

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Διπλωματική Εργασία του
Γιαννακούλη Παναγιώτη

Τίτλος Εργασίας

«Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων από Χυμοποιεία»

Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Καλογεράκης Νικόλαος *Επιβλέπων Καθηγητής*

Δρ. Μαντζαβίνος Διονύσιος *Αναπληρωτής Καθηγητής*

Δρ. Γκέκας Βασίλειος *Καθηγητής*

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	7
1.1 Υπόβαθρο	7
1.2 Πρώτες Ύλες	8
1.2.1 Φρούτο	8
1.2.2 Άλλα προσθετικά συστατικά	8
1.3 Παραγωγική διαδικασία	10
1.3.1 Διαλογή/Συγκομιδή	11
1.3.2 Καθαρισμός/Αξιολόγηση	11
1.3.3 Αποχύμωση	12
1.3.4 Συμπύκνωση	14
1.3.5 Ανασύνθεση	15
1.3.6 Παστερίωση	16
1.3.7 Συσκευασία/ Γέμισμα	17
1.4 Υποπροϊόντα/Απόβλητα	18
1.4.1 Αιθέρια Έλαια	19
1.4.2 d-λεμονίνη	20
1.4.3 Τροφή βοοειδών/Αποξηραμένη πούλπα	21
1.4.4 Φλαβονοειδή/λεμονοειδή	22
1.5 Έλεγχος ποιότητας	23
1.6 Το μέλλον	23

Κεφάλαιο 2. Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία	24
2.1 Γενικά	24
2.2 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)	25
2.2.1 Ορισμός	25
2.2.2 BOD υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία	26
2.3 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD).....	26
2.3.1 Ορισμός	26
2.3.2 COD υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία	27
2.4 Αιωρούμενα στερεά (Suspended Solids)	27
2.4.1 Ορισμός	27
2.4.2 Αιωρούμενα στερεά υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία	28
Κεφάλαιο 3. Διαχείριση υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία	29
3.1 Πρωτοβάθμια επεξεργασία	30
3.1.1 Εσχάρωση	30
3.1.2 Εξισορρόπηση Φορτίων και ροής	32
3.1.3 Νιτροποίηση	34
3.1.4 Πρωτοβάθμια καθίζηση.....	36
3.1.4.1 Απομάκρυνση BOD και TSS.....	37
3.2 Δευτεροβάθμια επεξεργασία	38
3.2.1 Διεργασίες ενεργού ιλύος	39

3.2.1.1	Λειτουργικές πληροφορίες για τη λειτουργία των διεργασιών ενεργού ιλύος στα υγρά απόβλητα των χυμοποιείων	40
3.2.2	Σύστημα αερισμού.....	42
3.2.3	Αντιδραστήρας εναλλασσόμενων φάσεων διαλείποντος έργου (Sequencing Batch Reactor)	43
3.2.4	Αεριζόμενες λίμνες αιωρούμενης βιομάζας (Aerobic lagoons)	45
3.2.4.1	Απομάκρυνση BOD.....	46
3.3	Τριτοβάθμια επεξεργασία	48
3.3.1	Βιολογική επεξεργασία με διαχωρισμό μεμβρανών.....	48
Κεφάλαιο 4.	Σχεδιασμός εναλλακτικών τρόπων διαχείρισης των υγρών από χυμοποιεία	51
4.1	Επίπλευση	52
4.1.1	Αντιδραστήρια επίπλευσης.....	53
4.1.2	Συλλέκτες	53
4.1.3	Αντιδραστήρια αφρισμού (Frothers)	53
4.1.4	Τροποποιητές (Modifiers)	54
4.2	Θεμελιώδεις αρχές επίπλευσης	55
4.2.1	Θερμοδυναμική της διάβρεξης.....	55
4.2.2	Φυσικοχημικά φαινόμενα.....	56
4.2.3	Συμπλοκοποίηση σωματιδίων-αέριων φυσαλίδων.....	57
4.2.4	Μεταβλητές της διαδικασίας επίπλευσης.....	57
4.2.5	Επίδραση του μεγέθους των σωματιδίων.....	58

4.3	Επίπλευση με διαλυμένο αέρα	59
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα – Προτάσεις		63
5.1	Συμπεράσματα.....	63
5.2	Προτάσεις.....	64

Πρόλογος

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κο Καλογεράκη Νικόλαο για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συνεργασία μαζί του υπήρξε άψογη και η συμβολή του ήταν ιδιαίτερα πολύτιμη. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την διαχείριση των υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κο Γκέκα Βασίλειο και κο Μαντζαβίνο Διονύσιο για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της παρούσας εργασίας.

Περίληψη

Ο βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή των συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται η παρουσίαση του τρόπου διαχείρισης των συγκεκριμένων αποβλήτων, εντοπίζονται τα μειονεκτήματα και μειονεκτήματα της διαχείρισης αυτής και τέλος προτείνονται εναλλακτικές μέθοδοι αντιμετώπισης κάποιων προβλημάτων που απαντώνται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας των χυμών πορτοκαλιού ενώ επίσης αναφέρονται μερικά γενικά στοιχεία για την εκμετάλλευση και επαναχρησιμοποίηση των υπόλοιπων αποβλήτων, (στερεά και αιθέρια έλαια) ως υποπροϊόντα της διαδικασίας παραγωγής χυμού. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία και στο τρίτο αναφέρονται οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι επεξεργασίας τους από τη βιομηχανία. Στη συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο, προτείνεται μια εναλλακτική πρόταση για μεγαλύτερη απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων (SS) από τα συγκεκριμένα υγρά απόβλητα. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται κάποια συμπεράσματα και αναφέρονται προτάσεις προς έρευνα για επίτευξη ακόμη καλύτερων και ευνοϊκότερων προς το περιβάλλον αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Υπόβαθρο

Τα εσπεριδοειδή όπως τα πορτοκάλια ξεκίνησαν να καλλιεργούνται πριν τέσσερις χιλιάδες χρόνια στη νότια Κίνα και γενικότερα στη νοτιοανατολική Ασία. Μία ποικιλία, το κίτρο, μεταφέρθηκε στη μέση Ανατολή γύρω στο τετρακόσια με εξακόσια προ Χριστού. Οι Άραβες έμποροι διέδωσαν την καλλιέργεια αυτή στην Ανατολική Αφρική και την Μέση Ανατολή μεταξύ εκατό και επτακόσια μετά Χριστόν. Κατά τη διάρκεια της Αραβικής κατάληψης της Ισπανίας τα εσπεριδοειδή πρωτοεμφανίζονται στην νότια Ευρώπη. Από εκεί μεταφέρθηκαν στον «Νέο Κόσμο» μέσω διάφορων εξερευνητών, οπότε και φτάνουν στην Φλόριντα και τη Βραζιλία τον δέκατο έκτο αιώνα. Μέχρι το δέκατο όγδοο αιώνα τα φρούτα αυτά έχουν φτάσει παντού. Το 1890, μετά από ανακάλυψη ορισμένων ερευνητών ότι ο χυμός του πορτοκαλιού βοηθά στην καταπολέμηση του σκορβούτου, υπήρξε ραγδαία αύξηση στη ζήτησή τους.

Η δημοτικότητα του χυμού πορτοκαλιού αυξάνεται ξανά δραματικά στα τέλη της δεκαετίας του 1920 με την ανάπτυξη της βιομηχανίας του χυμού πορτοκαλιού. Αρχικά η βιομηχανία αυτή στηρίχτηκε στα υπολείμματα των πορτοκαλιών τα οποία ήταν ακατάλληλα για κατανάλωση λόγω του ότι ήταν παραμορφωμένα, με άσχημο χρώμα ή ελαττωματικά. Τη δεκαετία του τριάντα η ανάπτυξη των πορσελάνινων ριγωτών δοχείων και η βελτίωση των τεχνικών παστερίωσης οδήγησαν στην καλύτερη ποιότητα του χυμού οπότε και η βιομηχανία επεκτάθηκε σημαντικά. Αργότερα, το 1944, οι επιστήμονες ανακάλυψαν ένα τρόπο ώστε να συμπυκνώσουν το χυμό στο κενό και να τον παγώσουν χωρίς να χαθεί η γεύση ή το περιεχόμενο σε βιταμίνες. Παγωμένοι συμπυκνωμένοι χυμοί πουλήθηκαν για πρώτη φορά στις Ηνωμένες Πολιτείες μεταξύ 1945-1946 και κατέστησαν ευρέως δημοφιλείς. Μετά το τέλος του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου οι περισσότεροι Αμερικανοί σταμάτησαν να στύβουν το δικό τους χυμό και ο συμπυκνωμένος χυμός ως μορφή, επικράτησε. Με την αύξηση των σπιτικών ψυγείων υπήρξε ακόμη μεγαλύτερη ζήτηση του συμπυκνωμένου χυμού. Η ζήτηση αυτή είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων καλλιεργειών πορτοκαλιών στην Φλόριντα. Η παγωμένη συμπυκνωμένη μορφή του

χυμού πορτοκαλιού παρέμεινε η πιο δημοφιλής έως το 1985 όταν και ο ανασυντιθέμενος και ο NFC χυμοί υπερίσχυσαν σε πωλήσεις. Το 1995 οι NFC χυμοί αποτελούσαν το 37% της αγοράς της βόρειας Αμερικής. Αυτό σε σύγκριση με τον ανασυντιθέμενο χυμό που αποτελούσε το 39% της αγοράς. Σήμερα, οι εμπορικές ασηπτικές συσκευασίες επιτρέπουν οι RTD(ready to drink) χυμοί να πωλούνται χωρίς να είναι αναγκαία η αποθήκευσή τους σε ψυγείο. Η τωρινή παγκόσμια αγορά χυμών πορτοκαλιού είναι μεγαλύτερη από 2.3 δισεκατομμύρια δολάρια με το μεγαλύτερο μερίδιο να απαντάται στις Ηνωμένες Πολιτείες ακολουθούμενη από τον Καναδά, τη δυτική Ευρώπη και την Ιαπωνία.

1.2 Πρώτες Ύλεις

1.2.1 Φρούτο

Το πρωταρχικό συστατικό του χυμού πορτοκαλιού είναι φυσικά τα πορτοκάλια. Τα πορτοκάλια ανήκουν στην οικογένεια Rutaceae και τα κιτρικά δένδρα στο γένος Citrus. Τα πορτοκάλια μαζί με τα υπόλοιπα κιτρικά φρούτα αποτελούν τα εσπεριδοειδή. Οι πιο γνωστές ποικιλίες πορτοκαλιών είναι τα πορτοκάλια μέρλιν, τα μανταρίνια, και τα πορτοκάλια βαλέντσια. Ένα μείγμα από διαφορετικά είδη πορτοκαλιών χρησιμοποιείται γενικότερα ώστε να παρέχει μία συγκεκριμένη γεύση και να απαλλάξει από την πικράδα. Η διαλογή των πορτοκαλιών για χυμό γίνεται με κάποιες προϋποθέσεις όπως η ποικιλία και η ωριμότητα του φρούτου. Το φρούτο εμπεριέχει ένα αριθμό από φυσικά συστατικά τα οποία συμβάλλουν στην τελική γεύση και συνοχή του χυμού. Σε αυτά τα συστατικά συμπεριλαμβάνονται το νερό, οι ζάχαρες(φρουκτόζη, γλυκόζη), τα οργανικά οξέα(κιτρικό κ.τ.λ.) και κάποια αρωματικά συστατικά(αλκοόλες, κετόνες, υδρογονάνθρακες).

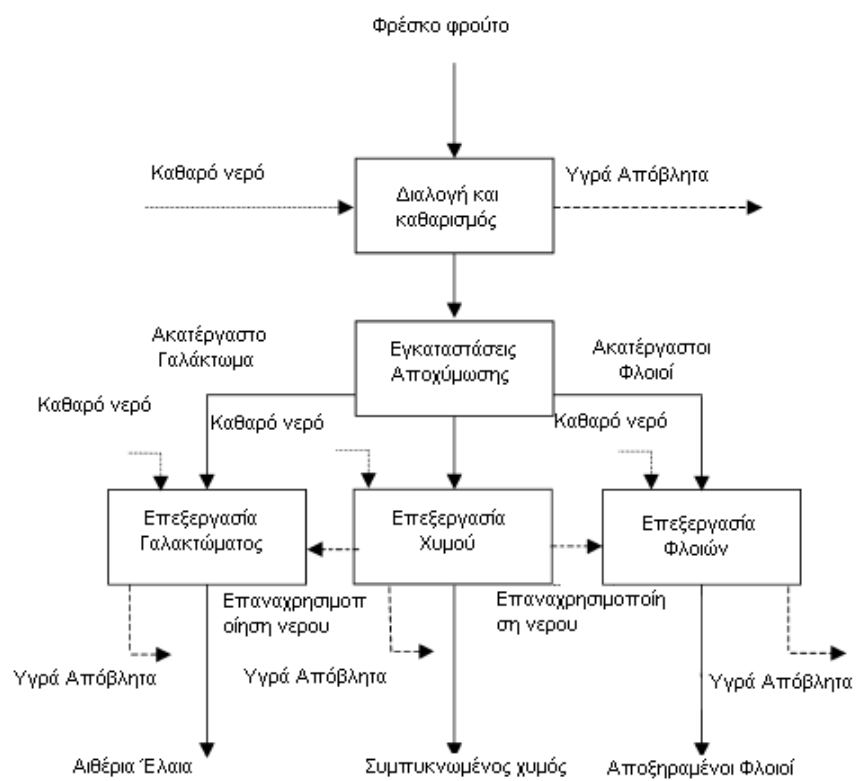
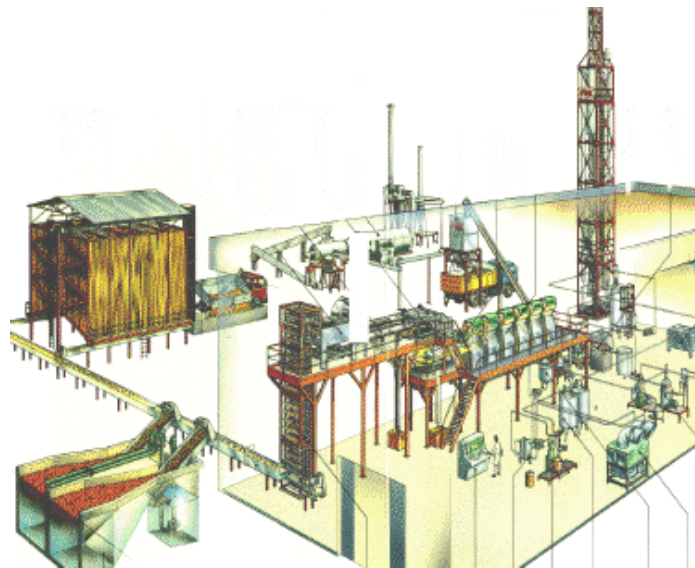
1.2.2 Άλλα προσθετικά συστατικά

Συντηρητικά στον χυμό πορτοκαλιού, όπως διοξείδιο του θείου ή βενζοϊκό νάτριο, επιτρέπονται από τον ομοσπονδιακό κανονισμό αλλά οι ποσότητες τους είναι αυστηρά ελεγχόμενες. Ομοίως, ασκορβικό οξύ, α-τοκοφερόλη, EDTA, BHA ή BHT χρησιμοποιούνται σαν αντιοξειδωτικά. Γλυκαντικές ουσίες μπορεί να προστεθούν με τη μορφή σιροπιού καλαμποκιού, δεξτρόζη, μέλι ή ακόμη μπορεί να είναι και

συνθετικές. Πιο συχνά προστίθεται κιτρικό οξύ ώστε να διασφαλίσει η οξύτητα του χυμού.

Οι κατασκευαστές, μπορεί να ενισχύσουν το χυμό με επιπρόσθετες βιταμίνες ή συμπληρωματικά θρεπτικά συστατικά, όπως βιταμίνη C, A, E, και β-καροτίνη. Όσον αφορά τις προστιθέμενες βιταμίνες υπάρχει ένας προβληματισμός επειδή καταστρέφονται κατά τη θερμική επεξεργασία. Τέλος, μπορεί να προστεθεί ασβέστιο με τη μορφή του φωσφορικού ασβεστίου.

1.3 Παραγωγική διαδικασία



Εικόνα 1-1 Διάγραμμα λειτουργίας τυπικού χυμοποιείου

1.3.1 Διαλογή/Συγκομιδή

Η συγκομιδή των πορτοκαλιών γίνεται από μεγάλες καλλιέργειες. Μερικοί παραγωγοί κιτρικών φρούτων είναι μέλη συσκευαστικών ή εμπορικών συνεταιρισμών ενώ άλλοι είναι ανεξάρτητοι καλλιεργητές. Όταν τα φρούτα είναι αρκετά ώριμα για συγκομιδή, κάποιοι εργάτες αναλαμβάνουν να μαζέψουν τα πορτοκάλια από τα δέντρα. Τα συλλεχθέντα φρούτα, είτε στέλνονται για συσκευασία, ώστε να πουληθούν αυτούσια, είτε σε εργοστάσια για παραγωγή χυμού. Γενικότερα τα πορτοκάλια φορτώνονται σε φορτηγά ώστε να μεταφερθούν στα εκχυμωτήρια όπου και ξεφορτώνονται μέσω ενός συστήματος τροφοδοσίας βαρύτητας πάνω σε ταινιόδρομο και αποθηκεύονται σε ειδικούς χώρους.

1.3.2 Καθαρισμός/Αξιολόγηση

Τα φρούτα πρέπει να ελεγχθούν και να αξιολογηθούν προτού χρησιμοποιηθούν. Ένας επιθεωρητής παίρνει και αναλύει 18 κιλά δείγματος ώστε να διασφαλιστεί ότι τα πορτοκάλια πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές για τη χυμοποίησή τους. Στη συνέχεια, το πιστοποιημένο φρούτο μεταφέρεται με ταινιόδρομο εκεί όπου θα πλυθεί με ένα απορρυπαντικό με κυλινδρικές βούρτσες. Αυτή η διαδικασία αφαιρεί τα συντρίμματα και τη βρωμιά καθώς επίσης μειώνει τα μικρόβια. Στη συνέχεια, αφού στεγνώσουν κάποιοι αφαιρούν τα χαλασμένα φρούτα όπως αυτά περνούν από μπροστά τους με τους κυλίνδρους και τα εναπομείναντα αυτομάτως διαχωρίζονται ανάλογα με το μέγεθος για έκθλιψη. Το κατάλληλο μέγεθος είναι πολύ σημαντικό για την εκχυμοποίηση.



Εικόνα 1-2 Λεκάνη στην οποία απορρίπτονται τα πορτοκάλια για την έκπλυση τους

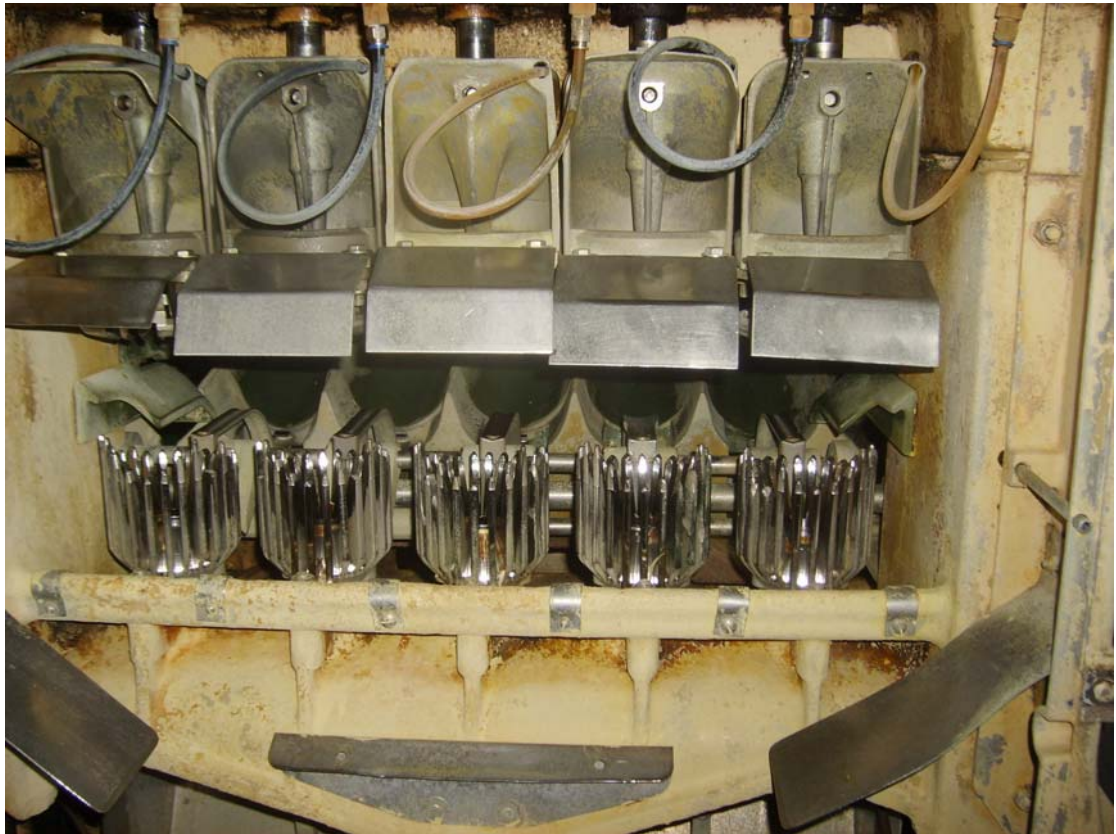
1.3.3 Αποχύμωση

Η ενδεδειγμένη αποχύμωση είναι πολύ σημαντική για να βελτιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα στην παραγωγική διαδικασία του χυμού όπως επίσης και για την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Το τελευταίο είναι άκρως αληθές εφόσον τα πορτοκάλια έχουν παχύ φλοιό, ο οποίος περιέχει πικρή ρητίνη που πρέπει να διαχωριστεί προσεκτικά, ώστε να αποφευχθεί τυχών αλλοίωση της γλυκύτητας του χυμού. Στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται συχνότερα δύο μέθοδοι αυτοματοποιημένης εκχύμωσης. Στην πρώτη μέθοδο, το φρούτο τοποθετείται μεταξύ δύο μεταλλικών κουπών με αιχμηρές μεταλλικές αυλακώσεις στη βάση τους. Η άνω κούπα χαμηλώνει και τα περικόχλια σε κάθε κύπελλο εμπλέκονται ώστε να στύψουν τα πορτοκάλια, καθώς οι αυλακώσεις τρυπούν το φρούτο από πάνω και από κάτω ταυτόχρονα. Τα στερεά μέρη του φρούτου συμπιέζονται στην κάτω αυλάκωση ανάμεσα στις δύο τρύπες του φλοιού καθώς ο χυμός εξέρχεται από τις οπές στα τοιχώματα. Συγχρόνως, ο φλοιός ψεκάζεται συνεχώς με νερό ώστε να

απομακρυνθούν τα έλαια. Τα έλαια αυτά συλλέγονται για να χρησιμοποιηθούν αργότερα.

Ο δεύτερος τύπος εκχύμωσης απαιτεί τα πορτοκάλια να κοπούν στη μέση πριν εκθλιφθούν. Τα φρούτα τεμαχίζονται κατά το πέρασμά τους από μία σταθερή λεπίδα και οι φέτες στη συνέχεια μαζεύονται από κάποιον ελαστικό αναρροφητή και μετακινούνται σε πλαστικά οδοντωτά «αλεξουάρ». Τα περιστρεφόμενα τώρα «αλεξουάρ» στύβουν τα πορτοκάλια την ώρα που αυτά περνούν τον ταινιόδρομο. Κάποια από τα έλαια των φλοιών, υπάρχει περίπτωση να αφαιρεθούν πριν την διαδικασία της εκχύμωσης, με βελόνες που αγκυλώνουν την επιφάνεια του φρούτου. Σύγχρονες εγκαταστάσεις εκχύμωσης αυτού του τύπου χρειάζονται για όλη την παραπάνω διαδικασία περίπου 3 δευτερόλεπτα.

Ο χυμός που έχει εξαχθεί φιλτράρεται σε ένα ανοξείδωτο χαλύβδινο κόσκινο προτού η διαδικασία περάσει στο επόμενο στάδιο. Σε αυτό το σημείο ο χυμός μπορεί να παγωθεί ή να συμπυκνωθεί εάν προορίζεται για ανασυντιθέμενο τύπο χυμού. Εάν πάλι προορίζεται για NFC, μπορεί να παστεριωθεί.



Εικόνα 1-3 Βιομηχανικές εγκαταστάσεις αποχύμωσης (πρώτη μέθοδος)

1.3.4 Συμπύκνωση

Ο συμπυκνωμένος χυμός είναι περίπου 5 φορές πιο πυκνός από τον στυμμένο χυμό. Αραιωμένος με νερό, χρησιμοποιείται για την παραγωγή παγωμένου χυμού ή άλλων έτοιμων προς πόση (RTD) ποτών. Η συμπύκνωση είναι χρήσιμη επειδή επεκτείνει το χρόνο ζωής του χυμού και κάνει την αποθήκευση και την μεταφορά του οικονομικότερη. Ο χυμός συνήθως συμπυκνώνεται με κάποιον εξοπλισμό που ονομάζεται TASTE (Thermally Accelerated Short-Time Evaporator). Η συσκευή αυτή χρησιμοποιεί ατμό ώστε να θερμάνει το χυμό το κενό οπότε και το νερό εξατμίζεται. Ο συμπυκνωμένος τώρα χυμός εκφορτώνεται σε ένα ακαριαίο ψύκτη κενού ο οποίος μειώνει την θερμοκρασία του προϊόντος στους 13° C. Μία νέα μέθοδος συμπύκνωσης απαιτεί ελάχιστη θερμική επεξεργασία και χρησιμοποιείται ευρέως στην Ιαπωνία. Σε αυτήν την μέθοδο, ο πολτός διαχωρίζεται από το χυμό με υπερφίλτρα και παστεριώνεται. Ο διαχωρισμένος τώρα χυμός που περιέχει τα πτητικά γευστικά

στοιχεία συμπυκνώνεται στους 10° C με αντίστροφη όσμωση και εντέλει ενώνεται ξανά με τον πολτό για να έχουμε το τελικό συμπυκνωμένο προϊόν. Η γεύση του συμπυκνωμένου αυτού χυμού έχει κριθεί ως ανώτερη από αυτή του χυμού που κυκλοφορεί στην αγορά και πλησιάζει τη γεύση του φυσικού χυμού. Τέλος ,ο συμπυκνωμένος χυμός αποθηκεύεται σε ανοξείδωτες, χαλύβδινες, ογκώδεις δεξαμενές ψυγεία ώσπου να είμαστε έτοιμοι για συσκευασία τους ή επαναφορά στην αρχική κατάσταση(ανασύνθεση).



Εικόνα 1-4 Εγκαταστάσεις συμπύκνωσης χυμών

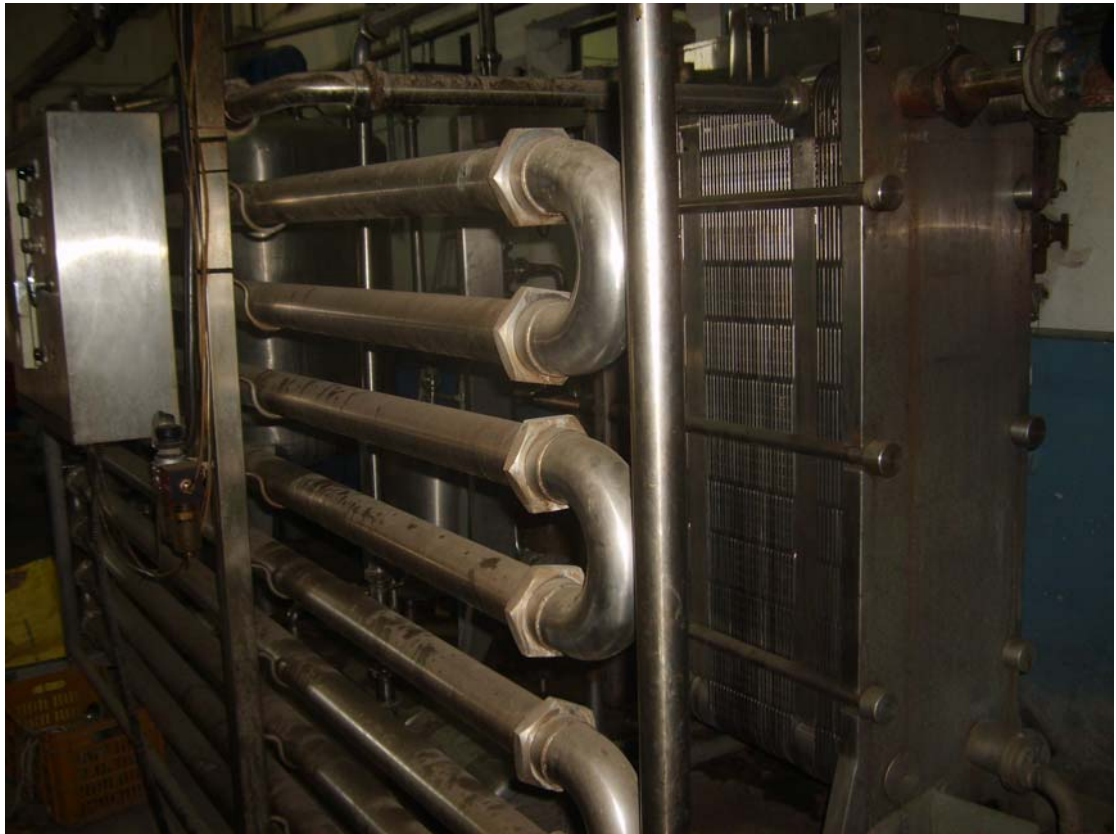
1.3.5 Ανασύνθεση

Όταν ο επεξεργαστής του χυμού είναι έτοιμος για την προετοιμασία της εμπορικής συσκευασίας και τη λιανική πώληση, το συμπύκνωμα μαζεύεται από διάφορους αποθηκευτικούς χώρους και αναμιγνύεται με νερό έτσι να επιτευχθεί η ζητούμενη αναλογία ζάχαρης-οξέος, η γεύση και το χρώμα. Αυτό το στάδιο πρέπει να είναι απόλυτα ελεγχόμενο επειδή κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης χάνεται πολύ από τη γεύση του χυμού. Η ενδεδειγμένη ανάμιξη του συμπυκνώματος με άλλους

γευστικούς παράγοντες είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί ότι το τελικό προϊόν έχει ποιοτική γεύση.

1.3.6 Παστερίωση

Λόγω του χαμηλού pH(4), ο χυμός πορτοκαλιού έχει κάποια φυσική προστασία από τα βακτήρια και τους μύκητες. Ωστόσο, η παστερίωση απαιτείται για επιπλέον επιβράδυνση τυχούσας αλλοίωσης. Επίσης η παστερίωση απενεργοποιεί ορισμένα ένζυμα που προκαλούν διαχωρισμό του πολτού από το χυμό με αποτέλεσμα ένα αντιαισθητικό και ανεπιθύμητο ποτό. Το παραπάνω ένζυμο είναι υπεύθυνο για το γεγονός ότι ο φρεσκοστυμμένος έχει μόλις λίγες ώρες διάρκεια ζωής. Ακαριαία παστερίωση, ελαχιστοποιεί την πιθανότητα να αλλάξει η γεύση από την θερμική επεξεργασία και συνίσταται για υψηλής ποιότητας προϊόντα. Εμπορικά χρησιμοποιούνται αρκετές μέθοδοι παστερίωσης. Σε μία από τις πιο κοινές μεθόδους ο χυμός περνάει από έναν αγωγό δίπλα από ένα πιάτο ανταλλαγής θερμότητας ,οπότε ο χυμός θερμαίνεται χωρίς άμεση επαφή με την θερμαινόμενη επιφάνεια. Μία άλλη μέθοδος χρησιμοποιεί ήδη ζεστό παστεριωμένο χυμό για να προθερμάνει τον εισερχόμενο απαστερίωτο χυμό. Ο προθερμασμένος τώρα χυμός υπόκειται σε περαιτέρω θέρμανση με ατμό ή ζεστό νερό μέχρις ότου φτάσει την επιθυμητή θερμοκρασία παστερίωσης. Τυπικά φτάνοντας τη θερμοκρασία των 85-94° C για περίπου 30 λεπτά είναι επαρκές για να μειωθεί στο ελάχιστο ο αριθμός των μικροβίων και να προετοιμαστεί ο χυμός για γέμισμα.



Εικόνα 1-5 Εγκαταστάσεις παστερίωσης

1.3.7 Συσκευασία/ Γέμισμα

Για να εξασφαλιστεί η ασηψία, ο παστεριωμένος χυμός θα έπρεπε να γεμίσει τα πακέτα όσο ακόμη είναι ζεστός. Όπου είναι δυνατό, μεταλλικά ή γυάλινα μπουκάλια και δοχεία τα οποία γεμίζονται με χυμό, προθερμαίνονται. Συσκευασία, η οποία δεν αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. ασηπτικά, πολυεπίπεδα πλαστικά κουτιά χυμού που δεν απαιτούν κατάψυξη) πρέπει να γίνει σε αποστειρωμένο περιβάλλον. Σε αυτή την περίπτωση, αντί για θερμότητα, χρησιμοποιείται υπεροξείδιο του υδρογόνου ή άλλος αποδεκτός αποστειρωτικός παράγοντας πριν το γέμισμα. Σε κάθε περίπτωση τα άδεια πακέτα καθώς κινούνται στον ταινιόδρομο γεμίζονται από μηχανή γεμίσματος υγρών η οποία προμηθεύεται το χυμό από τις μεγάλες αποθηκευτικές δεξαμενές. Η κεφαλή γεμίσματος μετράει την ακριβή ποσότητα χυμού της συσκευασίας και

ανάλογα με το σχέδιο του πακέτου μπορεί αυτοστιγμεί να αντιστραφεί ώστε να αποστειρώσει το καπάκι. Μετά το γέμισμα τα δοχεία ψύχονται όσο το δυνατό γρηγορότερα. Ο χυμός πορτοκαλιού που έχει συσκευαστεί κατά αυτόν τον τρόπο έχει χρόνο ζωής περίπου 6-8 μήνες σε θερμοκρασία δωματίου.



Εικόνα 1-6 Συσκευασία χυμού πορτοκαλιού από μηχανή γεμίσματος υγρών

1.4 Υποπροϊόντα/Απόβλητα

Παρόλο που ο χυμός αποτελεί το κύριο παράγωγο των πορτοκαλιών, σημαντικό ρόλο στην αγορά παίζουν και τα υποπροϊόντα της αποχύμωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο χυμός είναι περίπου το μισό κατ' όγκο του φρούτου οπότε τα υπολείμματα υπάρχουν σε άφθονη σχετικά ποσότητα. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας επεξεργασίας των υποπροϊόντων του χυμού πορτοκαλιού οδηγήθηκε από την ανάγκη για εκμετάλλευση όλων των πιθανών πόρων του πορτοκαλιού. Με αυτόν τον τρόπο τα αιθέρια έλαια, η d-λεμονίνη, οι τερπένες, τα αρωματικά υγρά και οι πελλέτες κιτρικού πολτού χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές στη διεθνή αγορά, όπως στην παραγωγή χημικών προϊόντων και διαλυτών, στις γλυκαντικές ουσίες και τα

αρώματα, σαν υποκατάστατα στην βιομηχανία χρώματος, στα καλλυντικά και σαν συμπληρώματα στην τροφή ζώων.

1.4.1 Αιθέρια Έλαια

Ο φλοιός των εσπεριδοειδών φρούτων έχει πολυάριθμους αδένες που περιέχουν έλαια τα οποία ανακτώνται σαν ένα κύριο υποπροϊόν. Κάθε είδος εσπεριδοειδούς έχει τα δικά του χαρακτηριστικά συστατικά που περιέχουν τα έλαια τα οποία είναι και υπεύθυνα για τη γεύση και το άρωμά του. Η ανάκτηση και η χρήση των αιθέριων ελαίων γίνεται από τα προϊστορικά χρόνια και εκμεταλλεύεται εμπορικά τα τελευταία εκατοντάδες χρόνια. Σήμερα οι επιχειρηματικές δραστηριότητες έχουν επεκτείνει την τεχνολογία ανάκτησης αιθέριων ελαίων σε μεγάλο βαθμό.

Τα έλαια γενικά ανακτώνται από το φρούτο είτε πριν είτε κατά τη διάρκεια της αποχύμωσης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται γενικότερα είναι δύο. Η μία είναι η FMC και η άλλη με τον BCS(Brown Citrus Systems) εξοπλισμό. Με την πρώτη μέθοδο τα έλαια απομακρύνονται με ψεκασμό νερού στο εξωτερικό του πορτοκαλιού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της αποχύμωσης. Στη συνέχεια το μίγμα ελαίων – νερού που έχει τη μορφή γαλακτώματος διοχετεύεται σε έναν αγωγό και καταλήγει σε ένα τερματικό για να απομακρυνθούν τα μικρά μέρη του φλοιού. Έπειτα το παραπάνω ρεύμα υπόκειται σε φυγοκέντρωση για να αφαιρεθεί το νερό οπότε και τελικά τα συμπυκνωμένα έλαια συλλέγονται σαν CPO(cold-press oil). Με το σύστημα Brown τα έλαια αφαιρούνται πριν την διαδικασία της αποχύμωσης με το BOE(Brown Oil Extractor). Εδώ, καθώς ολόκληρα τα φρούτα κυλούν δια μέσου του BOE ο οποίος αποτελείται από οδοντωτούς κυλίνδρους, κόβεται η φλούδα των φρούτων και απελευθερώνονται τα έλαια από τους αδένες. Έπειτα καθώς τα φρούτα προχωρούν για αποχύμωση το μίγμα ελαίων-νερού, όπως και στην προηγούμενη μέθοδο φυγοκεντράται ώστε να έχουμε την τελική ανάκτηση των ελαίων. Και με τις δύο παραπάνω μεθόδους το γαλάκτωμα ελαίων-νερού απαιτεί φυγοκέντρωση δύο επιπέδων: πρώτα για αφαίρεση της λάσπης και μετά για στιλπνότητα. Επίσης και οι δύο μέθοδοι αποφέρουν υψηλής ποιότητας έλαια. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο εμπόριο τυπικά ανακτούν περίπου το 65 με 75% των ελαίων του πορτοκαλιού παρόλο που πρόσφατοι πιο αυστηροί περιβαλλοντικοί νόμοι για την ποιότητα του

αέρα καθιστούν μεγαλύτερες ανακτήσεις ελαίων πιο δλεαστικές στους επεξεργαστές.

Η χημική σύσταση του κρύου πιεσμένου ελαίου (CPO) διαφέρει από εσπεριδοειδές σε εσπεριδοειδές ακόμη και από ποικιλία σε ποικιλία του ίδιου είδους. Το προεξέχων όμως συστατικό είναι ο υδρογονάνθρακας d-λεμονίνη. Άλλα συστατικά όπως οι τερπίνες και τα παράγωγά τους, αλδεΐδες, κετόνες, εστέρες και αλκοόλες συνεισφέρουν στη χαρακτηριστική γεύση και το άρωμα ενός ελαίου. Η περιεκτικότητα σε αλδεΐδες, η οπτική εναλλαγή και η χημική σύσταση των ελαίων αποτελούν τους παράγοντες από τους οποίους κρίνεται η ποιότητα τους.

Τα αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται σαν γευστικές ουσίες ποτών και φαγητών, στη βιομηχανία αρωμάτων, για προσωπική περιποίηση και καταναλωτικά προϊόντα, όμως και σαν χημικά στο εμπόριο. Τέλος τα έλαια αυτά είναι υπεύθυνα για την χαρακτηριστική γεύση του χυμού πορτοκαλιού.

1.4.2 d-λεμονίνη

Η d-λεμονίνη είναι μια μονοκυκλική τερπένη και αποτελεί κύριο συστατικό από τα ανακτώμενα έλαια του φλοιού πορτοκαλιού. Η χημική του φόρμουλα είναι $C_{10}H_{16}$ και η χημική της ονομασία 4R)-(+)-4-ισοπροπενυλ-1-μεθυλοκυκλοεξάνιο. Ένα καθοριστικό χαρακτηριστικό, της προερχόμενης από πορτοκάλια, λεμονίνη είναι η ικανότητα που έχει να αντιστρέφει πολωμένο φως στα δεξιά (+). Το πρόθεμα “d” στην κοινή ονομασία d-λεμονίνη, αναφέρεται σε μία παλιότερη σύμβαση όπου τα χημικά τα οποία έστρεφαν το φως δεξιά αναφέρονταν σαν “d” και αυτά που το έστρεφαν αριστερά “l”. Η πιο κοινή ανάλυση στην οποία υπόκειται η d-λεμονίνη είναι το Scott τεστ, μια υγρή χημική μέθοδος σε αντίδραση βρωμίου με τους διπλούς δεσμούς του εξεταζόμενου μορίου. Για περισσότερα γευστικά χαρακτηριστικά και άλλες χημικές εφαρμογές η d-λεμονίνη αναλύεται εργαστηριακά με GC/MS.

Η d-λεμονίνη μπορεί να ανακτηθεί από ρεύματα κιτρικών αποβλήτων και από τα CPOs όπου η λεμονίνη αφαιρείται ώστε τα έλαια να έχουν τις απαραίτητες συγκεντρώσεις των συστατικών τους. Το πρωταρχικό σημείο της ανάκτησης είναι μετά το άλεσμα των αποβλήτων στον θερμικό εξατμιστήρα, όπου διαχωρίζεται εύκολα από το συμπύκνωμα του εξατμιστήρα με μία απλή μετάγγιση.

Βιομηχανικά η d-λεμονίνη χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη για συγκολλητικά, απολιπαντικά, γευστικές ουσίες, διαλύτες καθαριστικά και σαν αρωματικά για άλλες γευστικές ουσίες.

1.4.3 Τροφή βοοειδών/Αποξηραμένη πούλπα

Η μεγαλύτερη ποσότητα των στερεών αποβλήτων των εργοστασίων παραγωγής αποτελείται από τους φλοιούς των πορτοκαλιών και τις μεμβράνες που υπάρχουν στο εσωτερικό του φρούτου. Αυτό το υλικό αποτελεί το 40-50% της ολικής μάζας του προς επεξεργασία φρούτου και είναι η πρώτη ύλη για την τροφή των βοοειδών. Η χρήση των υπολειμμάτων από τα πορτοκάλια για δημιουργία ξηρών πελλέτων πούλπας που αποτελεί ζωοτροφή γίνεται από το 1920. Τότε ήταν ευρέως γνωστό ότι τα βοοειδή τρέφονταν με «υγρές» φλούδες φρούτων οπότε υπήρξε η ανάγκη για ένα προϊόν προερχόμενο από τους φλοιούς που θα μπορεί να αποθηκεύεται και θα μεταφέρεται εύκολα. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν κάποια αλεστήρια τα οποία μετέτρεπαν τα υγρά απόβλητα των εργοστασίων παραγωγής χυμού σε πιο ξηρά, υψηλότερης ποιότητας υποπροϊόν.

Φλούδες από τους αποχυμωτές, χαλασμένα φρούτα, οργανικά απορρίμματα όπως φύλλα και μίσχοι, πούλπα ή μεμβράνες από το χυμό μεταφέρονται από διάφορες τοποθεσίες στα αλεστήρια παραγωγής ζωοτροφής. Συνήθως χρησιμοποιούνται σπειρωτοί μεταφορείς για να μεταφερθεί το υλικό. Μετά την συλλογή του υλικού στα σιλό τα υπολείμματα καταμετρώνται σε εξοπλισμούς μείωσης όγκου όπου και τα σωματίδια μειώνουν το μέγεθος τους σε 0,64-1,90 εκ. Στη συνέχεια προστίθεται ασβέστης στα υπολείμματα για να ενισχυθεί η απομάκρυνση του νερού. Το μίγμα μεταφέρεται για κάθετη και οριζόντια πίεση όπου και απομακρύνει τα υγρά. Το υπόλειμμα, πιεσμένο cake, υπόκειται σε μια περαιτέρω ξήρανση σε δοχεία ξήρανσης ώσπου τελικά να έχει 10-12% υγρασία. Η πούλπα μπορεί να πουληθεί είτε με αυτή την όχι τελική μορφή είτε να μετατραπεί σε πελλέτες για ευκολότερο χειρισμό. Τα υγρά που έχουν απομείνει από την παραπάνω διαδικασία αφού συγκεντρώνονται σε θερμικούς εξατμιστές αποφέρουν 72% του όγκου τους σε ζάχαρη. Το προϊόν αυτό

είναι γνωστό ως κιτρικές μολάσες και προστίθεται είτε στην αποξηραμένη πούλπα ή πωλείται ξεχωριστά για παραγωγή αιθανόλης.



Εικόνα 1-7 Αποξηραμένη πούλπα πορτοκαλιών

1.4.4 Φλαβονοειδή/λεμονοειδή

Τα εσπεριδοειδή έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή και λεμονοειδή, συστατικά τα οποία ενδιαφέρουν λόγω της δυνητικής ιατρικής και φαρμακευτικής χρήσης τους. Οι ιδιότητες και η χημεία των κιτρικών φλαβονοειδών, συγκεκριμένα η εσπεριδίνη και η ναριγκίνη μελετώνται επί δεκαετίες μαζί με την λεμονίνη το πρωταρχικό λεμονοειδές συστατικό στα εσπεριδοειδή. Τα παραπάνω συστατικά βρίσκονται στο φλοιό και τους σπόρους και πρέπει να ανακτηθούν από την αποχύμωση πράγμα που σημαίνει ότι διαλυτικές ουσίες της αποχύμωσης και τα απόβλητα πρέπει να προστεθούν στο κόστος ανάκτησης. Αυτό και το γεγονός ότι υπάρχουν αμφισβητήσιμες χρήσεις για τα χημικά αυτά σημαίνει ότι μπορούν στην καλύτερη των περιπτώσεων να θεωρούνται σαν δυνητικά υποπροϊόντα.

1.5 Έλεγχος ποιότητας

Η ποιότητα ελέγχεται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Επιθεωρητές αξιολογούν τα φρούτα πριν την αποχύμωση. Μετά την αποχύμωση και τη συμπύκνωση, το προϊόν ελέγχεται για να σιγουρευτεί ότι ανταποκρίνεται στα πρότυπα ελέγχου ποιότητας της εκάστοτε χώρας. Η πιο σημαντική μέτρηση στη παραγωγή χυμού πορτοκαλιού είναι το επίπεδο της ζάχαρης το οποίο μετράται σε βαθμούς Brix (ποσοστό κατά βάρος της ζάχαρης σε ένα διάλυμα). Ο τύπος των πορτοκαλιών που χρησιμοποιήθηκαν και το κλίμα στο οποίο αναπτύχθηκαν επιδρά στο επίπεδο της ζάχαρης. Οι κατασκευαστές αναμιγνύουν διάφορα είδη χυμών με διαφορετικό επίπεδο ζάχαρης ώστε να κατορθώσουν το επιθυμητό επίπεδο. Το τελικό προϊόν εκτιμάται βάση ενός αριθμού σημαντικών παραμέτρων που περιλαμβάνει την οξύτητα, το επίπεδο κιτρικών ελαίων, επίπεδο πούλπας, κυταρρική ακεραιότητα πούλπας, χρώμα, ιξώδες, μικροβιολογική μόλυνση, στοματική αίσθηση και γεύση. Κάποιος αισθητήριος πίνακας χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει υποκειμενικές ποιοτικές αναλύσεις για την γεύση και την υφή. Τελευταία κατά τη διάρκεια του γεμίσματος οι μονάδες εξετάζονται ώστε να επιβεβαιωθεί ότι γεμίζονται και σφραγίζονται καταλλήλως.

1.6 Το μέλλον

Μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα της διαδικασίας αποχύμωσης είναι πιθανό να προέλθουν από την περαιτέρω χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών για έλεγχο του μεγέθους και την αξιολόγηση του φρούτου. Ο σχηματισμός του χυμού πορτοκαλιού θα δει μεγάλες αλλαγές εφόσον η τάση για πρόσθεση περισσότερων θρεπτικών συστατικών όπως αντιοξειδωτικά, συνεχίζεται. Επιπλέον, μελλοντικές φόρμουλες τείνουν να αποτελούν μίγματα χυμών πορτοκαλιού με άλλους χυμούς πιο εξωτικών φρούτων όπως ακτινίδιο ή ακόμη και χυμών λαχανικών σαν του καρότου.

Κεφάλαιο 2. Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία

2.1 Γενικά

Η βιομηχανία παραγωγής χυμών παράγει μεγάλους όγκους υγρών αποβλήτων, λόγω της μεγάλης κατανάλωσης νερού στην παραγωγική διαδικασία. Τα υγρά απόβλητα περιέχουν υψηλό οργανικό φορτίο, εξαρτώμενο κυρίως από την κατάσταση της πρώτης ύλης και τον τρόπο εκφόρτωσης και διακίνησης της. Η αποδόμηση του οργανικού φορτίου δημιουργεί σοβαρό τεχνικό πρόβλημα, λόγω του μεγάλου μεγέθους των απαιτούμενων εγκαταστάσεων επεξεργασίας ή του μη σωστού σχεδιασμού των εγκαταστάσεων.

Οι τιμές BOD_5 είναι αυξημένες λόγω της παρουσίας ποικίλων βιοαποδομήσιμων οργανικών ουσιών που προέρχονται από την φυτική πρώτη ύλη. Ο τιμές του COD είναι σχετικά αυξημένες και οφείλονται κυρίως στην παρουσία βιολογικά μη οξειδώσιμων οργανικών ουσιών, καθώς και στην παρουσία μαζούτ και ελαίων μηχανών. Το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού 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, με βάση τις συνθήκες λειτουργίας των μονάδων στην Ελλάδα.

Γενικά, δεν περιέχονται τοξικές και επικίνδυνες ουσίες, σε ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις, ούτε παθογόνοι μικροοργανισμοί. Επίσης είναι πιθανό να περιέχονται υπολείμματα εντομοκτόνων που προέρχονται από το πλύσιμο των πρώτων υλών (σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις).

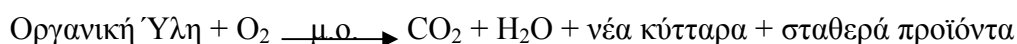
Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι χαρακτηριστικό των υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία είναι η υψηλή τους θερμοκρασία. Γεγονός που πρέπει να εξεταστεί, γιατί τυχούσα απόρριψη μεγάλων θερμικών φορτίων στους αποδέκτες, θα είχε ως αποτέλεσμα μεταβολή της θερμοκρασίας των αποδεκτών και επίταση των θερμοκρασιακών διαφορών, επηρεάζοντας με αυτό τον τρόπο τη φυσιολογία των επιφανειακών νερών και για αυτό το λόγο αναφέρεται και ως θερμική ρύπανση.

Τέλος, 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.

2.2 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

2.2.1 Ορισμός

Όταν απορρίπτεται στο νερό οργανική ύλη η οποία είναι βιοαποικοδομήσιμη, οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο απόβλητο και ειδικότερα τα βακτήρια, την αποικοδομούν σε απλούστερα οργανικά και ανόργανα συστατικά. Όταν η αποσύνθεση αυτή της οργανικής ύλης λαμβάνει χώρα υπό αερόβιες συνθήκες, δηλαδή παρουσία οξυγόνου, τα προϊόντα της αποικοδόμησης είναι αβλαβή και σταθερά όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα θειικά (SO₄), τα φωσφορικά (PO₄) και τα νιτρικά (NO₃). Μια απλουστευμένη αναπαράσταση αναερόβιας αποσύνθεσης δίνεται από την αντίδραση (1) :



Όταν το διαθέσιμο οξυγόνο είναι ανεπαρκές, λαμβάνει χώρα αναερόβια αποσύνθεση και γίνεται από εντελώς διαφορετικούς μικροοργανισμούς. Αυτοί παράγουν τελικά προϊόντα που είναι επιβλαβή και ανεπιθύμητα, όπως το υδρόθειο (H₂S), η αμμωνία (NH₃), και το μεθάνιο (CH₄). Η αναερόβια αποσύνθεση δίνεται από την αντίδραση (2) :



Το μεθάνιο που παράγεται είναι σταθερό και είναι ένα από τα δραστικά αέρια που συνεισφέρουν στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για να οξειδώσουν αερόβια τα οργανικά απόβλητα, όπως ήδη αναφέρθηκε, ονομάζεται βιοχημική απαίτηση οξυγόνου ή βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD. Το BOD

συνήθως εκφράζεται σε χιλιοστογραμμάρια απαιτούμενου οξυγόνου ανά λίτρο αποβλήτου (mg/l) ή σε ισοδύναμες μονάδες γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (g/m³).

2.2.2 BOD υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία

Γενικά το BOD των αποβλήτων από χυμοποιεία είναι σε πάρα πολύ υψηλές τιμές. Για αυτό το λόγο αποτελεί και έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επεξεργασία των συγκεκριμένων αποβλήτων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η τιμή του πριν την αφαίρεση των μελασών βρίσκεται περίπου στις 50.000 mg/L και μετά την αφαίρεση τους υποβαθμίζεται στα 1.500 mg/L. Η μείωση αυτή είναι θεαματική αλλά αν αναλογιστούμε το γεγονός ότι και πάλι περίπου είναι τριπλάσιο από το BOD των αστικών αποβλήτων γίνεται αντιληπτό ότι η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία είναι μια δύσκολη διαδικασία. Για αυτόν το λόγο δεν μπορούμε απλά να εφαρμόσουμε βιολογικό καθαρισμό των αποβλήτων αυτών επειδή σε καμία περίπτωση η τιμή τους δε θα κατέρχονταν κάτω από τα 25 mg/L, που είναι και η επιτρεπόμενη τιμή από την νομοθεσία.

2.3 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

2.3.1 Ορισμός

Ορισμένες οργανικές ενώσεις, όπως η κυτταρίνη, οι φαινόλες, το βενζόλιο, οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, το ταννικό οξύ κ.α. είναι ανθεκτικές στη βιοαποικοδόμηση. Άλλες, όπως τα ζιζανιοκτόνα και πολλές ενώσεις που έχουν συντεθεί από τον άνθρωπο για ορισμένες βιομηχανικές χρήσεις δεν είναι βιοαποικοδομήσιμες διότι είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς.

Το COD είναι μια μετρήσιμη ποσότητα η οποία δεν εξαρτάται ούτε από την ικανότητα βιοαποικοδόμησης των μικροοργανισμών, ούτε από τη γνώση της χημικής σύστασης και δομής των μορίων που υπάρχουν σε ένα απόβλητο. Κατά τη μέτρηση του COD, χρησιμοποιείται ένα ισχυρό οξειδωτικό αντιδραστήριο για να οξειδώσει ποσοτικά την οργανική ύλη. Η μέθοδος μέτρησης του COD είναι αρκετά γρηγορότερη από αυτή του BOD και διαρκεί μόνο λίγες ώρες.

Το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη μέτρηση του COD αναφέρεται στη συνολική απαίτηση του αποβλήτου σε οξυγόνο. Με το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορεί

να γίνει διάκριση μεταξύ των βιοαποικοδομήσιμων και μη ενώσεων που περιέχονται σε ένα απόβλητο. Η μέτρηση του δεν δίνει επίσης πληροφορίες για την ταχύτητα οξείδωσης των ενώσεων.

Η τιμή του COD ενός αποβλήτου είναι πάντα μεγαλύτερη από αυτή του BOD. Στην περίπτωση που το σύνολο των ενώσεων του αποβλήτου είναι βιοαποικοδομήσιμες, το COD αντιπροσωπεύει την τελική απαίτηση του αποβλήτου σε οξυγόνο και παρουσιάζει ελαφρά μεγαλύτερη τιμή από αυτήν που αντιστοιχεί στο BOD. Στην περίπτωση που το απόβλητο περιέχει σημαντικές ποσότητες δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ενώσεων ή μη βιοαποικοδομήσιμων (τοξικών), το COD είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το BOD. Η διαφορά COD – BOD δίνει μια καλή εκτίμηση του μη βιοαποικοδομήσιμου οργανικού φορτίου των αποβλήτων.

2.3.2 COD υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία

Στα υγρά απόβλητα από χυμοποιεία η τιμή του COD ανέρχεται περίπου στα 1.500 με 2.000 mg/L. Η τιμές αυτές βέβαια είναι αρκετά μεγάλες αλλά δεν αποτελούν το δυσκολότερο πρόβλημα της επεξεργασίας των συγκεκριμένων αποβλήτων. Μπορούμε σχετικά απλά να επεξεργαστούμε τα συγκεκριμένα απόβλητα ώστε να έχουμε τελικά τιμή COD μικρότερη των 125 mg/L, που είναι και το επιτρεπτό όριο κατά τις οδηγίες της ευρωπαϊκής ένωσης.

2.4 Αιωρούμενα στερεά (Suspended Solids)

2.4.1 Ορισμός

Τα αιωρούμενα στερεά (λεπτομερή και κολλοειδή σωματίδια) είναι ανόργανης ή οργανικής φύσης και έχουν είτε φυσική προέλευση είτε προέρχονται από τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Η παρουσία τους στα ύδατα οδηγεί δημιουργία θολότητας η οποία εκτρέπει ή απορροφά το ηλιακό φως. Ως συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι πέρα από την αισθητική υποβάθμιση του νερού, η παρεμπόδιση της διέλευσης του ηλιακού φωτός και ο περιορισμός των διαδικασιών φωτοσύνθεσης και παραγωγής του φυτοπλαγκτόν. Ακόμη, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών και να παρέχουν προστασία στους παθογόνους μικροοργανισμούς έναντι των διαδικασιών καταστροφής τους. Επιπλέον, τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν τη μεταφορά

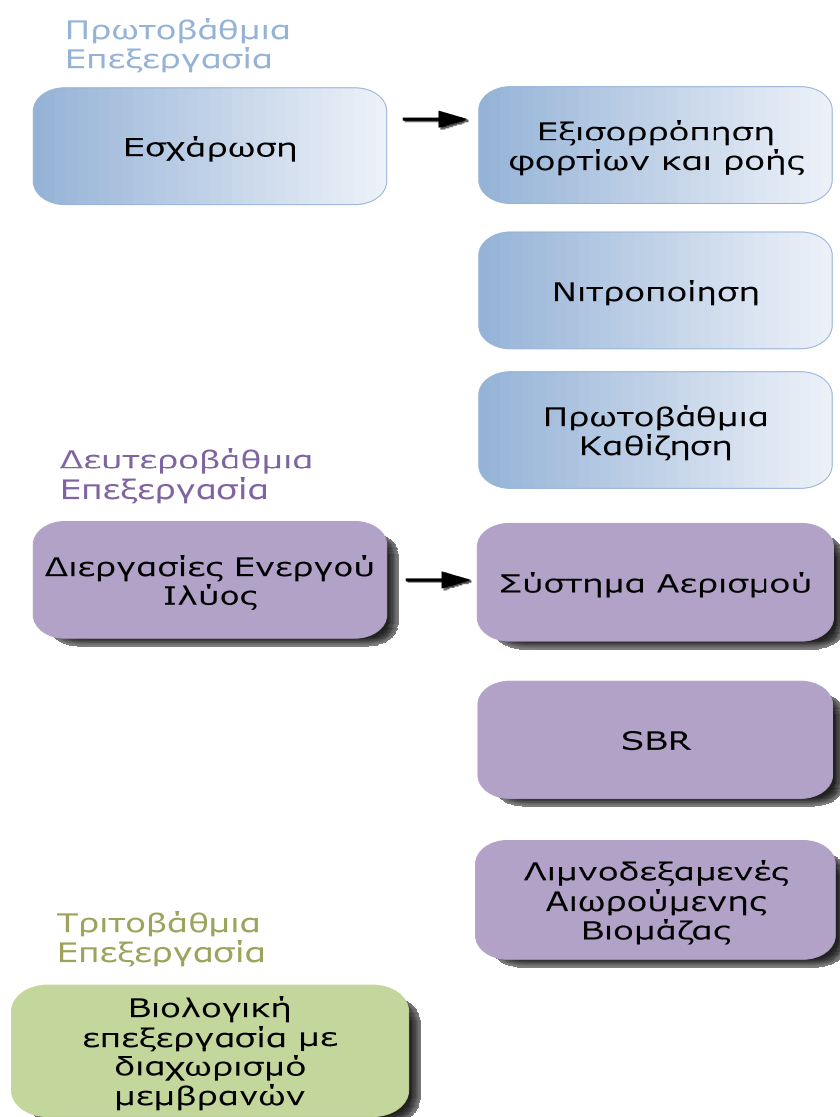
συστατικών, όπως του οξυγόνου, μεταξύ ατμόσφαιρας και νερού. Η παράμετρος των αιωρούμενων στερεών είναι σημαντική στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, αφού αποτελεί μέτρο ελέγχου του βαθμού απόδοσης των μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων.

2.4.2 Αιωρούμενα στερεά υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία

Τα αιωρούμενα σωματίδια των αποβλήτων από χυμοποιεία έχουν ίσως τον σημαντικότερο συντελεστή δυσκολίας στην επεξεργασία των αποβλήτων αυτών. Αυτό συμβαίνει διότι με τις συνηθισμένες διεργασίες απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών δεν μπορούμε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η φύση των σωματιδίων αυτών δεν επιτρέπει την εύκολη καθίζησή τους, αλλά και δεν είναι εύκολο και να βιοδιασπαστούν. Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι πρέπει να εφαρμοστούν ειδικές μέθοδοι, ώστε να υπάρξει το ζητούμενο αποτέλεσμα, το οποίο είναι επίπεδα ολικών διαλυμένων στερεών (SS) μικρότερο των 50 mg/L.

Κεφάλαιο 3. Διαχείριση υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία γίνεται για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης των υδάτων. Τα απόβλητα αυτά προκύπτουν από ποικίλες πηγές, όπως ύδατα τα οποία χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των φρούτων και άλλα τα οποία προέρχονται από την επεξεργασία και την ξήρανση των πρώτων υλών. Στα εργοστάσια γίνεται επεξεργασία των αποβλήτων, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ώστε το υγρό που τελικά απελευθερώνεται να μην ρυπαίνει το περιβάλλον.



3.1 Πρωτοβάθμια επεξεργασία

3.1.1 Εσχάρωση

Η πρώτη φυσική διεργασία που γενικά συναντάται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι η εσχάρωση. Η σχάρα είναι μια διάταξη με ανοίγματα, συνήθως με ομοιόμορφο μέγεθος, που έχει ως σκοπό την κατακράτηση των στερεών που υπάρχουν στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα στην εγκατάσταση επεξεργασίας ή στην υπερχειλίση κατά τη διάρκεια καταιγίδων, στην περίπτωση παντοροϊκών συστημάτων συλλογής των αποβλήτων. Ο κύριος ρόλος της εσχάρωσης είναι η απομάκρυνση των σωματιδίων μεγάλου μεγέθους από τη ροή, τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό της εγκατάστασης σε επόμενα στάδια, να ελαττώσουν τη συνολική αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης ή να προκαλέσουν ρύπανση των υδάτινων ρευμάτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν λεπτές σχάρες να αντικαθιστούν ή να τοποθετούνται μετά από τις χονδρές σχάρες, εκεί όπου απαιτείται μεγαλύτερη απομάκρυνση στερεών για την προστασία του εξοπλισμού της εγκατάστασης ή την απομάκρυνση των υλικών που θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν την επαναχρησιμοποίηση των βιοστερεών.

Κατά τον σχεδιασμό των διατάξεων εσχάρωσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι παράμετροι για την απομάκρυνση των εσχαρισμάτων, τη μεταφορά και τη διάθεση τους που περιλαμβάνουν το βαθμό απομάκρυνσης που απαιτείται λόγω των ενδεχόμενων επιδράσεων στα επόμενα στάδια της επεξεργασίας, την υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων, διότι τα εσχαρίσματα περιέχουν παθογόνους οργανισμούς και προσελκύουν έντομα, την ενδεχόμενη δυσσομία, τις απαιτήσεις για το χειρισμό, μεταφορά και διάθεση, δηλ. την απομάκρυνση των οργανικών ουσιών (με έκπλυση) και την ελάττωση της περιεχόμενης υγρασίας (με συμπίεση), και τέλος τις δυνατότητες διάθεσης. Για τους παραπάνω λόγους είναι αναγκαία μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που θα εξασφαλίσει την αποτελεσματική διαχείριση των εσχαρισμάτων.

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας χρησιμοποιούνται δύο βασικοί τύποι σχαρών, οι χονδρές σχάρες και οι λεπτές σχάρες. Οι χονδρές σχάρες έχουν καθαρό άνοιγμα

οπής που κυμαίνεται από 6 έως 150 mm (0.25 - 6 in), οι λεπτές σχάρες έχουν καθαρό άνοιγμα οπής μικρότερο από 6 mm (0.25 in). Οι μικροσχάρες (microscreens) που γενικά έχουν άνοιγμα οπής μικρότερο από 50 μm, χρησιμοποιούνται κυρίως για την απομάκρυνση των λεπτά διαμερισμένων στερεών από την επεξεργασμένη εκροή.

Η διάταξη εσχάρωσης μπορεί να αποτελείται από παράλληλες μπάρες, ράβδους ή χονδρά σύρματα, δικτυωτό, μεταλλικό πλέγμα, ή διάτρητη πλάκα και τα ανοίγματα μπορεί να έχουν οποιοδήποτε σχήμα, αλλά γενικά είναι οπές με κυκλική ή ορθογώνια διατομή. Μια σχάρα που αποτελείται από παράλληλες μπάρες ή χονδρά σύρματα συχνά ονομάζεται σχάρα με ράβδους ή χονδρή σχάρα και βρίσκει εφαρμογή στην απομάκρυνση των στερεών μεγάλου μεγέθους. Οι λεπτές σχάρες αποτελούνται από διάτρητες πλάκες, σφηνοειδείς ράβδους και συρμάτινα κόσκινα με μικρότερες οπές. Τα υλικά που κατακρατούνται από τέτοιου είδους διατάξεις ονομάζονται εσχαρίσματα.

Ο υπολογισμός των υδραυλικών απωλειών διαμέσου λεπτών σχαρών διαφέρει από τις χονδρές σχάρες. Οι υδραυλικές απώλειες του καθαρού νερού διαμέσου λεπτών σχαρών μπορεί να προσδιοριστεί από πίνακες των κατασκευαστών ή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση :

$$h_L = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{CA} \right)^2$$

όπου h_L = υδραυλικές απώλειες, m

C = συντελεστής διάθεσης για σχάρα (τυπική τιμή για μια καθαρή σχάρα είναι 0.60)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας, 9.81 m/s²

Q = απόρριψη μέσω της σχάρας, m³/s

A = ενεργή ανοιχτή επιφάνεια της βυθισμένης σχάρας, m²

Οι τιμές των συντελεστών C και A εξαρτώνται από παράγοντες σχεδιασμού της σχάρας, όπως το μέγεθος και η οδόντωση των οπών, η διάμετρος του σύρματος και η ύφανση και κυρίως το ποσοστό της ενεργής ανοιχτής επιφάνειας και πρέπει να δίνονται από τον κατασκευαστή ή να προσδιορίζονται πειραματικά. Ο πιο σημαντικός υπολογισμός είναι οι υδραυλικές απώλειες κατά τη λειτουργία. Οι υδραυλικές απώλειες εξαρτώνται από το μέγεθος και την ποσότητα των στερεών στα υγρά

απόβλητα, το μέγεθος των ανοιγμάτων και τη μέθοδο καθώς και τη συχνότητα καθαρισμού.



3-1 Χαρακτηριστικό δείγμα βιομηχανικών εγκαταστάσεων εσχάρωσης υγρών αποβλήτων

3.1.2 Εξισορρόπηση Φορτίων και ροής

Δεξαμενές εξισορρόπησης ή μονάδες προσωρινής αποθήκευσης χρησιμοποιούνται για να αντιμετωπιστεί η γενικότερη μεταβλητότητα της ροής και της σύστασης των υγρών αποβλήτων ή για να παρέχουν διορθωτική επεξεργασία όπως έλεγχος του pH ή των χημικών συνθηκών. Η εξισορρόπηση αυτή πρέπει να εξεταστεί ώστε να εξασφαλιστεί ότι η ροή και η σύσταση των υγρών αποβλήτων πληρεί τις προδιαγραφές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Η εξισορρόπηση ροής είναι η εξομάλυνση των διακυμάνσεων στην παροχή έτσι ώστε να επιτευχθεί μια σταθερή ή σχεδόν σταθερή παροχή και μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών περιπτώσεων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος συλλογής. Τα κυριότερα οφέλη από τη εφαρμογή της εξισορρόπησης

ροής είναι πρώτον ότι η βιολογική επεξεργασία βελτιώνεται, επειδή τα φορτία αιχμής περιορίζονται ή ελαχιστοποιούνται, οι παρεμποδιστικές ουσίες αραιώνονται και το pH σταθεροποιείται, δεύτερον η ποιότητα των εκροών και η απόδοση της πάχυνσης στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης που ακολουθούν τη βιολογική επεξεργασία βελτιώνονται, εξαιτίας της σταθερής φόρτισης στερεών, τρίτον μειώνονται οι απαιτήσεις για την επιφάνεια διήθησης της εκροής, η απόδοση διήθησης βελτιώνεται και είναι εφικτοί πιο ομοιόμορφοι κύκλοι διήθησης - αντίστροφης πλύσης με μικρότερα υδραυλικά φορτία και τέταρτον στην χημική επεξεργασία, η εξομάλυνση της φόρτισης μάζας βελτιώνει τον έλεγχο της τροφοδοσίας χημικών και την αξιοπιστία της διεργασίας. Εκτός απ τη βελτίωση της απόδοσης των περισσοτέρων διεργασιών, η εξισορρόπηση ροής είναι μια ελκυστική επιλογή για την αναβάθμιση της απόδοσης εγκαταστάσεων επεξεργασίας με υπερφόρτιση. Τα μειονεκτήματα από την εξισορρόπηση ροής περιλαμβάνουν πρώτον την απαίτηση για σχετικά μεγάλες επιφάνειες γης, δεύτερον οι εγκαταστάσεις εξισορρόπησης απαιτείται να καλύπτονται για έλεγχο των οσμών όταν βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές, τρίτον απαιτείται επιπρόσθετη λειτουργία κα συντήρηση και τέταρτον το κόστος επένδυσης αυξάνεται.

Όσον αφορά στη λειτουργία των εγκαταστάσεων εξισορρόπησης, είναι απαραίτητη αρκετή ανάδευση και αερισμός των αποβλήτων ώστε να ελαχιστοποιήσουμε τη δημιουργία στρώματος αφρού στην επιφάνεια των δεξαμενών και να συντηρήσουμε ένα ικανό επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου ώστε να διασφαλίσουμε ότι τα περιεχόμενα δεν γίνονται αναερόβια που θα οδηγούσε στη δημιουργία οξύτητας και οσμών. Παρόλα αυτά, όπου είναι απαραίτητο είναι τοποθετημένη στην δεξαμενή εξισορρόπησης μία συσκευή αφαίρεσης του στρώματος αφρού.



3-2 Δεξαμενή εξισορρόπησης ροής και φορτίων

3.1.3 Νιτροποίηση

Νιτροποίηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη βιολογική διεργασία δύο σταδίων κατά την οποία η αμμωνία ($\text{NH}_4\text{-N}$) οξειδώνεται σε νιτρώδη ($\text{NO}_2\text{-N}$) και τα νιτρώδη οξειδώνονται σε νιτρικά ιόντα ($\text{NO}_3\text{-N}$). Η απαίτηση για νιτροποίηση στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων σχετίζεται με το ενδιαφέρον για τις επιπτώσεις της αμμωνίας στον αποδέκτη που συνδέονται με τη συγκέντρωση του DO και την τοξικότητα στα ψάρια, την απαίτηση για απομάκρυνση αζώτου για έλεγχο του ευτροφισμού και την ανάγκη για έλεγχο του αζώτου σε εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού, όπου συμπεριλαμβάνεται η επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων. Για παράδειγμα, το υφιστάμενο μέγιστο επίπεδο ρύπανσης (MLC) του πόσιμου νερού για το άζωτο των νιτρικών είναι 45mg/L ως συγκέντρωση νιτρικών ή 10 mg/L ως συγκέντρωση αζώτου. Η ολική συγκέντρωση του οργανικού αζώτου και του αμμωνιακού αζώτου σε αστικά λύματα κυμαίνεται συνήθως από 25 ως 45 mg/L αζώτου με βάση μια παροχή 450 L/ person*d (120 gal/person*d. Σε πολλά μέρη του κόσμου με περιορισμένες πηγές νερού, έχει μετρηθεί ολική συγκέντρωση αζώτου πολύ μεγαλύτερη από τα 200 mg/L σε αστικά λύματα.

Όπως και η απομάκρυνση του BOD, έτσι και η νιτροποίηση μπορεί να επιτευχθεί σε βιολογικές διεργασίες αιωρούμενης και προσκολλημένης βιομάζας. Στις διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας, μια συνηθισμένη προσέγγιση είναι η πραγματοποίηση της νιτροποίησης ταυτόχρονα με την απομάκρυνση του BOD στην ίδια διεργασία ιλύος, η οποία αποτελείται από μια δεξαμενή αερισμού, μια δεξαμενή διαύγασης, και ένα σύστημα ανακύκλωσης ιλύος. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει σημαντική πιθανότητα για την ύπαρξη τοξικών και παρεμποδιστικών ουσιών στα υγρά απόβλητα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα διπλό σύστημα αιωρούμενης βιομάζας. Το διπλό σύστημα ιλύος αποτελείται από δυο δεξαμενές αερισμού και δυο δεξαμενές διαύγασης σε σειρά με την πρώτη μονάδα δεξαμενής αερισμού/διαύγασης, που λειτουργεί σε μικρό SRT για την απομάκρυνση του BOD. Το BOD και οι τοξικές ουσίες απομακρύνονται στην πρώτη μονάδα, προκειμένου η νιτροποίηση να προχωρήσει ανεμπόδιστη στη δεύτερη μονάδα. Ένα μέρος των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων πρέπει συνήθως να οδηγηθεί προς τη δεύτερη μονάδα του συστήματος για να παρέχει μια επαρκή ποσότητα στερεών έτσι ώστε να υπάρξει αποδοτική κροκίδωση των στερεών και διαύγαση. Επειδή τα βακτήρια που είναι υπεύθυνα για τη νιτροποίηση αναπτύσσονται πολύ πιο αργά από ότι τα ετερότροφα βακτήρια, τα συστήματα που είναι σχεδιασμένα για νιτροποίηση έχουν γενικά πολύ μεγαλύτερους υδραυλικούς χρόνους και χρόνους παραμονής στερεών σε σχέση με εκείνα τα συστήματα που έχουν σχεδιαστεί μόνο για απομάκρυνση BOD. Στις διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας που χρησιμοποιούνται για νιτροποίηση, το μεγαλύτερο μέρος του BOD πρέπει να απομακρυνθεί πριν αναπτυχθούν οι νιτροποιητικοί οργανισμοί. Τα ετερότροφα βακτήρια έχουν μια μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας και επομένως μπορεί να κυριαρχήσουν σε βάρος των νιτροποιητικών βακτηρίων στην επιφάνεια των συστημάτων σταθερού φιλμ. Η νιτροποίηση λαμβάνει χώρα σε έναν αντιδραστήρα προσκολλημένης βιομάζας μετά την απομάκρυνση του BOD ή σε ένα ξεχωριστό σύστημα προσκολλημένης βιομάζας ειδικά σχεδιασμένο για νιτροποίηση.

Για περιπτώσεις όπου αναμένουμε χαμηλό pH χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα για την νιτροποίηση των αποβλήτων :

- Ασβεστόλιθος, ασβεστόγαλα ή ένυδρος ασβέστης
- Καυστικό Νάτριο
- Ιονικούς ανταλλάκτες (κατιόντα)

Αντίθετα σε περίπτωση όπου αναμένεται υψηλό pH, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα :

- Εισαγωγή CO₂ όπως για παράδειγμα αέριο από καπνοσωλήνες ή αέριο που προέρχεται από διαδικασίες ζύμωσης
- Θειικό (H₂SO₄) ή υδροχλωρικό (HCl) οξύ
- Ιονικούς ανταλλάκτες (ανιόντα)

Ο όρος αυτονιτροποίηση χρησιμοποιείται σε κάποιες περιπτώσεις, όπου το μέγεθος της δεξαμενής εξισορρόπησης σε συνδυασμό με κατάλληλες διακυμάνσεις του pH των αποβλήτων καθιστά μη αναγκαία την πρόσθεση χημικών. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περιπτώσεις όπου έχουμε ταυτόχρονα, όξινα και αλκαλικά καθαρτικά στη δεξαμενή νιτροποίησης.

3.1.4 Πρωτοβάθμια καθίζηση

Ο στόχος της επεξεργασίας με καθίζηση είναι να απομακρυνθούν τα στερεά που καθιζάνουν εύκολα και τα επιπλέοντα υλικά και να μειωθεί έτσι η περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά. Η πρωτοβάθμια καθίζηση χρησιμοποιείται ως ένα προκαταρκτικό στάδιο στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης που έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν αποδοτικά μπορούν να απομακρύνουν 50 έως 70% των αιωρούμενων στερεών και 25 έως 40% του BOD.

Οι δεξαμενές καθίζησης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί ως δεξαμενές κατακράτησης των όμβριων υδάτων, σχεδιασμένες ώστε να παρέχουν ένα μέσο χρόνο παραμονής (10 ως 30 min) για την υπερχειλίση από παντοροϊκό σύστημα ή από σύστημα συλλογής ομβρίων. Ο σκοπός της καθίζησης είναι να απομακρυνθεί ένα σημαντικό μέρος των οργανικών στερεών τα οποία διαφορετικά θα αποβάλλονταν απευθείας στους υδάτινους αποδέκτες. Οι δεξαμενές καθίζησης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για να δοθεί ένας επαρκής χρόνος παραμονής για την αποτελεσματική απολύμανση των υπερχειλίσεων.

Όλες σχεδόν οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας χρησιμοποιούν μηχανικά καθαριζόμενες κυκλικές ή ορθογώνιες δεξαμενές καθίζησης. Η επιλογή του τύπου της μονάδας καθίζησης για μια δεδομένη εφαρμογή καθορίζεται από το μέγεθος της

εγκατάστασης, από τους κανονισμούς και τις διατάξεις των τοπικών αρχών, από τις τοπικές συνθήκες και από την εμπειρία και κρίση του μηχανικού. Πρέπει να υπάρχουν δύο ή περισσότερες δεξαμενές έτσι ώστε η διεργασία να μπορεί να παραμένει σε λειτουργία όταν η μια δεξαμενή είναι εκτός λειτουργίας για συντήρηση και επιδιόρθωση. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, ο αριθμός των δεξαμενών προσδιορίζεται από τους περιορισμούς στο μέγεθος.



3-3 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης

3.1.4.1 Απομάκρυνση BOD και TSS

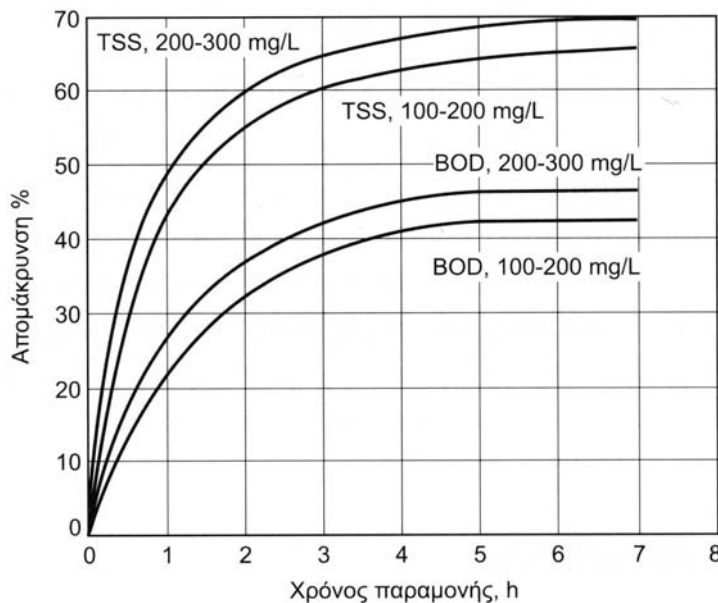
Τυπικά δεδομένα απόδοσης για την απομάκρυνση του BOD και των TSS σε δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, ως συνάρτηση του χρόνου παραμονής και της συγκέντρωσης των συστατικών, παρουσιάζονται στο σχήμα. Οι καμπύλες που φαίνονται στο σχήμα προέκυψαν από παρατηρήσεις της απόδοσης μιας πραγματικής δεξαμενής καθίζησης. Οι καμπύλες γραμμές στο σχήμα μπορούν να παρασταθούν ως ορθογώνιες υπερβολές χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση (Crites and Tchobanoglous 1998) :

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

όπου R = αναμενόμενη απόδοση απομάκρυνσης

t = ονομαστικός χρόνος παραμονής T

a,b = εμπειρικές σταθερές



3.2 Δευτεροβάθμια επεξεργασία

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.

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία βασίζεται κυρίως στη μετατροπή των διαλυμένων ενώσεων και των αιωρούμενων σωματιδίων σε μικροβιακή βιομάζα και στη συνέχεια στην απομάκρυνση της βιομάζας με καθίζηση (βιολογικός καθαρισμός). Σημειώνεται ότι η δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης και η ορθή της λειτουργία παίζει ιδιαίτερο ρόλο στη βιολογική επεξεργασία. Αφενός απομακρύνει την βιομάζα και αφετέρου με ανακύκλωση 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 (εκτατικοί και εντατικοί) και το είδος των διεργασιών (αερόβιοι, αναερόβιοι) ενώ οι διαυγαστήρες είναι κοινοί σε όλες τις περιπτώσεις.

3.2.1 Διεργασίες ενεργού ιλύος

Η βασική διεργασία της επεξεργασίας της ενεργού ιλύος, αποτελείται από τα τρία επόμενα βασικά συστατικά: πρώτον έναν αντιδραστήρα μέσα στον οποίο διατηρούνται σε αιώρηση και αερίζονται οι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την επεξεργασία, δεύτερον μια δεξαμενή καθίζησης όπου συνήθως γίνεται ο διαχωρισμός του υγρού από τα στερεά και τρίτον ένα σύστημα επανακυκλοφορίας για την επιστροφή των στερεών, που απομακρύνονται από το διαχωρισμό υγρού-στερεών, πίσω στον αντιδραστήρα. Έχουν εξελιχθεί διάφορα συστήματα που περιλαμβάνουν αυτά τα συστατικά. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της διεργασίας της ενεργού ιλύος είναι ο σχηματισμός συσσωματωμάτων στερεών (floculent settleable solids), που μπορούν να απομακρυνθούν με καθίζηση με βαρύτητα στις δεξαμενές καθίζησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η διεργασία της ενεργού ιλύος χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με φυσικές και χημικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την προκαταρκτική και πρωτοβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και την προχωρημένη επεξεργασία. Στις διεργασίες αυτές περιλαμβάνονται η απολύμανση και πιθανότατα η διύλιση.

Ιστορικά, οι περισσότερες μονάδες ενεργού ιλύος παραλαμβάνουν υγρά απόβλητα που έχουν υποστεί πρωτοβάθμια καθίζηση. Η πρωτοβάθμια καθίζηση είναι η πλέον αποτελεσματική για την απομάκρυνση των καθιζανόντων στερεών, ενώ οι βιολογικές διεργασίες είναι ουσιώδεις για την απομάκρυνση των διαλυμένων, κολλοειδών και σωματιδιακών (αιωρούμενων) οργανικών ουσιών, για τη βιολογική νιτροποίηση και απονιτροποίηση και για τη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου. Για εφαρμογές όπως η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από μικρότερου μεγέθους κοινότητες συνήθως δε χρησιμοποιείται πρωτοβάθμια επεξεργασία, καθώς δίνεται

περισσότερη έμφαση σε πιο απλές και λιγότερο εντατικές μεθόδους επεξεργασίας. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία συνήθως παραλείπεται σε χώρες του κόσμου που έχουν ζεστά κλίματα, όπου τα προβλήματα οσμών από τις πρωτοβάθμιες δεξαμενές και την πρωτογενή ιλύ, μπορεί να είναι σημαντικά. Για αυτές τις εφαρμογές, χρησιμοποιούνται διάφορες τροποποιήσεις των συμβατικών διαδικασιών της ενεργού ιλύος, συμπεριλαμβανομένων των αντιδραστήρων εναλλασσόμενων φάσεων διαλείποντος έργου, των συστημάτων των οξειδωτικών τάφρων, των αεριζόμενων λιμνών ή των λιμνών σταθεροποίησης.

Ο σχεδιασμός της διεργασίας της ενεργού ιλύος απαιτεί τον καθορισμό του όγκου της δεξαμενής αερισμού, της ποσότητας της παραγόμενης ιλύος, του οξυγόνου που απαιτείται και των συγκεντρώσεων των σημαντικών παραμέτρων στην εκροή. Για το σωστό σχεδιασμό μιας μονάδας επεξεργασίας ενεργού ιλύος, ο χαρακτηρισμός των υγρών αποβλήτων είναι ίσως το πιο σημαντικό βήμα στη διεργασία. Για τις διεργασίες της βιολογικής απομάκρυνσης των θρεπτικών, ο χαρακτηρισμός των υγρών αποβλήτων είναι αναγκαίος για την πρόβλεψη της απόδοσης. Ο χαρακτηρισμός των υγρών αποβλήτων είναι ένα σημαντικό στοιχείο στην αξιολόγηση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της διαθέσιμης ικανότητας επεξεργασίας. Ο χαρακτηρισμός της ροής είναι επίσης σημαντικός συμπεριλαμβανομένων των ημερήσιων, των εποχιακών μεταβολών και της ροής υπό υγρό καιρό. Χωρίς τον επαρκή χαρακτηρισμό των υγρών αποβλήτων, οι εγκαταστάσεις μπορεί ή να υπο-σχεδιασθούν ή να υπερ-σχεδιασθούν, με αποτέλεσμα την ανεπαρκή ή ενεργοβόρα επεξεργασία.

3.2.1.1 Λειτουργικές πληροφορίες για τη λειτουργία των διεργασιών ενεργού ιλύος στα υγρά απόβλητα των χυμοποιείων

Έπειτα από ένα δοθέν χρόνο κατακράτησης, ο οποίος μπορεί να ποικίλει από μερικές ώρες έως το υπερβολικό των 10 ημερών, βασισμένο στην αναλογία του οργανικού φορτίου, το διαθέσιμο μίγμα των μικροοργανισμών μεταφέρεται σε εγκατάσταση ιζηματοπόθεσης. Ο υδραυλικός χρόνος κατακράτησης εξαρτάται από τη σύσταση, τη διασπασιμότητα και την επιθυμητή τελική ποιότητα των υγρών αποβλήτων. Στην εγκατάσταση ιζηματοπόθεσης συντελείται η καθίζηση των μικροβιακών συμπλόκων και τα καθαρά υγρά απόβλητα μεταφέρονται σε τεχνητό

αγωγό. Η καθιζάνουσα λάσπη παράγεται και κυρίως επιστρέφεται στη δεξαμενή αερισμού. Το πιο κοινό πρόβλημα της μεθόδου αυτής είναι αυτό της διόγκωσης (bulking). Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει βιολογική λάσπη με χαμηλά χαρακτηριστικά καθίζησης. Αυτό γενικά οφείλεται στην παρουσία ινωδών βακτηρίων ή τον περιορισμό του νερού στα διάφορα βιολογικά σύμπλοκα. Ένα σημαντικό και θεμελιώδες σημείο να τονίσουμε ,όσον αφορά το πρόβλημα αυτό ,είναι ότι η πρόληψη προηγείται της θεραπείας. Έχει αναφερθεί ως λύση για το bulking, η χρήση χημικών για την απαλοιφή των ινωδών οργανισμών. Αυτές οι λύσεις όμως δεν είναι επιλεκτικές και μπορούν να καταστρέψουν όλη τη βιολογική δραστηριότητα. Το bulking μπορεί να προληφθεί για παράδειγμα εξασφαλίζοντας ότι η βέλτιστη ισορροπία των προστιθέμενων θρεπτικών διατηρείται, ώστε να ελαχιστοποιεί την απελευθέρωση θρεπτικών και την υπερπαραγωγή των ινοειδών βακτηρίων. Διαδικασίες που ακολουθούνται για την αντιμετώπιση του bulking όταν αυτό συμβαίνει συμπεριλαμβάνουν την ελάττωση του φορτίου.

Η παρουσία αμμωνίας σαν καταλύτης παρέχει στοιχεία για τα επίπεδα νιτροποίησης και μας δείχνει αν η απονιτροποίηση είναι αναγκαία. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής ,η ηλικία της λάσπης και η θερμοκρασία λειτουργίας είναι οι πιο σημαντικοί παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι παράμετροι αυτοί πρέπει να δικαιολογηθούν σε σχέση με τη διάσπαση των πιο ανθεκτικών οργανικών συστατικών.

Επιπρόσθετα, η χρήση ξεχωριστού διαμερίσματος ή εκλέκτορα έχει αναγνωριστεί σαν ένα καλό εργαλείο για την πρόληψη δημιουργίας και τον έλεγχο της ινοειδούς ανάπτυξης. Ο εκλέκτορας επιδρά στην επιλεκτική ανάπτυξη των συμπλόκων οργανισμών παρέχοντας υψηλές αναλογίες F/M (food-to-microorganism) σε ένα ελεγχόμενο επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου. Ο χρόνος επαφής είναι μικρός, συνήθως μεταξύ 10 και 30 λεπτών. Ο ανοξικός εκλέκτορας , ο οποίος χρειάζεται την παρουσία νιτρικών στο νερό, είναι συχνά η επιλογή για την ενεργή λάσπη που νιτροποιείται. Οι ανοξικοί εκλέκτορες, εκτός του ότι παρέχουν αποτελεσματικό έλεγχο των ινοειδών βακτηρίων ,παρέχουν το πλεονέκτημα της ελάχιστης απαίτησης οξυγόνου για τη λειτουργία τους ,εφόσον το νιτρικό άζωτο χρησιμοποιείται σαν τελικός υποδοχέας ηλεκτρονίων για την οξείδωση σημαντικού βιοδιασπώμενου

οργανικού περιεχομένου και μειώνει την ανάλωση αλκαλικότητας κατά τη νιτροποίηση, σαν αποτέλεσμα της ανάκτησης της αλκαλικότητας στην ανοξική ζώνη. Τέλος οι ανοξικοί εκλέκτορες μπορούν επίσης να είναι αρκετά αποτελεσματικοί στον έλεγχο ινοειδούς ανάπτυξης λόγω του ότι χρησιμοποιούν κινητικούς καθώς και μεταβολικούς μηχανισμούς.

3.2.2 Σύστημα αερισμού

Το σύστημα αερισμού για τη διεργασία της ενεργού ιλύος θα πρέπει να είναι επαρκές για την ικανοποίηση του εύκολα βιοαποικοδομήσιμου COD των αποβλήτων, την ικανοποίηση της ενδογενούς αναπνοής από τη βιομάζα, την ικανοποίηση της απαίτησης σε οξυγόνο για τη νιτροποίηση, την παροχή επαρκούς ανάμιξης και τη διατήρηση μιας ελάχιστης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου σε όλη τη δεξαμενή αερισμού. Εάν η απόδοση της μεταφοράς του οξυγόνου του συστήματος αερισμού είναι γνωστή ή μπορεί να εκτιμηθεί, μπορούν να προσδιοριστούν οι πραγματικές απαιτήσεις σε αέρα για το σύστημα διάθεσης του αέρα ή η εγκατεστημένη ισχύς των επιφανειακών μηχανικών αεριστήρων.

Για να καλύψει τα διατηρούμενα οργανικά φορτία στις συνθήκες μεγιστοποίησης, ο εξοπλισμός του αερισμού θα πρέπει να σχεδιασθεί με ένα παράγοντα μεγιστοποίησης τουλάχιστον ενάμιση με δύο φορές το μέσο φορτίο BOD. Επίσης ο εξοπλισμός αερισμού θα πρέπει να έχει μέγεθος με βάση το υπολειμματικό διαλυμένο οξυγόνο (DO) των 2 mg/L στη δεξαμενή αερισμού στο μέσο φορτίο και το 1 mg/L στο φορτίο αιχμής. Τα Ten States Standards (GLUMRBSS, 1978) απαιτούν το σύστημα αερισμού να είναι ικανό να παράσχει οξυγόνο που θα καλύπτει τη μέγιστη ημερήσια απαίτηση σε οξυγόνο ή το 200 τοις εκατό της μέσης τιμής του σχεδιασμού, η οποία είναι μεγαλύτερη σε υπολειμματικό DO 2 mg/L. Ο εξοπλισμός αερισμού θα πρέπει να σχεδιασθεί με αρκετή ευελιξία ώστε να καλύπτει τις ελάχιστες απαιτήσεις σε οξυγόνο, να παρεμποδίζει τον υπερβολικό αερισμό και να παράγει εξοικονόμηση ενέργειας και να καλύπτει τις μέγιστες απαιτήσεις σε οξυγόνο.

Όσον αφορά τη λειτουργικότητα των συστημάτων αερισμού, συγκεκριμένα για την επεξεργασία των αποβλήτων από χυμοποιεία, συγκρινόμενα με τη συμβατική μέθοδο της ενεργού ιλύος έχουν την ικανότητα να εντείνουν τη διαδικασία

λειτουργώντας σε ένα υψηλότερο επίπεδο διαλυμένων σωματιδίων διαλύματος. Επιπλέον, η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια καθώς με τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος το 70% της ενέργειας καταναλώνεται λόγω του ότι το άζωτο καταλαμβάνει το 70% του όγκου του αέρα.



3-4 Δεξαμενή αερισμού υγρών αποβλήτων με επιφανειακό αεριστήρα χαμηλής ταχύτητας προσαρτημένου σε μια σταθερή πλατφόρμα

3.2.3 Αντιδραστήρας εναλλασσόμενων φάσεων διαλείποντος έργου (Sequencing Batch Reactor)

Ο SBR είναι ένας αντιδραστήρας εναλλασσόμενων φάσεων που περιλαμβάνει ένα μονοβάθμιο αντιδραστήρα πλήρους ανάμιξης στον οποίο συμβαίνουν όλα τα στάδια της ενεργούς ιλύος. Για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων με συνεχή ροή, χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο δεξαμενές έτσι ώστε όταν η μία δεξαμενή είναι γεμάτη η άλλη να πάει από τη φάση της αντίδρασης, στην καθίζηση των στερεών και στην απομάκρυνση της εκροής. Ο SBR διέρχεται από ένα αριθμό κύκλων ανά ημέρα και ένας τυπικός κύκλος αποτελείται από γέμισμα τριών ωρών,

αερισμό δύο ωρών, καθίζηση μισής ώρας και απομάκρυνση του υπερκείμενου υγρού μισή ακόμη ώρα. Ένα αργό βήμα μπορεί να προστεθεί για να παράσχει ευελιξία στις υψηλές ροές. Το μικτό υγρό παραμένει στον αντιδραστήρα σε όλη τη διάρκεια των κύκλων, με συνέπεια την εξάλειψη της ανάγκης για ξεχωριστές δεξαμενές καθίζησης. Το άδειασμα του υπερκείμενου υγρού επιτυγχάνεται είτε με σταθερό μηχανισμό είτε με πλωτό. Ο χρόνος για τους SBR γενικά κυμαίνεται από 18 έως 30 ώρες, με βάση την παροχή της εισροής και τον όγκο της δεξαμενής που χρησιμοποιείται. Ο αερισμός μπορεί να επιτευχθεί με αεριστήρες τύπου jet ή διαχυτήρες μεγάλων φυσαλίδων με βυθισμένους αναμικτήρες. Η ξεχωριστή ανάμιξη παρέχει λειτουργική ευελιξία και είναι χρήσιμη κατά τη διάρκεια της περιόδου γεμίσματος για την ανοξική λειτουργία. Η αποβολή της περίσσειας ιλύος συμβαίνει κανονικά κατά τη διάρκεια της περιόδου αερισμού. Υπό αυτή την έννοια οι SBR έχουν απλούστερη και πιο στιβαρή λειτουργία που είναι το σύστημα fill-draw αντί της συμβατικού ενεργούς ιλύος. Εφόσον το συνετό γέμισμα του batch οδηγεί στο σχηματισμό μιας άμεσα κατακαθισμένης ενεργούς ιλύος, αυτή η διαδικασία είναι κατάλληλη για βιομηχανικά υγρά απόβλητα τα οποία έχουν ροπή για διόγκωση (bulking).



3-5 Αντιδραστήρες εναλλασσόμενων φάσεων διαλείποντος έργου

3.2.4 Αεριζόμενες λίμνες αιωρούμενης βιομάζας (Aerobic lagoons)

Οι λίμνες αιωρούμενης βιομάζας είναι σχετικά ρηχές χωμάτινες δεξαμενές που ποικίλλουν σε βάθος από 2 έως 5 m, με μηχανικούς αεριστήρες σε σχεδίες ή πλατφόρμες ανάμιξης. Οι μηχανικοί αεριστήρες χρησιμοποιούνται για να παράσχουν οξυγόνο για τη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και για να κρατήσουν τα βιολογικά στερεά σε αιώρηση. Σε μερικές περιπτώσεις, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί διαχυτήρες αέρος. Οι αεριζόμενες λίμνες αιωρούμενης βιομάζας λειτουργούν με ροή διαμέσου της βάσης ή με επανακυκλοφορία των στερεών.

Οι κύριοι τύποι των διεργασιών των λιμνών αιωρούμενης βιομάζας, ταξινομούνται με βάση τον τρόπο με τον οποίο χειρίζονται τα στερεά, (Arceivala, 1998) είναι:

- Επαμφοτερίζουσες μερικώς αναμεμιγμένες.
- Αερόβιας ροής με μερική ανάμιξη.
- Αερόβιες με επανακυκλοφορία στερεών και ονομαστική πλήρη ανάμιξη.

Οι διαφορές στον τρόπο που χειρίζονται τα στερεά θα επηρεάσουν την απόδοση της επεξεργασίας, τις απαιτήσεις σε ισχύ, τον υδραυλικό χρόνο παραμονής των στερεών, την αποβολή της ιλύος και τις περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Οι παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στη διεργασία του σχεδιασμού των λιμνών αιωρούμενης βιομάζας περιλαμβάνουν την απομάκρυνση του BOD, τα χαρακτηριστικά της εκροής, τις επιδράσεις της θερμοκρασίας, την απαίτηση σε οξυγόνο, την απαίτηση σε ενέργεια για την ανάμιξη και το διαχωρισμό των στερεών.

3.2.4.1 Απομάκρυνση BOD

Επειδή η λίμνη αιωρούμενης βιομάζας αερόβιας ροής μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας αντιδραστήρας πλήρους ανάμιξης χωρίς ανακυκλοφορία, η βάση του σχεδιασμού της είναι ο SRT, που σε αυτή την περίπτωση είναι ίσος με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής, τ κάτω από συνθήκες ιδανικής ροής. Το SRT θα πρέπει να επιλέγεται για να διασφαλίζει ότι οι αιωρούμενοι μικροοργανισμοί θα βιοσυσσωματωθούν για την εύκολη απομάκρυνση τους με την καθίζηση και ότι παρέχεται ένας επαρκής συντελεστής ασφαλείας. Οι τυπικές τιμές του SRT σχεδιασμού για τις αεριζόμενες λίμνες για την επεξεργασία των οικιακών αποβλήτων ποικίλλουν από 3 έως 6 d.

Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι να θεωρηθεί ότι η παρατηρημένη απομάκρυνση του BOD (είτε η συνολική, που περιλαμβάνει τη συνεισφορά των διαλυτών και αιωρούμενων στερεών, είτε μόνο του διαλυτού) μπορεί να περιγραφεί με όρους μιας συνάρτησης απομάκρυνσης πρώτου βαθμού. Η απομάκρυνση του BOD μετράται στην εισροή και την έξοδο από τη λίμνη (όχι την έξοδο από τις εγκαταστάσεις καθίζησης που ακολουθούν τη λίμνη).

$$\frac{s}{s_0} = \frac{1}{1 + k\tau}$$

όπου S = η συγκέντρωση του BOD της εκροής, g/m^3
 S_0 = η συγκέντρωση του BOD της εισροής, g/m^3
 k = η σταθερά του συνολικού ρυθμού απομάκρυνσης του BOD πρώτης τάξης, d^{-1}
 $\tau = (V/Q)$, d

Οι καταγεγραμμένες τιμές του συνολικού k ποικίλλουν από 0.5 έως 1.5 d^{-1} . Οι ρυθμοί απομάκρυνσης του διαλυτού BOD θα είναι υψηλότεροι. Σε μερικές περιπτώσεις, για να περιορισθεί το βραχυκύκλωμα σε πολύ μεγάλες λίμνες, ο ολικός όγκος που απαιτείται για τη ροή της λίμνης κατανέμεται σε δύο ή τρεις λίμνες σε σειρά. Η κατάλληλη εξίσωση για λίμνες ίσου μεγέθους σε σειρά είναι η εξής :

$$C_n = \frac{C_0}{[1 + (kV/nQ)]^n} = \frac{C_0}{[1 + (k/n\tau)]^n}$$

όπου n = ο αριθμός των λιμνών σε σειρά
 V = ο όγκος, m^3
 Q = η παροχή, m^3/s



3-6 Αεριζόμενη λιμνοδεξαμενή αιωρούμενης βιομάζας

3.3 Τριτοβάθμια επεξεργασία

Η τριτοβάθμια επεξεργασία έπεται της δευτεροβάθμιας και αποσκοπεί στην περαιτέρω αφαίρεση στερεών, οργανικού φορτίου αλλά και χρώματος. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται είναι η διήθηση σε πολλαπλή κλίνη, η προσρόφηση ρύπων από ενεργό άνθρακα, η κατακρήμνιση ρύπων (χημική επεξεργασία), η αντίστροφη όσμωση. Στην τριτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνεται και η απολύμανση των επεξεργασμένων αποβλήτων με χρήση ισχυρών οξειδωτικών παραγόντων (χλώριο, όζον, H_2O_2) ή με υπεριώδη ακτινοβολία. Η παραπάνω επεξεργασία δεν είναι απαραίτητη σε γενικές περιπτώσεις παρά μόνο αν υπάρχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις για τα ύδατα που απορρίπτονται στο περιβάλλον.

3.3.1 Βιολογική επεξεργασία με διαχωρισμό μεμβρανών

Οι αντιδραστήρες βιολογικών μεμβρανών που αποτελούνται από έναν βιολογικό αντιδραστήρα με αιωρούμενη βιομάζα και διαχωρισμό των στερεών από μεμβράνες μικροφίλτρων με ονοματικό μέγεθος πόρων από 0.1 έως 0.4 μm , βρίσκουν πολλές εφαρμογές στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Τα συστήματα των

αντιδραστήρων βιολογικών μεμβρανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αερόβιους ή αναερόβιους βιοαντιδραστήρες αιωρούμενης βιομάζας για το διαχωρισμό των υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί επεξεργασία από την ενεργή βιομάζα. Οι αντιδραστήρες βιολογικών μεμβρανών έχουν χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία και αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων (Brindle and Stephenson ,1996 Van Dijk and Roncken, 1997, Trussel et al.,2000) και για εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού (Cicek, 1998).

Η έννοια των συστημάτων MBR (Membrane Biological Reactors) αποτελείται από τη χρήση ενός βιοαντιδραστήρα και μικροδιήθησης ως μία μονάδα επεξεργασίας για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με συνέπεια να αντικαθιστούν και σε μερικές περιπτώσεις να συμπληρώνουν, τη λειτουργία του διαχωρισμού των στερεών με τη δευτεροβάθμια καθίζηση και τη διήθηση της εκροής. Η δυνατότητα να εξαλειφθεί η δευτεροβάθμια καθίζηση και να λειτουργεί σε υψηλότερες συγκεντρώσεις MLSS παρέχει το πλεονέκτημα πρώτον υψηλότερων ρυθμών ογκομετρικών φορτίων και συνεπώς συντομότερους υδραυλικούς χρόνους παραμονής στον αντιδραστήρα, δεύτερον έχουμε μεγαλύτερους SRT, που έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή λιγότερης ιλύος, τρίτον λειτουργεί σε χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου με τη δυνατότητα για ταυτόχρονη νιτροποίηση και απονιτροποίηση σε μεγαλύτερα SRT σχεδιασμού, τέταρτον έχουμε υψηλότερη ποιότητα εκροής σε όρους χαμηλής θολότητας, βακτηρίων, TSS και BOD και πέμπτον χρειάζεται λιγότερος χώρος για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Τα μειονεκτήματα των MBR περιλαμβάνουν υψηλά κόστη αρχικής επένδυσης, περιορισμένα δεδομένα για τη ζωή των μεμβρανών, δυνητικά υψηλά κόστη για την περιοδική αντικατάσταση των μεμβρανών, υψηλότερα ενεργειακά κόστη και την ανάγκη για έλεγχο απόφραξης των μεμβρανών.

Τα συστήματα των βιοαντιδραστήρων μεμβρανών έχουν δύο βασικούς σχηματισμούς. Πρώτον, τον ολοκληρωμένο βιοαντιδραστήρα που χρησιμοποιεί βυθισμένες μεμβράνες στο βιοαντιδραστήρα και δεύτερον τον ανακυκλοφορούμενο MBR στον οποίο το μικτό υγρό ανακυκλοφορείται διαμέσου ενός συστήματος μεμβρανών που βρίσκεται εκτός του βιοαντιδραστήρα. Στο ολοκληρωμένο σύστημα MBR, το στοιχείο κλειδί είναι η μεμβράνη μικροδιήθησης που είναι βυθισμένη

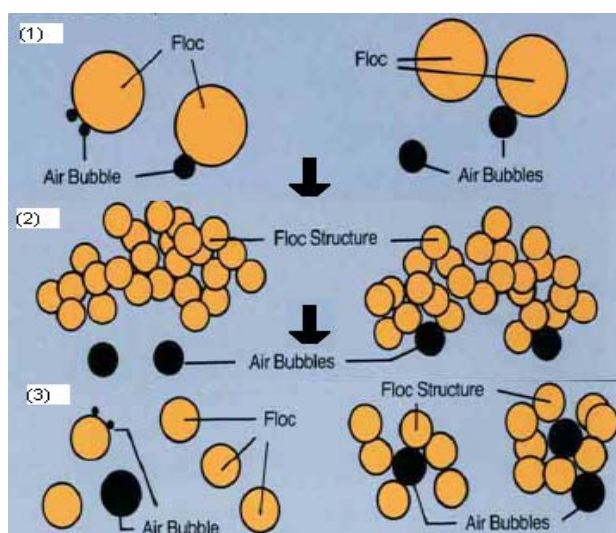
απευθείας στον αντιδραστήρα ενεργού ιλύος. Οι μεμβράνες είναι τοποθετημένες σε συστήματα που μπορούν να χαμηλώσουν μέσα στο βιοαντιδραστήρα. Τα συστήματα αποτελούνται από τις μεμβράνες, τη δομή για την υποστήριξη των μεμβρανών, την είσοδο τροφοδοσίας και τις συνδέσεις εξόδου και μία συνολική δομή υποστήριξης. Οι μεμβράνες υπόκεινται σε κενό (λιγότερο από 50 kPa), που τραβάει το νερό διαμέσου των μεμβρανών ενώ κατακρατεί τα στερεά στον αντιδραστήρα. Για την διατήρηση των TSS εντός του βιοαντιδραστήρα και για να καθαρισθεί το εξωτερικό των μεμβρανών, εισάγεται συμπιεσμένος αέρας διαμέσου μιας βαλβίδας στη βάση του συστήματος των μεμβρανών. Καθώς οι φυσαλίδες ανέρχονται στην επιφάνεια, συμβαίνει το τρίψιμο της επιφάνειας των μεμβρανών, ο αέρας επίσης παρέχει οξυγόνο για τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών.

Με την αντικατάσταση του διαχωρισμού των στερεών με την καθίζηση με βαρύτητα στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης, οι μεμβράνες αποφεύγουν ζητήματα διόγκωσης της ιλύος λόγω νηματοειδών και άλλα προβλήματα συσσωμάτωσης και καθίζησης και η συγκέντρωση των MLSS (15000 έως 25000 mg/L) από τις συμβατικές διεργασίες ενεργού ιλύος (Cote et al., 1998). Αν και έχουν καταγραφεί υψηλές συγκεντρώσεις MLSS όπως σημειώθηκε παραπάνω, οι συγκεντρώσεις των MLSS με εύρος από 8000 έως 10000 mg/L εμφανίζονται να είναι πιο αποτελεσματικές ως προς το κόστος όταν ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες.

Κεφάλαιο 4. Σχεδιασμός εναλλακτικών τρόπων διαχείρισης των υγρών από χυμοποιεία

Σε αυτό το κεφάλαιο προτείνεται μια τροποποίηση των ήδη χρησιμοποιούμενων μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το χαρακτηριστικό εκείνο των υγρών αποβλήτων χυμοποιείων με το μεγαλύτερο συντελεστή δυσκολίας για την αντιμετώπισή του είναι αυτό των αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτό, διότι αποτελούνται ως επί το πλείστον από κυτταρίνες που ως γνωστόν είναι ανθεκτικές στη βιοαποικοδόμηση και δεν μπορούμε να απαλλαγούμε από αυτές μόνο με μια απλή πρωτοβάθμια καθίζηση.

Για το λόγο αυτό, γνωρίζοντας ότι τα σωματίδια αυτά είναι και ελαφρύτερα από το νερό, προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου επίπλευσης με διαλυμένο αέρα. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με την προσθήκη μιας μονάδας επίπλευσης με διαλυμένο αέρα αμέσως μετά την μονάδα πρωτοβάθμιας καθίζησης. Με τον τρόπο αυτό θα επιτύχουμε την ενίσχυση του διαχωρισμού των συγκεκριμένων σωματιδίων. Ο βασικός μηχανισμός του DAF (Dissolved Air Flotation) είναι η εισαγωγή μικρών φυσαλίδων αέρα στα υγρά απόβλητα που περιέχουν τα αιωρούμενα στερεά ώστε αυτά να επιπλεύσουν. Οι μικρές αυτές φυσαλίδες προσκολλούνται με τα χημικώς εξαρτημένα από αυτές μόρια και καθώς ανεβαίνουν στην επιφάνεια τα στερεά ανέρχονται στην επιφάνεια μαζί τους.



4-1 Συμπλοκοποίηση αέριων φυσαλίδων-σωματιδίων

4.1 Επίπλευση

Αναμιγμένα ελεύθερα σωματίδια μπορούν να διαχωριστούν το ένα από το άλλο με επίπλευση εάν υπάρχουν επαρκείς διαφορές στη διαβρεξιμότητά τους. Η διαδικασία επίπλευσης λειτουργεί εισάγοντας αέριες φυσαλίδες μέσα στην υγρή φάση. Οι φυσαλίδες προσκολλώνται στη σωματιδιακή ύλη και η άνωση των συνδυασμένων σωματιδίων και αερίων φυσαλίδων είναι αρκετή για να προκαλέσει την άνοδο του σωματιδίου στην επιφάνεια. Έτσι μπορούν να ανυψωθούν τα σωματίδια που έχουν υψηλότερη πυκνότητα από το υγρό. Μπορεί επίσης να διευκολυνθεί η άνοδος των σωματιδίων με μικρότερη πυκνότητα από το υγρό.

Η σημερινή πρακτική της επίπλευσης όπως εφαρμόζεται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, περιορίζεται στη χρήση αέρα ως μέσου επίπλευσης. Οι φυσαλίδες αέρα προστίθενται ή σχηματίζονται με εισαγωγή αέρα ενώ το υγρό είναι υπό πίεση, με ακόλουθη εκτόνωση της πίεσης, είτε με αερισμό σε ατμοσφαιρική πίεση. Σε αυτά τα συστήματα, ο βαθμός της απομάκρυνσης μπορεί να βελτιωθεί με την χρήση διάφορων χημικών προσθέτων. Στην επεξεργασία αστικών λυμάτων, συνήθως χρησιμοποιείται η επίπλευση διαλυμένου αέρα, ιδιαίτερα για την πάχυνση απορριπτόμενων βιοεστέρων.

Η λειτουργία της επίπλευσης βασίζεται σε δύο κύρια βήματα. Πρώτον, την προανάμιξη (conditioning) και δεύτερον το διαχωρισμό (separation). Κατά το πρώτο βήμα, το μίγμα ή ο πολτός με τα σωματίδια προς διαχωρισμό, τροφοδοτείται στη μονάδα προανάμιξης, όπου και οι απαραίτητοι παράγοντες επίπλευσης προστίθενται. Ο κύριος λόγος του βήματος προανάμιξης είναι η δημιουργία φυσικοχημικών συνθηκών για την επίτευξη κατάλληλης εκλεκτικότητας μεταξύ των διάφορων προς διαχωρισμό σωματιδίων. Το δεύτερο βήμα προορίζεται για την δημιουργία και εισαγωγή αερίων φυσαλίδων μέσα στη δεξαμενή επεξεργασίας για την επαφή τους με τα διάφορα είδη σωματιδίων έτσι ώστε να επενεργήσουν στο διαχωρισμό με επίπλευση. Τα σωματίδια που επισυνάπτονται στις αέριες φυσαλίδες αφαιρούνται στις περισσότερες εφαρμογές από τη δεξαμενή επεξεργασίας σαν αφρός. Αναλόγως, η μονάδα λειτουργίας επίπλευσης συχνά αναφέρεται σαν αφρώδης επίπλευση. Ανάλογα την εφαρμογή, αυτά τα δύο βήματα μπορούν να εφαρμόζονται ξεχωριστά σε δύο μονάδες επεξεργασίας ή σε μία μονάδα που να συνδυάζει και τα δύο βήματα.

4.1.1 Αντιδραστήρια επίπλευσης

Κατά τη λειτουργία της αφρώδους επίπλευσης χρησιμοποιούνται τρία χημικά αντιδραστήρια : οι συλλέκτες, τα αντιδραστήρια αφρισμού και οι τροποποιητές

4.1.2 Συλλέκτες

Είναι επιφανειακά ενεργά αντιδραστήρια τα οποία προστίθενται στον πολτό επίπλευσης, όπου αφομοιώνονται επιλεκτικά στην επιφάνεια των σωματιδίων και τα καθιστούν με αυτόν τον τρόπο υδρόφοβα. Οι μη ιοντικοί συλλέκτες είναι πρακτικά αδιάλυτοι στο νερό και καθιστούν τα σωματίδια υδρόφοβα καλύπτοντάς τα με μία λεπτή μεμβράνη. Οι ιοντικοί συλλέκτες διασπώνται σε ιόντα μέσα στο νερό και ενώνονται με πολύπλοκα ετεροπολικά μόρια καθότι τα μόρια περιλαμβάνει μια ομάδα μη πολικών υδρογονανθράκων με καταγεγραμμένες υδροφοβικές ιδιότητες και μία πολική ομάδα με υδροφιλικές ιδιότητες. Οι ιοντικοί συλλέκτες αφομοιώνονται είτε με φυσικές είτε με χημικές μεθόδους στην επιφάνεια του σωματιδίου και μπορούν επιπλέον να ταξινομηθούν σε ανιονικούς ή κατιονικούς συλλέκτες ανάλογα με τη φύση της ομάδας των ετεροπολικών υδρογονανθράκων. Οι απαιτήσεις για δοσολογία των συλλεκτών εξαρτώνται από τους μηχανισμούς με τους οποίους αλληλεπιδρούν με την επιφάνεια των σωματιδίων, αλλά αρκετό χρειάζεται μόνο για το σχηματισμό μιας μονομοριακής στρώσης. Σαν κανόνας, υψηλές δόσεις απαιτούνται για τους μη ιοντικούς συλλέκτες και τους φυσικά-απορροφητικούς ιοντικούς συλλέκτες και χαμηλές δόσεις για τους χημικά-απορροφητικούς συλλέκτες. Πρόσθεση υπερβολικών ποσοτήτων ενός συλλέκτη δεν είναι επιθυμητή επειδή έχει σαν αποτέλεσμα στη μείωση της εκλεκτικότητας καθώς επίσης επιβαρύνεται το κόστος λειτουργίας.

4.1.3 Αντιδραστήρια αφρισμού (Frothers)

Αυτά είναι επίσης επιφανειακά ενεργά αντιδραστήρια που προστίθενται στον πολτό επίπλευσης αρχικά για την σταθεροποίηση των αέριων φυσαλίδων ώστε να έχουμε αποτελεσματική προσκόλληση και μεταφορά στην επιφάνεια, των «φορτίων» σωματιδίου-φυσαλίδας, καθώς και απομάκρυνση από τον αφρό. Η λειτουργία των αντιδραστηρίων αφρισμού είναι παρεμφερής με αυτή των ιοντικών συλλεκτών εκτός από το γεγονός ότι συγκεντρώνονται αρχικά στην κοινή επιφάνεια αέρα-υγρού. Η

ποσότητα των αντιδραστηρίων αφρισμού που συνήθως απαιτείται είναι περίπου 0.01 έως 0.1 g ανά κιλό στερεών.

4.1.4 Τροποποιητές (Modifiers)

Οι τροποποιητές επίπλευσης περιλαμβάνουν διάφορες κατηγορίες χημικών:

- **Ενεργοποιητές (Activators):** Αυτοί χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν μια ανόργανη επιφάνεια, πρόθυμη στην επικάλυψή της από τους συλλέκτες. Για παράδειγμα χρησιμοποιείται ιόν χαλκού για να ενεργοποιήσει σφαλερίτη (ορυκτό), καθιστώντας την επιφάνεια του σφαλερίτη ικανή για αφομοίωση με συλλέκτη εστέρα ξανθικού οξέως.
- **Ρυθμιστές pH:** Ρυθμιστές όπως ασβέστιο, καυστική σόδα, άνυδρο ανθρακικό νάτριο και θειικό οξύ χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ή τη ρύθμιση του pH, το οποίο αποτελεί ένα πολύ κρίσιμο παράγοντα σε πολλούς διαχωρισμούς επίπλευσης.
- **Καταθλίπτες (Depressants):** Οι καταθλίπτες βοηθάνε στην εκλεκτικότητα ή εμποδίζουν ανεπιθύμητες ανόργανες ουσίες να επιπλεύσουν.
- **Διαλυτικά και κροκιδωτικά:** Αυτά είναι πολύ σημαντικά για τον έλεγχο της ιλύος, η οποία πολλές φορές παρεμβαίνει στην εκλεκτικότητα και αυξάνει την κατανάλωση των αντιδραστηρίων. Για παράδειγμα, το άνυδρο ανθρακικό νάτριο χρησιμοποιείται σαν διαλυτικό και άμυλα και πολυακρυλαμίδια σαν κροκιδωτικά.

Οι ποσότητες των τροποποιητών παραγόντων που χρησιμοποιούνται ποικίλουν από τη χαμηλή ποσότητα των 0.01 έως 0.1 g/kg μέχρι τις υψηλές ποσότητες του 1 με 2 g/kg των στερεών ανάλογα το αντιδραστήριο.

4.2 Θεμελιώδεις αρχές επίπλευσης

Η επίπλευση είναι μια φυσική διαδικασία που περιλαμβάνει την εξαρτημένη αλληλεπίδραση τριών φάσεων: στερεά, υγρή και αέρια. Η κατανόηση της ικανότητας διάβρεξης της επιφάνειας του στερεού, της φυσικής επιφάνειας και τα χημικά φαινόμενα με τα οποία τα αντιδραστήρια επίπλευσης ενεργούν και οι μηχανικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την προσκόλληση σωματιδίων-αέριων φυσαλίδων και την απομάκρυνση του φορτίου των συμπλόκων, είναι χρήσιμη στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων επίπλευσης με επιτυχία.

4.2.1 Θερμοδυναμική της διάβρεξης

Η βασική επιδίωξη της επίπλευσης είναι η επαφή των αιωρούμενων στο νερό σωματιδίων με τις αέριες φυσαλίδες ώστε να δημιουργηθεί ένα σταθερό σύμπλοκο φυσαλίδας-σωματιδίου. Έχει παρατηρηθεί ότι η προσκόλληση του σωματιδίου με την αέρια φυσαλίδα καταστρέφει τη διεπιφάνεια στερεού-υγρού καθώς και τη διεπιφάνεια αέρα-υγρού και δημιουργεί μια νέα διεπιφάνεια αέρα-στερεού. Αυτή ή χωρίς πρόσθετη ενέργεια αλλαγή δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta G = \gamma_{AS} - (\gamma_{SW} + \gamma_{AW})$$

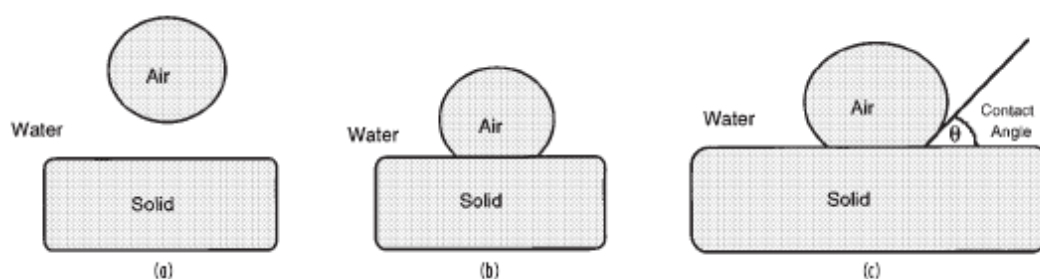
Όπου ο όρος γ συμβολίζει το διεπιφανειακό δυναμικό του αερίου-στερεού (AS), στερεού-νερού (SW) και αερίου-νερού (AW) αντίστοιχα. Η εξαναγκασμένη ισορροπία για το σύστημα αερίου-νερού-στερεού σωματιδίου ακολουθεί την εξίσωση Young:

$$\gamma_{AS} = \gamma_{SW} + \gamma_{AW} \cos \theta$$

Όπου το θ αντιπροσωπεύει τη γωνία επαφής αερίου-στερεού. Πρέπει να γίνει φανερό ότι η γωνία επαφής αποτελεί ένα μέτρο εξισορρόπησης της διεπιφανειακής ενέργειας του συστήματος αερίου-νερού-στερεού. Συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω εξισώσεις παίρνουμε την ακόλουθη:

$$\Delta G = \gamma_{AW} (\cos \theta - 1)$$

Για αυτό το λόγο, για όποια πεπερασμένη τιμή της γωνίας επαφής, η ελεύθερη αλλαγή ενέργειας γίνεται αρνητική, οπότε και μπορεί να πραγματοποιηθεί η προσκόλληση σωματιδίου-φυσαλίδας. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα στερεά με πολικότητα, έχουν υψηλή ενέργεια επιφάνειας και είναι βρεγμένα με νερό. Επομένως, η γωνία επαφής τους είναι μηδέν. Η διαβρεξιμότητα των στερεών μπορεί να ελεγχθεί με προσρόφηση χημικών αντιδραστηρίων, τα οποία μπορούν να αλλάξουν το διεπιφανειακό δυναμικό, με τέτοιο τρόπο ώστε η γωνία επαφής να γίνει μετρήσιμη για να μπορεί να λειτουργήσει η επίπλευση.



4.2.2 Φυσικοχημικά φαινόμενα

Πολλά φυσικοχημικά φαινόμενα απαντώνται όταν χημικά αντιδραστήρια προστίθενται σε ένα σύστημα αερίου-νερού λόγω των αλληλεπιδράσεων των διεπιφανειών αέρα-νερού, νερού-στερεού και αέρα-στερεού με τα αντιδραστήρια. Αυτό προκαλεί αλλαγές στην χημεία διάλυσης στην οποία υπόκεινται τα σωματίδια. Μερικά από τα σημαντικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα λόγω της πρόσθεσης των αντιδραστηρίων, περιλαμβάνουν τη διαλυτότητα και το διαχωρισμό των αντιδραστηρίων στο νερό, την αλλαγή του pH του αιωρήματος, την αλλαγή του διεπιφανειακού δυναμικού αέρα-νερού, την φυσική και χημική προσρόφηση των διαλυμένων ειδών στην επιφάνεια του στερεού λόγω της μορφής των δεσμών υδρογόνου, τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, τους υδρόφοβους δεσμούς, τη δημιουργία χημικών δεσμών και την δέσμευση των διαφόρων αντιδραστηρίων από τις κρυσταλλικές δομές. Όλα αυτά τα φαινόμενα, ουσιαστικά, καταλήγουν σε επηρεασμό της γωνίας επαφής και της φύσης της επίπλευσης των στερεών σωματιδίων και της προσκόλλησής τους στις αέριες φυσαλίδες. Μια επαρκή κατανόηση του ρόλου που έχουν τα αντιδραστήρια και της κατάλληλης

εκλεκτικότητάς τους ώστε να δημιουργήσουν τις επιθυμητές συνθήκες, είναι κυρίαρχο για την επιτυχημένη λειτουργία της επίπλευσης.

4.2.3 Συμπλοκοποίηση σωματιδίων-αέριων φυσαλίδων

Το επόμενο βήμα είμαι η δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών για την επαφή σωματιδίων-φυσαλίδων, την συμπλοκοποίησή τους και την αφαίρεσή τους, η οποία περιγράφεται σαν ένας συνδυασμός τριών τυχαίων γεγονότων, με τα οποία συσχετίζονται. Αυτά είναι η πιθανότητα πρόσκρουσης σωματιδίων-φυσαλίδων, η πιθανότητα συμπλοκοποίησης και η πιθανότητα διατήρησης της συμπλοκοποίησης. Το πρώτο ενδεχόμενο ελέγχεται από τις υδροδυναμικές συνθήκες που επικρατούν στη μονάδα επίπλευσης. Το δεύτερο ενδεχόμενο καθορίζεται από τις δυνάμεις επιφάνειας και το τρίτο εξαρτάται από την επιβίωση των «φορτωμένων» φυσαλίδων από την αναταραχή του νερού και τις επιδράσεις από άλλα αιωρούμενα σωματίδια.

4.2.4 Μεταβλητές της διαδικασίας επίπλευσης

Υπάρχει ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μεταβλητών που κατευθύνουν την διαδικασία επίπλευσης. Σε αυτές περιλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων (μέγεθος, σχήμα, χημική και ορυκτολογική σύσταση), χημικές μεταβλητές (είδος και ποσότητα των αντιδραστηρίων επίπλευσης που προστίθενται), μεταβλητές της μηχανής επίπλευσης (μέγεθος εξοπλισμού, εσωτερική γεωμετρία της συσκευής, ταχύτητα της λειτουργίας κ.τ.λ.), και λειτουργικές μεταβλητές (τροφοδοσία ιλύος και ποσοστό των αιωρούμενων στερεών). Ένα συνδυασμένο αποτέλεσμα όλων αυτών των μεταβλητών μπορεί να εκφραστεί από δύο ανεξάρτητες μεταβλητές, το ρυθμό ειδικής επίπλευσης και το χρόνο διαμονής του πολτού στη συσκευή επίπλευσης και από δύο εξαρτημένες μεταβλητές, το βαθμό (σύσταση του επιθυμητού συστατικού) και την ανάκτηση (αναλογία κατά βάρος του επιθυμητού συστατικού στον αφρό προς αυτό της τροφοδοσίας) του παραγόμενου αφρού.

Είναι διαθέσιμες αρκετές εργαστηριακές διαδικασίες για διερεύνηση της ανταπόκρισης της επίπλευσης οποιουδήποτε στερεού-στερεού συστήματος και την αναπαραγωγή βασικών πληροφοριών που αφορούν στην επιλογή και το μέγεθος των

μονάδων επίπλευσης και των κύκλων. Επίσης είναι διαθέσιμες, ποικίλα μοντέλα λειτουργίας της επίπλευσης με διάφορες βαθμίδες βελτιώσεων και αναπαράστασης. Αυτά τα λειτουργικά μοντέλα μπορούν να διαμορφώσουν μια ποσοτική βάση κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων των μηχανικών συστημάτων επίπλευσης. Τελικά, είναι επί του παρόντος διαθέσιμοι πολλοί τύποι αντιδραστηρίων επίπλευσης και εξοπλισμοί επίπλευσης με διαφορετικές σχεδιαστικές λεπτομέρειες και η κατάλληλη επιλογή τους πρέπει να γίνει ανάλογα με το διαχωριστικό έργο ο καθένας πρέπει να φέρει εις πέρας.

4.2.5 Επίδραση του μεγέθους των σωματιδίων

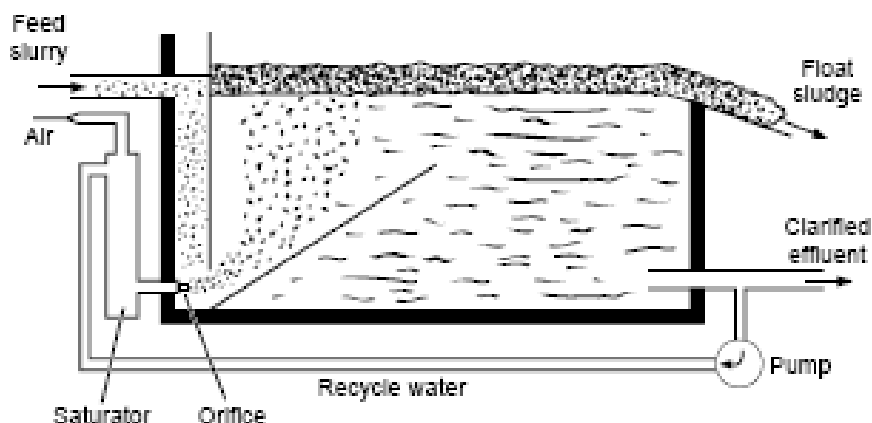
Το μέγεθος των σωματιδίων είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας του διαχωρισμού με επίπλευση. Τα σωματίδια με εύρος μεγέθους από 20-60 μm έχουν την υψηλότερη αναλογία επίπλευσης. Μεγαλύτερα σωματίδια, δεδομένου ότι είναι και βαρύτερα, δεν μπορούν εύκολα να αιωρηθούν και να ανακτηθούν, παρόλο που οι κατάλληλες θερμοδυναμικές συνθήκες ίσως υπάρχουν. Σε αντίθεση, καθώς τα σωματίδια μικραίνουν, καθίστανται ελαφρύτερα και ο λόγος της επιφάνειάς τους προς τον όγκο τους μεγαλώνει.

4.3 Επίπλευση με διαλυμένο αέρα



4-2 Δεξαμενή επίπλευσης με διαλυμένο αέρα

Η επίπλευση διαλυμένου αέρα συνεπάγεται διαπότιση του επεξεργαζόμενου ρεύματος με αέρα και δημιουργία αέριων φυσαλίδων με εκτόνωση της πίεσης. Η συμπλοκοποίηση σωματιδίου-φυσαλίδας επιτυγχάνεται με τον άμεσο σχηματισμό πυρήνα και την ανάπτυξη των αέριων φυσαλίδων πάνω στα σωματίδια και απαιτείται μια πολύ μικρή μηχανική ανάδευση. Ο διαλυμένος αέρας κατακρημνίζεται με τη μορφή μικρών φυσαλίδων μεγέθους της τάξης των 20 έως 100 μm . Αυτή η μέθοδος δημιουργίας αέριων φυσαλίδων δεν απαιτεί την πρόσθεση αφρώδους τύπου χημικά αντιδραστήρια και συχνά περιορίζει την δυνατότητα αερισμού. Επομένως, τα συστήματα επίπλευσης με διαλυμένο αέρα χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία ρευμάτων με χαμηλή συγκέντρωση στερεών (0.01-2 v/v). Η επίπλευση κενού και επίπλευση πίεσης αποτελούν του δύο κύριους τύπους επίπλευσης με διαλυμένο αέρα, με την τελευταία μέθοδο να είναι και η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη.



4-3 Σχηματικό διάγραμμα εγκατάστασης επίπλευσης με διαλυμένο αέρα

Στην επίπλευση κενού, το ρεύμα επεξεργασίας διαποτίζεται με αέρα υπό ατμοσφαιρική πίεση και εισάγεται στη δεξαμενή επίπλευσης στην οποία εφαρμόζεται υποπίεση, αυξάνοντας έτσι τη δημιουργία αέριων φυσαλίδων. Η διαδικασία μπορεί να λειτουργήσει μόνο σαν διαλείπωντος έργου αντιδραστήρας και απαιτεί εξεζητημένο εξοπλισμό για να παράγει και να διατηρεί την υποπίεση. Γενικά, η ποσότητα του αέρα που απελευθερώνεται κατά την επίπλευση μειώνεται από το κενό που πετυχαίνεται.

Σε αντίθεση με την επίπλευση υποπίεσης λόγω της δημιουργίας κενού, οι μονάδες επίπλευσης διαλυμένου αέρα μπορούν να λειτουργήσουν σε συνεχή βάση με την εφαρμογή πίεσεως. Αυτό συμπεριλαμβάνει πίεση και αερισμό του ρεύματος επεξεργασίας και εισαγωγή του στη συσκευή επίπλευσης όπου διατηρείται η ατμοσφαιρική πίεση. Η μείωση της πίεσης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών αέριων φυσαλίδων και την συλλογή των λεπτόκοκκων σωματιδίων που επιπλέουν και αφαιρούνται σαν λάσπη από την επιφάνεια. Η δημιουργία πίεσης θα μπορούσε να εκτελείται σε ολόκληρο το ρεύμα τροφοδοσίας ή σε ένα μέρος αυτού ενώ τα απομεινάρια εισάγονται άμεσα χωρίς αερισμό στη δεξαμενή επίπλευσης. Η επίπλευση διαχωρισμένης ροής είναι οικονομικότερη της επίπλευσης ολικής ροής καθώς μόνο σε ένα μέρος του ρεύματος πρέπει να ασκηθεί πίεση. Εν τούτοις, και στις δύο περιπτώσεις εάν τα στερεά σωματίδια στο ρεύμα τροφοδοσίας

συμπλοκοποιηθούν πριν την εισαγωγή τους στη δεξαμενή επίπλευσης με τις υψηλές δυνάμεις συνάφειας που δημιουργούνται κατά την άσκηση πίεσης, τον αερισμό και την απελευθέρωση της πίεσης μπορεί να καταστρέψει τα σύμπλοκα. Επίσης εάν η φόρτωση σωματιδίων στο ρεύμα τροφοδοσίας είναι μεγάλη και οι δύο μέθοδοι είναι ευαίσθητοι σε εμπλοκή των συσκευών απελευθέρωσης αέρα. Για να ελαχιστοποιήσουμε αυτά τα προβλήματα χρησιμοποιείται ανακυκλούμενο ρεύμα στην επίπλευση πίεσης. Σε αυτή τη διαδικασία το ρεύμα τροφοδοσίας, συμπλοκοποιημένο ή όχι, εισάγεται άμεσα στη συσκευή επεξεργασίας και μέρος των απορυπασμένων υγρών αποβλήτων πιέζεται, αερίζεται και ανακυκλώνεται στην δεξαμενή επίπλευσης στην οποία και αναμιγνύεται με την συμπλοκοποιημένη τροφοδοσία. Οι φυσαλίδες αέρα απελευθερώνονται καθώς προσκολλώνται στα σύμπλοκα και επιπλέουν στην επιφάνεια της δεξαμενής. Οι συσκευές ανακυκλούμενης ροής προσφέρουν τις μεγαλύτερες χωρητικότητες μονάδας.



4-4 Δεξαμενή υποδοχής ξαφρισμάτων μετά τις διεργασίες επίπλευσης με διαλυμένο αέρα



4-5 Έξοδος επεξεργασμένων υδάτων από μονάδα επίπλευσης διαλυμένου αέρα

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα – Προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

Γενικότερα, βασιζόμενοι στη μελέτη που έχει γίνει όσον αφορά στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία, αυτό που εύκολα μπορεί κάποιος να αντιληφθεί είναι το γεγονός ότι ο συγκεκριμένος τομέας επιδέχεται μεγάλη βελτίωση. Είναι εμφανές ότι δεν υπάρχει μια ενιαία, γενικά αποδεκτή και εφαρμόσιμη μέθοδος επεξεργασίας των συγκεκριμένων αποβλήτων με αποτέλεσμα, σε πολλές περιπτώσεις να μη γίνονται οι ενδεδειγμένες ενέργειες. Παρατηρήθηκε το γεγονός ότι λόγω της διαφυγής τόσων αιωρούμενων σωματιδίων στα υγρά απόβλητα υπάρχουν μεγάλες απώλειες πιθανών υποπροϊόντων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ταυτόχρονη μείωση του πιθανού κέρδους και αύξηση των απαιτήσεων επεξεργασίας των αποβλήτων. Αυτό είναι πολύ σημαντικό εφόσον υπάρχει συγκεκριμένη οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για εντατικοποίηση της πράσινης χημείας. Με άλλα λόγια πριμοδοτείται οποιαδήποτε επαναχρησιμοποίηση ανακτώμενων ουσιών από τα απόβλητα.

Με τη χρήση της συσκευής επίπλευσης με διαλυμένο αέρα πετυχαίνεται μεγαλύτερη απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων, εφόσον λόγω της φύσεως των συγκεκριμένων σωματιδίων (νηματώδη και ελαφριά), η απομάκρυνσή τους καθίσταται πολύ δύσκολη έως αδύνατη με την καθίζηση. Επιπλέον, η μείωση των BOD και COD με τις διεργασίες αυτές είναι πολύ υψηλή, της τάξης του 75-80%, γεγονός που είναι πολύ σημαντικό επειδή οι δύο αυτοί παράγοντες είναι βασικοί στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από χυμοποιεία. Ένα άλλο πλεονέκτημα που αποκτάται με τη χρήση των διεργασιών επίπλευσης με διαλυμένο αέρα, είναι ότι με αυτό τον τρόπο η τριτοβάθμια επεξεργασία ίσως περιττεύει. Επομένως, με μία βαθμίδα επεξεργασίας λιγότερη, το κόστος των εγκαταστάσεων μειώνεται χωρίς να έχουμε μεγάλη διαφορά στην απομάκρυνση των ζητούμενων παραμέτρων (BOD, COD, SS).

5.2 Προτάσεις

Αρχικά λόγω της απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών από τα υγρά απόβλητα είναι φυσιολογικό να έχουμε παραγωγή ιλύος. Από την λάσπη αυτή θα μπορούσαμε με διάφορες μεθόδους να ανακτήσουμε τυχόν επιθυμητές ουσίες, οι οποίες στη συνέχεια θα μπορούν να αποτελέσουν κάποιου είδους υποπροϊόντος.

Επίσης κάποια πολύ σημαντική ενέργεια θα ήταν, να γίνει μια συγκεκριμένη μελέτη ώστε η ποσότητες των υδάτων που καταναλώνονται κατά την παραγωγική διαδικασία των χυμών να ελαχιστοποιούνται. Με άλλα λόγια, ίσως θα μπορούσε να γίνει επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για παράδειγμα στον καθαρισμό των φρούτων. Βέβαια, γίνεται αντιληπτό, ότι για να γίνει τέτοιου είδους χρήση, πρέπει η ποιότητα των υδάτων να είναι η απαιτούμενη. Σε άλλη περίπτωση θα μπορούσε να γίνει επαναχρησιμοποίηση των υδάτων αυτών, για αρδευτικούς σκοπούς.

Μια άλλη ιδέα είναι η χρησιμοποίηση κάποιων στερεών, ως επί το πλείστον, αποβλήτων από χυμοποιεία ως οργανικά λιπάσματα. Αυτό, λόγω του ότι όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα συγκεκριμένα απόβλητα έχουν υψηλό οργανικό φορτίο, γεγονός που τα καθιστά ως ιδανικά οργανικά λιπάσματα.

Επίσης κάτι που ερευνάται τα τελευταία χρόνια, είναι η παραγωγή αιθανόλης από τον φλοιό των πορτοκαλιών. Το εγχείρημα αυτό βρίσκεται σε αρκετά πρώιμο στάδιο αλλά πιθανή λειτουργία του θα επέφερε σημαντικά οφέλη στις επιχειρήσεις παραγωγής χυμών. Αυτό γιατί τα, έως τώρα, στερεά απόβλητα των χυμοποιείων, αποτελούμενα από τους αποξηραμένους φλοιούς των πορτοκαλιών, αντί να διατίθενται ως τροφή των βοοειδών θα μπορούσαν να αποτελούν πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Βιβλιογραφία

1. Nelson, P.E. and D.K. Tressler, ed. *Fruit and Vegetable Juice Processing Technology*. Westport, Connecticut: AVI Publishing Co., 1980.
2. D.K. Salunkhe and S.S. Kadam, ed. *Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing*. Marcel Dekker, Inc. (1995).
3. "Juice Up." *Food Product Design* (July 1997).
4. "Unconcentrated Effort." *Food Processing* (November 1996).
5. Robert H.Perry and Don W.Green, ed *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Seventh Edition (1997).
6. Sivabhalini Thevendiraraj, Jiri Klemes, Dora Paz, Gustavo Aso, Geronimo J. Cardenas, ed. *Waste and Wastewater minimization study of a citrus Plant* (2002).
7. European Commission, *Reference document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries, IPPC, (August 2006)*
8. Metcalf and Eddy, ed. *Μηχανική Υγρών Αποβλήτων :Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση, τόμος Α'.* Εκδόσεις Τζιόλα (2006).
9. Metcalf and Eddy, ed. *Μηχανική Υγρών Αποβλήτων :Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση, τόμος Β'.* Εκδόσεις Τζιόλα (2006)
10. Parker, Sybil P. and Georgopoulos Christos I. ed, McGraw-Hill
Αγγλοελληνικό λεξικό μηχανικών (2003)
11. Σημειώσεις του μαθήματος *Έλεγχος ρύπανσης νερών* του κ. Αλέξανδρου Π. Οικονομόπουλου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
12. Σημειώσεις του μαθήματος *Διαχείριση και επεξεργασία αστικών απορριμμάτων* του κ. Ευάγγελου Γιδαράκου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
13. Γρηγόριος Π. Μαρκαντωνάτος *Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων: αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα.*
14. Διαδίκτυο (Internet)