή πλήρωση και αυτοαποστείρωση των δοχείων και στιγμιαία παστερίωση και ασηπτική συσκευασία. Η κατάψυξη είναι επίσης μια απλή μέθοδος συντήρησης.

Η προσθήκη αντισηπτικών συντηρεί τους χυμούς, είναι απλή μέθοδος αλλά όχι και η καλύτερη. Οι κυριότερες χρησιμοποιούμενες αντισηπτικές ουσίες είναι το διοξείδιο του θείου και το βενζοϊκό νάτριο.

Η συμπύκνωση των χυμών φρούτων (γίνεται με διάφορους τρόπους όπως με εξάτμιση υπό κενό, με αντίστροφη ώσμωση κλπ.) έχει σαν σκοπό περισσότερο την ελάττωση του βάρους τους για να διευκολυνθεί η μεταφορά και η αποθήκευσή τους και λιγότερο την προστασία τους από μικροβιακές προσβολές και αλλοιώσεις. Με την συμπύκνωση επιτυγχάνεται αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων ή σακχάρων των χυμών που πάνω από ορισμένη συγκέντρωση δρουν ως συντηρητικά.

Πέρα από τους φυσικούς χυμούς, υπάρχουν οι σακχαρούχοι χυμοί, τα σιρόπια φρούτων, νέκταρ φρούτων (ρευστά προϊόντα από κατεργασμένο και ομογενοποιημένο πολτό φρούτων στον οποίο έχει προστεθεί σιρόπι ζάχαρης) και οι αεριούχοι χυμοί οι οποίοι παρασκευάζονται με συμπίεση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε φυσικούς χυμούς ή σιρόπια φρούτων. Πολλές φορές οι αεριούχοι χυμοί δεν αποτελούνται εξολοκλήρου από φυσικό χυμό φρούτων αλλά μόνο κατά ποσοστό που είναι αραιωμένο με νερό στο οποίο έχει προστεθεί ζάχαρη και κιτρικό οξύ.

3.4. Κατανάλωση νερού στα κονσερβοποιεία

Η βιομηχανία επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών καταναλώνει μεγάλες ποσότητες νερού για τις ανάγκες της παραγωγικής διαδικασίας. Η κατανάλωση του νερού εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας (μεγαλύτερες μονάδες έχουν περισσότερες γραμμές παραγωγής), το είδος των διεργασιών που εφαρμόζονται στην παραγωγική διαδικασία (π.χ. αποφλοιώση, συμπύκνωση, πλύσιμο, υδρομεταφορά), την εφαρμογή συστημάτων ανακύκλωσης (π.χ. για τα νερά πλυσίματος της πρώτης ύλης, καθαρισμού του εξοπλισμού, ψύξης και συμπύκνωσης

του ατμού). Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατή η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση υδάτινων ρευμάτων που προέρχονται από διαδικασίες καθαρισμού, είτε στις ίδιες είτε σε διαφορετικές διεργασίες, ανάλογα με τις απαιτήσεις νερού κάθε διεργασίας. Σχετικά με την κατανάλωση νερού χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά στην καθαρότητα, στο οργανικό και θερμικό του φορτίο και γενικά στην καταλληλότητά του σε περιπτώσεις που έρχεται σε άμεση επαφή με τα προς επεξεργασία τρόφιμα.

Τα επίπεδα κατανάλωσης νερού, στη διεθνή βιβλιογραφία κυμαίνονται από 2,5-9 m³/tn προϊόντος, ενώ όσον αφορά τα ελληνικά δεδομένα, οι καταναλώσεις νερού στις βιομηχανίες επεξεργασίας φρούτων κυμαίνονται από 5 - 15 m³/tn προϊόντος. Η διακύμανση αυτή οφείλεται κύρια στη διαχείριση του καταναλισκόμενου νερού εντός της κάθε βιομηχανίας και στις εκροές νερού που προκύπτουν από τα διάφορα στάδια της παραγωγικής τους διαδικασίας. Τα πιο υδροβόρα είναι τα στάδια του πλυσίματος, της υδρομεταφοράς, της κοπής, της εκπυρήνωσης και αποφλοιώσης της πρώτης ύλης, της πλύσης, της αποστείρωσης και ψύξης των δοχείων και της πλύσης των δαπέδων.

Πίνακας 1 Απόβλητο νερό από τις διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας των φρούτων στα κονσερβοποιεία (Νταράκας 2006).

3.5. Απόβλητα κονσερβοποιείων

Η βιομηχανία κονσερβοποίησης φρούτων παράγει μεγάλους όγκους υγρών αποβλήτων τα οποία περιέχουν υψηλό οργανικό φορτίο, εξαρτώμενο κυρίως από την κατάσταση της πρώτης ύλης και τον τρόπο εκφόρτωσης και διακίνησής της. Οι βιομηχανίες παραγωγής χυμών και κομπόστας παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες παροχές αποβλήτων με υψηλή οργανική

φόρτιση (4-5 φορές μεγαλύτερα από τα αστικά απόβλητα). Η αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου απαιτεί μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων και συνήθως περισσότερα από ένα βιολογικά στάδια επεξεργασίας. Τυπικές συγκεντρώσεις αποβλήτων κονσερβοποίησης, σε οργανικό φορτίο και αιωρούμενα στερεά παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Στην εικόνα 1 παρουσιάζονται τα διάφορα μέρη ενός κονσερβοποιείου και η ισχύς των υγρών αποβλήτων που παράγουν.

	BOD	COD	TSS	TKN	Ptot
Αχλάδια	7000	2737±1182	97-1600		
Βερίκοκα	200-1000		200-400		
Δαμάσκηνα	250		70		
Κεράσια	700-2100		200-600		
Μήλα	1700-5500	1600-2500	300-600	73-114	0.6-1
Ροδάκινα	1200-2800	3852±795	450-750		
Φράουλες	1300		80		
Βύσσινα		1000-8000		3.3-55	0.1-10
TKN συνολικό άζωτο κατά Kjeldhal					
Ptot: συνολικά φωσφορικά					

Πίνακας : Τυπικές συγκεντρώσεις (mg/L) αποβλήτων βιομηχανιών επεξεργασίας φρούτων (Νταράκας 2006)

Οι τιμές BOD₅ είναι αυξημένες λόγω της παρουσίας ποικίλων βιοαποικοδομήσιμων οργανικών ουσιών που προέρχονται από την φυτική πρώτη ύλη. Ο τιμές του COD είναι

επίσης αυξημένες και οφείλονται κυρίως στην παρουσία βιολογικά μη οξειδώσιμων οργανικών ουσιών. Το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού φορτίου οφείλεται σε αιωρούμενα και σε κολλοειδούς διασποράς υλικά και σε μικρότερο ποσοστό σε διαλυμένα συστατικά. Τα αιωρούμενα και σε κολλοειδή διασπορά υλικά αντιπροσωπεύουν το 60 % περίπου του συνολικού BOD και το 70 % του COD. Γενικά, δεν περιέχονται τοξικές και επικίνδυνες ουσίες, σε ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις, ούτε παθογόνοι μικροοργανισμοί. Είναι όμως πιθανό να περιέχονται υπολείμματα εντομοκτόνων, που προέρχονται από το πλύσιμο των πρώτων υλών.

Ο όγκος και η ποιότητα των υγρών αποβλήτων εξαρτάται έμμεσα από τις καιρικές συνθήκες της περιοχής που επηρεάζουν την ποιότητα και την κατάσταση της πρώτης ύλης και μπορεί να εμφανίσει διακυμάνσεις μέσα σε μία περίοδο λειτουργίας της μονάδας ή ακόμα και μέσα σε διαστήματα της ίδιας μέρας. Γι' αυτό το λόγο οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων πρέπει να είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να αντιμετωπίζουν μεγάλους όγκους αποβλήτων σε έκτακτες καταστάσεις.

3.6. Υφιστάμενο νομικό πλαίσιο για τα υγρά απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων

Η κοινοτική οδηγία 91/271/EK (ΚΥΑ 5673/400/1997) αναφέρεται στα βιομηχανικά απόβλητα της βιομηχανίας βιοδιασπώμενων τροφίμων (πίνακας 3) και απαιτεί ότι τα εν λόγω λύματα θα βρίσκονται εντός ορίων τα οποία έχουν καθοριστεί με άλλους κανονισμούς ή με

ειδική εξουσιοδότηση¹. Φερ ειπείν, για τον Ν. Θεσσαλονίκης υπάρχει η Αποφ. 30/οικ. 2885/2010 του Νομάρχη Θεσσαλονίκης. Για οιαδήποτε βιομηχανία ούτως ή άλλως η απόφαση εξειδικεύεται περαιτέρω με την έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΑΕΠΟ) της συγκεκριμένης βιομηχανίας.

Παραδείγματος χάριν, σύμφωνα με την εν λόγω απόφαση, τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων αποβλήτων της βιομηχανίας στο σημείο εξόδου προς τον αποδέκτη θα πρέπει να είναι τα ακόλουθα:

$BOD_5 \leq 25\text{mg/l}$

$COD \leq 125\text{mg/l}$

$TSS \leq 35\text{mg/l}$

Οπότε η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των βιομηχανιών του πιν. 3 και άρα και των βιομηχανιών φρούτων, καθίσταται επιτακτική ούτως ώστε να τηρούνται τα όρια που έχουν τεθεί από τον νόμο. Επομένως θα εξεταστούν η βιομηχανία φρούτων, τα απόβλητα που παράγονται από αυτή καθώς και μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων της βιομηχανίας φρούτων.

Επεξεργασία Γάλακτος

Παραγωγή οπωροκηπευτικών προϊόντων

Παραγωγή και εμφιάλωση μη αλκοολούχων ποτών

Επεξεργασία πατάτας

Βιομηχανία κρέατος

¹ Αν και θα ήταν λογικό να υιοθετηθούν τα όρια της 91/271/ΕΚ, τα οποία ωστόσο είναι αυστηρότερα της ΑΕΠΟ.

Ζυθοποιία

Παραγωγή αλκοόλης και αλκοολούχων ποτών

Παραγωγή ζωοτροφών από φυτικά προϊόντα

Παραγωγή ζελατίνας και κόλας από δέρματα και οστά ζώων

Μονάδες παραγωγής βύνης

Μεταποιητική βιομηχανία ιχθύων

Πίνακας : Κατάλογος βιομηχανιών τροφίμων που αναφέρονται από την κοινοτική οδηγία 91/271/ΕΕΚ

3.7. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε βιομηχανίες επεξεργασίας φρούτων

Τα συνήθη στάδια για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι η απομάκρυνση των χονδρών στερεών (εσχαρισμός - κοσκίνισμα), η ρύθμιση του pH, η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων για μείωση του BOD₅, με αναερόβιες μεθόδους ή με χρήση δεξαμενών ενεργού ιλύος, αεριζόμενων ή αερόβιων λιμνών (lagoons) και χαλικοδιύλιση ή η διάθεση στο έδαφος, όπου είναι διαθέσιμες μεγάλες εκτάσεις γης (για ημιεπεξεργασμένα απόβλητα) και η απολύμανση.

Προαιρετικές, ανάλογα με την περίπτωση, μέθοδοι είναι η φυσική ή χημική καθίζηση, η επίπλευση και η αντίστροφη όσμωση. Απαραίτητη είναι επίσης η επιλογή κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας της ιλύος (πάχυνση, σταθεροποίηση, αφυδάτωση). Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνεται έλεγχος, ποιοτικός και ποσοτικός, των παραγόμενων αποβλήτων και ανάπτυξη πιο κατάλληλων και οικονομικών μεθόδων επεξεργασίας. Παρακάτω συνοψίζονται οι συνήθεις τεχνικές της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εστιάζοντας κυρίως στη βιομηχανία φρούτων και ειδικότερα στη βιομηχανία κομπόστας/χυμού ροδάκινου.

3.7.i. Συστήματα προεπεξεργασίας και πρωτογενούς επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βιομηχανιών τροφίμων

Εξισορρόπηση

Η εξισορρόπηση της ροής και η ομογενοποίηση των υγρών αποβλήτων των βιομηχανιών τροφίμων είναι αναγκαία προϋπόθεση για την αποδοτική λειτουργία των συστημάτων επεξεργασίας. Η εξισορρόπηση ροής μπορεί να αφορά στο σύνολο των παροχών από τις παραγωγικές διαδικασίες ή σε επιλεγμένες ροές που προέρχονται από ορισμένα στάδιά τους. Εξασφαλίζεται συνήθως σε δεξαμενές οι οποίες εξασφαλίζουν τον κατά μονάδα απαραίτητο υδραυλικό χρόνο παραμονής (π.χ. 3 - 10 ώρες).

Εσχάρωση

Οι αποδόσεις των διατάξεων αυτών εξαρτώνται από το άνοιγμα των σχαρών και την κατά μέγεθος κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων των αποβλήτων. Οι διατάξεις που συνήθως

χρησιμοποιούνται είναι μηχανικά αυτοκαθαριζόμενες με ικανότητα κατακράτησης σωματίων διαμέτρου από 0,2 ως 25 mm. Η απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών (SS) είναι της τάξης 5 – 20 % και η απομάκρυνση οργανικού φορτίου ως BOD5 της τάξης 0 ως 10 %. Μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται με πιο λεπτές σχάρες.

Εξάμμωση

Στοχεύει στον διαχωρισμό των κόκκων άμμου, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων αδρανών υψηλής πυκνότητας, με διάμετρο μεγαλύτερη από 200 μm που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών.

Ρύθμιση του pH

Τα απόβλητα των βιομηχανιών τροφίμων παρουσιάζουν αρκετές διακυμάνσεις του pH (3.5 - 12) λόγω των διαφόρων ενδιάμεσων ουσιών που ενδεχομένως χρησιμοποιούνται, καθώς και των παραγόντων έκπλυσης που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες. Τα όξινα απόβλητα εξουδετερώνονται συνήθως με την προσθήκη υδρασβέστου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ή NaOH . Η χρήση της υδρασβέστου παρουσιάζει οικονομικά πλεονεκτήματα, μειονεκτεί όμως λόγω της μεγάλης παραγωγής ιζημάτων. Τα αλκαλικά απόβλητα εξουδετερώνονται συνήθως με προσθήκη CO_2 , H_2SO_4 ή ακόμα με τη διοχέτευση απαερίων από τους ατμολέβητες που περιέχουν CO_2 και SO_2 . Η εξουδετέρωση γίνεται στη δεξαμενή ομογενοποίησης ή σε χωριστή μικρότερη δεξαμενή μετά την ομογενοποίηση και υπό συνθήκες πλήρους ανάδευσης και συνεχούς ελέγχου του pH. Η εξουδετέρωση της αλκαλικότητας με CO_2 πλεονεκτεί σε σχέση με αυτή με H_2SO_4 λόγω των μειωμένων συγκεντρώσεων θειικών στα απόβλητα, καλύτερων συνθηκών υγιεινής - ασφάλειας εργασίας, καλύτερου ελέγχου του pH και μικρότερου λειτουργικού κόστους. Η προσθήκη του CO_2 σε αέρια μορφή μπορεί να γίνει με εμφύσηση στον αγωγό

μεταφοράς των αποβλήτων προς την δεξαμενή συγκέντρωσης ή στη δεξαμενή συγκέντρωσης. Η πρόσδοση CO₂ στο σύστημα μπορεί να γίνει και σε υγρή μορφή μέσω των διατάξεων αερισμού (jet aeration).

Προσθήκη θρεπτικών αλάτων

Τα θρεπτικά άλατα (αζωτούχες και φωσφορικές ενώσεις) είναι απαραίτητα συστατικά για τη ζωή των βακτηρίων στη δεξαμενή αερισμού. Συνήθως η απαιτούμενη αναλογία θρεπτικών είναι της τάξης BOD:N:P 100:5:1. Γενικώς τα υγρά απόβλητα από βιομηχανίες χυμού είναι φτωχά σε θρεπτικά συστατικά (πιν. 2, N, P). Για αυτό το λόγο οι τιμές των θρεπτικών παρακολουθούνται τακτικά και προστίθενται αργότερα κατά την επεξεργασία των αποβλήτων (π.χ. σε μορφή NH₄Cl, Na₂PO₄).

Αφετέρου, η αλκαλικότητα των αποβλήτων αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη διαδικασία της νιτροποίησης. Για τις αναερόβιες διεργασίες δύναται να χρειαστεί αύξηση της αλκαλικότητας (πχ με προσθήκη NaHCO₃).

Πρωτοβάθμια καθίζηση

Η πρωτοβάθμια καθίζηση γίνεται σε δεξαμενές όπου τα στερεά καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Σε αρκετές εγκαταστάσεις η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι το μοναδικό είδος επεξεργασίας που γίνεται, ενώ σε άλλες εγκαταστάσεις, ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας που ακολουθεί, μπορεί να παραληφθεί.

3.7.ii. Συστήματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βιομηχανιών τροφίμων

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των βιομηχανιών τροφίμων ακολουθεί συνήθως την πρωτοβάθμια και αποσκοπεί στη περαιτέρω μείωση του διαλυτού

οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών, ενώ ακόμα μπορεί να στοχεύει στη μείωση των αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων, που μπορεί να υπάρχουν στα υγρά απόβλητα. Οι βιολογικές διεργασίες συνιστούν την κεντρική διεργασία μιας εγκατάστασης καθαρισμού υγρών αποβλήτων τροφίμων, δεδομένου ότι η ρύπανση στα απόβλητα είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος (~70 %) οργανικής προέλευσης.

Η βιολογική διεργασία βασίζεται κυρίως στη μετατροπή των διαλυμένων ενώσεων και των αιωρούμενων σωματιδίων σε μικροβιακή βιομάζα και στη συνέχεια στην απομάκρυνση της βιομάζας με καθίζηση. Σημειώνεται ότι η δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης και η ορθή της λειτουργία παίζει ιδιαίτερο ρόλο στη βιολογική επεξεργασία. Αφενός απομακρύνει την βιομάζα και αφετέρου με ανακύκλωσή της στον βιοαντιδραστήρα κρατάει την συγκέντρωση της βιομάζας μέσα στον αντιδραστήρα σε αναγκαίο επίπεδο ανάλογα με την μέθοδο. Οι διατάξεις, οι οποίες εξασφαλίζουν το βιολογικό καθαρισμό είναι συνδυασμός βιολογικού αντιδραστήρα και δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Οι βιολογικοί αντιδραστήρες χαρακτηρίζονται και διαστασιολογούνται από την ένταση και το είδος των διεργασιών (αερόβιοι, αναερόβιοι) ενώ οι διαυγαστήρες είναι κοινοί σε όλες τις περιπτώσεις. Από χημική άποψη οι βιολογικές διεργασίες κατατάσσονται σε δύο γενικές κατηγορίες: σε αερόβιες (οξειδωση, υγρή καύση, αερόβια χώνευση) και σε αναερόβιες (αναγωγή, αναερόβια χώνευση) αν και αρκετές φορές οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα στην ίδια εγκατάσταση επεξεργασίας ή ακόμα και στην ίδια δεξαμενή. Αντίστοιχα δημιουργούνται οι αερόβιοι ή αναερόβιοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι χρησιμοποιούν την οργανική ρύπανση ως τροφή ανάπτυξης. Οι μικροοργανισμοί που αποτελούνται από βακτήρια, πρωτόζωα κ.α. αποικοδομούν τους ρυπαντές παρουσία ή απουσία οξυγόνου για να παράγουν νέους μικροοργανισμούς και τελικά προϊόντα οξειδωσης ή αναγωγής.

Κύρια προϊόντα της οξειδωσης αερόβιου βιολογικού καθαρισμού είναι τα CO_2 , NO_3 , SO_4 , PO_4 και η αερόβια ενεργός ιλύς (βιομάζα). Τα βασικότερα προϊόντα της αναγωγής αναερόβιου βιολογικού καθαρισμού είναι τα CH_4 , CO_2 , H_2S , NH_3 και η αναερόβια ιλύς. Σε ενδιάμεσες καταστάσεις, αναπτύσσονται επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμοί, που μπορούν να αλλάζουν από τη μια κατάσταση στην άλλη σε συνθήκες παρουσίας ή απουσίας διαλυμένου οξυγόνου.

Ανάλογα με την τεχνολογία που εφαρμόζεται, η ποιότητα και η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος είναι διαφορετική. Η τεχνολογία παρατεταμένου αερισμού έχει τον χαμηλότερο συντελεστή παραγωγής ιλύος από τις αερόβιες επεξεργασίες, ενώ ο χαμηλότερος συντελεστής παραγωγής ιλύος από όλες τις βιολογικές επεξεργασίες απαντάται στην αναερόβια επεξεργασία. Η αναερόβια επεξεργασία χρησιμοποιείται σε βιολογικά συστήματα με βιολογικό φορτίο (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο - BOD) $>3000\text{mg/L}$ (οικονομικότερη σε αυτές τις περιπτώσεις), και παρουσιάζει μικρότερες αποδόσεις σε σχέση με την αερόβια βιολογική επεξεργασία. Η αερόβια επεξεργασία είναι η συνηθέστερη χρησιμοποιούμενη μέθοδος στις βιομηχανίες επεξεργασίας φρούτων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συνηθέστερα απαντώμενα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας για την επεξεργασία αποβλήτων βιομηχανίας τροφίμων. Οι τιμές των λειτουργικών χαρακτηριστικών είναι τυπικές τιμές σχεδιασμού συστημάτων για την επεξεργασία αστικών λυμάτων ή αποβλήτων που προσομοιάζουν με αυτά ως προς τη σύνθεση. Ενδεχομένως απαιτείται προσαρμογή για την εφαρμογή τους σε απόβλητα βιομηχανίας τροφίμων, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους (βιοαποικοδομησιμότητα, καθιζησημότητα ιλύος, σχέση C : N : P κλπ.).

3.8. Αερόβια επεξεργασία

Τα βασικά πλεονεκτήματα της αερόβιας επεξεργασίας είναι οι μικρές ανάγκες παρακολούθησης (σε συνθήκες συνεχούς λειτουργίας), τα μεγάλα ποσοστά απομείωσης οργανικού φορτίου που επιτυγχάνει και η ανθεκτικότητα σε διακυμάνσεις του οργανικού φορτίου. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της είναι η ενεργοβόρα διαδικασία του αερισμού, ήτοι της οξυγόνωσης των υγρών αποβλήτων.

Η βασική δράση που επιτελούν οι μικροοργανισμοί σε ένα αερόβιο σύστημα είναι η οξειδωση του οργανικού φορτίου προς CO₂. Η σημαντικότερη παράμετρος ελέγχου ενός τέτοιου συστήματος είναι ο λόγος τροφής προς βιομάζα (F/M) ο οποίος καθορίζει και τη φάση λειτουργίας του συστήματος αερισμού, δηλαδή τι μικροοργανισμοί θα αναπτυχθούν και τι απόδοση θα έχουν και συνεπώς τις απαιτήσεις τους σε οξυγόνο.

Τα συστήματα αερισμού μπορούν να διακριθούν σε συστήματα ανάπτυξης βιομάζας εν αιωρήσει (ή συστήματα ενεργού ιλύος) και συστήματα ανάπτυξης προσκολλημένης βιομάζας (π.χ. βιόφιλτρα). Ακολουθεί η περιγραφή ενός τυπικού συστήματος ενεργού ιλύος και ενός συστήματος Εξαναγκασμένης Ανοδικής Ροής Αναερόβιας Κλίνης Λάσπης (UASB ή ΕΑΡΑΚΛ).

3.8.i. Αερόβια συστήματα ενεργού ιλύος

Η διεργασία της ενεργού ιλύος (ή δραστικής λάσπης, activated sludge) τυπικά περιλαμβάνει μια δεξαμενή αερισμού (ΔΑ) όπου γίνεται και η βιολογική οξειδωση των οργανικών και μια δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης (ΔΔΚ) όπου καθιζάνουν οι μικροοργανισμοί (εικ. 3). Η διεργασία της ενεργού ιλύος αναπτύχθηκε το 1914 στην Αγγλία, από τους Arden και Lockett. Τα οργανικά λύματα εισέρχονται στην δεξαμενή αερισμού, όπου οξειδώνονται από μικροοργανισμούς. Το οξυγόνο παρέχεται είτε με διαχυτήρες είτε με

επιφανειακούς αεριστήρες. Η παροχή αερισμού εξασφαλίζει και την καλή ανάμιξη του υγρού που ονομάζεται ανάμικτο υγρό (mixed liquor). Η βιολογική οξείδωση οδηγεί σε ανάπτυξη μικροοργανισμών (αφομοίωση), που συνοδεύεται από παραγωγή μεταβολικών προϊόντων, CO_2 , NO_3^- και SO_4^{2-} .

Τα κυριότερα είδη μικροοργανισμών σε μία διεργασία ενεργού ιλύος είναι βακτήρια όπως *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*, αλλά και μύκητες νηματώδους μορφής όπως οι *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thothrix*, *Lecicothrix* και *Geotrichum*. Οι μικροοργανισμοί παράγουν λιποπολυσακχαρίτες και άλλες ουσίες που προκαλούν τη συσσωμάτωση τους σε κροκίδες (flocs) που αποτελούν την ενεργό ίλη. Η παρουσία των μυκήτων καθώς και νηματοειδών βακτηρίων επηρεάζει τα χαρακτηριστικά καθίζησης της ιλύος στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης δυσμενώς, μια και εμποδίζουν τον σχηματισμό κροκίδων με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά καθίζησης.

Η ιλύς αυτή απορροφά τα διαλυμένα και αιωρούμενα οργανικά (και ανόργανα) στερεά τα οποία και οξειδώνει βιολογικά. Τα συσσωματώματα (flocs) μικροοργανισμών συγκρατούνται μεταξύ τους με τη βοήθεια μιας διακυτταρικής πηκτής (gel). Τόσο το διαλυμένο οξυγόνο όσο και οι οργανικές ενώσεις (υπόστρωμα, substrate) διαχέονται μέσα στην πηκτή αυτή, φθάνουν στους μεμονωμένους μικροοργανισμούς, διαπερνούν το κυτταρικό τοίχωμα, μεταβολίζονται, και τα προϊόντα του μεταβολισμού (αέρια και νερό) διαχέονται έξω από την πηκτή προς το περιβάλλον. Ταυτόχρονα, οι νέοι μικροοργανισμοί που παράγονται, προστίθενται στην κυτταρική μάζα. Τα συσσωματώματα αυτά διατηρούνται σε αιώρηση μέσα στο

βιοαντιδραστήρα με τη βοήθεια εξωτερικής (μηχανικής) ανάδευσης, η οποία ταυτοχρόνως εξασφαλίζει και το απαιτούμενο οξυγόνο, μέσω μεταφοράς του στη διεπιφάνεια υγρού/αέρα και διάχυσης του στην κύρια μάζα του υγρού.

Λόγω αυτής της προαναφερθείσας διαμόρφωσης, οι εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος είναι αναδευόμενοι αντιδραστήρες. Επειδή η ανάδευση είναι αρκετά έντονη (αλλιώς τα συσσωματώματα θα καθιζάνουν και το σύστημα θα αστοχήσει), κατά την ανάλυση και το σχεδιασμό τους θεωρούνται δοχεία πλήρους ανάμειξης. Τυχόν αποκλίσεις από την ιδανική συμπεριφορά συνήθως ενσωματώνονται μέσα στην αβεβαιότητα των κινητικών συντελεστών και τα όρια αβεβαιότητας των μετρούμενων μεγεθών (BOD5 κ.ά.) λόγω της μεθόδου μέτρησής τους. Έχει παρατηρηθεί ότι για να έχει η ιλύς καλά χαρακτηριστικά καθίζησης, πρέπει να παραμένει στο σύστημα τουλάχιστον τέσσερις ημέρες. Οι βιολογικές κροκίδες που περιέχουν τους παραχθέντες μικροοργανισμούς καθιζάνουν σε ΔΔΚ και εν μέρει ανακυκλώνονται, ενώ το υπόλοιπο της ιλύος απομακρύνεται (περίσσεια ιλύος), για να αποφευχθεί συσσώρευση μικροοργανισμών.

Η ανακυκλοφορία επιτρέπει την διατήρηση μεγάλου χρόνου παραμονής των στερεών (solids retention time, SRT) σε σχέση με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (hydraulic retention time, HRT), μειώνοντας έτσι τον συνολικά απαιτούμενο όγκο για την επιθυμητή απομάκρυνση οργανικών.

3.9. Αναερόβια συστήματα

Σε αντίθεση με την αερόβια χώνευση, η οποία είναι κατά κύριο λόγο διεργασία που αποτελείται από ένα στάδιο, η αναερόβια χώνευση αποτελείται από μία σειρά αλυσιδωτών

ενεργειών, στις οποίες εμπλέκονται πολλά και διαφορετικά είδη μικροοργανισμών. Η αναερόβια χώνευση χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια : στην υδρόλυση, στην ζύμωση και στην μεθανογένεση (εικ. 4).

Οι χωνευτήρες UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) αποτελούν την τελευταία εξέλιξη των αναερόβιων χωνευτήρων και έχουν επικρατήσει ιδιαίτερα στην βιομηχανική πρακτική επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Όλη η τεχνική των UASB βασίζεται στη συσσωμάτωση της μικροβιακής μάζας δημιουργώντας μία κοκκώδη λάσπη με μεγάλη οριακή ταχύτητα καθίζησης. Η κοκκώδης αυτή λάσπη, λόγω βαρύτητας, συσσωρεύεται στον πυθμένα του χωνευτήρα σχηματίζοντας μία κλίνη λάσπης (Sludge Bed). Το υγρό απόβλητο, με εξαναγκασμένη ανοδική ροή (Upflow), διέρχεται μέσα από τη κλίνη αυτή και αποδομείται. Η αποτελεσματική ανάπτυξη, επομένως, της κοκκώδους λάσπης αποτελεί το κλειδί της επιτυχούς λειτουργίας ενός χωνευτήρα UASB. Ο σχηματισμός κοκκώδους λάσπης είναι μια φυσική, χημική και βιολογική διεργασία.

Οι αντιδραστήρες τύπου UASB έλυσαν πολλά προβλήματα ως προς την τεχνολογική εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης, όμως υπάρχουν ακόμα μερικά ουσιαστικά προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν στους αντιδραστήρες UASB ώστε η εφαρμογή τους να καταστεί βιώσιμη και ανταγωνιστική των αερόβιων βιολογικών συστημάτων για την επεξεργασία όλων των υγρών αποβλήτων. Χαρακτηριστική είναι η έρευνα που πραγματοποιείται τελευταία για την χρήση αυτού του τύπου αντιδραστήρα/ μεθόδου δευτεροβάθμιας επεξεργασίας σε απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων (Austermann κ.α. 1997, Diamantis κ. Aivasidis 2004, Lettinga κ. Hulshoff 1991, Μάη 2006).

3.10. Συστήματα χημικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βιομηχανιών τροφίμων

Η χημική οξείδωση (και δευτερευόντως αναγωγή) εφαρμόζεται κυρίως για την επεξεργασία μη βιοδιασπώμενων αποβλήτων και στοχεύει στη μετατροπή συγκεκριμένων ρύπων, μετά από χρήση του κατάλληλου χημικού μέσου, σε ουσία λιγότερο επικίνδυνη ή καλύτερα βιοδιασπώμενη.

Η χημική κατακρήμνιση εφαρμόζεται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών που δεν απομακρύνονται με απλή καθίζηση. Βασικό χαρακτηριστικό της είναι οι αυξημένες ποσότητες της ιλύος που προκύπτουν που οφείλονται τόσο στην προσθήκη χημικών και στα σχηματιζόμενα ιζήματα, όσο και στην αυξημένη απομάκρυνση στερεών. Οι ποσότητες ιλύος από χημική επεξεργασία εξαρτώνται από το χρησιμοποιούμενο χημικό και τη δόση του, τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και την απόδοση των διαδικασιών επεξεργασίας.

Ανάλογα με το είδος των αποβλήτων, η εφαρμογή αυτού του τύπου των διεργασιών μπορεί να είναι σε αρχικό ή σε τελικό στάδιο ενός συστήματος επεξεργασίας ή ακόμη να είναι το κύριο στάδιο επεξεργασίας. Κατά την εφαρμογή σε αρχικό στάδιο, μπορεί να επιδιώκεται η μείωση του λόγου COD / BOD (και επομένως η αύξηση της βιοαποικοδομησιμότητας των αποβλήτων), σε επίπεδα τέτοια ώστε να αποδίδει ικανοποιητικά η βιολογική επεξεργασία. Συχνά όμως, το είδος ρύπανσης ορισμένων αποβλήτων επιβάλλει την επεξεργασία τους με χημική μέθοδο καθώς η επεξεργασία τους με βιολογική μέθοδο είναι είτε οικονομικά ασύμφορη είτε αδύνατη. Οι συχνότερα εφαρμοζόμενες μέθοδοι αφορούν οξείδωση ή αναγωγή των ρύπων και χημική κατακρήμνιση - κροκίδωση. Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την καταβύθιση σωματιδίων ή κολλοειδών και επομένως την αφαίρεσή τους από

την υδατική φάση. Συνήθως η μονάδα κροκίδωσης συνοδεύεται από χωριστή μονάδα καθίζησης για την καταβύθιση των σχηματιζόμενων κροκίδων. Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για την (αυξημένη) ποσότητα παραγόμενης ιλύος.

3.10.i. Κροκίδωση - κατακρήμνιση

Η κροκίδωση για την κατακρήμνιση των ρύπων (αιωρούμενα, κolloειδή) και στη συνέχεια η απομάκρυνσή τους σε δεξαμενές καθίζησης, ως διάταξη τριτοβάθμιας επεξεργασίας, αποσκοπεί στην περαιτέρω απομάκρυνση οργανικού φορτίου ως COD. Για την κροκίδωση, η οποία εξασφαλίζει και την κατακρήμνιση των ρύπων χρησιμοποιούνται συνήθως το θειικό αργίλιο ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), τα άλατα του σιδήρου ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ και $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) και η υδράσβεστος ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Η θρόμβωση δημιουργεί όμως σημαντικές ποσότητες ιζημάτων, ο όγκος και η μάζα των οποίων εξαρτώνται από το μέγεθος του οργανικού φορτίου που απομακρύνεται και της δόσης των χημικών που χρησιμοποιούνται. Σε κάθε περίπτωση η παραγωγή ιζημάτων στην τριτοβάθμια επεξεργασία είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη της πρωτοβάθμιας. Επιπλέον τα ιζήματα περιέχουν κυρίως ανόργανα συστατικά και μικρό κλάσμα οργανικών ενώσεων, με αποτέλεσμα να αφυδατώνονται με σχετική ευκολία.

3.11. Συστήματα διάθεσης υγρών αποβλήτων βιομηχανιών τροφίμων

3.11.i. Επιφανειακή απορροή

Εφαρμόζεται σε μη υδροπερατά και κεκλιμένα εδάφη, με τη χρήση φυτών με αντοχή στην υγρασία (π.χ. καλάμια).

3.11.ii. Μέθοδος διήθησης

Εφαρμόζεται σε υδροπερατά εδάφη και η μείωση του οργανικού φορτίου επιτυγχάνεται με φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές δράσεις μέσα στο έδαφος.

3.11.iii. Άρδευση με ψεκασμό

Η χρήση επεξεργασμένων (ή ημιεπεξεργασμένων) υγρών βιομηχανικών αποβλήτων από βιομηχανίες τροφίμων στη γεωργία, με ψεκασμό, είναι η πλέον συνηθισμένη πρακτική σε πολλές χώρες της Ευρώπης και στις ΗΠΑ. Ωστόσο, οι απαιτήσεις της ποιότητας των επεξεργασμένων αποβλήτων είναι λίαν υψηλότερες από τις αντίστοιχες διάθεσης σε υγρό αποδέκτη.

3.11.iv. Διάθεση σε σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων

Η διοχέτευση υγρών βιομηχανικών αποβλήτων (ενδεχομένως μετά από μερική προεπεξεργασία, σύμφωνα με θεσπισμένα όρια) σε δίκτυα των τοπικών επιχειρήσεων αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) ή δίκτυα αποχέτευσης Βιομηχανικών Περιοχών (ΒΙΠΕ) είναι μια δόκιμη μέθοδος ενδιάμεσης διάθεσης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να συνυπολογιστεί και το κόστος του τελικού καθαρισμού των αποβλήτων πριν την διάθεσή τους στον τελικό αποδέκτη, το οποίο επιβαρύνεται η βιομηχανία ως ανταποδοτικό τέλος.

3.12. Βιόφιλτρα

Τα Βιόφιλτρα ή χαλικοδιυλιστήρια ή βιολογικά φίλτρα ή βιολογικοί πύργοι ή σταλάζοντα φίλτρα είναι μια μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εναλλακτική ως προς την μέθοδο της ενεργού ιλύος. Το βιολογικό φίλτρο όπως και το σύστημα ενεργού ιλύος έχει σαν στόχο την απομάκρυνση των οργανικών ουσιών από τα απόβλητα με τις διαδικασίες οξειδωσης και

σύνθεσης. Τα βιόφιλτρα είναι βιοαντιδραστήρες μη αιωρούμενης βιομάζας προσκολλημένης σε μη-εμβυθιζόμενο πληρωτικό υλικό (χαλίκια ή πλαστικό). Ενώ στο σύστημα ενεργού ιλύος η βιομάζα βρίσκεται σε αιώρηση, στα βιολογικά φίλτρα οι μικροοργανισμοί είναι προσκολλημένοι στο πληρωτικό υλικό.

Τα βιολογικά φίλτρα έχουν μορφή κυκλικής κλίνης πληρωμένης με ένα πορώδες υλικό, πάνω στο οποίο αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί. Τα απόβλητα διανέμονται στην επιφάνεια του φίλτρου και κατά την κάθοδό τους μέσα από τους πόρους του υλικού πλήρωσης, έρχονται σε επαφή με τη βιομάζα, η οποία διασπά ένα μέρος του οργανικού των φορτίου. Στη συνέχεια, εισέρχονται από τα ανοίγματα του δαπέδου στο υποκείμενο σύστημα αποχέτευσης και μέσω διώρυγας οδηγούνται στη δεξαμενή καθίζησης. Η ύπαρξη της δεξαμενής καθίζησης είναι αναγκαία² για το διαχωρισμό της βιομάζας που λόγω υπερβολικής ανάπτυξης αποκολλάται περιοδικά από την επιφάνεια του υλικού πλήρωσης του φίλτρου και συμπαρασύρεται με τα επεξεργασμένα απόβλητα. Μία άλλη σημαντική διαφορά σε σχέση με το σύστημα ενεργού ιλύος έγκειται στον τρόπο διατήρησης των αερόβιων συνθηκών. Αντίθετα με το σύστημα ενεργού ιλύος, στα βιολογικά φίλτρα το οξυγόνο παρέχεται με φυσικό τρόπο με την κυκλοφορία του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα από τα κενά του φίλτρου.

3.12.i. Πληρωτικό υλικό

Το ιδανικό υλικό πλήρωσης των βιολογικών φίλτρων θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- μεγάλη ειδική επιφάνεια,

² Η τροφοδοσία υψηλής συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών στο βιόφιλτρο θα προκαλέσει συσσώρευση τους στα διάκενα του πληρωτικού υλικού και επακόλουθη υπερβολική αύξηση της πτώσης πίεσης με αποτέλεσμα την αστοχία και τελικώς την κατάρρευση του συστήματος

- επιτρέπει ομοιόμορφη ροή των αποβλήτων σαν ένα λεπτό στρώμα πάνω από τη βιομάζα,
- έχει αρκετά κενά για την κυκλοφορία του αέρα και την απομάκρυνση των αποκολλώμενων μικροοργανισμών,
- βιολογικά αδρανές,
- χημικά σταθερό και
- ανθεκτικό

Τα βιολογικά φίλτρα με χαλίκια είναι προγενέστερα του συστήματος ενεργού ιλύος. Το πρώτο φίλτρο κατασκευάστηκε στην Αγγλία το 1893. Τα τυπικά βιολογικά φίλτρα αποτελούνταν από θραυστό υλικό μεγέθους 2,5- 10 cm με πιο συνηθισμένο μέγεθος τα 5 cm. Η ειδική επιφάνεια του υλικού πλήρωσης ήταν περίπου $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ με 50% ποσοστό κενών. Όσο μικρότερο ήταν το μέγεθος των χαλικιών τόσο αυξάνει η ειδική επιφάνεια, αλλά μικραίνει το ποσοστό κενών.

Ένα κοινό γνώρισμα των βιολογικών φίλτρων με χαλίκια είναι το μικρό τους βάθος και η καθοριστική σημασία της επιφάνειας του φίλτρου. Αυτό οφείλεται στο μικρό ποσοστό κενών των χαλικιών. Η δυσκολία εξασφάλισης διαθέσιμης γης και το υψηλό κόστος απόκτησής της, αποτέλεσαν το κίνητρο ερευνών για την εξεύρεση νέων υλικών πλήρωσης των βιολογικών φίλτρων. Οι έρευνες αυτές οδήγησαν στην εμφάνιση των πλαστικών φίλτρων, στη δεκαετία του 1960.

Τα διάφορα πλαστικά μέσα πλήρωσης των φίλτρων έχουν ειδικές επιφάνειες αντίστοιχες με τις ειδικές επιφάνειες των φίλτρων χαλικιού (περίπου $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$) ή σημαντικά μεγαλύτερες

(μέχρι $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Δύο όμως είναι οι σημαντικές διαφορές τους, το ποσοστό κενών, που κυμαίνεται μεταξύ 93% και 95% (σε σύγκριση με το 50% των φίλτρων χαλικιού) και το βάρος τους που είναι πολύ μικρότερο. Το υψηλό ποσοστό κενών επιτρέπει την επεξεργασία ισχυρών αποβλήτων χωρίς κίνδυνο έμφραξης καθώς και καλλίτερη διακίνηση του οξυγόνου. Έτσι είναι δυνατόν να αυξηθεί το ωφέλιμο βάθος του φίλτρου και κατά συνέπεια να μειωθεί η επιφάνεια.

4.

4.1.i. Γενικές αρχές βιολογικών φίλτρων

Μια γλοιώδης στριβάδα αναπτύσσεται στα τοιχώματα του πληρωτικού υλικού. Ένας πλήθος μικροοργανισμών απαντάται σε αυτή τη γλοιώδη στριβάδα: βακτήρια, μύκητες, άγη πρωτόζωα και κυρίως επαμφοτερίζοντα αναερόβια βακτήρια. Η αποκόλληση σε μικρή κλίμακα της γλοιώδους στριβάδας στα ταχύρυθμα πλαστικά φίλτρα οφείλεται κυρίως στις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται λόγω ροής.

Το οξυγόνο διαχέεται από την αέρια μάζα στην υδατική και, ως διαλυμένο πια, μεταφέρεται μέσω της κύριας μάζας του αποβλήτου στο προσκολλημένο βιοφίλμ. Ταυτόχρονα με τις διαλυμένες οργανικές ουσίες που έχουν περάσει κι αυτές από την υδατική φάση στο βιοφίλμ εισέρχεται μέσα στους μικροοργανισμούς και καταναλώνεται/αντιδρά μέσω των βιοχημικών δράσεων. Τα παραγόμενα αέρια προϊόντα διαχέονται μέσω της υδατικής φάσης στην αέρια και απομακρύνονται. Οι παραγόμενοι νέοι μικροοργανισμοί προσκολλώνται και συγκρατούνται στο βιοφίλμ. Οι απενεργοποιούμενοι και τελικά νεκροί μικροοργανισμοί χάνουν

την ικανότητα πρόσφυσης στο πληρωτικό υλικό, αποκολλώνται και παρασύρονται/απομακρύνονται με την υδατική φάση λόγω ροής.

Το βραδύτερο στάδιο για τα διαλυτά οργανικά είναι η διάχυση στη βιολογική στοιβάδα ενώ για τα αιωρούμενα η υδρόλυση. Η απομάκρυνση των διαλυτών στερεών συσχετίζεται περισσότερο με το σχήμα του πληρωτικού υλικού παρά με την ειδική επιφάνειά του (υγρό οριακό στρώμα). Αύξηση του υδραυλικού φορτίου οδηγεί σε ελάττωση του οριακού στρώματος, ήτοι επιτάχυνση της διάχυσης/ βιοαποικοδόμησης καθώς και σε αύξηση της συγκέντρωσής των οργανικών στην έξοδο. Ο ρυθμός βιοαποικοδόμησης των διαλυτών οργανικών ανά μονάδα επιφάνειας του βιόφιλτρου ελαττώνεται καθώς αυξάνεται το βάθος. Τα κολλοειδή στερεά προσροφώνται στη βιολογική στοιβάδα και την αδρανοποιούν. Η αδρανοποίηση ελαττώνεται με το βάθος του βιόφιλτρου.

4.1.ii. Ταχύφιλτρα - Επανακυκλοφορία

Σε μία προσπάθεια για να ξεπεραστούν οι αδυναμίες των βιολογικών φίλτρων κατά την δεκαετία του 1930, καθιερώθηκε η επανακυκλοφορία μέρους ή του συνόλου της τελικής εκροής δια μέσου του φίλτρου, όταν ορισμένοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι αυξάνοντας με τη μέθοδο αυτή την υδραυλική φόρτιση, μπορούσε να βελτιωθεί η ικανότητα επεξεργασίας σχετικά ισχυρών αποβλήτων χωρίς τον κίνδυνο έμφραξης. Η εφαρμογή της επανακυκλοφορίας καθιέρωσε έναν νέο τύπο βιολογικού φίλτρου με χαλίκια, το ταχυφίλτρο, σε αντιδιαστολή με τον καθιερωμένο μέχρι τότε τύπο, το βραδυφίλτρο. Όπως φαίνεται και από την ονομασία τους, τα ταχυφίλτρα λειτουργούν με πολύ αυξημένες υδραυλικές φορτίσεις (10-40 m³/m².d), αλλά και πολύ μεγαλύτερα οργανικά φορτία (0.4-4.8 Kg BOD/m³/d).

Δύο συνήθως είναι οι χρησιμοποιούμενοι τρόποι επανακυκλοφορίας στα βιόφιλτρα. Ο πρώτος τρόπος συνίσταται σε επανακυκλοφορία επεξεργασμένων αποβλήτων που περιέχουν και μικροοργανισμούς σε αιώρηση (που έχουν προκύψει από την αποκόλλησή τους από το βιολογικό φίλτρο). Στην περίπτωση αυτή η επανακυκλοφορία γίνεται είτε από τον πυθμένα της δεξαμενής τελικής καθίζησης ή από κάποιο σημείο μεταξύ φίλτρων και δεξαμενής καθίζησης. Ο δεύτερος τρόπος είναι με επανακυκλοφορία της εκροής από τη δεξαμενή καθίζησης.

Οι τρόποι με τους οποίους η ανακυκλοφορία επηρεάζει τους κυριότερους παράγοντες λειτουργίας του φίλτρου μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

α) Μικροοργανισμοί: Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση της επανακυκλοφορίας από κάποιο σημείο μεταξύ φίλτρων και δεξαμενής καθίζησης, στο επανακυκλοφορούμενο υγρό υπάρχουν μικροοργανισμοί σε αιώρηση που υποβοηθούν τη διάσπαση της τροφής. Δηλαδή το φίλτρο στην περίπτωση αυτή δουλεύει και σαν αντιδραστήρας ενεργού ιλύος.

β) Συγκέντρωση Τροφής στα Απόβλητα: Η επανακυκλοφορία συντελεί στην αραίωση των αρχικών αποβλήτων. Τα θετικά αποτελέσματα της δράσης αυτής έγκεινται στη δυνατότητα επεξεργασίας ισχυρών αποβλήτων ή αποβλήτων με σχετικά υψηλές αρχικές συγκεντρώσεις ουσιών ανασταλτικών για τις βιολογικές διεργασίες που με την επανακυκλοφορία μειώνονται.

γ) Υδραυλικός χρόνος παραμονής: Η επίδραση της επανακυκλοφορίας στο χρόνο επαφής τροφών-μικροοργανισμών είναι θετική καθώς με την αύξηση της υδραυλικής φόρτισης ο συνολικός χρόνος παραμονής αυξάνεται με την επανατροφοδότηση του φίλτρου με τα επεξεργασμένα απόβλητα.

δ) Καθεστώς ροής: Με την αυξημένη υδραυλική φόρτιση, λόγω επανακυκλοφορίας, μειώνεται η αντίσταση στη μεταβίβαση της τροφής από την υγρή φάση (απόβλητα) στους προσκολλημένους μικροοργανισμούς. Επομένως αν η ταχύτητα μεταβίβασης (διαλυμένο BOD) και όχι η ταχύτητα βιοδιάσπασης (στερεά) είναι η κρίσιμη, η επανακυκλοφορία είναι δυνατόν να επιταχύνει την απομάκρυνση των τροφών. Επιπρόσθετα, με την αυξημένη υδραυλική φόρτιση, γίνεται καλλίτερη κατανομή της τροφής και καλλίτερη αξιοποίηση όλου του βάθους του φίλτρου.

ε) Εξομάλυνση διακυμάνσεων: Όταν η επανακυκλοφορία γίνεται από τον πυθμένα ή από σημείο μεταξύ του φίλτρου και της καθίζησης, επιτυγχάνεται κάποια εξομάλυνση των ημερήσιων διακυμάνσεων του φορτίου. Μετά τη διέλευση από τη καθίζηση, οι διακυμάνσεις εμφανίζονται μειωμένες και με υστέρηση σε σχέση με τις διακυμάνσεις των αρχικών αποβλήτων. Έτσι με τη επανακυκλοφορία επιτυγχάνεται εξισορρόπηση της φόρτισης του φίλτρου, με αποτέλεσμα τη βελτίωση του μέσου βαθμού απόδοσης, αλλά και τη μείωση των αποκλίσεων από τη μέση τιμή.

Όπως φαίνεται από τα προαναφερθέντα, η επανακυκλοφορία έχει θετικές επιπτώσεις στη λειτουργία των βιολογικών φίλτρων για βιομηχανικά απόβλητα. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται ότι εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες της κάθε περίπτωσης. Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν για τα χαρακτηριστικά των δύο τύπων φίλτρων (βραδύφιλτρα-ταχύφιλτρα) συμπεραίνεται ότι:

α) Ο βαθμός απόδοσης των ταχυφίλτρων κυμαίνεται από 65-80%, ενώ των βραδύφίλτρων από 80-85%

β) Στα ταχυφίλτρα δεν πραγματοποιείται ουσιαστική νιτροποίηση.

γ) Ενώ τα ταχυφίλτρα μπορούν να δεχτούν περίπου 10πλάσια οργανικά φορτία, η καθαρή υδραυλική φόρτιση (αν αφαιρέσουμε την επανακυκλοφορία) είναι μόνο 2.5-5 φορές μεγαλύτερη από τα βραδύφιλτρα.

δ) Για σχετικά αδύνατα απόβλητα το βραδύφιλτρο μπορεί να επιτύχει πολύ καλή ποιότητα εκροής ($\approx 20 \text{ mg/l}$) καθώς και νιτροποίηση. Αν υπάρχει περιορισμός έκτασης και εφόσον δεν επιλεγεί άλλο σύστημα βιολογικού καθαρισμού, είναι εξεταστέα η εναλλακτική λύση του ταχυφίλτρου, με επανακυκλοφορία κατά προτίμηση από τον πυθμένα της δεξαμενής τελικής καθίζησης ΔΤΚ.

ε) Για ισχυρά απόβλητα, το βραδύφιλτρο είναι ακατάλληλο λόγω του κινδύνου έμφραξης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν όμως ταχυφίλτρα που με την επανακυκλοφορία αραιώνουν την ισχύ των αρχικών αποβλήτων. Το σύστημα αυτό συνήθως επιτυγχάνει χαμηλότερο βαθμό απόδοσης. Για τη βελτίωση της εκροής είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και δεύτερη βαθμίδα επεξεργασίας σε σειρά που μπορεί να είναι βραδυφίλτρο ή άλλο σύστημα βιολογικής επεξεργασίας.

στ) Τόσο το βραδυφίλτρο όσο και το ταχυφίλτρο μπορούν να αποτελέσουν τμήμα ενός συστήματος βιολογικής επεξεργασίας πολλών βαθμίδων. Το βραδυφίλτρο μπορεί να αποτελεί την τελευταία βαθμίδα επεξεργασίας, με σκοπό τον περαιτέρω καθαρισμό ενός προεπεξεργασμένου αποβλήτου (μεγαλύτερη απομάκρυνση του BOD, νιτροποίηση). Το ταχυφίλτρο μπορεί να αποτελέσει το πρώτο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας, με σκοπό τον μερικό καθαρισμό των αποβλήτων που στη συνέχεια θα υποστούν πλέον επεξεργασία με άλλο σύστημα βιολογικού καθαρισμού.

Η ανακυκλοφορία του αποβλήτου έχει μικρή επίδραση στο συνολικό καθαρισμό του αποβλήτου. Η σημαντικότερη επίδραση της επανακυκλοφορίας στα ταχυφίλτρα χαλικιών ήταν

η αραίωση της τροφής, και η αποφυγή έμφραξης του φίλτρου. Για τα πλαστικά φίλτρα με το μεγάλο ποσοστό κενών τέτοιο πρόβλημα δεν υπάρχει και επομένως από πρώτη άποψη η εφαρμογή επανακυκλοφορίας φαίνεται περιττή. Εν τούτοις, συνήθως εφαρμόζεται τόσο για τις άλλες ευνοϊκές επιδράσεις της (π.χ. εμπλουτισμός των αποβλήτων με αιωρούμενους οργανισμούς) όσο, και αυτός είναι ο κύριος λόγος, για την διατήρηση ενός ελάχιστου απαιτητού υδραυλικού φορτίου. Η απαίτηση αυτή έχει σαν σκοπό την διατήρηση μιας ενεργής βιομάζας σε όλο το βάθος του φίλτρου, διαφορετικά δημιουργούνται τοπικές περιοχές μη διαβροχής αδρανοποιώντας τη βιολογική ιλύ. Η ελάχιστη αυτή παροχή διαβροχής καθορίζεται από τους κατασκευαστές του πλαστικού υλικού. Συνήθως κυμαίνεται $0.3-0.7L/m^2 \cdot sec$.

4.1.iii. Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου

Αν και έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες για την κατασκευή βάσιμων ορθολογικών μαθηματικών προβλέψεων του βιολογικού φίλτρου, η πολυπλοκότητα των διεργασιών που επιτελούνται δεν έχει επιτρέψει την καθιέρωση βάσιμων σχεδιαστικών μοντέλων. Έτσι, οι λειτουργικές συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για σχεδιασμό, ακόμα και σήμερα έχουν εμπειρικό χαρακτήρα. Δύο παράμετροι που έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης του βιολογικού φίλτρου είναι το υδραυλικό φορτίο (εκφρασμένο σε m^3 αποβλήτων/ m^2 επιφάνειας και ημέρα) και το οργανικό φορτίο (εκφρασμένο σε Kg BOD/ m^3 φίλτρου και ημέρα). Για έναν ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης (περίπου 80%- 95%) η υδραυλική φόρτιση πρέπει να κυμαίνεται από $1-4 m^3/m^2 \cdot d$ και το οργανικό φορτίο από $0,1-0,4 Kg$ BOD/ $m^3 \cdot d$.

Για ισοδύναμους βαθμούς απόδοσης (65-80%) η ανά μονάδα όγκου φόρτιση των πλαστικών φίλτρων δεν διαφέρει από την αντίστοιχη φόρτιση των ταχυφίλτρων ($0.4-4.8 Kg/m^3$

d). Σε ότι αφορά όμως την επιφανειακή φόρτιση αυτή μπορεί να είναι 5-6 φορές μεγαλύτερη στα πλαστικά φίλτρα λόγω της δυνατότητας κατασκευής και αξιοποίησης φίλτρων με πολύ μεγαλύτερα βάθη. Η διαφορά επομένως έγκειται στην απαιτούμενη επιφάνεια. Η επιλογή του πλαστικού μέσου συνήθως γίνεται όταν το οικονομικό όφελος από την μείωση της επιφάνειας υπερβαίνει το υψηλό κόστος του πλαστικού υλικού αλλά και τις αυξημένες δαπάνες επανακυκλοφορίας λόγω μεγαλύτερου βάθους. Το πλαστικό φίλτρο έχει επίσης δυνατότητες εφαρμογής και για ιδιαίτερα υψηλές οργανικές φορτίσεις (πιθανόν λόγω ιδιαίτερα ισχυρών αποβλήτων) χωρίς κίνδυνο έμφραξης, δυνατότητα που δεν έχουν τα ταχυφίλτρα χαλικιών. Είναι λοιπόν προφανές ότι τα φίλτρα αυτά (Roughing Filters) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μερική επεξεργασία (π.χ. ισχυρών βιομηχανικών αποβλήτων πριν την διοχέτευσή τους στο σύστημα αποχέτευσης) ή για προεπεξεργασία πριν από τον τελικό καθαρισμό με άλλο σύστημα.

Η ευρέως χρησιμοποιούμενη σήμερα σχέση για το σχεδιασμό των βιοφίλτρων είναι αυτή που πρότεινε το 1963 ο Eckenfelder:

$$\frac{S_0}{S_e} = e^{\left(\frac{-K \cdot Z}{Q_t} \right)}$$

(1)

όπου:

S₀ η συγκέντρωση BOD₅ στην είσοδο του φίλτρου

S_e η συγκέντρωση BOD₅ στην έξοδο του φίλτρου

K «σταθερά α" τάξης» που δίνεται από τη σχέση $K=k \cdot A_s$ με k κινητική σταθερά και A_s την

ειδική επιφάνεια του πληρωτικού υλικού που είναι διαθέσιμη για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών

Z το βάθος του φίλτρου

n σταθερά και

Q_A η υδραυλική φόρτιση, m^3/m^2d . στην περίπτωση όπου υπάρχει ανακυκλοφορία, η υδραυλική φόρτιση θα είναι το άθροισμα καθαρής εισόδου και ανακυκλοφορίας.

4.1.iv. **Αερισμός**

Ο αερισμός στα βιόφιλτρα γίνεται με φυσικό τρόπο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ αέρα και υγρού αποβλήτου. Στην περίπτωση που το απόβλητο είναι θερμότερο από τον αέρα (χειμώνας) τον ζεσταίνει μέσα στο φίλτρο και ο θερμός αέρας ανέρχεται. Στην αντίθετη περίπτωση, ο αέρας που ψύχεται, κατέρχεται στο φίλτρο. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκής κυκλοφορία αέρα για την ανανέωση του οξυγόνου που καταναλώνεται. Οποσδήποτε είναι αποδοτικότερη η κυκλοφορία του αέρα από άνω προς τα κάτω και για αυτό σε πολλές περιπτώσεις εγκαθίστανται συστήματα αερισμού στα βιόφιλτρα.

Οι θεωρητικές απαιτήσεις σε οξυγόνο μπορούν να υπολογισθούν από το BOD_5 των υγρών αποβλήτων και την ποσότητα των μικροοργανισμών που απομακρύνονται ως περίσσεια ιλύος.

$$R = \frac{Q \cdot S_0 \cdot K_d}{f}$$

(2)

όπου:

Q η παροχή του αποβλήτου σε m^3/d ,

R₀ η συνολική απαίτηση οξυγόνου σε kgO_2/d

f=0.68

P η παραγωγή στερεών ιλύος σε $kg/(L \cdot d)$.

Για την εκτίμηση της ταχύτητας του αέρα μέσα στο φίλτρο χρησιμοποιείται η εμπειρική σχέση:

$v_{air} = 0,123(T_{air} - T_w) - 0,234$, cm /s, (3) όπου T_{air} και T_w οι θερμοκρασίες άερα και αποβλήτου αντίστοιχα.

4.1.v. Βάθος

Στα πρώτα φίλτρα, το βάθος του φίλτρου κυμαινόταν από 1,0-2,5 m με συνηθέστερη τιμή τα 1,8 m. Το περίβλημα ήταν συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα ή άλλο ανθεκτικό υλικό, που να μπορεί να συγκρατεί τα χαλίκια στη θέση τους και να μπορεί να δεχθεί την υδροστατική πίεση σε περίπτωση πλήρωσης των φίλτρων με υγρό. Τα συνήθη βάθη των ταχυφίλτρων κυμαίνονται από 1m- 4.5 m.

4.1.vi. Πλεονεκτήματα Συστήματος Βιολογικών Φίλτρων

Το βασικότερο πλεονέκτημα των βιολογικών φίλτρων σχετίζεται με την απλότητα, ευκολία και χαμηλή δαπάνη λειτουργίας, πλεονέκτημα που τα καθιστά κατάλληλα για επεξεργασία αποβλήτων με υψηλά οργανικά και υδραυλικά φορτία. Η ποσότητα του οξυγόνου που

απαιτείται για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών οι οποίοι θα αποδομήσουν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων είναι ίδια ανεξάρτητα το σύστημα επεξεργασίας το οποίο θα επιλεγεί. Ο τρόπος όμως που προσφέρεται το οξυγόνο στους μικροοργανισμούς διαφοροποιεί την ενεργειακή κατανάλωση κάθε συστήματος. Το σύστημα του βιολογικού φίλτρου επιτυγχάνει τον αερισμό των αποβλήτων με φυσικό τρόπο και έτσι δεν απαιτείται ενεργειακή κατανάλωση για την παροχέτευση οξυγόνου στους μικροοργανισμούς. Αυτό το κόστος σε εγκαταστάσεις με υψηλά υδραυλικά και οργανικά φορτία είναι ιδιαίτερα υψηλό γεγονός που καθιστά το σύστημα του βιολογικού φίλτρου λειτουργικά το πλέον οικονομικό.

Επιπρόσθετα ο τρόπος αποκόλλησης της ιλύος έχει σαν συνέπεια τη μεγάλη πυκνότητα και εύκολο διαχωρισμό της στη δεξαμενή καθίζησης. Σε σχέση με την ενεργό ίλη παρουσιάζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην επίδραση τοξικών εισροών, ανθεκτικότητα που οφείλεται στο μικρό χρόνο επαφής αποβλήτων-βιομάζας ή στο γεγονός ότι λόγω της ύπαρξης των τοξικών ουσιών μόνον το επιφανειακό στρώμα της βιομάζας καταστρέφεται, αποκολλάται και απομακρύνεται, και εμφανίζεται το υποκείμενο στρώμα μικροοργανισμών που δεν έχει υποστεί φθορά. Το γεγονός αυτό το κάνει ιδιαίτερα λειτουργικό στην περίπτωση των βιομηχανικών αποβλήτων στα οποία τα τοξικά σοκ είναι συνήθη.

Χαρακτηριστική επίσης είναι η συμπεριφορά των βιολογικών φίλτρων σε μεταβαλλόμενα φορτία (υδραυλικά και οργανικά). Αν το φίλτρο έχει σχεδιασθεί με συντηρητικό τρόπο και έχει σημαντική εφεδρική ικανότητα (π.χ. μεγάλη επιφάνεια έτσι ώστε μόνο ένα μικρό μέρος του βάθους του να χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό) τότε έχει τη δυνατότητα να αντεπεξέλθει με ικανοποιητικό τρόπο στις μεταβολές του φορτίου και δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή της ποιότητας εκροής.

1.12.8 Μειονεκτήματα του βιόφιλτρου

α) η ύπαρξη σε μεγάλες ποσότητες μερικώς αποδομημένων ουσιών στην εκροή (και στην ιλύ) και επομένως απαιτείται επιπλέον επεξεργασία πριν την τελική διάθεση.

β) η μεγαλύτερη ευαισθησία στην περιεκτικότητα του αποβλήτου σε κolloειδή στερεά (φράξιμο πληρωτικού υλικού).

γ) για μείωση BOD μεγαλύτερη από 60% είναι αντισοικονομικό στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων.

Το σύστημα βιόφιλτρου εν σειρά με σύστημα ενεργού ιλύος αποτελεί ελκυστική επιλογή, ειδικά για υδατικά βιομηχανικά απόβλητα, λόγω του μειωμένου κόστους ενέργειας ανά μονάδα απομειούμενου ρυπαντικού φορτίου και την ικανότητα των φίλτρων να μετριάζουν τα υψηλά οργανικά φορτία και τις διακυμάνσεις αυτών και να προστατεύουν έτσι το στάδιο της ενεργού ιλύος.

5. Πειραματικό Μέρος

Στο πειραματικό μέρος συνοψίζεται η παρακολούθηση της λειτουργίας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (ΜΕΥΑ) κατά το καλοκαίρι του 2014, και συγκεκριμένα τους μήνες από Ιούνιο μέχρι Σεπτέμβριο 2014. Σκοπός είναι να μελετηθεί η λειτουργία του βιόφιλτρου, η απόδοση αυτού και η αξιολόγηση του.

5.1. Διάταξη της ΜΕΥΑ

Η επεξεργασία του αποβλήτου γίνεται σε δύο βιολογικά στάδια (εικ. 8). Η πρώτη βιολογική βαθμίδα στηρίζεται στην μέθοδο της προσκολλημένης βιομάζας με σταθερό πληρωτικό υλικό στο βιολογικό φίλτρο (βιόπυργος) ενώ η δεύτερη βιολογική βαθμίδα στηρίζεται στην μέθοδο

της ενεργού ιλύος και συγκεκριμένα στο τροποποιημένο σύστημα του ταχύρυθμου παρατεταμένου αερισμού. Εκτός από τις δύο κύριες βιολογικές διεργασίες το σύστημα αποτελείται από επιμέρους φάσεις επεξεργασίας οι οποίες αποφέρουν το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Η συνολική διάταξη λειτουργίας συνοψίζεται ως εξής: τα απόβλητα από τις μονάδες της κομπόστας και του χυμού συλλέγονται σε ξεχωριστά αντλιοστάσια και έπειτα εσχαρίζονται, εξισορροπούνται, διαυγάζουν σε δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (προκαθίζηση), εξουδετερώνονται (ουδέτερο pH), διαπερνούν βιόφιλτρο, διαυγάζουν σε δεξαμενή μετακαθίζησης, αερίζονται, και υπερχειλίζουν από την δεξαμενή τελικής καθίζησης προς τον τελικό αποδέκτη.

Όλα τα καθιζάνοντα και τα επιπλέοντα (πλην αυτών της δεξαμενής τελικής καθίζησης) καταλήγουν σε παχυντή από όπου είτε οδηγούνται προς αφυδάτωση σε ταινιοφιλτρόπρεσα -μέσω ενός μικρού παχυντή, είτε προς αβαθείς δεξαμενές (lagoons-λαγούμια) προς αφυδάτωση. Τα επιπλέοντα της τελικής καθίζησης οδηγούνται προς τη δεξαμενή αερισμού. Τα υπερχειλίζοντα του παχυντή επιστρέφουν στην εξισορρόπηση και τα επιπλέοντα αυτού οδηγούνται στην πρέσα μέσω του μικρού παχυντή. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα της χρήσης δεξαμενής επαφής στερεών η οποία αερίζει τη λυματολάσπη της ανακυκλοφορίας. Από αυτή τη δεξαμενή, η ροή δύναται να αχθεί προς τον αερισμό ή και προς τον παχυντή ή και να παρακαμφθεί ακόμα και προς την εξισορρόπηση. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι κυριότερες φάσεις της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που επιτελούνται στη ΜΕΥΑ.

Αντλιοστάσια Τροφοδοσίας Αποβλήτων: Τα απόβλητα από τους χώρους παραγωγής

(κομπόστα και χυμός) της βιομηχανίας μέσω του αποχετευτικού δικτύου και δύο δίδυμων αντλιοστασίων εισέρχονται στο χώρο της μονάδας επεξεργασίας τους.

Αυτοκαθαριζόμενη Εσχάρωση Περιστρεφόμενου Τυμπάνου: Τα απόβλητα από τα αντλιοστάσια αρχικής ανύψωσης τροφοδοτούν δύο αυτοκαθαριζόμενες εσχάρες τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου στις οποίες κατακρατούνται τα στερεά με διάμετρο μεγαλύτερη από 2,00mm.

Δεξαμενή Εξισορρόπησης: Τα υγρά απόβλητα από τα περιστρεφόμενα τύμπανα εσχάρωσης εισέρχονται σε τσιμεντένια δεξαμενή εξισορρόπησης στην οποία γίνεται η εξομοίωση της ποιότητας τους καθώς και η εξισορρόπηση της υδραυλικής παροχής προς το υπόλοιπο σύστημα. Για την αποφυγή επικαθίσεων στον πυθμένα της δεξαμενής, υπάρχουν δύο οριζόντιοι υποβρύχιοι αναδευτήρες τύπου προπέλας.

Αντλιοστάσιο Σταθερής Παροχής: Στην δεξαμενή εξισορρόπησης υπάρχουν τρεις υποβρύχιες αντλίες οι οποίες τροφοδοτούν το σύστημα με σταθερή παροχή καθόλο το 24ωρο. Η λειτουργία αυτών των αντλιών γίνεται με την χρήση ρυθμιστών στροφών και ο έλεγχος της παροχής με εγκατεστημένο ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο.

Μετρητής Παροχής Τροφοδοσίας Συστήματος: Ηλεκτρομαγνητικός μετρητής ροής στην γραμμή κατάθλιψης του αντλιοστασίου σταθερής παροχής μετράει την παροχή προς την βιολογική βαθμίδα του συστήματος.

Φρεάτια Κροκίδωσης: Τα απόβλητα από το αντλιοστάσιο σταθερής παροχής εισέρχονται διαδοχικά σε τέσσερα φρεάτια τα οποία φέρουν υποβρύχια ανοίγματα επικοινωνίας μεταξύ τους. Στο πυθμένα των φρεατίων υπάρχει σύστημα αερισμού με διαχύτες χοντρής φυσαλίδας

και φυσητήρα πλευρικού καναλιού για την ανάδευση των αποβλήτων σε αυτά. Σε αυτά τα φρεάτια μπορούν να προστεθούν χημικά κροκιδωτικά για την μεγιστοποίηση της απόρριψης από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης: Τα απόβλητα από τα φρεάτια κροκιδώσης εισέρχονται στην κυκλική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης εσωτερικής διαμέτρου 22,0m. Σε αυτή την δεξαμενή καθιζάνουν τα αιωρούμενα στερεά που περιέχονται στα απόβλητα και απάγονται από τον πυθμένα της με την βοήθεια δίδυμου αντλιοστασίου προς την δεξαμενή πάχυνσης του συστήματος. Τα επιπλέοντα στερεά συλλέγονται με επιφανειακό ξέστρο και στην συνέχεια με κατάλληλη αντλία εισέρχονται και αυτά στην νέα δεξαμενή πάχυνσης.

Αντλιοστάσιο Τροφοδοσίας – Ανακυκλοφορίας του βιόπυργου: Τα υπερκείμενα απόβλητα από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης υπερχειλίζουν σε φρεάτιο – αντλιοστάσιο όγκου 193,8m³ από το οποίο τροφοδοτείται το σύστημα του βιολογικού φίλτρου. Το φρεάτιο του αντλιοστασίου είναι χωρισμένο σε δύο τμήματα μέσω εσωτερικού τοιχίου που αφήνει την επικοινωνία των δύο τμημάτων με υποβρύχιο άνοιγμα. Στο πρώτο τμήμα του φρεατίου εισέρχεται το απόβλητο από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και έχουν εγκατασταθεί οι αντλίες τροφοδοσίας και ανακυκλοφορίας των υγρών στο βιόπυργο. Στο δεύτερο φρεάτιο εισέρχονται τα απόβλητα από το κανάλι συλλογής τους που βρίσκεται στην βάση του βιόπυργου. Οι αντλίες τροφοδοτούν τα απόβλητα με σταθερή παροχή καθ' όλο το 24ωρο στο σύστημα διασποράς του βιόπυργου. Η κάθε αντλία έχει δυναμικότητα 700m³/hr στα 10,2m και για την επίτευξη του απαιτούμενου ρυθμού ανακυκλοφορίας των αποβλήτων στο βιοπύργο λειτουργούν πάντα οι δύο αντλίες ενώ η τρίτη είναι εφεδρική. Από το δεύτερο τμήμα του

φρεατίου επίσης, υπάρχει η υπερχειλίση των επεξεργασμένων αποβλήτων μέσω αγωγού προς την δεξαμενή καθίζησης του βιόπυργου.

Σύστημα ρύθμισης του pH: Για την ρύθμιση του pH σε ουδέτερες τιμές (6-8) ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η ανάπτυξη της βιομάζας στο σύστημα, υπάρχει σύστημα ελέγχου και ρύθμισης του pH. Αυτό αποτελείται από υποβρύχια αντλία η οποία ανακυκλοφορεί το απόβλητο εσωτερικά στο φρεάτιο τροφοδοσίας του βιόπυργου. Στην σωληνογραμμή κατάθλιψης της αντλίας υπάρχει το ηλεκτρόδιο του pH-μέτρου το οποίο δίνει εντολή στην δοσομετρική αντλία η οποία τροφοδοτεί την δεξαμενή με διάλυμα NaOH για την ανύψωση του pH μέσα στο φρεάτιο. Η μέτρηση του pH γίνεται με ειδικό όργανο βιομηχανικού τύπου του κατασκευαστικού οίκου Endress & Hauser. Όταν το pH στην δεξαμενή έρθει σε επιθυμητά επίπεδα τότε σταματάει η τροφοδοσία του χημικού από την δοσομετρική αντλία.

Βιολογικό Φίλτρο: Το βιολογικό φίλτρο από σπλισμένο σκυρόδεμα κυκλικής διατομής, εσωτερικής διαμέτρου 32m, έχει πλαστικό πληρωτικό υλικό πολυπροπυλένιο του κατασκευαστικού οίκου GEA. Το συνολικό ύψος από το πυθμένα του καναλιού συλλογής είναι 7,2m. Έχουν εγκατασταθεί 5 σειρές πληρωτικού υλικού συνολικού όγκου 2.440m³. Η ειδική επιφάνεια του πληρωτικού υλικού ανέρχεται σε 125m²/m³ με συνολική επιφάνεια 305.000m².

Η ταχύτητα περιστροφής μεταβάλλεται με την παροχή. Η ανακυκλοφορία γίνεται από σημείο μεταξύ του φίλτρου και της δεξαμενής καθίζησης (ταχύφιλτρο). Στην κορυφή του φίλτρου υπάρχει σύστημα πέντε βραχιόνων διασποράς των αποβλήτων για την ομοιόμορφη διαβροχή όλης της επιφάνειας του φίλτρου. Τα απόβλητα εισέρχονται μέσω του αντλιοστασίου τροφοδοσίας στην επιφάνεια του βιόπυργου και διαβρέχουν ολόκληρο το πληρωτικό υλικό. Στο πυθμένα του φίλτρου έχει κατασκευαστεί κανάλι το οποίο συλλέγει τα απόβλητα και τα

οδηγεί στο δεύτερο τμήμα του αντλιοστασίου τροφοδοσίας – ανακυκλοφορίας των αποβλήτων από όπου και τμήμα τους ανακυκλοφορεί ξανά στο φίλτρο ενώ η περίσσεια ροή υπερχειλίζει προς την καθίζηση του βιόπυργου.

Ο αερισμός του φίλτρου γίνεται με φυσικό τρόπο από οπές οι οποίες έχουν αφεθεί στην βάση των τοιχείων του βιόπυργου. Η κίνηση του αέρα διαμέσου του φίλτρου οφείλεται στην διαφορετική πυκνότητα του αέρα του περιβάλλοντος και του αέρα που βρίσκεται στα κενά των φίλτρων, διαφορά που προκύπτει από την διαφορά θερμοκρασίας. Η κίνηση αυτή είναι ανοδική εάν τα απόβλητα είναι θερμότερα από τον αέρα του περιβάλλοντος και καθοδική στην αντίστροφη περίπτωση.

Δεξαμενή Καθίζησης βιόπυργου: Η επιπλέον ποσότητα των αποβλήτων που εισέρχεται στο αντλιοστάσιο τροφοδοσίας – ανακυκλοφορίας του βιόπυργου υπερχειλίζει από άνοιγμα και τροφοδοτεί την δεξαμενή καθίζησης του βιόπυργου κυκλικής κάτοψης, εσωτερικής διαμέτρου 22,0m. Στην δεξαμενή αυτή καθιζάνουν τα αιωρούμενα στερεά (νεκροί μικροοργανισμοί) που αποκολλώνται από την επιφάνεια του πληρωτικού υλικού. Με την βοήθεια αντλιοστασίου απομακρύνονται από το σύστημα προς την δεξαμενή πάχυνσης. Τα επιπλέοντα της δεξαμενής συλλέγονται σε φρεάτιο.

Δεξαμενή Αερισμού: Τα υπερκείμενα υγρά από το κανάλι υπερχειλίσης της δεξαμενής καθίζησης του βιόπυργου τροφοδοτούν την υφιστάμενη δεξαμενή αερισμού όγκου 5300m³. Στην δεξαμενή αερισμού αποδομείται περαιτέρω το οργανικό φορτίο από αερόβιους μικροοργανισμούς. Ο αερισμός και οι ανάδευση της δεξαμενής αερισμού γίνεται με την χρήση τεσσάρων κάθετων επιφανειακών αεριστήρων εγκατεστημένης ισχύος 30kW ο καθένας.

Β Στάδιο Κροκίδωσης: Το ανάμεικτο υγρό μέσω ορθογωνικού υπερχειλιστή εισέρχεται σε δύο αναδευόμενα φρεάτια. Στα φρεάτια αυτά γίνεται δοσομέτρηση κροκιδωτικών με την χρήση δοσομετρικών αντλιών με σκοπό την μείωση του οργανικού φορτίου και την βελτίωση της καθιζησιμότητας της ιλύος στην τελική καθίζηση.

Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης: Το ανάμεικτο υγρό από την δεξαμενή αερισμού εισέρχεται μέσω δύο βαρυτικών αγωγών σε κυκλική δεξαμενή καθίζησης στην οποία διαχωρίζεται η βιολογική λάσπη από τα επιπλέοντα επεξεργασμένα υγρά. Η λάσπη συγκεντρώνεται στο πυθμένα με την βοήθεια ξέστρου και από εκεί τροφοδοτεί φρεάτιο παράπλευρα της δεξαμενής. Τα επιπλέοντα στερεά μέσω επιφανειακού ξέστρου εισέρχονται σε δεύτερο φρεάτιο και από εκεί με αντλία εισέρχονται στο νέο παχυντή της μονάδας.

Ανακυκλοφορία Ιλύος: Όπως αναφέρθηκε η βιολογική λάσπη συγκεντρώνεται σε φρεάτιο παράπλευρα της δεξαμενής τελικής καθίζησης στο οποίο είναι εγκατεστημένες δύο υποβρύχιες αντλίες (300m³/h στα 6,56m). Αυτές οι αντλίες ανακυκλοφορούν συνεχώς την λάσπη προς την αρχή της δεξαμενής αερισμού για την επίτευξη της σταθερής συγκέντρωσης των μικροοργανισμών μέσα στον αερόβιο αντιδραστήρα.

Η Δεξαμενή Επαφής Στερεών: Η δεξαμενή αυτή με εσωτερική διάμετρο 14m και πλευρικό βάθος 2,9m έχει λειτουργικό όγκο είναι περίπου 390m³. Χρησιμοποιείται για τον αερισμό τμήματος της ενεργού ιλύος η οποία ανακυκλοφορεί στην αρχή της δεξαμενής αερισμού (δεξαμενή solids contact). Στον πυθμένα της δεξαμενής υπάρχει δίκτυο διαχυτών χονδρής φυσαλίδας οι οποίοι τροφοδοτούνται από φουσητήρα ικανότητας 1200m³ στα 450mbar και παρέχουν το απαιτούμενο οξυγόνο στην λάσπη. Ο έντονος βαθμός οξυγόνωσης της

περίσσειας ιλύος ενεργοποιεί τους μικροοργανισμούς και αυξάνει την απόδοση της ενεργού ιλύος στην βιολογική βαθμίδα.

Φρεάτιο Επεξεργασμένων: Τα επεξεργασμένα απόβλητα από την δεξαμενή καθίζησης υπερχειλίζουν σε παράπλευρο φρεάτιο διάθεσης των επεξεργασμένων.

Παχυντής: Εισέρχονται οι λάσπες από την πρωτοβάθμια καθίζηση, την καθίζηση του βιόπυργου καθώς και η περίσσεια βιολογική ιλύς. Ο παχυντής είναι κυκλικής διατομής με εσωτερική διάμετρο 11m, πλευρικό βάθος 2,9m και λειτουργικό όγκο περίπου 275m³. Σε παράπλευρο φρεάτιο δύο υποβρύχιες αντλίες οι οποίες τροφοδοτούν την παχυμένη λάσπη προς χωμάτινα lagoons (16.000- 18000m³) σε παράπλευρο οικόπεδο στα οποία γίνεται η σταθεροποίηση και αφυδάτωση της ιλύος. Τα επιπλέοντα στερεά από το σύστημα του επιφανειακού ξέστρου οδηγούνται με βαρύτητα στον υφιστάμενο παχυντή για περαιτέρω επεξεργασία. Τα υπερκείμενα υγρά εισέρχονται στην δεξαμενή εξισορρόπησης για επεξεργασία.

Σύστημα Αφυδάτωσης: Η μονάδα διαθέτει σύστημα αφυδάτωσης της ιλύος με την χρήση ταινιοφιλτρόπρεσας πολλαπλών βαθμίδων συμπίεσης. Η λάσπη από τον υφιστάμενο παχυντή τροφοδοτείται μέσω κοχλιωτής αντλίας προς την υφιστάμενη μονάδα αφυδάτωσης. Η αφυδατωμένη λάσπη απομακρύνεται με φορτηγά από την εγκατάσταση και διατίθεται σε εγκεκριμένους χώρους διάθεσης σταθεροποιημένης αφυδατωμένης ιλύος. Τα στραγγίσματα μέσω αγωγού εισέρχονται στην δεξαμενή αερισμού της εγκατάστασης.

Lagoon Αφυδάτωσης: Μέρος της λάσπης από τον παχυντή βαρύτητας τροφοδοτεί χωμάτινα lagoons σε παράπλευρο οικόπεδο της εγκατάστασης. Τα lagoons χρησιμοποιούνται για την σταθεροποίηση και αφυδάτωση της ιλύος. Με εναλλαγή στην τροφοδοσία των lagoons

μένει αρκετός χρόνος για την αφυδάτωση της ιλύος. Η αφυδατωμένη λάσπη διατίθεται ως εδαφοβελτιωτικό σε καλλιέργειες.

5.2. Περίοδος Παρακολούθησης

Η περίοδος παρακολούθησης του βιόφιλτρου της ΜΕΥΑ ξεκίνησε από 17-06-14 και έληξε στις 12-09-14 (88ημέρες). Η ΜΕΥΑ παρακολουθούνταν σε καθημερινή βάση πλην αργιών (σύνολο: 24 ημέρες). Κατά την έναρξη της περιόδου παρακολούθησης ήδη λειτουργούσαν οι μονάδες της κομπόστας και η μονάδα του χυμού, με μικρές παύσεις, κυρίως για την μονάδα της κομπόστας.

5.3. Παρακολουθείσες παράμετροι

Οι παράμετροι που παρακολουθήθηκαν ήταν η παροχή από τη δεξαμενή εξισορρόπησης προς τη προκαθίζηση, το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, και το pH. Οι οσμές του βιόπυργου και λειτουργικά δεδομένα, όπως χρόνος λειτουργίας συγκεκριμένων διατάξεων, καταγραφόταν. Ενίστε, οι περίοδοι παρακολούθησης όλων των προαναφερθέντων παραμέτρων δεν ταυτίζονται, λόγω τεχνικών προβλημάτων κ.α. που εμφανίστηκαν κατά την λειτουργία της ΜΕΥΑ.

5.3.i. pH

Το pH μετρούνταν σε διάφορες περιπτώσεις, όπως στην εξισορρόπηση, στον αερισμό κλπ. Οι μετρήσεις γίνονταν συνήθως με χαρτιά pH με εξαίρεση την μέτρηση του pH στην

είσοδο του βιόπυργου όπου υπήρχε εγκατεστημένο ηλεκτρόδιο το οποίο έδινε την ένδειξη του σε ηλεκτρονικό πίνακα από όπου διαβαζόταν και έπειτα καταγραφόταν η ένδειξη του pH (βλέπε *σύστημα ρύθμισης του pH*, κεφ.. Σφάλμα: Δεν βρέθηκε η πηγή παραπομπής).

5.3.ii. Διαλυμένο οξυγόνο (ΔΟ)

Οι μετρήσεις του ΔΟ ξεκίνησαν να πραγματοποιούνται στις 23-07. Η μέτρηση γινόταν με φιαλίδια ανάλυσης διαλυμένου οξυγόνου και σύγκριση τους με χρωματική κλίμακα ακρίβειας $\pm 1\text{mg/L}$ (μέθοδος Winkler). Η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου έγινε με την βοήθεια του ειδικού test kit (Dissolved Oxygen K-7512) της Αμερικάνικης εταιρίας Chemetrics. Η διαδικασία μέτρησης έχει ως εξής:

Παίρνουμε δείγμα αποβλήτων. Γεμίζουμε το διαβαθμισμένο ποτηράκι του test kit, μέχρι την ένδειξη 25ml. Σπάμε μέσα στο δείγμα την ειδική αμπούλα μέτρησης του διαλυμένου οξυγόνου και την αναστρέφουμε περιοδικά μέχρι να διαμορφωθεί ο χρωματισμός του αντιδραστηρίου μέσα στην αμπούλα. Συγκρίνουμε το χρώμα της με το χρωματομετρικό δείγμα που υπάρχει μέσα στην θήκη του test kit και καταγράφουμε το αποτέλεσμα.

Το ΔΟ μετρούνταν ημερησίως για την δεξαμενή αερισμού και την δεξαμενή επαφής στερεών, και μερικές φορές για την έξοδο του βιόπυργου (καταρράκτης).

5.3.iii. Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Από τις 23-07, το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) μετρώνταν φωτομετρικά μέσω οξειδωσης με διχρωμικό κάλλιο. Μια τυπική καμπύλη βαθμονόμησης του φωτόμετρου παρουσιάζεται στην εικ. 17. Το COD προσδιοριζόταν σε ημερήσια βάση για δείγματα από τις

εξής δεξαμενές: εξισορρόπηση, προκαθίζηση, καταρράκτης βιόπυργου, δεξαμενή τελικής καθίζησης.

6. Αποτελέσματα

6.1. Παραγωγή

Τα αρχεία τα οποία τηρούνται από το τμήμα ποιοτικού ελέγχου του εργοστασίου, εμφανίζουν τις ποσότητες παραλαβής φρούτων (σε αριθμό παραληφθέντων κάδων ροδάκινων) κατά την εν λόγω περίοδο. Οι ποσότητες αυτές απεικονίζονται στην εικόνα 18. Στην εικόνα 19 φαίνονται οι επεξεργασθείσες ποσότητες ροδάκινου για την παραγωγή του 2014.

6.2. Παροχή εισερχομένων

Η ροή εισόδου όπως αναφέρθηκε, μετρούνταν από ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο μεταξύ της δεξαμενής εξισορρόπησης και προκαθίζησης. Ωστόσο, στην δεξαμενή εξισορρόπησης καταλήγουν επίσης τα υπερχειλίζοντα των παχυντών (μικρού και μεγάλου), οι εκπλήσεις της ταινιοφιλτρόπρεσας, καθώς και η ανακυκλοφορία της ιλύος της δεξαμενής αερισμού μέσω της επαφής στερεών. Η υπερχείλιση από τον παχυντή δεν μπορεί να υπολογιστεί διότι δεν υπάρχει τρόπος υπολογισμού της απόρριψης των επιπλεόντων των δεξαμενών προκαθίζησης και μετακαθίζησης. Παρομοίως και τα πλύματα της πρέσας και η υπερχείλιση

του μικρού παχυντή δεν μπορούν να υπολογιστούν. Η επιστροφή από την ανακυκλοφορία ιλύος μέσω της επαφής στερεών δεν υπολογίστηκε (στραγγαλισμός βανών).

Η μέση ημερήσια ροή των αποβλήτων από την εξισορρόπηση κατά τη διάρκεια λειτουργίας της ΜΕΥΑ παρουσιάζεται στην εικόνα 20. Οι ροές υπολογίστηκαν από την ένδειξη του ροόμετρου αφαιρώντας την υπολογισμένη υπερχειλίση του παχυντή. Περίπου 410000m³ αποβλήτου μετρήθηκαν από το ροόμετρο μετά την εξισορρόπηση. Η σταθμισμένη ροή είναι σημαντικά μικρότερη από την μετρηθείσα και υπολογίζεται σε 290000m³. Αλλά και αυτή θα πρέπει να θεωρηθεί ανώτερη της πραγματικής εισόδου αποβλήτου στη ΜΕΥΑ (π.χ. είσοδος από παράκαμψη επαφής στερεών). Σε ορισμένες περιπτώσεις (βλάβες κ.λπ) το απόβλητο από τη δεξαμενή εξισορρόπησης και άλλα αντλιοστάσια διέφυγε και άρα δεν μετρήθηκε και δεν ενσωματώθηκε ο όγκος του διαφυγόντος υγρού στον τελικό υπολογισμό της εικ. 20. Εν πάση περιπτώσει, όπως φαίνεται στην εικ. 20, η ροή μετά τις 10-07 εκτινάσσεται καθώς εκκινήθηκε η παραγωγή ροδάκινου στη μονάδα της κομπόστας.

6.3. Συμβάντα και γεγονότα τα οποία επηρέασαν την ροή των αποβλήτων.

Τα συμβάντα και γεγονότα τα οποία επηρέασαν τη ροή των αποβλήτων οφείλονται είτε στην παραγωγική διαδικασία (π.χ. διακοπή, αύξηση φόρτου κλπ), είτε, όπως προαναφέρθηκε σε βλάβες των αντλιοστασίων κομπόστας/ χυμού, είτε στον σχεδιασμό του αυτοματισμού του αντλιοστασίου εξισορρόπησης.

6.4. pH

Η πιο σημαντική μέτρηση του pH στη ΜΕΥΑ είναι αυτή της εισόδου του βιόπυργου κυρίως λόγω του μεγάλου κινδύνου προσβολής των μικροοργανισμών του βιόπυργου από το οξιμισμένο απόβλητο της δεξαμενής προκαθίζησης.

Η καταγραφή του pH ημερησίως στην είσοδο του βιόπυργου παρουσιάζεται γραφικά στην εικόνα 21. Σημειώνεται ότι οι ενδείξεις του pH έχουν καταγραφεί ορισμένες φορές με χαρτιά pH (π.χ. εμφάνιση τεχνικών προβλημάτων). Σημειώνεται ότι υπήρξαν διακυμάνσεις του pH κατά τη διάρκεια της ημέρας και νύχτας που είναι μεγαλύτερες από αυτές που φαίνονται στο διάγραμμα αλλά δεν αποτυπώνονται αφού η μέτρηση γινόταν τακτικά συγκεκριμένες πρωινές ώρες.

6.5. Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων του COD στην είσοδο της ΜΕΥΑ, στην προκαθίζηση και στην έξοδο από τον βιόπυργο παρουσιάζονται στην εικόνα 22. Το μέσο COD εισόδου είναι περί τις 4000mg/L. Για να επιτευχθούν τα όρια της ΑΕΠΟ στο COD (120mg/L) απαιτείται συνολική μείωση αυτού του φορτίου κατά 97%. Στην εικ. 23 παρουσιάζεται η απόδοση που θα πρέπει να επιτύχουν τα επιμέρους στάδια ούτως ώστε η συνολική απόδοση να επιτυγχάνει τα όρια της ΑΕΠΟ.

7.

8. Διάλογος επί των αποτελεσμάτων

8.1. Απόδοση του Βιόπυργου

Οι αποδόσεις της βιολογικής επεξεργασίας σε όρους χημικά απαιτούμενου οξυγόνου για τον βιόπυργο (ΒΠ) και την προκαθίζηση παρουσιάζονται στην εικόνα 24. Η απόδοση της επεξεργασίας του ΒΠ είναι σαφώς κάτω του αναμενόμενου για το μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, καθώς αναμένονται αποδόσεις άνω του 70%. Συνεπώς, η βιολογική επεξεργασία στον βιόπυργο παρεμποδίζεται από κάποιον παράγοντα.

Από την άλλη οι αποδόσεις της προκαθίζησης είναι της τάξεως του 25% (δηλ. περίπου 3000mg/L COD είσοδος στον ΒΠ), κάτω από το επιθυμητό 40%. Η μείωση του βιολογικού φορτίου μέσω της προκαθίζησης αποτελεί ένα θετικό βήμα το οποίο μειώνει τις απαιτήσεις για τις αποδόσεις των περαιτέρω βιολογικών σταδίων δηλαδή για τα όρια της ΑΕΠΟ απαιτείται πλέον συνολική μείωση του COD της τάξεως του 96% και όχι 97% (εικ. 23).

Για να επιβεβαιώσουμε ότι όντως υπάρχει κάποια παρεμπόδιση στην βιολογική επεξεργασία στον βιόπυργο, σχεδιάζουμε τα αποτελέσματα της εξόδου του βιόπυργου (Se-πραγματικό) ως συνάρτηση των θεωρητικών τιμών που θα λαμβάναμε επιλύοντας το τροποποιημένο μοντέλο του Eckenfelder³ που περιλαμβάνει και ανακυκλοφορία (Se-θεωρητικό) (Tchobanoglus κ.α. 2002). Το γράφημα παρουσιάζεται στην εικόνα 25. Οι δυο μεταβλητές φαίνεται να συσχετίζονται μεταξύ τους γραμμικά, κάτι που σημαίνει ότι ένας παράγοντας που επηρεάζει τα αποτελέσματα εξόδου είναι το COD στην έξοδο του ΒΠ. Ωστόσο, το COD εξόδου απέχει κατά πολύ από τις θεωρητικές τιμές (5 φορές μεγαλύτερο) και άρα από την επιθυμητή βιολογική επεξεργασία, ως φάνηκε και από την ανάλυση της απόδοσης του βιόπυργου (εικ. 24). Στο διάγραμμα της εικ. 25 διαφαίνεται επίσης μια σύγκλιση των θεωρητικών και πραγματικών τιμών για τιμές COD-->0. Συμπερασματικά, υπάρχει μια βιολογική διεργασία στον βιόπυργο η οποία τείνει να απομειώσει το βιολογικό φορτίο κατά 43% (εικ. 26), αλλά η απόδοση της απέχει πολύ από την θεωρητική και αναμενόμενη. Η γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι θετικό στοιχείο υποδηλώνοντας τη βιολογική διεργασία και την ανταπόκριση της σε ένα εύρος φορτίων αν και η αύξηση της διασποράς στα υψηλά φορτία παραπέμπει σε άλλες συνθήκες οι οποίες αποσταθεροποιούν την βιολογική διεργασία.

3 Θεωρώντας αυθαίρετα θερμοκρασία αποβλήτου 19°C, απόβλητα βιομηχανίας φρούτων, σχέση COD/BOD=2 και συντελεστή n=0,5.

8.2. pH

Το γράφημα της εικ. 27 παρουσιάζει την εξέλιξη του COD του ΒΠ μαζί με την εξέλιξη του pH εισόδου στον βιόπυργο. Για την περίοδο από 10-07 μέχρι και 22-07, το pH στην είσοδο του βιόπυργου είναι κάτω του συνιστώμενου για βιολογικές εφαρμογές και έχει μετρηθεί και τιμή κάτω από 5 που σημαίνει ότι το υπόστρωμα του βιόπυργου ευρίσκεται σε μη ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη του/ επιβίωση του. Για το διάστημα 23/07-30/07, το pH στον βιόπυργο αυτή την περίοδο κυμαίνεται οριακά, εξού και η μείωση του COD στην έξοδο του βιόπυργου (εικ. 27), αλλά και οι αυξομειώσεις στην απόδοση αυτού. Για το αυτό διάστημα 23/07-30/07, οι αυξομειώσεις που παρατηρούνται στην απόδοση του βιόφιλτρου δύσκολα

μπορούν να αποδοθούν στη βιολογική επεξεργασία καθεαυτή ή στις αυξομειώσεις της εισόδου (ποιοτικά ή και ποσοτικά). Το χαμηλό pH στον βιόπυργο αποτελεί δυσμενή συνθήκη για την ανάπτυξη υγιούς και επιθυμητής βιομάζας. Πιθανόν να εξηγεί τις μειωμένες αποδόσεις που παρατηρήθηκαν στο ΒΠ. Παρομοίως, από τις 30-07, οι αποδόσεις του βιόπυργου κυμαίνονται από 0-50% (εικ. 24). Η μειωμένη απόδοση του βιόπυργου ίσως να οφείλεται στις αυξομειώσεις του pH στο εν λόγω διάστημα (Εικ. 27). Μετά τις 04-08, τα επίπεδα του COD εξόδου του βιόπυργου παραμένουν τα ίδια. Από τις 19-08 και έπειτα, είναι πιθανό ότι τα υπερχειλίζοντα εκ της προκαθίζησης στερεά δημιουργούν αναερόβιες συνθήκες στον βιόπυργο (έντονες σηπτικές οσμές πλησίον του βιόπυργου), οι τιμές του COD από την έξοδο του βιόπυργου είναι άνω του 1000 (το pH είναι μερικώς εντός των επιθυμητών τιμών).

Για τη διερεύνηση πιθανού αντίκτυπου του pH στην βιολογική διεργασία, σχεδιάζουμε το γράφημα της εικόνας 28, το COD στην έξοδο του ΒΠ συναρτήσεϊ του pH στην είσοδο του. Η αρνητική κλίση της ευθείας υποδηλώνει αφενός ότι αυξάνοντας το pH σε ουδέτερες τιμές, το COD στην έξοδο του καταρράκτη μειώνεται. Το γεγονός ότι η προσαρμογή της βέλτιστης ευθείας είναι κάτι λιγότερο από τέλεια στα σημεία ($R^2=0.4$), υποδηλώνει ότι και κάποιες άλλες μεταβλητές επηρεάζουν το COD. Όντως, όπως είδαμε προηγουμένως, τόσο τα στερεά στην προκαθίζηση αλλά βασικά οι αυξομειώσεις του εισερχόμενου COD παίζουν σημαντικό ρόλο στο COD. Οπότε λοιπόν το pH εξηγεί ένα μέρος των υψηλών τιμών του COD. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 28, τιμές $pH < 7$ οδηγούν σε διασπορά των τιμών COD σε ένα μεγάλο εύρος, κάτι το οποίο είναι σύμφωνο με τις κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης της βιομάζας σε ουδέτερο pH.

8.3. Οξίνιση

Όπως φάνηκε από τις προηγούμενες παραγράφους, η μελέτη του pH είναι σημαντική καθώς επηρεάζει τον βιόπυργο. Σύμφωνα με την εικόνα 29, η εξισορρόπηση παρουσιάζει γενικώς υψηλότερες τιμές του pH από ότι η προκαθίζηση. Επίσης, υψηλότερες τιμές του pH στην εξισορρόπηση οδηγούν σε υψηλότερες τιμές και στην προκαθίζηση. Συνεπώς, στην προκαθίζηση το απόβλητο οξινίζει.

Θεωρώντας την ροή των αποβλήτων και τον όγκο της δεξαμενής, ο χρόνος παραμονής του αποβλήτου εντός της δεξαμενής προκαθίζησης, υπολογίζεται τουλάχιστον σε 4 ώρες. Για την μελέτη της οξίνισης του αποβλήτου διενεργήθηκε ένα απλό πείραμα. Ελήφθη δείγμα από την εξισορρόπηση στο οποίο μετρώνταν το pH συναρτήσει του χρόνου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην εικ. 30. Όπως φαίνεται, η πτώση του pH είναι τουλάχιστον δύο μονάδες σε χρόνο υποδιπλάσιο του χρόνου παραμονής του αποβλήτου στη δεξαμενή προκαθίζησης.

Στη προκαθίζηση επικρατούν αναερόβιες συνθήκες καθ' πιθανό να δρουν οξογενή βακτήρια οξινίζοντας το απόβλητο. Το φαινόμενο αυτό για απόβλητα κονσερβοποιείων/χυμοποιείων έχει παρατηρηθεί στην βιβλιογραφία. Μέρος της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης αποτελεί η οξίνιση των αποβλήτων σε αναερόβιες συνθήκες (Lusk et al. 1996. Εικ. 4), ορισμένες φορές αυθόρμητα (Austermann κ.α. 1997; Diamantis κ Aivasidis 2004). Κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται σε οξογενή βακτήρια (Arsova 2010) και υποβοηθείται και από άλλους παράγοντες, όπως το αλκαλικό περιβάλλον (Leiyu κ.α. 2009).

9. Συμπεράσματα - Σύνοψη

Μελετήθηκαν παράμετροι λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας αποβλήτων βιομηχανίας φρούτων με τη μέθοδο του βιόφιλτρου. Παράμετροι όπως το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο και το pH αναλύθηκαν σε τρία στάδια της βιολογικής επεξεργασίας: εξισορρόπηση, προκαθίζηση (προ του βιόπυργου) και καταρράκτης του βιόπυργου. Αυτό επέτρεψε τον υπολογισμό τόσο της θεωρητικής όσο και της πραγματικής απόδοσης του συστήματος.

Η απόδοση της προκαθίζησης κυμάνθηκε περίπου στο 20-25%. Δηλαδή η μείωση του βιολογικού φορτίου που επέφερε ήταν 20-25%. Προτείνεται η μελέτη χρήσης κροκιδωτικών τα οποία δύνανται να αυξήσουν την απόδοση του σταδίου της προκαθίζησης.

Αν και το σύστημα λειτουργίας του βιόπυργου φαίνεται ότι είναι πιο οικονομικό από αντίστοιχα συστήματα αερισμού, είναι ευαίσθητο σε αλλαγές του pH. Στο σύστημα που μελετήσαμε οι αποδόσεις του βιόπυργου κυμάνθηκαν κάτω από 40-50%. Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι η σημαντικότερη παράμετρος που οδήγησε σε χαμηλές αποδόσεις είναι το pH. Συνθήκες pH που δεν ευνοούν την ανάπτυξη κατάλληλου υποστρώματος βιομάζας οδηγούν σε πολύ μικρές αποδώσεις. Το υπόστρωμα που αναπτύσσεται στον βιόπυργο είναι πολύ ευαίσθητο σε αλλαγές του pH, κυρίως λόγω της προσκολλημένης φύσης του και της λεπτής μεμβράνης που σχηματίζει, η οποία είναι ευάλωτη σε εξωτερικές επιδράσεις.

Προτείνεται και η ανάλυση περαιτέρω παραμέτρων για τον έλεγχο του συστήματος του βιόπυργου. Τέτοιες παράμετροι είναι τα θρεπτικά συστατικά των αποβλήτων που εισέρχονται στον βιόπυργο, τα αιωρούμενα στερεά. Πιστεύουμε ωστόσο ότι η διόρθωση του pH είναι ο παράγοντας ο οποίος θα οδηγήσει την ανάκαμψη του συστήματος βιόπυργου. Αν και το

αρχικό απόβλητο της βιομηχανίας φρούτων έχει σχετικά υψηλές τιμές pH, η παραμονή του σε αναερόβιες συνθήκες συντελεί πιθανώς στην όξινηση του. Για αυτό το λόγο προτείνεται μελέτη της οξίνισης του αποβλήτου και των λόγων που οδηγούν σε αυτή ούτως ώστε να αντιμετωπιστεί.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arsova L. (2010) Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product. Master Thesis. Columbia University.
- Austermann H.U., Seyfried C.F., and Rosenwinkel K.H., (1997) Uasb-Reactor In The Fruit Juice Industry. *Wat. Sci. Tech.*36:6-7.
- Barret DM. Laszlo S. Ramaswamy H. (2005) Processing Fruits, Science and Technology. 2H έκδοση, CRC Press, LLC.
- Carawan RE. Chambers JV. Zall RR. (1979) Spinoff on Fruit and Water and Vegetable Wastewater Management. Extension Special Report No AM-18-E. North Carolina State University, Cornell University, Purdue University, pp. 36-75.
- Cheremisinoff NP. (1996) Biotechnology for Waste and Wastewater Treatment Noyes Publications, Westwood, New Jersey, U.S.A., pp. 132-133.
- Diamantis V., Aivasidis A. (2004). Pilot Studies On Acidification And Anaerobic Treatment Of Fruit Canning Wastewater. Conference for the Protection and Restoration of the Environment VII, Mykonos, Greece, 2004.
- Diamantis V., Aivasidis A. (2010) Kinetic Analysis And Simulation Of UASB Anaerobic Treatment Of A Synthetic Fruit Wastewater. *Global NEST Journal*, 12:175-180
- Diamantis VI, Parisis A, Aivazidis A (2003) Anaerobic/ Aerobic Treatment Of Peach Canning Wastewater. 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos island, Greece, σελ. 146-153.
- EPA (1973) Start-up of municipal wastewater treatmenty facilities. 430-974-008. Environmental Protection Agency
- Leiyu F., Yuanyuan Y., Yinguang C., (2009) Kinetic analysis of waste activated sludge hydrolysis and short-chain fatty acids production at pH 10. *Journal of Environmental Sciences* 21: 589–594
- Lettinga G. Hulshoff LWP. (1991) UASB Process Design for Various Types of Wastewaters. *Wat. Sci. Tech.* 24:87-107..
- Lusk P., Wheeler P., Rivard C. (1996). Deploying Anaerobic Digesters: Current Status and Future Possibilities. Αναφορά NREL/TP-427-20558, National Renewable Energy Laboratory, Κολοράντο.
- Ostrem K. (2004) Greening Waste: Anaerobic Digestion For Treating The Organic Fraction Of Municipal Solid Wastes. Master Thesis. Columbia University pp.
- Ozbas EE. Tufekci N. Yilmaz G. Ovez S. (2006) Aerobic and anaerobic treatment of fruit juice industry effluents. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 65: 830-837.
- Snokist Growers Inc. (1969) Aerobic treatment of fruit processing wastes. Αναφορά 12060FAD10/69, U.S. Department of the Interior, σελ. 1-135.

Tchobanoglous G. Burton FL. Stensel HD (2002) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4η έκδοση McGraw-Hill.

Βλυσίδης Α. Γρηγοροπούλου Ε. Λυμπεράτος Γ. (2014) Περιβαλλοντική Μηχανική. Σημειώσεις Παραδόσεων. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, σελ. 1-189.

Κηλεπούρης Γ. (2010) Μεθοδοι Επεξεργασίας και Τυποποίησης σε Ποικιλίες Ροδάκινων για την Βιομηχανία Τροφίμων. Πτυχιακή Μελέτη. ΤΕΙ Κρήτης Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής,

Λοϊζίδου Μ (1995) Υγρά Απόβλητα, Σημειώσεις για το μάθημα "Περιβάλλον". Ε.Μ.Π. Εργαστήριο Γενικής Χημείας, σελ. 1-101.

Μάη ΣΘ. (2006) Επίδραση Ιόντων Δισθενούς Σιδήρου στην Λειτουργία ενός Αναερόβιου Χωνευτήρα Τύπου UASB Αναερόβιας Χώνευσης Υγρών Βιομηχανικών Αποβλήτων. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας IV: Ανάπτυξη και Σύνθεση Βιομηχανικών Διαδικασιών, σελ. 16-49.

Νταράκας Ε. (2006) Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ραφαηλίδης Σ. Γεωργιάδης Ν.(2001) Τεχνολογία και Έλεγχος ποιότητας φρούτων λαχανικών. Σημειώσεις Παραδόσεων. ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, σελ 241.