



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επεξεργασία υγρών αποβλήτων από χαρτοβιομηχανία: Η μελέτη περίπτωσης
ελληνικής βιομηχανίας χάρτου**

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΝΤΟΥΡΑΣ

ΑΜ: 163951

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΥΖΑΣ

ΠΑΤΡΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2026

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη για ανάπτυξη τεχνολογιών φιλικότερων προς το περιβάλλον με κύριο στόχο την αξιοποίηση του νερού αποτέλεσε έναν σημαντικό παράγοντα στην βιομηχανία χάρτου. Επομένως έγινε επιτακτική η ανάγκη για διεύρυνση και ανάπτυξη καινοτόμων κυκλωμάτων του νερού που κυριο μέλημα είναι η καταπολέμηση των ρύπων και την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των υπαρχόντων υδάτινων πόρων. Επίσης έχει αποδειχθεί ότι οι υπάρχοντες τεχνολογίες νερού αποτελούνται από την διαδικασία της επίπλευσης μέσω του διαλυμένου αέρα και την βιολογική επεξεργασία. Επιπρόσθετα οι τεχνολογίες οξείδωσης αποτελούν έναν ανασταλτικό παράγοντα στην ποιότητα του νερού. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι οι πρώτες ύλες καθορίζουν την επεξεργασία των υδάτων. Έχει διαπιστωθεί ότι η εύρυθμη λειτουργία ενός βιολογικού συστήματος έχει την δυνατότητα απομάκρυνσης COD > 40% . Είναι επομένως η οξονωποίηση μια λύση με βέλτιστες εφαρμογές καθώς επιτυγχάνονται υψηλότερα ποσοστά καθαρισμού των υδάτων επομένως έχουμε —και την δυνατότητα μεγαλύτερων ποσοστών αξιοποιήσιμων καθαρισμένων νερών.

Περιγραφή του στοιχείου καινοτομίας

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εστιάζει στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από βιομηχανίες χάρτου στην Ελλάδα. Η μελέτη εστιάζει σε ένα παράδειγμα από μια βιομηχανία χάρτου που δραστηριοποιείται στην Ελλάδα στην περιοχή της Φθιώτιδας καθώς θα παρατηρηθούν οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις και εμφανίζοντας πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αλλά και την επιτακτική εξερεύνηση νέων τεχνολογιών που θα βοηθήσουν στην διεκπεραίωση της λειτουργίας. Επομένως είναι κατανοητό ότι η ανάγκη για ανάπτυξη νέων τεχνολογιών είναι ένα αποσπάτο κομμάτι της εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	
Abstract.....	
Κατάλογος Εικόνων/Σχημάτων.....	
Κατάλογος Πινάκων.....	
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	
Εισαγωγή	5
1.1 Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας.....	
1.2 Η Χαρτοβιομηχανία στον κόσμο και στην Ελλάδα σήμερα.....	
1.3 Παραγωγική διαδικασία Υγρών Αποβλήτων.....	
Κεφάλαιο 2 Χαρακτηριστικά Αποβλήτων	
Διαδικασία παραγωγής και εκτύπωσης χαρτιού.....	6
Χαρακτηριστικά αποβλήτων βιομηχανίας χαρτιού.....	7
Πηγες προέλευσης των υγρών αποβλήτων.....	8
Επαναχρησιμοποίηση νερού στην χαρτοποιία.....	9
Κύκλος νερού.....	10
Ρύποι που παράγονται από τα εργοστάσια παραγωγής χαρτιού	11
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	14
Ρύπανση υδάτινων οικοσυστημάτων.....	14
Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	15
Φυσικά χαρακτηριστικά αποβλήτων	15
Χημική σύσταση αποβλήτου.....	15
Συστατικά Βιολογικής προέλευσης.....	16
Συστατικά βιολογικής προέλευσης.....	16
Κεφάλαιο 3 Σύστημα διαχείρισης υγρών απόβλητων	
Επισκόπηση των φυσικοχημικών τεχνικών.....	16
Πήξη και κροκίδωση.....	18

Έλεγχος νερού επεξεργασίας.....	20
Επεξεργασία λυμάτων.....	21
Παράμετροι διεργασίας και βελτίωσης.....	24
Σχεδιασμός δεξαμενής καθίζησης.....	26
Συντελεστές απόδοσης.....	28
Μηχανισμοί διήθησης.....	28
Είδη filtraρίσματος.....	30
Χημική καταβύθιση.....	31
Ζητήματα σχεδιασμού και λειτουργίας.....	33
Υβριδικά συστήματα επεξεργασίας.....	33
Βιολογικοί μέθοδοι επεξεργασίας των λυμάτων από την χαρτοβιομηχανία.....	34
Πρωτοβάθμια επεξεργασία.....	35
Δευτεροβάθμια επεξεργασία.....	39
Τεχνολογίες που εφαρμόζονται σήμερα.....	42
Αερόβια βιολογική επεξεργασία.....	43
Αναερόβια βιολογική επεξεργασία.....	44

Ανάλυση των συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας στη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού.....	47
Τεχνολογίες προηγμένης βιολογικής επεξεργασίας.....	48
Προηγμένη οξείδωση.....	49
Μεμβράνες.....	52
Τάσεις στην λειτουργία κλειστών υδραυλικών συστημάτων και συνέπειες.....	55
Σύγκριση μεθόδων στην βιολογική επεξεργασία στην βιομηχανία χαρτιού.....	58
Κυκλική οικονομία και βιωσιμότητα	59

Κεφάλαιο 4

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων επεξεργασίας.....	60
---	----

Σύγκριση καινοτόμων συστημάτων με παραδοσιακά συστήματα επεξεργασίας στην βιομηχανία χαρτιού.....	61
---	----

Ανάκτηση πόρων και παραγωγή ενέργειας.....	62
--	----

Συμπεράσματα προόπτικες για το μέλλον.....	63
--	----

Μελλοντική βελτίωση	64
Βιβλιογραφία.....	65

Εισαγωγή

Στην σύγχρονη εποχή τα λύματα που έχουν πηγή βιομηχανικές δραστηριότητες έχουν μεγάλες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι η βιομηχανία χαρτιού αποτελεί μια πηγή υψηλής κατανάλωσης γλυκού νερού και ειδικά έχει υψηλή περιεκτικότητα λύματα που έχουν την ιδιότητα να παράγονται κατά την διάρκεια παραγωγής της. Επομένως τα λύματα έχουν επιπτώσεις στο οικοσύστημα και στο περιβάλλον και αποτελούν πηγή ρύπανσης καθώς επηρεάζουν την ανθρώπινη ζωή αλλά και την αγρία ζωή. Επίσης είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι οι ρύποι πρέπει να απομακρύνονται ή να μειώνονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων καθώς το COD, τα TSS και οι ενώσεις αζώτου πρέπει να απομακρύνονται. Ακόμη μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί καθώς στην βιομηχανία χαρτιού η ανάγκη για αξιοποίηση των υδάτων είναι επιτακτική όπως επίσης αν το λύμα τηρεί τις προϋποθέσεις μπορεί να απορριφθεί στον θαλάσσιο περιβάλλον. Έχει παρατηρηθεί ότι κατά την λειτουργία της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων η μετατροπή τους αξιοποιείται ως στερεά απόβλητα εννοώντας την λάσπη και ως αέρια του θερμοκηπίου που έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον και την νομοθετική σύσταση. Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι προέρχεται είναι βιολογικές, χημικές ή χημικές διαδικασίες επεξεργασίας. Τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα CO₂,

το μεθάνιο CH₄ και το υποξείδιο του αζώτου N₂O. Θα μας βοηθήσει καλύτερα αν βρίσκαμε κατά την διάρκεια επεξεργασίας την πηγή προέλευσης των ρύπων. [1]

Έχει παρατηρηθεί ότι από την έναρξη βιομηχανικών μονάδων χαρτοπολτού παγκοσμίως υπάρχει μεγάλη κατανάλωση νερού, με αποτέλεσμα να υπάρχει υψηλή παραγωγή μολυσμένων λυμάτων. Αν ανατρέξουμε ιστορικά θα δούμε ότι η πρώτη ένδειξη παραγωγικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκε το 105 μ.Χ. από την δυναστεία του Χαν. Όμως η πρώτη παραγωγική διαδικασία δεν στηρίζονταν μόνο σε χαρτοπολτό αλλά και σε μείγματα ξύλου. Στην Ευρώπη ο Γουτεμβέργιος έκανε επιτακτική την εφευρίσκοντας την τυπογραφική πρέσα. Έτσι, μεταξύ άλλων, ο Γουτεμβέργιος έδωσε το έναυσμα για την παγκόσμια εκβιομηχάνιση της χαρτοποιίας, η οποία άνθισε κατά τον 19ο αιώνα και οδήγησε στη μαζική παραγωγή εφημερίδων, περιοδικών και της φυσικής μορφής του χρήματος.[2]

Αναμφίβολα η επεξεργασία λυμάτων ένα κομμάτι που έχει εγείρει το ενδιαφέρον την επιστημονικής κοινότητας καθώς γίνονται συχνά έρευνες σχετικά με την διαχείριση των αποβλήτων. Καθώς αν κάνουμε μια αναδρομή στο παρελθόν ο άνθρωπος θεώρησε επιτακτική την διαχείριση των λυμάτων καθώς δημιούργησε φράγματα, υδραγωγεία.

Εάν επιστρέψουμε στην σημερινή εποχή θα διαπιστώσουμε ότι οι επεξεργασίες χημικών, βιολογικών αλλά και φυσικών μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων στηρίζεται στον επιτυχή καθαρισμό των αποβλήτων με κύριο σκοπό την μείωση του κόστους ενέργειας και εξοπλισμού. Οι χαρτοβιομηχανίες έχουν μεγάλο περιβαλλοντικό αντίτυπο καθώς η ρύπανση που προκαλούν καταρτίζεται στις 10 βιομηχανίες παγκοσμίως καθώς παράγονται λύματα που περιέχουν φαινόλες, απορροφήσιμα οργανοαλογόνα και χλωριωμένες ουσίες καθώς διαπιστώνεται ότι το και χαρακτηρίζεται από αυξημένη βιοχημική ζήτηση οξυγόνου (BOD) και χημική ζήτηση οξυγόνου (COD). Κατά συνέπεια, η ζήτηση για τεχνικές βιοαποικοδόμησης έχει αυξηθεί δραστικά, καθώς η νομική πίεση για πιο φιλικές προς το περιβάλλον επιλογές έχει αυξηθεί αναλογικά λόγω των περιβαλλοντικών μη κυβερνητικών οργανώσεων (ENGOS) καθώς και των κυβερνήσεων σε όλο τον κόσμο. Οι περιστάσεις έχουν δημιουργήσει την ανάγκη για διερεύνηση υβριδικών διαδικασιών αντί της χρήσης παραδοσιακών μεθόδων, με στόχο τη μείωση του αποτυπώματος της ρύπανσης από τα

λύματα που προκαλεί η ανθρωπότητα στον πλανήτη. έχουν υποστηρίξει ότι η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος εφάρμοσε σε όλα τα εργοστάσια της P&P ένα σύνολο κανονισμών για τον αέρα και το νερό, με σκοπό να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Ως εκ τούτου, οι πολυεθνικές εταιρείες επιδιώκουν με ζήλο να αναπτύξουν τα πιο αποτελεσματικά μέσα για τον έλεγχο των λυμάτων, εν μέσω της περιβαλλοντικής κρίσης[3],[4]

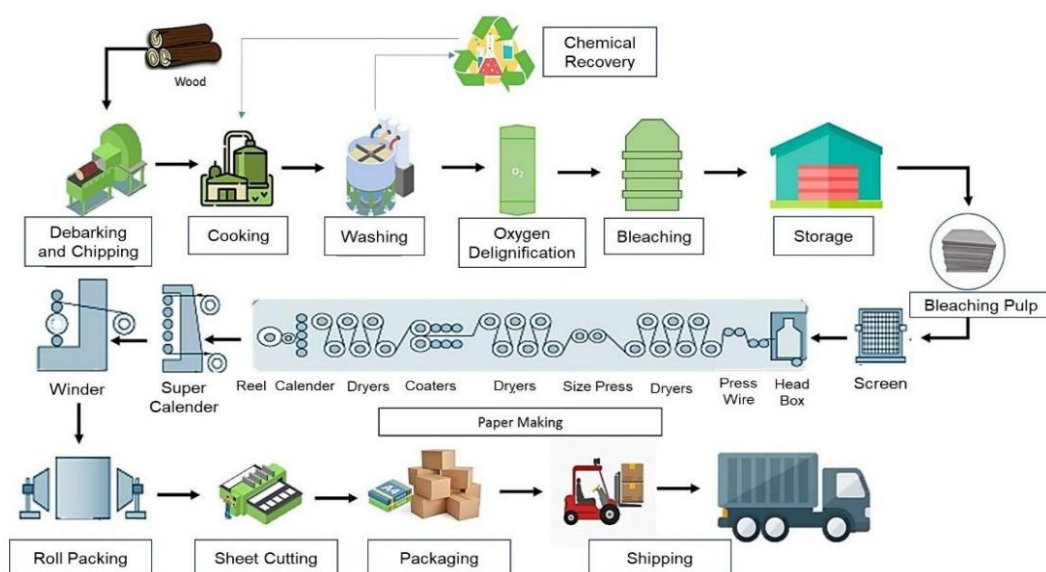
Διαδικασία παραγωγής και εκτύπωσης χαρτιού

Θα περιγράψουμε τον τρόπο λειτουργίας μιας χαρτοποιίας στην Ινδονήσια όπου κατά κυριά πρώτη ύλη το είδος πολτού Eucalyptus. Πρέπει να αναφέρουμε ότι αποτελεί μια πρώτη ύλη με μεγάλη αφθονία στην Ινδονήσια. Μετέτρεπα εισάγεται πολτός που περιέχει κομμάτια ξύλου καθώς βοηθά στην αντοχή του χαρτιού. Επιπρόσθετα για να επιτευχθεί η παραγωγή του χαρτιού αξιοποιούμε και κάποια χημικά όπως είναι το κατιονικό άμυλο, τον οπτικό λευκαντικό (OBA), τον ανιδρύτη αλκελκού οξέος (ASA) και βιοκτόνα χημικά που εισέρχονται συνδυαστικά με τον πολτό κατά την προετοιμασία του μείγματος. Ακόμη για να αναπτυχθούν οι αντοχές και οι αποχρώσεις του χαρτιού στις διαφορές ποιότητες. Στο σχήμα 1 έχουμε την πλήρη διαδρομή παραγωγής του χαρτιού. Είναι ευρέως γνωστό πως οι βιομηχανίες χαρτιού έχουν μεγάλη ανάλωση σε πόρους άλλα και υψηλή χρήση ενέργειας. Είναι αποδεκτό καθώς για επιτευχθούν όλοι αυτοί οι στόχοι χρειάζεται υψηλή χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και χρήση χημικών.

Έτσι πρέπει να αναφέρουμε ότι οι διαδικασίες που ακολουθούνται είναι η πολτοποίηση, η αξιοποίηση του ξύλου, πλύσιμο και η διαλογή του καφέ χαρτιού και τέλος η λεύκανση του χαρτοπολτού με διοξείδιο του χλωρίου. Ο φλοιός του ξύλου παράγει ενέργεια που σε συνδυασμό με τα καυσόξυλα στις εγκαταστάσεις ενεργού ιλός επεξεργάζονται στερεά απόβλητα. Επιπρόσθετα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα παραγόμενα προϊόντα από την βιομηχανία πρέπει να τηρούν και τα πρότυπα ISO για να έχουν μεγάλη ανταπόκριση στην αγορά. Εν τέλει η χαρτοποιία είναι αυτή που διαμορφώνει το τελικό προϊόν σύμφωνα με τις ανάγκες της αγοράς. Ακόμη ο λευκασμένος πολτός μεταφέρεται στο πολτοποιητικό όπου αναμιγνύεται με προσθετά χημικά με σκοπό την παραγωγή του πολτού. Μετέπειτα μεταφέρεται στο κιβώτιο ροής στην χαρτοποιητική μηχανή όπου και γίνονται οι τελικές ρυθμίσεις ως προς την

αραίωση της πάστας. Η παραγωγή του χαρτιού επιτυγχάνεται μέσω της συμπίεσης και ξήρανσης εντός των κυλίνδρων. [5]

Το νερό αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα στην παραγωγή του χαρτιού. Καθώς η βέλτιστη ποιότητα του νερού βοηθάει στην επεξεργασία τόσο σε πρωτοβάθμια όσο και σε δευτεροβάθμια. Ο ατμός είναι κύριος παράγοντας στην διαδικασία παραγωγής όπως και η ηλεκτρική ενέργεια. Πρέπει να αναφερθεί ότι η μέση κατανάλωση νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 m³ ανά τόνο χαρτιού, και η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να είναι 800kWh ανά τόνο χαρτιού και ο ατμός τους 3 τόνους ανά τόνο χαρτιού. Ακόμη τα στερεά απόβλητα που παράγονται κατά την διάρκεια της παραγωγής είναι η λάσπη, τα ιζήματα από άμμο και τα υπολείμματα από τα κοσκινίσματα. Η απόρριψη των στέρεων αποβλήτων γίνεται σε χώρους υγειονομικής ταφής και τα κυρία στερεά απόβλητα είναι η τεφρά από τους λέβητες και η λάσπη.

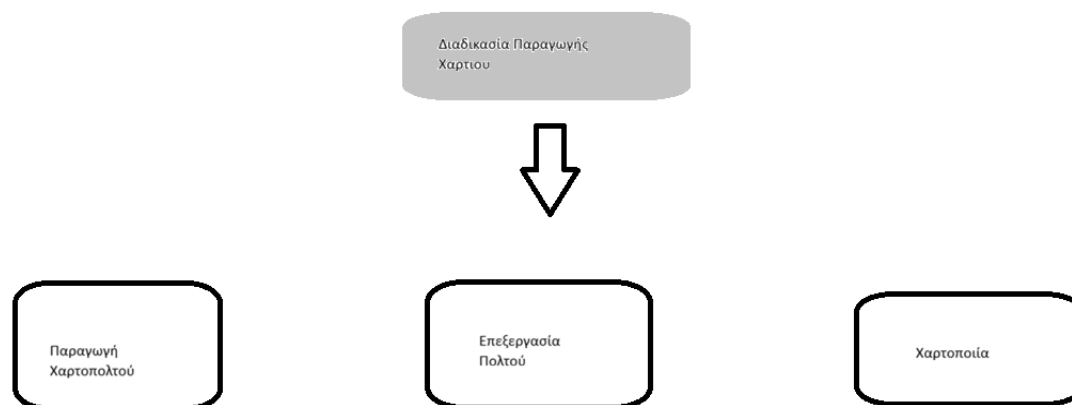


Σχήμα 1 Διάγραμμα παραγωγής χαρτιού

Χαρακτηριστικά αποβλήτων βιομηχανίας χαρτιού

Η παραγωγική διαδικασία του χαρτιού στηρίζεται σε τρία στάδια: α) παραγωγή χαρτοπολτού β) επεξεργασία χαρτοπολτού και γ) την παραγωγή χαρτιού. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2 είναι αναγκαίο να πούμε ότι η αξιοποίηση των πρώτων υλών

που προέρχονται είτε μέσω των ανακυκλωμένων ινών που έχουν μέσω των σταδίων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αρχικά, οι πρώτες ύλες για να υπάρξει ομαλότερη λειτουργία πρέπει να διαχωριστούν σε μικρότερα κομμάτια. Μετέπειτα για να ενεργοποιηθούν οι πρώτες ύλες πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία είτε κάτω από υψηλή θερμοκρασία ακόμα και στην παραγωγή πολτού μέσω διαδικασιών μηχανικής, χημικής ακόμη και θερμομηχανικής επεξεργασίας. Επίσης είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι στο στάδιο της λεύκανσης η βελτίωση της φωτεινότητας του καφέ πολτού επιτυγχάνεται μέσω λευκαντικών που συμπεριλαμβάνονται ακόμη το οξυγόνο και το χλώριο. Επόμενο στάδιο αποτελεί το πλύσιμο του παραγομένου πολτού που έχει σκοπό την απομάκρυνση βιοδιασπώμενων ενώσεων. Αργότερα ο πολτός πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία για να υπάρχει υψηλός βαθμός καταλληλότητας που αποτελείται από υλικά που στηρίζονται σε βαφές και ρητίνες. [6]



Σχήμα 2 Διαδικασία Παραγωγής Χαρτιού

Πρέπει να αναφερθεί ότι τα απόβλητα του πολτού βασίζονται για την παραγωγή πολτού, η αξιοποιούνται για την κατασκευή χαρτιού. Η παραγωγή πολτού στηρίζεται στην μηχανική αλλά και χημική διάσπαση των ινών του ξύλου που αποτελεί και το βασικό συστατικό για την εξόρυξη της κυτταρίνης. Έχει αποδειχθεί ότι η βιομηχανία χαρτιού ένα μεγάλο ποσοστό λυμάτων έχουν προέλευση από το ξύλο και τις διαδικασίες παραγωγής χαρτιού όπως είναι η λεύκανση και το πλύσιμο. Έτσι πρέπει να αναφέρουμε ότι οι οργανικές και ανόργανες ουσίες όπως οι χρωστικές ουσίες αλλά και τα οργανοχλωριούχα οι φαινόλες τα παραγόμενα λύματα στηρίζονται σε τέτοιες ενώσεις, όπως της λιγνίνης του χρώματος και των χλωριωμένων φαινολών. [7]

Πηγες προέλευσης των υγρών αποβλήτων

Αναμφίβολα το COD χαρακτηρίζει τον γενικό δείκτη ρύπανσης των οργανικών ρύπων σε κάθε στάδιο παραγωγής του χαρτοπολτού. Η βιοαποδόμηση των λυμάτων στον χαρτοπολτό είναι αρκετά χαμηλή καθώς διαπιστώνουμε ότι η αναλογία BOD/COD αγγίζει το 0,095 στην λεύκανση και μεγαλύτερη το 0,574 στην μηχανική του χαρτιού. Ακόμη μια ένωση που παρατηρείται είναι η λιγνίνη, καθώς είναι μια πολυχρωματική ένωση που προέρχεται από την συνύπαρξη δεσμών φαινολών. Γεγονός που παρατηρείται . η σταθερότητα και η ελάχιστη πολυπλοκότητα στην υδρόφοβη φάση της. Μια ακόμη πηγή ρύπανσης των λυμάτων στην βιομηχανία χαρτιού είναι το χρώμα. Η προέλευση τους στηρίζεται σε συζευγμένους αρωματικούς δακτυλίους, ελεύθερες ρίζες και μεταλλικά οργανικά συμπλοκή. Έχει διαπιστωθεί ότι τα λύματα βιομηχανίας χαρτιού έχουν υψηλές ποσότητες χρωστικών ουσιών όπως επίσης και η περιεκτικότητα σε λύγινη είναι υψηλή. Η ανθεκτικότητα των οργανικών ενώσεων σαν λύμα στην βιομηχανία χαρτιού καθώς μπορεί να μεταφερθεί σε μικρότερες ουσίες και να αξιοποιηθεί αντίστοιχα στο βιολογικό σύστημα επεξεργασίας για πηγή ενεργείας του άνθρακα. Η προέλευση των χρωμάτων είναι μέσω των τμημάτων του χαρτοπολτού, λεύκανσης και ανάκτησης χημικών ουσιών. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε τον μεγάλο κίνδυνο που προσφέρουν τα AOX καθώς προκαλούν μεγάλη ζημιά στο οικοσύστημα και είναι υπεύθυνα για την διακοπή δραστηριότητας των μικροοργανισμών καθώς επίδραση τους χαρακτηρίζεται ως μεταλαξιογόνα έως και καρκινογόνα. Είναι επόμενο λόγω αυτής της ιδιαιτερότητας αρκετές ευρωπαϊκές χώρες οριστικοποίησαν αυστηρές νομοθεσίες στην διάθεση των αποβλήτων χαρτιού. Επίσης η λεύκανση του χαρτοπολτού μέσω του χλωρίου μπορεί να μεταλλαχθεί σε AOX. Επειδή τα AOX έχουν την τάση να απορροφούνται από τον ενεργό άνθρακα ορίζονται ως απορροφήσιμα οργανικά αλογονίδια. [8]

Επαναχρησιμοποίηση του νερού στην χαρτοποιία

Η αξιοποίηση του νερού αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι στην χαρτοποιία. Καθώς χρησιμοποιείται σε αρκετές περιπτώσεις όπως είναι η προετοιμασία με τις πρώτες ύλες, χημική σύνθεση στις ίνες του πολτού που αποσκοπεί στην παραγωγή χαρτιού όπως γίνεται αντιληπτό και στο Σχήμα 3 . Επίσης η αξιοποίηση του νερού μπορεί να επιτευχθεί και σε μηχανολογικής φύσης τεχνολογίες όπως είναι η λίπανση, η ψύξη και ο ατμός. Γεγονός που από τις παραπάνω αναγκές κατανοούμε την ανάγκη για

αξιοποίηση του νερού γεγονός που γίνεται αντιληπτή η σημασία της αξιοποίησης του νερού για την παραγωγή του χαρτιού. Έχει παρατηρηθεί ότι χρειάζεται 5 -80 m³ νερού για κάθε τύπο χαρτιού που παράγεται χρειάζεται και την αντίστοιχη παροχή νερού. Έχει διαπιστωθεί ότι τα τελευταία χρόνια οι διαδικασίες που δραστηριοποιούνται με την παραγωγή του χαρτιού έχουν ραγδαία βελτίωση γεγονός που έχουν αναπτυχθεί τόσο που μειώνουν την κατανάλωση του νερού. Είναι επιτακτική η εφεύρεση νέων τεχνολογιών που να στηρίζονται στην αποτελεσματική επεξεργασία των λυμάτων και στην ελάττωση ή την επαναχρησιμοποίηση των καθαρισμένων νερών. Ακόμη ανάλογα με την ποιότητα του χαρτιού που παράγει και δραστηριοποιείται η χαρτοποιία η κατανάλωση είναι ανάλογη. Έχει διαπιστωθεί όταν ο πολτός σαν πρώτη ύλη όταν αντικατασταθεί από ανακυκλωμένο χαρτί έχει λιγότερη κατανάλωση της τάξεως 9-25% στο νερό και 28-70% στην ενέργεια.[9]

Έτσι οι ρυπογόνες εκπομπές ελαττώνονται αρκετά. Καθώς η παραγωγή του χαρτοπολτού από ανακυκλωμένο χαρτί δεν στηρίζεται αποκλειστικά στην χρήση χημικών ουσιών αλλά κατά κύριο λόγο στο νερό. Όμως αναλογιστούμε την άλλη πλευρά όταν υπάρχει χημική διαδικασία αξιοποίηση θειωδών αλάτων στην μετατροπή του ξύλου σε χαρτοπολτό που σκοπό έχει την παραγωγή διάφορων πτητικών ενώσεων που περιέχουν θείο, αρωματικές ενώσεις, υδρόθειο χημικά στοιχεία που στηρίζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ακόμη τα προϊόντα της αποδόμησης της λιγνίνης της ημικυτταρίνης και των εκχυλισμάτων του ξύλου είναι χημικές ενώσεις που της συναντούμε στα λύματα των εργοστασίων που αξιοποιούν το ξύλο ως πρώτη ύλη. Είναι γεγονός ότι η αποικοδόμηση της λιγνίνης παράγει επικίνδυνα προϊόντα όπως το μυρμηκικό οξύ, ακεταλδευδή, μεθανόλη και χλωροφαινόλες που παράγονται από τα φουράνια στην διαδικασία της λεύκανσης με χλώριο. Όμως είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι η παραγωγή του χαρτοπολτού μέσω ανακυκλώσιμου χαρτιού δεν στηρίζεται στα χημικά αλλά στο νερό.

Οι απορρίψεις των λυμάτων επηρεάζουν τους ρυθμούς κατανάλωσης του νερού όπως επίσης και στην διαδικασία της απομελάνωσης στον χώρο του εργοστασίου. Αν το εργοστάσιο δεν απαιτεί την διαδικασία της απομελανωποίησης τα λευκά νερά είναι αρκετά καθαρά ώστε να επαναχρησιμοποιηθούν. Όμως για να επιτευχθεί απομελανωποίηση χρειάζεται μεγάλο όγκο νερού 5,5 – 75 m³ γλυκού νερού ανά τόνο πολτού. Έχει παρατηρηθεί τα εργοστάσια που έχουν μικρές σε μέγεθος μηχανές και

επομένως έχουν μικρές παράγωγες στην μηχανή διαπιστώνεται ότι έχουν υψηλούς όγκους λυμάτων. Στον πίνακα 1 θα βρούμε τον βαθμό κλεισίματος του προϊόντος ανάλογα με την παραγωγική δραστηριότητα της εγκατάστασης. [10]

Προϊόντα χαρτιού	Βαθμός κλεισίματος
Πετσέτα	40-70
Εκτύπωση	40-70
εφημερίδες	65-85
Χαρτοκιβώτιο	>95

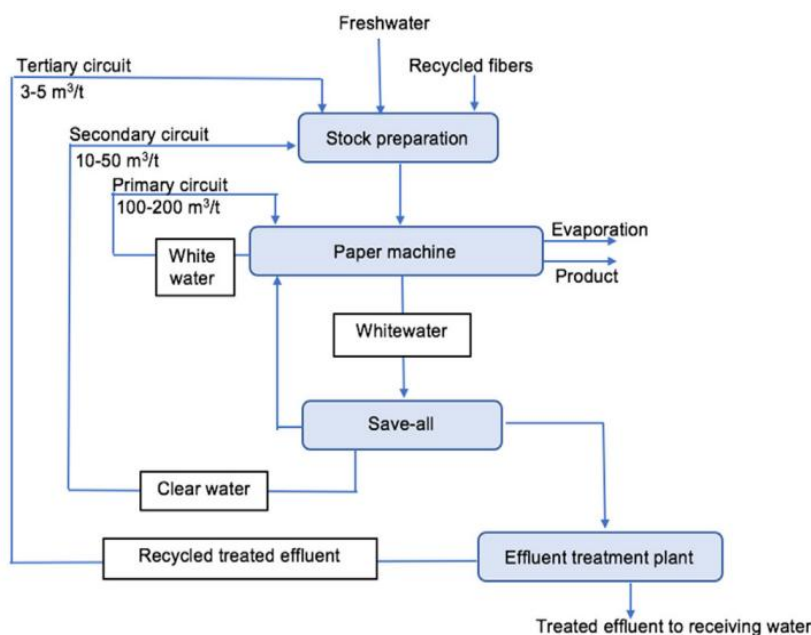
Πίνακας 1 Βαθμός κλεισίματος του δικτύου ύδρευσης σύμφωνα με το προϊόν χαρτιού

Κύκλος νερού

Σε μια παραγωγική διαδικασία χαρτοποιίας υπάρχουν τρία κυκλώματα νερού: α) το πρωτογενές κύκλωμα β) το δευτερογενές κύκλωμα γ) το τριτογενές κύκλωμα το σχήμα 3 παρουσιάζει ένα γενικό διάγραμμα ροής των κυκλωμάτων. Το καθαρισμένο νερό ή <<λευκό νερό>> είναι το νερό που αποστραγγίζεται από ένα φύλλο υγρό νερού στο τμήμα διαμόρφωσης. Πρέπει να αναφέρουμε ότι στο πρώτο κύκλωμα η αραίωση του υλικού επιτυγχάνεται με την χρήση καθαρισμένου νερού που προέρχεται από την ζώνη διαμόρφωσης των φύλλων που στηρίζεται σε καθαρισμένο νερό στο τμήμα των πανιών που είναι ευημερές σε λεπτές ίνες και πληρωτικό. Αυτά τα συστατικά συσσωρεύονται στα καθαρισμένα νερά καθώς ανακυκλώνεται. Έτσι διαπιστώνεται ότι στο σύστημα νερού στηρίζεται κατά πολύ στην υπερχειλίση που επανέρχεται στην μονάδα συλλογής. Το σύστημα <<save all>> χρησιμοποιείται ως μονάδα διαχωρισμού των στερεών και των υγρών. Χρησιμοποιεί διαδικασίες όπως είναι η διήθηση η καθίζηση και η επίπλευση και η απομάκρυνση ινών και πληρωτικών υλικών με στόχο την ανάκτηση των ινών που θα διευκολύνει την επεξεργασία των λυμάτων στα επόμενα στάδια. Οι δίσκοι φίλτρων είναι ο πιο ευρείς χρησιμοποιημένος εξοπλισμός επεξεργασίας για όλους τους τύπους χαρτιού και έχουν την δυνατότητα να το διαχωρίζουν σε τρεις τύπους: θολό, διαυγές και εξαιρετικά διαυγές. Το θολό διήθημα αξιοποιείται για να επιστρέψει την είσοδο των δίσκων σε παραπάνω διαχωρισμό. Το διαυγές διήθημα που έχει 50 ppm στερεών χρησιμοποιεί τον λευκό πύργο νερού για αραίωση του πολτού και έλεγχο ταυτόχρονα της πυκνότητα στην διαδικασία της παραγωγής του πολτού. Πρέπει να αναφέρουμε ότι σε αυτό το στάδιο το νερό δεν χρειάζεται αρκετά μειωμένη περιεκτικότητα σε στερεά καθώς μπορεί να

χρησιμοποιηθεί στην ανάμιξη του πολτού και την απομάκρυνση του μείγματος ώστε να γίνει αρκετά παχύρευστο ή αραιό. [11]

Το υπερκαθαρισμένο νερό που έχει περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά μικρότερη από 20 ppm επομένως μπορεί να αξιοποιηθεί ως παραπλήσιο του γλυκού νερού υψηλής πίεσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πανιά και τις πρέσες. Γενικά έχει διαπιστωθεί ότι η ροή του νερού μπορεί να προκύψει λιγότερα προβλήματα στο προϊόν. Το υλικό που παράγεται φίλτρο έχει την δυνατότητα να επιστρέφει στον πολτό. Έχει παρατηρηθεί ότι τα δισκοειδή φίλτρα έχουν μεγαλύτερη εφαρμογή σε αντίθεση με τους μεθόδους DAF παράγουν μεγαλύτερη ποιότητα διηθήματος χωρίς την ύπαρξη χημικών. Επομένως η μέθοδος DAF είναι συνδεδεμένη με παλαιότερους σχεδιασμούς διεργασιών και ακόμη και σήμερα μπορεί να αξιοποιηθεί για την απομάκρυνση των πληρωτικών και λεπτών σωματιδίων. Η ανακυκλοφορία των καθαρισμένων νερών μαζί με νερό καθαρισμένο νερό δημιουργούν ένα δευτερεύον κύκλωμα. Αυτό που μένει από διαυγυμένο νερό μεταβάλλεται σε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Στο τριτοβάθμιο κύκλωμα τα λύματα έχουν ροή και κατευθύνονται σε επεξεργασία με το νερό από το δευτεροβάθμιο κύκλωμα σε συνδυασμό με άλλο μη επαναχρησιμοποιημένο νερό από διάφορες διεργασίες στην εγκατάσταση. Το επαναχρησιμοποιημένο νερό προέρχεται από διεργασίες όπου ο καθορισμός των εγκαταστάσεων όπως είναι το νερό εκκένωσης από τους λέβητες και το χρησιμοποιημένο νερό οικιακής χρήσης. Σε μια βιομηχανική μονάδα συλλογής υπολειμμάτων για την απομάκρυνση χονδροειδών και αιωρούμενων στέρεων ένα μεγάλο μέρος διαλυμένων στέρεων αποτελούν και την χημική σύσταση COD στην απαίτηση του οξυγόνου BOD που μένει στο διαυγασμένο νερό. Τα επεξεργασμένα λύματα μπορούν να αξιοποιηθούν ξανά στον υδραυλικό πολτοποιητή. [12]



Σχήμα 3 Σχέδιο δικτύου ύδρευσης και αποχέτευσης σε εργοστάσιο χαρτιού

Ρύποι που παράγονται από ένα εργοστάσιο παραγωγής χαρτιού

Η διατήρηση της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ των μερικών ισορροπιών των μεταβλητών της διεργασίας, όπως η παροχή νερού, η πυκνότητα του πολτού και οι φυσικοχημικές, θερμικές και μικροβιολογικές ιδιότητες του νερού, είναι θεμελιώδης για την ομαλή διεξαγωγή της διεργασίας. Αυτές οι μερικές ισορροπίες συνδέονται μεταξύ τους και οποιαδήποτε διαταραχή σε μία από αυτές θα επηρεάσει άμεσα τις άλλες, προκαλώντας ανισορροπία σε ολόκληρο το σύστημα. Για παράδειγμα, σύμφωνα, συνήθως οποιαδήποτε μείωση στην κατανάλωση γλυκού νερού (ισορροπία νερού) θα αύξανε την περιεκτικότητα σε πολτό στο κυκλοφορούν νερό (ισορροπία μάζας), τη συγκέντρωση διαλυτών (φυσικοχημική ισορροπία) και τη θερμοκρασία του κυκλοφορούντος νερού (θερμική ισορροπία). Ο τύπος και η ποσότητα των μικροοργανισμών στο σύστημα θα μεταβάλλουν αναλόγως τη μετατόπιση των προαναφερθεισών ισορροπιών, η αποστράγγιση του φύλλου χαρτιού γίνεται ευκολότερη με την αύξηση της θερμοκρασίας, επηρεάζοντας έτσι τη συγκράτηση χαρτιού στο τμήμα του πλέγματος και την ποιότητα του προϊόντος. Κατά συνέπεια, η ισορροπία πολτού και η φυσικοχημική ισορροπία θα υποστούν περαιτέρω μεταβολή, καθώς το κυκλοφορούν νερό περιέχει διαφορετική συγκέντρωση σωματιδίων πολτού και διαλυμένων ουσιών. Η μείωση της κατανάλωσης γλυκού νερού μέσω του κλεισίματος του συστήματος ύδρευσης έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις σε

διάφορες λειτουργίες των μονάδων. Ανέδειξαν προβλήματα που συνδέονται με τη μείωση της κατανάλωσης γλυκού νερού, όπως τα σταθερά αυξανόμενα προβλήματα που οφείλονται στην αυξημένη περιεκτικότητα σε επιβλαβείς ουσίες στους κύκλους νερού. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης του νερού επεξεργασίας μέσω της επεξεργασίας αιωρούμενων στερεών και οργανικών διαλυμένων στερεών. Ωστόσο, η επεξεργασία των διαλυμένων ανόργανων ουσιών, που αποτελούνται από άλατα και ιόντα μετάλλων, δεν έχει ακόμη εξεταστεί διεξοδικά. Έχει προταθεί η χρήση χηλικών παραγόντων ιόντων μετάλλων που περιλαμβάνουν ενώσεις με βάση αμινοπολυκαρβοξυλικά. Ωστόσο, για ένα πλήρως κλειστό σύστημα μηδενικής απόρριψης, η χρήση χηλικών παραγόντων ιόντων μετάλλων θα ήταν ακατάλληλη λόγω του υψηλού κόστους απομάκρυνσης των συμπλόκων μετάλλων. Στα εργοστάσια ανακυκλωμένου χαρτιού, κοινές επιβλαβείς ουσίες που απαντώνται στα κυκλώματα νερού είναι το άμυλο (ανακυκλωμένο φυσικό άμυλο ή κατιονικό άμυλο), πτητικά λιπαρά οξέα (VFA) από βακτήρια σε ανακτημένο χαρτί που έχει μολυνθεί κατά τη χρήση, την αποθήκευση και την ανάκτησή του, άλατα (ανθρακικό ασβέστιο από πληρωτικά και χρωστικές επικάλυψης, πυριτικά άλατα από την απομελάνωση και τις κόλλες, θειικό αλουμίνιο θειικό αλουμίνιο από τη διαδικασία κολλαρίσματος και τα πρόσθετα βοηθητικά συγκράτησης) και κολλώδεις ουσίες από κόλλες. Αυτές οι ουσίες μετρώνται ως χημική απαίτηση οξυγόνου (COD). [13]

Η σύνθεση και η προέλευση των συνήθων επιβλαβών ουσιών στο νερό επεξεργασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Οι επιβλαβείς ουσίες, όπως υποδηλώνει το όνομά τους, προκαλούν προβλήματα σε όλη τη διαδικασία παραγωγής χαρτιού, όπως μείωση της αποτελεσματικότητας των προσθέτων, των οπτικών και των μηχανικών ιδιοτήτων, της αποτελεσματικότητας της κολλαρίσματος, δυσάρεστες οσμές, καθώς και επιπλοκές στην αποστράγγιση και την ξήρανση, οι οποίες με τη σειρά τους εμποδίζουν την ταχύτητα της μηχανής χαρτιού. Τα ελαττώματα του χαρτιού και η θραύση του χαρτοφύλλου μπορούν να προκληθούν από αποθέσεις και δημιουργία αφρού. Η ποσότητα αυτών των ενώσεων ποικίλλει για κάθε εργοστάσιο, καθώς η σύνθεση του νερού επεξεργασίας είναι μοναδική για κάθε εργοστάσιο. Έτσι, παρά το γεγονός ότι είναι φιλικό προς το περιβάλλον, το ανακυκλωμένο χαρτί εισάγει ένα ευρύ φάσμα ρύπων στη ροή του νερού λόγω της ποικιλόμορφης φύσης του ανακυκλωμένου χαρτιού, της μόλυνσης κατά την ανάκτηση και αποθήκευσή του, καθώς και των προσθέτων στο στάδιο προετοιμασίας του υλικού, όπως χημικά που χρησιμοποιούνται

για τη διασπορά των ινών. Αυτές οι ροές νερού θα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε αιωρούμενα και διαλυμένα στερεά και απαιτούν συχνή προσαρμογή των χημικών ουσιών επεξεργασίας, όπως οξειδωτικά μέσα, πολυηλεκτρολύτες ή ενώσεις ελέγχου του pH. Τα τυπικά χαρακτηριστικά των λυμάτων των εργοστασίων ανακυκλωμένου χαρτιού πριν από την επεξεργασία παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Η απομάκρυνση του μελανιού από τα ανακυκλωμένα χαρτιά επηρεάζει την εμφάνιση του προϊόντος. Αν και δεν είναι απαραίτητο να αφαιρείται το μελάνι από όλες τις ποιότητες χαρτιού, η απουσία αυτής της διαδικασίας έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μιας γκριζωπής απόχρωσης στο νερό, η οποία μεταφέρεται στο χαρτοειδές προϊόν. Για τα είδη που απαιτούν υψηλό επίπεδο λευκότητας, όπως το χαρτί υγείας, το χαρτί εκτύπωσης και το χαρτί γραφής, η απομελάνωση είναι απαραίτητη. Χημικές ουσίες όπως το υπεροξείδιο του υδρογόνου, χηλικοί παράγοντες, άλατα ασβεστίου, χλωριωμένες ενώσεις γνωστές ως απορροφήσιμα οργανικά αλογονίδια (AOX), μεταξύ άλλων που δημιουργούν ανθεκτικές ενώσεις, προστίθενται για την απομάκρυνση του χρώματος από το χαρτί, και απομακρύνονται με έκπλυση και αντιμετωπίζονται ως ρύποι στη ροή των λυμάτων. Επιπλέον, τα άλατα θεωρούνται επίσης επιζήμια για τη διαδικασία, καθώς η συσσώρευσή τους μπορεί να είναι διαβρωτική για τα εξαρτήματα των μηχανημάτων και για την αντοχή των προϊόντων χαρτιού. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων μειώνουν τη δυνατότητα διόγκωσης των ινών λόγω της αυξημένης οσμωτικής πίεσης του διαλύματος. Αυτές οι ουσίες είναι πιο εμφανείς στα συστήματα λευκών υδάτων που χρησιμοποιούν ανακυκλωμένο χαρτί ή μικτής ποιότητας απορρίμματα χαρτιού ως πρώτες ύλες. Γενικά, η συσσώρευση ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) είναι σημαντική στο νερό επεξεργασίας, καθώς το ανθρακικό ασβέστιο από τα πληρωτικά και τα χρωστικά επιχρίσματος βρίσκεται στα ανακυκλωμένα υλικά. Αυτά τα διαλυμένα ανόργανα στοιχεία ταξινομούνται σε 2 ομάδες: ιόντα μεγάλου μεγέθους με χαμηλή πυκνότητα φορτίου (Ti, Si, Fe, Al) και ιόντα μικρού μεγέθους με υψηλή πυκνότητα φορτίου (Na, Ca, Mg, K), τα οποία επίσης ενυδατώνονται εύκολα. Τα ιόντα της πρώτης ομάδας συχνά δεν βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες, καθώς συνήθως ενσωματώνονται στα χαρτοειδή προϊόντα μέσω της υψηλής ιοντικής συγγένειας με τις ίνες κυτταρίνης, παρά το υψηλό ποσοστό ανακύκλωσης του νερού επεξεργασίας. Η δεύτερη ομάδα, από την άλλη πλευρά, συσσωρεύεται στα λευκά νερά όταν το νερό ανακυκλώνεται. Τα ιόντα ασβεστίου συνήθως αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το ήμισυ όλων των διαλυμένων ανόργανων ουσιών. Η απορρόφηση Ca^{2+} ανταγωνίζεται και μειώνει την αποτελεσματικότητα των πολυμερών προσθέτων για τη συγκράτηση, καθώς

προσροφάται στην επιφάνεια των ινών κυτταρίνης. Η ικανότητα απορρόφησης των ινών είναι συνάρτηση της αρχικής συγκέντρωσης των κατιόντων και του pH. Τόσο η ισχύς σύνδεσης όσο και η ικανότητα απορρόφησης του Ca^{2+} αυξάνονται με το pH. Αυτή η επίδραση του pH οφείλεται στην αύξηση του φορτίου των ινών με υψηλότερο pH, με αποτέλεσμα να υπάρχουν περισσότερες θέσεις προσρόφησης διαθέσιμες για την απορρόφηση του Ca^{2+} . Επιπλέον, σε υψηλές θερμοκρασίες, μπορούν να σχηματιστούν στερεές αποθέσεις ανθρακικού ασβεστίου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αλάτων. Το σκληρό νερό, με τη σειρά του, μειώνει περαιτέρω τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και αυξάνει το κόστος για την αποφράξη των σωληνώσεων. Όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε άλατα ή η παρουσία απλών ιόντων, τόσο πιο διαβρωτικό είναι το λευκό νερό. Τα λύματα από εργοστάσια ανακυκλωμένου χαρτιού μπορούν να θεωρηθούν ως λύματα πλούσια σε θειικά άλατα λόγω της χρήσης θεικού αργιλίου για τη συγκράτηση προσθέτων και στη διαδικασία κολλαρίσματος [14]. Η περίσσεια θεικού αργιλίου μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά επιπλοκών, όπως:

- Αύξηση των εξόδων συντήρησης της μονάδας, καθώς η συσσώρευση στυπτηρίας προκαλεί διάβρωση στον εξοπλισμό παραγωγής χαρτιού,
- Σχηματισμός θεικού οξέος λόγω της αντίδρασης της περίσσειας στυπτηρίας στο τελικό προϊόν με την υγρασία του αέρα, με αποτέλεσμα

την αποικοδόμηση των ινών του χαρτιού και, κατά συνέπεια, της ποιότητας του χαρτιού,

- Σχηματισμός κροκιδωμάτων στο εναιώρημα ινών, που ευνοεί την εμφάνιση ελαττωμάτων στη διαμόρφωση του φύλλου
- Όταν υπάρχουν βακτήρια που αναπτύσσουν θείο και υπό αναερόβιες συνθήκες, παράγονται H_2S και άλλες ενώσεις που περιέχουν θείο, οι οποίες προκαλούν δυσάρεστη οσμή

Επίσης, η συσσώρευση κολλώδους υλικού, που προέρχεται από θερμοκολλητικά, αυτοκόλλητα και συνδετικά υλικά επικάλυψης, είναι συχνό φαινόμενο στις διαδικασίες ανακύκλωσης χαρτιού. Αυτά τα κολλώδη υλικά δεν διαλύονται στο νερό επεξεργασίας ακόμη και μετά την παραγωγή πολτού, και μπορούν να ανακυκλωθούν ξανά στο

χαρτί. Υπό την επίδραση της θερμότητας και της πίεσης, αυτά τα σωματίδια θρυμματίζονται σε μικρότερα σωματίδια που μπορούν εύκολα να παραμορφωθούν και στη συνέχεια να εγκλωβιστούν στον εξοπλισμό παραγωγής χαρτιού, δημιουργώντας προϊόν χαρτιού κακής ποιότητας ή προκαλώντας σπάσιμο των φύλλων χαρτιού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης. Έτσι, τα κολλώδη υπολείμματα μειώνουν την αξιοπιστία της μηχανής χαρτιού.

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Η υψηλή συγκέντρωση των αιωρούμενων στερέων στην διεργασία παραγωγής χαρτοπολτού οδηγεί σε διεργασίες που έχουν άμεση σχέση με την παραγομένη ποσότητα χαρτοπολτού. Τα λύματα χαρτοπολτού έχουν υψηλό BOD, COD, αιωρούμενων στερέων και το χρώμα. Αν δεν έχουν φέρει την κατάλληλη επεξεργασία πριν την απόρριψη στο περιβάλλον. Επομένως είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν νέοι μέθοδοι για την απομάκρυνση των αποβλήτων που πρέπει να συμμορφώνονται με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς με σκοπό την μείωση την έκθεσης στο υδάτινο οικοσύστημα. [15]

Ρύπανση υδάτινων οικοσυστημάτων

Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση των παραγομένων λυμάτων είναι μια βέλτιστη λύση στην μείωση της ρύπανσης στο οικοσύστημα. Είναι μείζων ζήτημα αυτό καθώς στην βιομηχανία χαρτιού καθώς η μείωση της κατανάλωσης γλυκού νερού γεγονός που μειώνει τις απορρίψεις στο υδάτινο περιβάλλον. Επομένως πρέπει να αξιοποιηθούν φυσικοχημικές διαδικασίες επεξεργασίας, καθώς για να επιτευχθούν αυτά χρειαζόμαστε κατανάλωση ενέργειας.

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Πρέπει να αναφέρουμε ότι τα αέρια του θερμοκηπίου έχουν την ιδιότητα να απορροφούν και να εκπέμπουν ακτινοβολία παράλληλα , που προέρχονται από ανθρωπογενείς παράγοντες. Τέτοια είναι το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρατμοί, το μεθάνιο και τα οξείδια του αζώτου όπως και το όζον. Όμως δεν είναι στάσιμες οι τιμές των ρύπων καθώς μεταβάλλονται σύμφωνα με την εποχή, και επιπρόσθετα εξαρτώνται από την θερμοκρασία, την διαδικασία επεξεργασίας και το αποτέλεσμα απομάκρυνσης

των ρύπων. Είναι γεγονός ότι η παραγωγή ιλύος και απορριμμάτων αλλά και τέφρας δεν σταματούν. Παρατηρείται ότι τα βαρέα μέταλλα ευρίσκονται σε μη εμφανή μέρη και εμφανίζεται ως μαύρο χρώμα. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω τα υγρά απόβλητα τα υγρά απόβλητα από χαρτοβιομηχανίες περιέχουν οργανικές ενώσεις χλωριωμένες όπως είναι οι φαινόλες και τα λιγνίνη. Γεγονός που αυτοί οι ρύποι όταν αποβάλλονται στο οικοσύστημα είναι τοξικά καθώς περιέχουν επικίνδυνους ρύπους όπως είναι ο μόλυβδος (Pb), υδράργυρος (Hg), το βάριο (Ba), κάδμιο (Cd), αρσενικό (As), και το χρώμιο. Μια πιθανή έκθεση στο ανθρώπινο περιβάλλον μπορεί να επιφέρει άσχημα πράγματα για την ανθρώπινη υγεία του ανθρώπου καθώς εισέρχονται διάμεσο της τροφικής αλυσίδας. Αν ανατρέξουμε ιστορικά η εξάλειψη και η προστασία του ανθρώπου δεν ήταν το κύριο μέλημα, καθώς τα απόβλητα που αποβάλλονται δεν μας ενδιέφερε σε μεγάλο βαθμό η περιβαλλοντική κάλυψη. Η απόρριψη δημοσίων λυμάτων δεν επηρεάζει μόνο την υγεία αλλά και την ανθρώπινη φύση. Χαρακτηριστικά τον 19^ο αιώνα μετά την μεγάλη έκθεση των επιδημιών έγινε επιτακτική η θέσπιση διαχείρισης των λυμάτων. Από τότε έγινε επιτακτική η εφαρμογή καινοτομιών και τεχνικών στις χαρτοβιομηχανίες που να αποσκοπεί στην μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. [16]

Φυσικά χαρακτηριστικά αποβλήτων

Διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρολό καθώς προσδιορίζουν την αρτιότητα των μεθόδων. Έχει διαπιστωθεί ότι η σύσταση των λυμάτων είναι με υψηλά επίπεδα αιωρούμενων στερεών που στηρίζονται σε ίνες κυτταρίνης, σωματίδια ξύλου και υπολείμματα φλοιού. Τα αιωρούμενα στερεά επεμβαίνουν στην θολότητα, και το χρώμα των λυμάτων γεγονός που τα τοποθετεί μη αξιοποιήσιμα καθώς αρκετές φορές μπορεί να είναι και επιβλαβή στην είσοδο τους στο νερό καθώς μειώνει την φωτεινότητα κατά την μεταφορά του οξυγόνου. Επίσης η θερμοκρασία αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα καθώς κατά την παραγωγική διαδικασία υπάρχει παραγωγή θερμότητας γεγονός από την παραγωγική διαδικασία υπάρχει παραγωγή θερμότητας γεγονός που οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας των λυμάτων. Έχει παρατηρηθεί ότι οι υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν την διαλυτότητα των αερίων και την δραστηριότητα τους. Η εποχική διακύμανση αποτελεί έναν παράγοντα σε μια τέτοια μεταβολή. Επιπρόσθετα το pH μπορεί να μεταβάλλεται λόγω και της ύπαρξης και άλλων χημικών κατά την παραγωγική διαδικασία όπως τα λευκαντικά. Και η

αγωγιμότητα είναι μια παράμετρος που δείχνει τα διαλυμένα στερεά που βρίσκονται στο λύμα που στηρίζονται σε ανόργανα άλατα και διαλυμένες ουσίες. [17]

Χημική σύσταση αποβλήτου

Η διαδικασία παραγωγής άλλα και οι χημικές ουσίες που αξιοποιούνται μπορεί να δημιουργήσουν μια δυσκολία σε σχέση με την χημική σύνθεση. Αν θέλουμε να αναφέρουμε το κύριο χημικό αποτελεί την λιγνίνη ένα πολυμερές που έχει την τάση να απελευθερώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία, όπως επίσης επιδρά στο COD και στο χρώμα. Η σύσταση των λυμάτων στηρίζεται σε υδατάνθρακες, λιπαρά οξέα όπως και σε ρητινικά οξέα που εμφανίζονται μετά από την μεταποίηση ινών ξύλου. Έχει όμως διαπιστωθεί πως έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα λόγω της φύσης άλλα και τις τοξικότητας της.

Στην διαδικασία της λεύκανσης οι οργανικές ενώσεις έχουν μεγάλη σημασία καθώς εμφανίζουν υψηλό κίνο με οργανική ύλη. Τέτοιες είναι οι χλωροφαινόλες το χλωροφόρμιο και τα υποπροϊόντα του χλωρίου. Οι ενώσεις είναι αρκετά τοξικές για το περιβάλλον. Γεγονός που εγείρει το ενδιαφέρον έρεσής νέων τεχνολογιών για τις οργανικές ενώσεις τέτοιες περιλαμβάνει ανόργανες ουσίες όπως είναι τα θειικά, χλωριούχα και άλλα ιόντα μετάλλων. Και είναι και πιθανόν τα θειικά, χλωριούχα άλλα και βαρέα μέταλλα όπως ο υδράργυρος το κάδμιο ο μόλυβδος .[18]

Συστατικά βιολογικής προέλευσης

Τα βιολογικά συστατικά των λυμάτων στηρίζονται σε μικροοργανισμούς χαρακτηριστικά όπως τα βακτήρια τους μύκητες και τα πρωτόζωα που η προέλευση τους είναι μέσω πρώτων υλών της παραγωγής. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε την μεγάλη σημασία που διαδραματίζουν αυτοί οι μικροοργανισμοί στην βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης στα λύματα, όμως η εμφάνιση τους δεν είναι τόσο διαχείριση ως προς την διαχείριση τους. Ένα μετρώ που είναι ευδιάκριτο στην παρακολούθηση τους αποτελεί η συγκέντρωση του BOD. Υψηλή συγκέντρωση BOD μπορεί να υποβληθεί σε βιολογικές επεξεργασίες όπως η αναερόβια χώνευση. Όμως η μικροβιακή δραστηριότητα που στηρίζεται σε λεγνίνη και χλωριωμένες ουσίες μειώνουν την βιολογική επεξεργασία των μικροοργανισμών. Όπως επίσης είναι πιθανόν παθογόνοι μικροοργανισμοί να υπάρχουν στα λύματα γεγονός που εγείρει τον

κίνδυνο της υγείας των εργαζομένων. Έτσι είναι επιτακτική η λύση της χλωρίωσης όπως επίσης και επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία που διασφαλίζει την ασφάλεια των επεξεργασμένων λυμάτων. Τα μικρόβια στηρίζονται που επηρεάζονται από τις πρώτες ύλες, τις διαδικασίες παραγωγής και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η εποχική διακύμανση αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα στην αποτελεσματικότητα των συστημάτων επεξεργασίας. Οι εποχικές διακυμάνσεις οφείλονται στο ποσό ευκολά είναι προσβάσιμες οι πρώτες ύλες που συμπίπτουν και το πρόγραμμα παραγωγής και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι οι βιομηχανικές μονάδες να αναζητούν πρώτη ύλη που δεν είναι διαθέσιμη στην παρούσα φάση γεγονός που εγείρει το ενδιαφέρον στην αναζήτηση αντίστασης αυτών των υλών που έχουν αρκετές φορές και κόστος στην απόδοση. [19]

Επισκόπηση των φυσικοχημικών τεχνικών

Η απομάκρυνση των ρύπων στα λύματα των βιομηχανιών χαρτιού στηρίζονται σε φυσικοχημικές μέθοδοι. Πρέπει να αναφερθεί ότι αξιοποιούν τεχνικές όπως η πήξη, τήξη, κροκίδωση, καθίζηση διήθηση, προσρόφηση και χημική καταβύθιση. Χαρακτηριστικά στην πήξη έχουμε αποσταθεροποίηση κολλοειδών σωματιδίων διάμεσο της χρήσης πτητικών αντίθετα στην κροκίδωση έχουμε συσσωμάτωση των αποσταθεροποιημένων σωματιδίων σε κροκίδια μεγαλύτερου μεγέθους. Μετέπειτα η κροκίδωση εξ υπηρέτα στον διαχωρισμό της κροκίδωσης από την υγρή φάση και μέσω της διήθησης επιτυγχάνουμε καθαρισμό. Στην προσρόφηση αξιοποιούμε τον ενεργό άνθρακα όπως και άλλα προσροφητικά που έχουν κύριο μέλημα τις διαλυμένες ουσίες από την άλλη η χημική καταβύθιση έχει στόχο τα διαλυμένα ιόντα. Είναι λύσεις που μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό αντίτυπο στην επεξεργασία της σύστασης των λυμάτων. Ο πίνακας 2 περιγράφει τις παραπάνω διεργασίες και τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες.

Τεχνική	Περιγραφή	Θετικά	Αρνητικά
---------	-----------	--------	----------

Πήξη	Προώθηση της συσσωμάτωσης μέσω της προσθήκης πτητικών για αποσταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων	βελτίωση στις διαδικασίες διήθησης	παράγεται ιλύς και χρειάζεται απόρριψη
		ταχύτητα διαδικασία	κόστος των χημικών και γνώση χειρισμού
		συμβατή με άλλες μεθόδους επεξεργασίας	χρειάζεται προσοχή στην δοσολογία ώστε να μην υπάρχει υπερδοσολογία
		απομάκρυνση κολλοειδών σωματιδίων και κάποιων διαλυμένων οργανικών ουσιών	
Κροκίδωση	Σχηματισμός μεγάλων καθιζήσιμων κροκιδωμάτων που στηρίζεται σε αποσταθεροποιημένα σωματίδια με αργόστροφη ανάδευση με αξιοποίηση κροκιδωτικών	αυξάνει την αποτελεσματικότητα της καθίζησης	Χρειάζεται ενέργεια στην ανάμειξη
		Μειώνει την θολότητα των αιωρούμενων στερεών	η ορθή επιλογή πολυμερούς διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της μεθόδου
		εύκολη προσαρμοστικότητα των λυμάτων	χρειάζεται παραγωγή και έξοδο της ιλύος
Καθίζηση	Μέσω της βαρύτητας επιτυγχάνεται διαχωρισμός των κροκιδωμάτων που καθιζάνουν στην δεξαμενή καθίζησης	Τα καθιζάνοντα στέρεα απομακρύνονται. Εύχρηστη λειτουργία και συντήρηση, αντοχή σε υψηλά υδραυλικά φορτία	Χρειάζεται μεγάλο χώρο λειτουργίας, Υδραυλικές διακυμάνσεις μεταβάλουν την απόδοση, χρειάζεται διαχείριση στην απόρριψη των λυμάτων
Φιλτράρισμα	Μετά την καθίζηση η απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών συμβάλουν στον φραγμό της πέρασης του νερού	Μεγάλο ποσοστό απομάκρυνσης των σωματιδίων, ο καθορισμός ενισχύει την ποιότητα του νερού, αξιοποιείται με αυτοματοποίηση για συνεχή λειτουργία	Αλλαγή φίλτρων όπως και αντιστροφή πλύση, μεγάλη ενέργεια στην διαδικασία της άντλησης, κόστος στην αντικατάσταση άλλα και την συντήρηση

Προσρόφηση	Η σύζευξη των διαλυμένων οργανικών ενώσεων άλλα και χρωστικών ουσιών γίνεται με χρήση προσροφητικών υλικών	Αποτελεσματική στην απομάκρυνση ορισμένων οργανικών ρύπων, εύχρηστη στην επεξεργασία διάφορων ρύπων, μέσο προσθήκης ορισμένων προσροφητών έχουμε αναγέννηση	Κόστος προσροφητικού, μειωμένος χώρος σε ροές μεγάλων όγκων, πολυπλοκότητα στην αναγέννηση προσροφητικών
------------	--	---	--

Πίνακας 2 Μέθοδοι φυσικοχημικής διεργασίας

Πήξη και κροκίδωση

Είναι σημαντικές διεργασίες αποτελούν αναπόσπαστες διεργασίες στην απομάκρυνση αιωρούμενων στέρεων άλλα και οργανικής ύλης άλλα και χρωστικών ουσιών στην βιομηχανία χαρτιού. Η αξιοποίηση αυτών των διεργασιών έχουν κύριο στόχο την συσσωμάτωση των σωματιδίων δημιουργώντας τον διαχωρισμό του υγρού από το στερεό στα λύματα. Η έναρξη της πήξης σηματοδοτείται όταν εξουδετερώνονται τα ηλεκτροστατικά φορτία στα αιωρούμενα κολλοειδής σωματίδια. Σκοπός είναι ο διαχωρισμός αυτών από το νερό με στόχο την δημιουργία θετικών φορτισμένων μεταλλικών ιόντων που έχουν στόχο τον εξαφανισμό των αρνητικά κολλειδων επιφανειών. Αυτή η ενέργεια ενισχύει τις επιφάνειες και δημιουργεί μια μεγάλη επιφάνεια συσσωμάτωσης αντιληπτή ως μικροκροκκίδωση. Η κροκίδωση επιτυγχάνεται μέσω ηπίας ανάμειξης με σκοπό την ογκώδη των μακροσκοπικών κροκίδων στις μικροκροκκίδες. Η χρήση κροκιδωτικών όπως το πολυακρυλαμίδιο (PAC), το χλωριούχο πολυαλουμίνιο (PAC) συμβάλουν στην συσσωμάτωση των σωματιδίων. Έτσι προσροφούνται στην περιοχή των μικροσωματιδίων δημιουργώντας μια σύνδεση με τα καθιζάνοντα κροκίδα. Πρέπει να αναφερθεί ότι η κροκίδωση είναι μια διαδικασία συνεχής ανάμειξης που σκοπό έχει την σύγκρουση και ενσωμάτωση των σωματιδίων με σκοπό την ανένδοξη μεγάλου μεγέθους πυκνότητας και διαχωρισμού. Όπως και τα κυρία κροκιδωτικά εμφανίζονται στο πίνακα 3. [20]

Χημικό	Αποτέλεσμα	Θετικά	Αρνητικά
--------	------------	--------	----------

Θεϊκό Αλουμίνιο	Βοηθά στην πήξη καθώς αποδομεί τα κολλοειδή	Μεγάλο εύρος στο pH, μειώνει την θολότητα και ταυτόχρονα και το χρώμα, οικονομία	Πιθανόν να χρειάζεται ρύθμιση του pH, υπάρχει παραγωγή ουσιώδους ποσότητας ιλύος, υπάρχει πιθανότητα παραμονής υπολειμμάτων αλουμίνιου
Χλωριούχος σίδηρος	Γρήγορη πήξη αλλά και διαφυγή του φωσφόρου	Εύχρηστο για αποβολή του φωσφόρου, ελάχιστη αντίδραση στο pH αν το συγκρίνουμε με τον στυπτηρία, απολυτά άριστο σε χαμηλές δόσεις	Πιθανόν να χρειάζεται ρύθμιση του pH, παραγωγή αξιοσημείωτης ποσότητας ιλύος, υπάρχει πιθανότητα εύρεσης υπολειμμάτων αλουμίνιου
Πολυμερή (PAC)	Ανάδειξη της κροκίδωσης	Αυξάνει την δυνατότητα καθίζησης των κροκιδωμάτων, άριστο σε νερά με ελλιπής θολότητας, ελάττωση του όγκου της ιλύος	Κρίσιμη η απόφαση επιλογής του πολυμερούς, υπάρχει πιθανότητα να είναι κοστοφόρο, υπάρχει περίπτωση να μείνουν τα μονομερή στα απόβλητα
Πολυακρυλαμίδιο	Αναδεικνύει την δημιουργία κροκίδων και την καθίζηση	Αυξάνει την αποτελεσματικότητα απόρριψης σωματιδίων, ελαχιστοποιεί την παραγωγή ιλύος, ενεργεί καταλυτικά σε διάφορα είδη λυμάτων	Χρειάζεται ακριβής δοσολογία, περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο μέλλον, υψηλό αρχικό κόστος

Πίνακας 3 Πηπτικά και κροκιδωτικά για την επεξεργασία των αποβλήτων

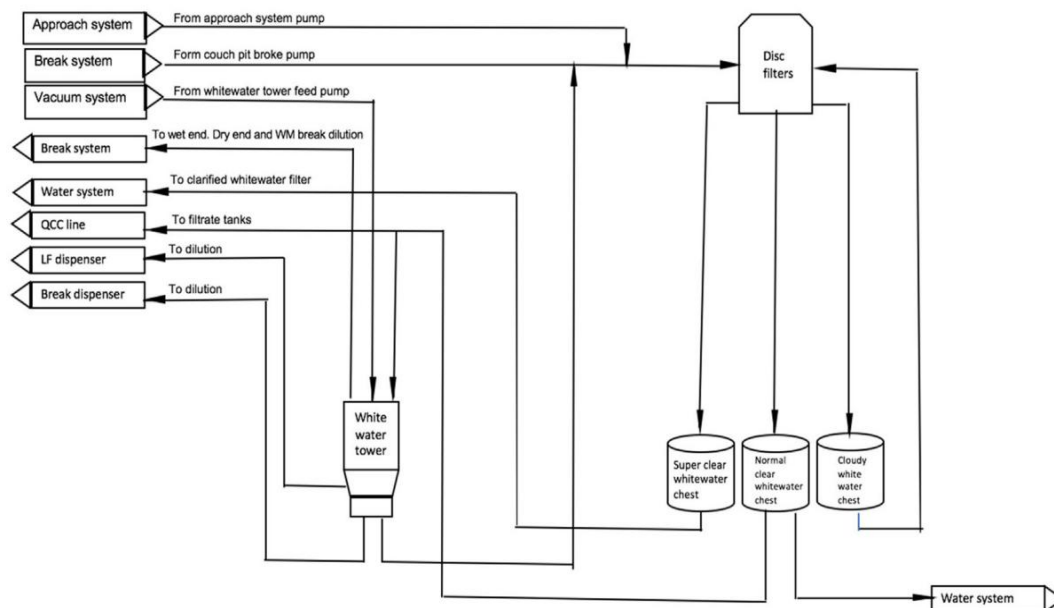
Έλεγχος νερού επεξεργασίας

Η διαχείριση των υδάτων είναι σημαντική για τη μείωση της κατανάλωσης γλυκού νερού και τη διατήρηση μιας αποδοτικής ροής νερού. Προκειμένου να διατηρηθούν αποδοτικά κυκλώματα νερού, πρέπει να τηρούνται ορισμένες βασικές αρχές [21]:

- Αποτελεσματικός διαχωρισμός κυκλωμάτων, όπου η μεταφορά πολτού από το ένα κύκλωμα επεξεργασίας στο άλλο πραγματοποιείται μόνο σε υψηλή πυκνότητα (30%), απαιτώντας λειτουργία με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό για την ελαχιστοποίηση της μεταφοράς ρύπων από το ένα κύκλωμα στο άλλο.
- Λειτουργία αντίθετης ροής, στην οποία η εισαγωγή γλυκού νερού γίνεται μόνο στη μηχανή χαρτιού. Το πλεόνασμα νερού από κάθε κύκλο αποστέλλεται ανάντη και τα λύματα απορρίπτονται μόνο από τον πρώτο κύκλο για την προετοιμασία ινών που απαιτεί την χαμηλότερη ποιότητα νερού.
- Αποφυγή ανάμειξης νερού από διαφορετικές γραμμές προετοιμασίας ινών και/ή μονάδες προετοιμασίας πολτού.
- Διασφάλιση ότι κάθε βρόχος νερού διαθέτει επαρκή διαστασιολόγηση των δεξαμενών νερού σύμφωνα με τους όγκους αποθήκευσης υλικού, ώστε να αποφεύγονται υπερχειλίση κατά την εκκίνηση, τον τερματισμό λειτουργίας ή σε περιστατικά θραύσης φύλλων στη μηχανή χαρτιού.
- Εφαρμογή τεχνολογιών επεξεργασίας λευκού νερού για την απομάκρυνση στερεών και/ή επιβλαβών ουσιών.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, απαιτείται μονάδα συλλογής όλων των υδάτων για την εσωτερική επεξεργασία λευκών υδάτων, προκειμένου να διατηρείται υψηλή ποιότητα διηθήματος με χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά και χαμηλές συγκεντρώσεις επιβλαβών ουσιών για την κυκλοφορία του νερού επεξεργασίας. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας θα αύξανε την πολυπλοκότητα και το κόστος των λειτουργιών του χαρτοποιείου. Ωστόσο, τα επιχειρήματα Τα πλεονεκτήματα ενός εσωτερικού συστήματος καθαρισμού είναι σημαντικά, καθώς το σχετικό κόστος αντισταθμίζεται από την ανάκτηση ινών και την εξοικονόμηση κόστους που συνδέεται με την αγορά πόσιμου νερού, καθώς και με την επεξεργασία

και την απόρριψη των λυμάτων. Ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των λευκών υδάτων συνοψίζονται στον Πίνακα4. Πολλές από τις διαδικασίες επεξεργασίας βασίζονται στην εφαρμογή μίας ή περισσότερων τεχνολογιών για τον αποτελεσματικό καθαρισμό των λευκών υδάτων μέσω της απομάκρυνσης διαλυμένων στερεών, οργανικών ουσιών και αιωρούμενων υλικών. Επί του παρόντος, στο δευτερεύον κύκλωμα χρησιμοποιούνται δισκοειδή φίλτρα ή μονάδες συλλογής με καμπύλο κόσκινο. Μια απλοποιημένη μονάδα συλλογής απεικονίζεται στην σχημα 4. Ενώ τα DAF προτιμώνται στο τριτογενές κύκλωμα για την επεξεργασία λυμάτων, μερικές φορές χρησιμοποιούνται επίσης στο δευτερεύον κύκλωμα για την επεξεργασία νερού διεργασίας με την προσθήκη χημικών ουσιών όπως πηκτικά και κροκιδωτικά, ενεργοποιητές, επιφανειοδραστικές ουσίες, επιφανειοδραστικά και οξειδωτικά. Μια άλλη μορφή μονάδας «save-all» βασίζεται στη διήθηση με μεμβράνη. Για την παραγωγή χαρτιού, η υπερδιήθηση (UF) είναι επαρκής για την απομάκρυνση των περισσότερων διαλυμένων πολυσακχαριτών και ολιγοσακχαριτών, ορισμένων ουσιών λιγνίνης και βακτηρίων. Το επεξεργασμένο νερό χαρτοποιίας παρουσιάζει χαμηλές συγκεντρώσεις κατιονικών ουσιών και βιοκτόνων, αλλά εμφανίζει μόνο μικρές μειώσεις στο COD και το TDS. Παρ' όλα αυτά, το επεξεργασμένο νερό από αυτή τη διαδικασία εξακολουθεί να είναι κατάλληλο για ντους καθαρισμού υψηλής πίεσης και αραίωση χημικών. Από την άλλη πλευρά, η νανοδιήθηση (NF) ή η αντίστροφη όσμωση (RO) είναι πιο κατάλληλες για την επεξεργασία του COD και του TDS. Αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται ευρέως για την επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων (χημικών, τροφίμων, γαλακτοκομικών και κλωστοϋφαντουργικών) και αστικών λυμάτων, αλλά όχι στη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού. Η UF θεωρείται η καλύτερη επιλογή για την ανακύκλωση νερού στην παραγωγή χαρτιού. Η UF που μπορεί να λειτουργεί υπό πίεση κάτω του 1 bar χρησιμοποιείται συνήθως στις βιομηχανίες επεξεργασίας νερού και λυμάτων, αλλά η συντήρηση. Το κόστος αποτελεί σημαντική δαπάνη, καθώς η μέθοδος είναι ευάλωτη σε φραγμούς. Το μεγαλύτερο μέρος του κόστους για τις τεχνολογίες NF και RO προέρχεται από την κατανάλωση ενέργειας. Οι τεχνολογίες NF και RO απαιτούν επίσης την εγκατάσταση ειδικών μονάδων προεπεξεργασίας της τροφοδοσίας, καθώς είναι επιρρεπείς σε εκτεταμένους φραγμούς. Το κόστος που συνδέεται με τις τεχνολογίες NF και RO για την απομάκρυνση των διαλυμένων ουσιών έχει ως αποτέλεσμα να μην έχουν αποδειχθεί ακόμη οικονομικά αποδοτικές για τις διαδικασίες ανακύκλωσης χαρτιού [22].



Σχήμα 4 Σχήμα που παρέχει όλες τις τεχνολογίες

Επεξεργασία λυμάτων

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες επεξεργασίας με σκοπό την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των λυμάτων στο περιβάλλον. Ανάλογα με την ποιότητα των προϊόντων χαρτιού, τον τύπο των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται και την τοξικότητα των λυμάτων, ονσχεδιασμός και η διαμόρφωση της μονάδας επεξεργασίας διαφέρουν από εργοστάσιο σε εργοστάσιο. Μια τυπική μονάδα επεξεργασίας λυμάτων αποτελείται από : πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία λειτουργεί συχνά ως προεπεξεργασία για τις επόμενες μεθόδους επεξεργασίας λυμάτων. Έχει σχεδιαστεί για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών και συνήθως περιλαμβάνει μια δεξαμενή εξισορρόπησης για τη ρύθμιση του pH και της θερμοκρασίας, καθώς και μια δεξαμενή καθίζησης ή επίπλευσης για τον διαχωρισμό των στερεών και την απομάκρυνση της σκληρότητας από το νερό. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί συνήθως ένα πηκτικό και/ή ένα κροκιδωτικό για την ενίσχυση του διαχωρισμού. Έτσι, η συσκευή καθίζησης ή επίπλευσης αποτελεί ξεχωριστή μονάδα από τη μονάδα συγκράτησης, προκειμένου να αποτραπεί η επανείσοδος των προστιθέμενων χημικών στο κύκλωμα πρωτογενούς και δευτερογενούς επεξεργασίας και η μόλυνση των ανακτημένων ινών. [23]

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει βιολογική επεξεργασία (αναερόβια και αερόβια) και δευτεροβάθμια καθίζηση. Έχει σχεδιαστεί για να απομακρύνει τα

αιωρούμενα στερεά, την κολλοειδή και τη διαλυμένη οργανική ύλη, και κατ' επέκταση να μειώσει το COD, το BOD και το χρώμα. Αν και οι βιολογικές μέθοδοι είναι πιο οικονομικά αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τη φυσικοχημική επεξεργασία, όσον αφορά την απομάκρυνση του χρώματος και των ανθεκτικών ενώσεων, οι βιολογικές διεργασίες έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές. Επιπλέον, οι ρύποι και οι τοξικές χημικές ουσίες, όπως τα ακόρεστα λιπαρά οξέα, οι αλκοόλες και οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες αποτελούν πρόκληση για τις παραδοσιακές βιολογικές επεξεργασίες. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται τριτοβάθμια επεξεργασία για την παραγωγή επεξεργασμένων λυμάτων που πληρούν τους κανονισμούς απόρριψης και είναι επίσης κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση εντός του εργοστασίου ανακυκλωμένου χαρτιού. Πιθανές διεργασίες για την τριτοβάθμια επεξεργασία είναι οι ενισχυμένες επεξεργασίες με χρήση αντιδραστηρίου Fenton, ενεργού άνθρακα, ενισχυμένης πήξης και κροκίδωσης ή τεχνολογίας μεμβρανών. Αυτή η διαδικασία επεξεργασίας τριών σταδίων είναι εφαρμόσιμη σε εργοστάσια ανακυκλωμένου χαρτιού, καθώς τα αιωρούμενα στερεά μπορούν να απομακρυνθούν με την πρωτοβάθμια επεξεργασία, οι διαλυμένες βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες μπορούν να απομακρυνθούν με τη δευτεροβάθμια επεξεργασία και οι ουσίες με χαμηλή βιοαποικοδομησιμότητα, όπως οι ανθεκτικές ενώσεις από τη λεύκανση και τα ανόργανα άλατα, μπορούν να απομακρυνθούν με την τριτοβάθμια επεξεργασία.[24]

Η επεξεργασία της ιλύος περιλαμβάνεται επίσης στο κύκλωμα επεξεργασίας των λυμάτων, καθώς η ιλύς παράγεται κατά τη διάρκεια των επεξεργασιών και πρέπει να απομακρυνθεί ή να επαναχρησιμοποιηθεί. Ένα κρίσιμο μέρος της επεξεργασίας της ιλύος είναι η απομάκρυνση του νερού. Ενώ η πρωτογενής ιλύς, που παράγεται από την πρωτογενή επεξεργασία, είναι σχετικά εύκολο να αποστραγγιστεί, η δευτερογενής ιλύς ή βιο-ιλύς, η οποία παράγεται από τη βιολογική επεξεργασία, παρουσιάζει χαμηλή ικανότητα αποστράγγισης λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε εξωκυτταρικές πολυμερείς ουσίες. Επί του παρόντος, οι δύο κυρίαρχες στρατηγικές για τη διαχείριση της ιλύος είναι η μηχανική απομάκρυνση νερού ακολουθούμενη από κομποστοποίηση για υγειονομική ταφή, και η μηχανική απομάκρυνση νερού ακολουθούμενη από αποτέφρωση και απόθεση τέφρας. Η μηχανική απομάκρυνση νερού πραγματοποιείται μέσω ενός συνδυασμού πολλαπλών μονάδων που λειτουργούν σε διαφορετικά εύρη περιεκτικότητας σε στερεά, όπως ο πίνακας βαρύτητας ή ο περιστροφικός πυκνωτής, ακολουθούμενος από πρέσα με ιμάντα ή κοχλία. Ενώ η κομποστοποίηση είναι εύκολο

να πραγματοποιηθεί με τη χρήση σειρών ή αντιδραστήρων, το τελικό προϊόν συχνά παρουσιάζει έλλειψη θρεπτικών συστατικών και δεν είναι κατάλληλο για χρήση ως λίπασμα. Η αποτέφρωση της ιλύος είναι πιο προτιμότερη, καθώς η διαδικασία παρέχει θερμική ενέργεια, επιτρέπει την παραγωγή βιοκαυσίμων και παράγει τέφρα, η οποία απορρίπτεται εύκολα. Ωστόσο, η ιλύς πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 30%–35% στερεά για να καεί αποτελεσματικά, ενώ η μηχανικά αφυδατωμένη ιλύς μπορεί να φτάσει μόνο έως και 13% περιεκτικότητα σε στερεά. Ως εκ τούτου, η θερμική ξήρανση και η ανάμιξη πρωτογενούς και βιο-ιλύος εφαρμόζονται μερικές φορές για την αύξηση της αφυδατωσιμότητας. Επιπλέον, ένα μικρό μέρος της πρωτογενούς λάσπης μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χαρτιού χαμηλής ποιότητας και η βιολάσπη μπορεί να ανακυκλωθεί εν μέρει στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας για τη διατήρηση της βιολογικής δραστηριότητας. [25]

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας σχεδιάζονται κατά παραγγελία ώστε να ανταποκρίνονται στη δυναμικότητα της μονάδας, στις απαιτήσεις ποιότητας των εκροών για τα επεξεργασμένα λύματα, καθώς και σε παράγοντες που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη τοποθεσία. Στόχος της επεξεργασίας είναι είτε η ανακύκλωση μέρους ή του συνόλου των επεξεργασμένων λυμάτων στην παραγωγική διαδικασία (κλειστό κύκλωμα) είτε η απόρριψή τους στο περιβάλλον. Επί του παρόντος, τα επεξεργασμένα λύματα δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν πλήρως για όλες τις ποιότητες χαρτιού. Ανάλογα με την ποιότητα του προϊόντος και τις απαιτήσεις της μονάδας, τα επεξεργασμένα λύματα μπορούν να επιστρέφονται εν μέρει στη διαδικασία. Ως εκ τούτου, τα χαρτοποιεία που παράγουν μέσο κυματοειδούς χαρτιού με βάση ανακτημένες ίνες έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να επιτύχουν ένα κλειστό κύκλωμα νερού.

Κατά την ανακύκλωση, οι ρύποι στα λύματα διαφέρουν από εργοστάσιο σε εργοστάσιο. Για παράδειγμα, το φορτίο BOD, το χρώμα, τα TSS, τα χημικά και τα πληρωτικά στα λύματα από εργοστάσια που χρησιμοποιούν 100% ανακυκλωμένο χαρτί είναι υψηλότερα σε σύγκριση με εργοστάσια που χρησιμοποιούν τόσο ανακυκλωμένο χαρτί όσο και παρθένο πολτό. Είναι κοινή απαίτηση για όλα τα εργοστάσια να πληρούν τα τοπικά ή εθνικά πρότυπα απόρριψης λυμάτων. Αυτά τα πρότυπα διαφέρουν από χώρα σε χώρα και ακόμη και από πολιτεία σε πολιτεία, ανάλογα με το πού θα απορρίπτονται τα επεξεργασμένα λύματα. Για παράδειγμα, ο

Πίνακας 5 παρουσιάζει τα πρότυπα λυμάτων για την απόρριψη στο αποχετευτικό σύστημα στην Αυστραλία, όπου τα λύματα θα υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία κατόπιν στο εργοστάσιο επεξεργασίας λυμάτων. Σε άλλες χώρες, ανάλογα με την ποιότητα των επεξεργασμένων υδάτων, αυτά μπορούν να απορρίπτονται σε ένα σύστημα υποδοχής υδάτων (αποχετευτικό δίκτυο αστικών περιοχών, ποτάμια ή παράκτια ύδατα) ή να διοχετεύονται σε εξωτερικό σύστημα για περαιτέρω επεξεργασία. Για παράδειγμα, οι διάφορες κανονιστικές προδιαγραφές για τα επεξεργασμένα βιομηχανικά λύματα στο Βιετνάμ παρατίθενται στον Πίνακα 5, ανάλογα με τον προορισμό των επεξεργασμένων υδάτων. Η στήλη Α δείχνει τα πρότυπα για τα λύματα που θα απορριφθούν σε συστήματα υποδοχής υδάτων και η στήλη Β δείχνει τα πρότυπα για τα λύματα που θα απορριφθούν σε ένα κεντρικό σύστημα επεξεργασίας λυμάτων για περαιτέρω επεξεργασία.[26]

Παραμετροι	A	B
BOD5	30mg/l	50 mg/l
COD	75mg/l	150 mg/l
TDS	50 mg/l	100mg/l
Temperature	40 C	40 C
Colour	50 Pt/Co	150Pt/Co
pH	6-9	5,5-9

Πίνακας 4 Πρότυπα απόρριψης λυμάτων στο Βιετνάμ. Τα όρια που αναφέρονται στη στήλη Α αφορούν το επεξεργασμένο νερό

που απορρίπτεται στο περιβάλλον, ενώ οι τιμές της στήλης Β αφορούν το νερό που απορρίπτεται σε ένα κεντρικό σύστημα επεξεργασίας λυμάτων

Παράμετροι	Όρια
BOD5	300 mg/l
COD	Να μην ξεπερνά το BOD5 για τρεις φορές
TDS	4000 mg/l
Temperature	<38 C

Colour	Δεν είναι ορατό όταν τα λύματα αραιώνονται στο ισοδύναμο επίπεδο αραιώσης που προκύπτει από τη ροή των οικιακών λύματα
pH	7-9

Πίνακας 5 Αποδεκτά όρια αποβλήτων

Παράμετροι διεργασίας και βελτίωσης

Είναι κατανοητό να αναφέρουμε ότι οι διαδικασίες πήξης και κροκίδωσης είναι σημαντικές για την επεξεργασία των λυμάτων και του χαρτοπολτού καθώς είναι σημαντική η απομάκρυνση οργανικών ενώσεων και χρωστικών ουσιών. Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι διάφοροι παράγοντες επιδρούν στην αποτελεσματικότητα των φυσικοχημικών διεργασιών. Επομένως ο συνεχής έλεγχος και η προληπτική επέμβαση αποτελούν κλειδιά για να επιτύχουμε την βέλτιστη πήξη και κροκίδωση καθώς μέσω αυτής της παρακολούθησης μειώνουμε τα κόστη άλλα και την αφελή χρήση των χημικών που πρέπει να συμμορφώνονται σύμφωνα με την νομοθεσία τα εξερχόμενα λύματα. [27]

Ph: Αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα στην διεργασία της πήξης και κροκίδωσης διότι καθορίζει την μορφή άλλα και το ηλεκτρικό φορτίο των ρύπων τόσο των χημικών όσο και των πτητικών κροκιδωτικών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι τα πεπτικά με συγκεκριμένα βάση το αλουμίνιο όπως είναι τα σιπτήρια λειτουργούν σε ζώνη Ph μεταξύ 5.5-8,5 διότι σε αυτό το διάστημα έχουν την δυνατότητα να δημιουργούν υδρολυμένα είδη και να αντιμετωπίζουν υδρολυμένα είδη γεγονός που καταστρέφουν τα αρνητικά φορτία στα κολλοειδή σωματίδια. Όπως επίσης το αντίστροφο ισχύει και στο παράδειγμα των αλάτων σιδηρού όπου είναι πεπτικό όμως το χαμηλό επίπεδο του pH αναπτύσσει την συγκέντρωση χλωριδίου στα λύματα γεγονός που εγείρει τον κίνδυνο προσοχής.

Αναλογία του πηπτικού και του κροκιδωτικού: Η αποτελεσματική δοσολογία του πηπτικού άλλα και του κροκιδωτικού είναι μια παράμετρος που πρέπει να υπολογίζεται αν θέλουμε να έχουμε ικανοποιητική αποσταθεροποίηση σωματιδίων άλλα και σχεδιασμού κροκίδων. Αν υπάρχει αλόγιστη χρήση χημικού μπορεί να επιφέρει άνοδος

στο κόστος των χημικών με την έλευση των υπολειμμάτων στο απόβλητο και επόμενος την ανάδειξη της λάσπης. Από την άλλη πλευρά η μειωμένη ποσότητα έχει ως αντίτυπο την μείωση της ποιότητας του νερού λόγω ότι υπήρχε ημιτελής απομάκρυνση σωματιδίων. Επομένως σύμφωνα με την συγκέντρωση των ρύπων που υπάρχουν στα λύματα χρειάζονται αδιάκοπο έλεγχο και παρεμβολή.

Χρόνος ανάδευσης: Η ανάδευση αποτελεί μια σημαντική διαδικασία για την κροκίδωση καθώς δημιουργεί εντάσεις στην προσκόλληση των σταθεροποιημένων σωματιδίων και βοηθά στην δημιουργία διογκωμένων κροκιδίων. Χαρακτηριστικά η ομαλή ανάδευση λειτουργεί ως η βέλτιστη καθώς κατανέμει ισότιμα το πηπτικό και το κροκιδωτικό σε όλο το εύρος του νερού. Από την άλλη η υψηλή ανάδευση με ένταση έχει και άσχημα αποτελέσματα καθώς καταλήγει σε σπάσιμο των κροκιδίων άλλα και να εμφανιστεί μη ικανοποιητική καθίζηση. Η αναβάθμιση της έντασης ανάδευσης οδηγεί όμως και την ικανοποιητική καθίζηση άλλα και κροκίδωση.

Θερμοκρασία: Η κίνηση των σωματιδίων αποτελεί σημαντικό κομμάτι στην πήξη άλλα και στην κροκίδωση. Αν αναλογιστούμε ότι η υψηλή θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα να εγρήγορη των χημικών αντιδράσεων και ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της ανάδευσης καθώς παρεμβαίνουν και στο ιξώδες όπως και στην διαλυτότητα των δημιουργημένων σωματιδίων. Η θερμοκρασία είναι ένας κρίσιμος παράγοντας ζωτικής σημασίας καθώς διατηρεί την απόδοση άλλα και την επεξεργασία και ειδικά στις κλιματικές μεταβολές στο νερό.

Χαρακτηριστικά των λυμάτων: Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τα λύματα που καλούμαστε να διαχειριστούμε ώστε να καλυτερεύσουμε την πήξη και την κροκίδωση. Τέτοιοι παράγοντες αποτελούν η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών, την περιεκτικότητα σε οργανικές ουσίες, όπως και τις χρωστικές ουσίες ακόμη και οι αλλαγές στους ρυθμούς ροής διαδραματίζουν την βέλτιστη επιλογή χημικών ουσιών και κατάλληλων παραμέτρων. Με απώτερο σκοπό το καλύτερο αποτέλεσμα της διεργασίας.

Σχεδιασμός δεξαμενής καθίζησης

Η δεξαμενή καθίζησης αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα καθώς μπορεί να διαχειριστεί λύματα αρκετές ποσότητες αιωρούμενων στερεών που ταυτόχρονα είναι κολλοειδή σωματίδια που περιέχουν κροκιδωμένο υλικό. Επομένως είναι μια βέλτιστη τεχνολογία καθώς τα σωματίδια που έχουν συρρικνωθεί από τις προηγούμενες διεργασίες της κροκίδωσης και της πήξης και περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια και είναι αξιοποιήσιμα στην βιομηχανία χαρτοπολτού που συμπεριλαμβάνονται τέτοιοι ρύποι. Επιπρόσθετα έχουν την δυνατότητα να παρέχουν διαχείριση σε μεγάλο όγκο λυμάτων και επίσης με χαμηλό λειτουργικό κόστος στον ενεργειακό τομέα. ακόμη πρέπει να αναφέρουμε ότι η καθίζηση είναι μια διεργασία που στηρίζεται στην βαρύτητα γεγονός που την κάνει φιλική και εξυπηρετεί και άλλες διεργασίες. Όμως υπάρχει μια ιδιαιτερότητα καθώς δεν αξιοποιούνται συχνά τέτοιες τεχνολογίες που διαχειρίζονται οργανικές ενώσεις, ελαία, λίπη και κολλοειδή σωματίδια. Μια ιδανική λύση για την διαχείριση τέτοιων λυμάτων είναι η επίπλευση με αέρα και η διήθηση με μεμβράνη. Ακόμη πρέπει να αναφέρουμε ότι η καθίζηση σε χώρες με ψυχρό κλίμα δεν έχουν το ίδιο αποτέλεσμα καθώς το ιξώδες στο νερο μειώνεται γεγονός που μειώνει την απόδοση καθίζησης. Επομένως είναι και το επομένο αρνητικό που εμφανίζεται η διαχείριση άλλα και η επεξεργασία της ιλύος σε τέτοιες καταστασεις, ετσι είναι επιτακτικός ο σχεδιασμός άλλα και η αναζήτηση παραμετρων πριν σχεδιαστεί μια δεξαμενή καθίζησης.[28] Τέτοιες δεξαμενές καθίζησης είναι:

Ορθογώνιες δεξαμενές καθίζησης: Αποτελούνται από ένα μακρόστενο σχήμα που εξυπηρετεί τα λύματα να διαπερνούν οριζόντιος. Ακόμη αποτελούνται από διαχωριστικά που βοηθούν στην μείωση του στροβιλισμού. Εν τέλει η ιλύς περισυλλέγεται στο κάτω μέρος και αποβάλλεται διάμεσο μηχανικών ξύστρων.

Κυκλικοί διαυγίτες: Στηρίζονται σε ένα κεντρικό φρεάτιο τροφοδοσίας που διανέμει τα λύματα στην περίμετρο της δεξαμενής. Η λάσπη που καθιζάνει απομακρύνεται μέσω μιας κυρίας χοάνης. Είναι πιο προσιτοί καθώς αξιοποιούνται περισσότερο λόγω της υδραυλικής απόδοσης και ευκολίας που παρέχουν για την απομάκρυνση της ιλύος.

Διαχωριστές με πτερύγια: Κατακαθιστήρες με κυκλικές πλάκες όπως αλλιώς ονομάζονται αξιοποιούν σειρά με κεκλιμένες πλάκες για να αυξήσουν την καθίζηση. Το εισερχόμενα ρέει μέσω των πλακών και οι πλάκες έχουν την ιδιότητα να

συγκρατούν τα λύματα και τα στερεά να τα συγκρατούν και να τα καθιζάνουν. Έχει βαρύ εξοπλισμό που παρέχει μεγάλη απόδοση και καθιζάνει σε μικρό χώρο. Για να κατασκευάσουμε μια δεξαμενή καθίζησης θα πρέπει να ελέγξουμε κάποιες παραμέτρους που εμφανίζονται στον πίνακα 6

Παράμετροι	Επίδραση	Συνιστάμενοι εύρος
Ρυθμός επιφανειακής φόρτισης	Επηρεάζει το μέγεθος άλλα και την απόδοση του διαυγαστήρα. Μειωμένοι ρυθμοί έχουν βελτίωση στην απόδοση καθίζησης	1-3 m ³ /m ² /h
Διάρκεια συγκράτησης	Επιδρά στον βαθμό καθίζησης των σωματιδίων. Μεγάλο χρονικό διάστημα εξυπηρετεί την καθίζηση μεγαλύτερου αριθμού σωματιδίων καθώς χρειάζονται μεγάλες δεξαμενές	2 - 4 h
Μηχανισμός απομάκρυνσης ιλύος	Δεν συμβάλει στην συσσωμάτωση ιλύος. Ελαττώνει τον όγκο της δεξαμενής και επόμενος μειώνει την απόδοση.	Συνεχής ή σταδιακή αποβολή μέσω των μηχανικών ξύστρων ή συσκευών αναρρόφησης
Κατανομή ροής	Έχουμε ισομερής ροή και έτσι αποφεύγουμε νέκρες ζώνες και βραχυκυκλώματα, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της απόδοσης καθίζησης	Αυξάνεται διάμεσο της αξιοποίησης των διαφραγμάτων και αντίστοιχων κατασκευών ελέγχου ροής

Πίνακας 6 Παράμετροι λειτουργίας για την δεξαμενή καθίζησης

Συντελεστές απόδοσης

Αρκετοί παράγοντες μεταβάλουν την αποτελεσματικότητα στην καθίζηση και επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στην βιομηχανία χαρτιού.[29] Τέτοιοι παράγοντες είναι:

Σωματιδιακός χαρακτηρισμός: Είναι κατανοητό ότι το μέγεθος, σχήμα άλλα και η πυκνότητα των σωματιδίων μεταβάλουν την ταχύτητα καθίζησης. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι τα κροκιδωμένα σωματίδια λόγω μεγέθους που είναι πιο διογκωμένα έχουν την τάση να καθιζάνουν γρηγορότερα έναντι των μικρών κολλοειδή σωματιδίων.

Ρυθμός ροής των λυμάτων: Μεγάλοι ρυθμοί ροής μπορεί να κατευθυνθούν σε στροβιλισμό και μείωση στην απόδοση της καθίζησης. Επομένως είναι αναγκαίος ο συχνός έλεγχος για να έχουμε άριστη καθίζηση .

Θερμοκρασία: Μεταβάλλει το ιξώδες του νερού και την ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων. Υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν το ιξώδες στο νερό και ενδυναμώνουν την καθίζηση στα σωματίδια, αντίστροφος ανάλογο γίνεται όταν αυξάνεται το ιξώδες καθώς μειώνεται η καθίζηση.

Χημική σύσταση: Η αξιοποίηση των πτητικών άλλα και των κροκιδωτικών αυξάνει την συσσωμάτωση στα σωματίδια δημιουργώντας μεγάλα κροκίδια που διαπιστώνεται ότι καθιζάνουν με μεγαλύτερη επιτυχία. Πρέπει να αναφερθεί πως ανάλογα του επεξεργαζόμενου λύματος να γίνονται οι μεταβολές στα χημικά.

Γεωμετρία: Η απόδοση της καθίζησης επηρεάζεται άμεσα από το μέγεθος της δεξαμενής καθίζησης. Σχεδιαστικά οι ορθογώνιες δεξαμενές είναι αρωγός στην οριζόντια ροή ενώ η κυκλική δεξαμενή εξυπηρετεί την περιμετρική ροή.

Η βέλτιστη μέθοδος εξαγωγής της ιλύος αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα στην εύρυθμη λειτουργία της δεξαμενής καθίζησης. Αν η ιλύς δεν μεταβληθεί και μείνει στάσιμη τότε θα εμφανιστούν φαινόμενα όπως είναι η επαναδιασπορά των καθιζανόντων σωματιδίων και έτσι μειώνεται η συνολική απόδοση.

Μηχανισμοί διήθησης

Αναμφίβολα η διήθηση είναι ένα χρήσιμο <<όπλο>> για την επεξεργασία των λυμάτων στην βιομηχανία χαρτιού διότι είναι αναγκαία η αποβολή των λεπτών σωματιδίων και

κολλοειδών ουσιών όπως και των υπολειμμάτων των κροκιδωμάτων. Είναι το επόμενο στάδιο μετά την πρώτη φάση που είναι η πήξη η κροκίδωση και η καθίζηση. Κυρίως στόχος της διήθησης είναι η απομάκρυνση μειωμένων επιπέδων θολότητας και αποβολή λεπτών αιωρούμενων στέρεων που μπορεί να μείνουν αμετάβλητα στις μεθόδους επεξεργασίας. Επομένως την κρίζει βέλτιστη μέθοδο καθώς οι διεργασίες μπορούν να αξιοποιηθούν ξανά ή να αποβληθούν σε πιο ήπια περιβάλλοντα. Υπάρχει όμως και η περίπτωση η διήθηση να μην είναι ωφέλιμη σε κάποιες περιπτώσεις. Η σύγχρονοι μέθοδοι διήθησης στηρίζονται σε προηγμένες τεχνολογίες όπως είναι οι μεμβράνες που όμως εμφανίζουν υψηλά κόστη. Ένας ακόμη παράγοντας είναι και η ποιότητα των εισερχομένων υδάτων καθώς αν έχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε αιωρούμενα στερεά οδηγούν σε φράξιμο και ελάχιστη απόδοση, επομένως γίνεται αναγκαίος ο καθαρισμός ή η αλλαγή του φίλτρου. Είναι γόνιμο να πούμε λόγω έλλειψης κτηριακής υποδομής η διήθηση να μην είναι τόσο αποτελεσματική σε πρωτοβάθμια επεξεργασία. [31]Έτσι είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι μπορεί να αξιοποιηθεί ως δευτεροβάθμια επεξεργασία ή και τριτοβάθμια επεξεργασία με μικρότερο εύρος εργασίας καθώς είναι πιο ωφέλιμη οικονομικά. Ανάλογα με τον τύπο διήθησης υπάρχει και η αντίστοιχη κατηγοριοποίηση:

Μηχανική διήθηση: Αποτελεί και τον βασικό μηχανισμό καθώς η κοκκίωσης φάση τα σωματίδια είναι πιο διογκωμένα δεν μπορούν να απελευθερωθούν από το νερό. Έτσι τα φίλτρα άμμου και τα φίλτρα αρκετών μέσων φεύγουν από το νερό.

Προσρόφηση: Η χημική άλλα και οι φυσικές αλληλεπιδράσεις αποτελούν ιδιότητες που αλληλοεπιδρούν με σκοπό να προσκλίσουν οι κόκκοι και τα λεπτά σωματίδια στην επιφάνεια του φίλτρου. Έτσι αποτελεί και μια διεργασία που δίνει την δυνατότητα να απομακρύνει και μικρότερα σωματίδια.

Κέικ φιλτράρισμα: Αν παρατηρήσουμε τα σωματίδια συλλέγονται στην επιφάνεια του φιλτραρίσματος και δημιουργούν ένα στρώμα που μοιάζει σαν κέικ γεγονός που είναι ένα εξτρά φίλτρο καθώς εγκλωβίζονται περισσότερα σωματίδια. Είναι ένας μηχανισμός που τον συνάπτουμε συχνά στην διήθηση με μεμβράνες καθώς ενισχύει την δυναμική απόδοσης.

Διάχυση με παρεμπόδιση: Έχει διαπιστωθεί ότι οι μικρές σωματιδιακές μάζες όταν αλληλοεπιδρούν με το νερό απομακρύνονται από τα φίλτρα. Είναι ένα από τα μεγάλα

οφέλη να αναφέρουμε της διήθησης με μεμβράνη όπου δια πλέκονται και μικρότεροι πόροι.

Ηλεκτροστατική έλξη: Κάποια φίλτρα έχουν την δυνατότητα να απομακρύνουν τις διαλυμένες ουσίες μέσω ηλεκτροστατικής επαφής. Είναι ένας εύχρηστος μηχανισμός στην αποβολή κolloειδών σωματιδίων και των διαλυμένων ιόντων.

Κοσκίνισμα: Τα φίλτρα αποτελούνται από μεμβράνες όπου αλληλοεπιδρούν στο κοσκίνισμα γεγονός που βοηθούν ώστε να απομακρύνονται από το νερό. Επομένως αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο καθώς το ποσοστό απομάκρυνσης είναι μεγάλο σε λεπτά σωματίδια και μικροοργανισμούς. Τα είδη φιλτραρίσματος εμφανίζονται και στον πίνακα 7

Τύπος φιλτραρίσματος	Περιγραφή -Τεχνολογίας	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Φιλτράρισμα με άμμο	Αξιοποιεί ένα στρώμα άμμου που κρατάει τα σωματίδια παρόλο που το νερό διαπερνά από εσωτερικά	Ευέλικτο οικονομικό και ικανό για απομάκρυνση αιωρούμενων στέρεων και της θολότητας.	Χρειάζεται αντιστροφή πλύση καθώς είναι ελάχιστα αποτελεσματική στα αρκετά λεπτά σωματίδια ή διαλυμένους ρύπους.
Πολυμεσική διήθηση	Αξιοποιεί αρκετά στρώματα κοκκωδών υλικών (άμμο, ανθρακίτη, χαλίκι) σε μεταποιημένες πυκνότητες και μεγέθη	Έχει αυξημένους ρυθμούς ροής και πιο μεγάλη διάρκεια στην λειτουργία του φίλτρου και ικανοποιητική απομάκρυνση σωματιδίων από διάφορα μεγέθη	Χρειάζεται σταδιακή πλύση αντιστροφή που είναι πιο επιτυχής σε υψηλής περιεκτικότητας οργανικές ενώσεις

Φιλτράρισμα με μεμβράνες	Αξιοποιούν ημιδιαπερατές μεμβράνες (μικροδιήθησης, υπερδιήθησης, νανοδιήθησης και αντιστροφή ώσμωση) για την διασπορά των ρύπων	Ιδιαίτερα επιτυχής για απομάκρυνση λεπτών σωματιδίων βακτηρίων, ιών και διαλυμένων ουσιών καθώς παράγουν υγρά καλής ποιότητας.	Συνθέτη και ακριβή στην τοποθέτηση και λειτουργία, ευπρεπής στην ρύπανση απαιτεί συχνή συντήρηση
--------------------------	---	--	--

Πίνακας 7 Είδη φιλτραρίσματος στην βιομηχανία χαρτιού

Είδη φιλτραρίσματος

Είναι κοινό ότι οι μεμβράνες πολυαιθεροσουλφόνης (PES) κατηγοριοποιούνται ως τις πιο κοινές σε χρήση. Ο λόγος κατηγοριοποίησης οφείλεται σε διάφορους λογούς όπως χαρακτηριστικά είναι η αυξημένη μηχανική αντοχή όπως και η χημική αλλά και θερμική αντοχή. Έχει αποδειχθεί ότι οι μεμβράνες αυτές έχουν υψηλή ανθεκτικότητα καθώς αντέχουν σε αντίξοές συνθήκες που συναντάμε σε επεξεργασία υγρών αποβλήτων καθώς αντέχουν σε υψηλής περιεκτικότητας στέρεα άλλα και λειαντικά σωματίδια. Ακόμη η υδροφιλικότητα που έχουν οι μεμβράνες της καθιστά ελάχιστα φιλικές σε ρύπανση που αποτελεί και ένα χρήσιμο όπλο στην καταπολέμηση των ανόργανων ουσιών που συναντάμε στα λύματα του χαρτιού.[31] Οι κατηγορίες των φίλτρων που αναφέρουμε είναι οι παρακάτω:

Πολυβινυλιδενικό φθορίδιο: Οι μεμβράνες αυτές έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε χημικά άλλα και σε διαδικασίες θερμικής αποικοδόμησης και οξείδωσης. Λόγω των υψηλών τους μηχανικών ιδιοτήτων τους αξιοποιούνται κοινός σε σημεία με υψηλή ανθεκτικότητα και αντοχή σε αντίξοές συνθήκες

Πολυσουλφόνη: Έχουν υψηλή αντοχή σε θερμοκρασίες και χημική ομογενοποίηση. Όμως είναι υδρόφοβες πράγμα που τις καθιστά επικίνδυνες καθώς μπορεί να υπάρχει ένδειξη ατμοσφαιρικής ρύπανσης άλλα παρέχουν ιδανική απόδοση φιλτραρίσματος.

Πολυαμίδιο: Τις συναντάμε στην αντιστροφή ώσμωση και διαπιστώνουμε ότι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην καταπολέμηση των αλάτων σε υψηλές ροές. Είναι σχεδιασμένες να αντέχουν στην επαφή με το χλώριο για αυτό έχουν και καλές μηχανικές διεργασίες.

Οξική κυτταρίνη: Είναι υδρόφιλες και αντέχουνε στην ρύπανση. Μας δίνουν ικανοποιητικά διεργασίες στην επεξεργασία του νερού καθώς έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα στην υδρόλυση σε σημεία υψηλού pH, και είναι ελάχιστα ανθεκτικές αν τις συγκρίνουμε τα πολυμερή.

Χημική καταβύθιση

Η χημική καταβύθιση είναι μια πολύ διαδεδομένη μέθοδος που σκοπό έχει την αποβολή διαλυμένων μετάλλων και άλλων ρύπων σε λύματα που στηρίζονται στην βιομηχανία χαρτιού. Στηρίζεται στην προσθήκη χημικών ουσιών που επιδρούν με τα κατεστραμμένα ιόντα δημιουργώντας αδιάλυτα ιζήματα τα οποία μετέπειτα αξιοποιούνται στον διαχωρισμό στο νερό [32]. Οι μηχανισμοί είναι οι εξής:

Δημιουργία συμπλοκών και υδρόλυση: Έχει παρατηρηθεί ότι αρκετά ιόντα στα λύματα μεταλλικά βέβαια συμπεριλαμβάνονται στον σχηματισμό συμπλοκών είτε ως υδρολυμένα. Όμως μπορεί να υπάρξει και η αποσταθεροποίηση των συμπλοκών ιόντων καθώς με την χρήση των ικανοποιητικών χημικών να υπάρχει ρύθμιση του pH. Αυτό όμως οδηγεί στην δημιουργία αδιάλυτων υδροξειδίων όπως ακόμη και σουλφιδίων που διαλύονται στο διάλυμα.

Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής: Πρέπει να πούμε ότι κάποια ιόντα μετάλλων διαπερνούν κάποιες αντιδράσεις οξειδοαναγωγής (redox) στην διάρκεια την χημικής κατακρήμνισης.

Σχηματισμός υδροξειδίων μετάλλων: Η αύξηση του pH στα λύματα προέρχεται από την είσοδο ιόντων υδροξειδίου είτε αλκάλιων χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνουμε τον ασβέστη που έχει την ιδιότητα να αυξάνει το pH στα λύματα. Αυτό δημιουργεί μια πτώση των ιόντων μετάλλου όπως είναι το αλουμίνιο ο σίδηρος και το μαγγάνιο και τα υδροξείδια τους.

Σουλφιδικά μέταλλα σχηματισμός: Η αξιοποίηση των σουλφιδών του νατρίου όπως και το αέριο υδρόθειο αξιοποιούνται στην βύθιση μετάλλων χαρακτηριστικά είναι ο μόλυβδος το κάδμιο και ο ψευδάργυρος στα αδιάλυτα σουλφίδια.

Υλικό	Φαινόμενο	Θετικά	Αρνητικά
Ασβέστης (CaCO_3)	Εμφανίζεται η καθίζηση των μετάλλων ως υδροξειδίων	Οικονομικά αναπτυσσόμενο καθώς ενισχύει το pH σε παραπάνω επεξεργασία	Ανάγκη για υψηλό pH διάθεση της λάσπης
Υδροξείδιο του νατρίου	Αυξάνει το pH και εμφανίζει καθίζηση των μετάλλων σε μορφή υδροξειδίου	Ιδανικό για μεγάλες επιχειρήσεις	Πρέπει να ρυθμιστεί το pH, υψηλό κόστος χημικών είναι απαραίτητο
Θειούχο νάτριο	Επιφέρει την καταβύθιση των μετάλλων με μορφή σουλφιδίων	Μειωμένο κόστος ιδιαίτερα αξιόπιστο σε μέταλλα όπου δημιουργούν σουλφίδια	Η τοξικότητα αποτελεί ένα πρόβλημα που γίνεται αντιληπτό μέσω της οσμής.
Ανθρακικό Νάτριο	Προκαλείται η καθίζηση των μετάλλων σε μορφή ανθρακικών αλάτων	Η απομάκρυνση του ασβεστίου και του μαγνησίου γίνεται με αύξηση του pH.	Μειωμένα επιτυχή σε άλλα μέταλλα έλεγχος του pH

Πίνακας 8 Καθίζηση και παράγοντες στα λύματα.

Σύστημα διαχείρισης υγρών απόβλητων

Ζητήματα σχεδιασμού και λειτουργίας

Έχει αποδειχθεί ότι η χημική καταβύθιση αποτελεί έναν σωτήριο αρωγό καθώς επεξεργάζεται τα λύματα υψηλών συγκεντρώσεων καθώς στηρίζονται σε χαλκό, ψευδάργυρο και μόλυβδο χημικά που μπορούν να δημιουργήσουν ιζήματα με την παρουσία χημικών. Αυτό είναι ένα συχνό φαινόμενο καθώς το παρατηρούμε στην βιομηχανία χαρτιού καθώς είναι κάτι επιτρεπτό λόγω της φύσης των χημικών που διαχειριζόμαστε. Η καταβύθιση έχει την τάση να ελαττώσει αρκετά τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων γεγονός που είναι ευνόητο καθώς βοηθά στις διαδικασίες επεξεργασίας. Όμως πρέπει να αναφέρουμε ότι η χημική καταβύθιση υπάρχει πιθανότητα να είναι λιγότερο αποτελεσματική στην επεξεργασία λυμάτων με μειωμένες συγκεντρώσεις μετάλλων όπου υπάρχουν μορφές που καθιζάνουν ευκολά. Επομένως είναι επιτακτική η αξιοποίηση της προσρόφησης ή της χρήσης των μεμβρανών για να έχουμε επιτυχής απομάκρυνση. Πρέπει να αναφέρουμε ότι η χημική καταβύθιση ενδέχεται να επηρεάσει και άλλους παράγοντες όπως είναι το Ph, θερμοκρασία και άλλες ουσίες οι οποίες χρειάζονται εξονειδιστική βελτιστοποίηση στον έλεγχο ώστε να έχουμε τα βέλτιστα αποτελέσματα με φυσικά οικονομικό τρόπο[33]. Οι παράγοντες που πρέπει να αναφέρουμε είναι:

Έλεγχος Ph: Η σταθεροποίηση του Ph αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι στην ανάπτυξη της καθίζηση μετάλλων όπως υδροξείδια, σουλφίδια και ανθρακικά. Στην βιομηχανία χαρτιού το βέλτιστο pH είναι σε εύρος 6,5-9 ώστε να έχουμε την πιο ιδανική απομάκρυνση των ρύπων χωρίς να υπάρχει μεγάλη αξιοποίηση χημικών ή να επιλύεται επεξεργασία.

Δοσολογία: Η επιλογή στην καθίζηση στηρίζεται σε ορισμένους ρύπους στα λύματα. Όπως είναι ο ασβέστης, το υδροξείδιο του νάτριου, θειούχο νάτριο και το ανθρακικό νάτριο που το κάθε ξεχωριστά έχει τα δικά του χαρακτηριστικά.

Χρόνος αντίδρασης στην ανάμιξη: Η ομοιόμορφη ανάμειξη μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα καθώς ενισχύει την καθίζηση. Είναι σημαντικό κομμάτι να αναφέρουμε ότι η ανάμιξη είναι σημαντικό κομμάτι στην βιομηχανία χαρτιού καθώς ενεργοποιεί τον σχηματισμό αδιάλυτων ιζημάτων. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι μέγιστος χρόνος ανάμιξης εξυπηρετεί στην ολοκληρωτική καθίζηση στα ιζήματα γεγονός που εξυπηρετεί στην έναρξη διεργασιών διαχωρισμού τόσο στην καθίζηση όσο και την διήθηση.

Υβριδικά συστήματα επεξεργασίας

Τα υβριδικά συστήματα είναι συνδυαστικά καθώς συνδυάζουν φυσικοχημικές με βιολογικές μεθόδους. Είναι ολοκληρωμένα συστήματα που τυχαίνουν μεγάλη αναγνώριση με το πέρασ των χρονών καθώς έχουν την ιδιότητα να ενισχύουν την αποτελεσματικότητα την ευελιξία ως προς την διαχείριση συνθέτων λυμάτων όπως αναλύουμε και της βιομηχανίας χαρτιού. Η ενισχύει μέσω των χημικών διεργασιών μπορεί να αποτελέσει έναν σημαντικό αρωγό ως προς τις φυσικοχημικές ιδιότητες όπως είναι η κροκίδωση η οξειδωση. Κυρίως στοίχος είναι η μείωση των ρύπων που προέρχεται από βαρέα μέταλλα, χρωστικές και οργανικές ενώσεις που είναι βιολογικές διεργασίες, καθώς υπερσχύουν μεταφορά θρεπτικών συστατικών. Ένα όφελος είναι ότι τα υβριδικά συστήματα εμφανίζουν πλεονασμό από τις διακυμάνσεις σύμφωνα με την ροή. Οι φυσικοχημικές διεργασίες έχουν την δυνατότητα να διαχειριστούν φορτία με κλονισμό και μετατροπές στην σύσταση της εισροής σε αντίθεση με τις βιολογικές μεθόδους όπου εμφανίζουν σταθερότητα και προσαρμογή με το πέρασμα των χρονών. Η σύζευξη μεταξύ φυσικοχημικών άλλα και βιολογικών μεθόδων έχει ως αποτέλεσμα την βέλτιστη ποιότητα στην εκροή σε αντίθεση να λειτουργούν αυτόνομες η καθεμιά. Είναι σημαντικό αυτό καθώς μπορούμε να έχουμε συμμόρφωση σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς στην βιομηχανία χαρτιού όπου το εξερχόμενα λύμα είναι σύνθετο και περιέχει ανθεκτικούς ρύπους. Η μελέτη άλλα και ο σχεδιασμός ενός υβριδικού συστήματος χρειάζεται αυστηρή μελέτη και προσοχή ως προς τις φυσικοχημικές διεργασίες. Που κύριο στόχο έχουν την αποτελεσματικότητα και την

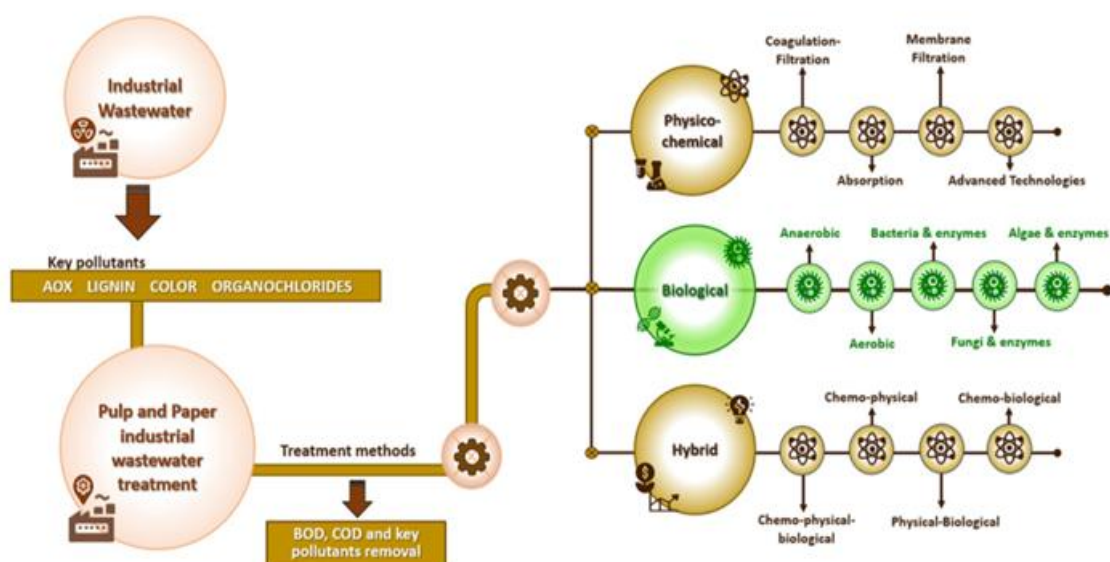
μείωση του λειτουργικού κόστους [34]. Ακόμη την βελτιστοποίηση σύμφωνα με τα πρότυπα συμμόρφωσης και την επίτευξη των οικονομικών στόχων.

Βιολογικοί μέθοδοι επεξεργασίας των λυμάτων από την χαρτοβιομηχανία

Τα λύματα και τα απόβλητα των υδάτων περιέχουν τοξικές, χημικές ουσίες αλλά και υπολείμματα που προέρχονται από βιομηχανικές ή εμπορικές δραστηριότητες. Αν κάνουμε μια σύγκριση με άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες θα παρατηρήσουμε ότι η χαρτοποιία καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό νερού, καθώς σε όλα τα στάδια επεξεργασίας είναι αναγκαία η εύρεση νερού. Είναι επόμενο να έχουν μεγάλο όγκο λυμάτων με ποικιλομορφία καθώς το χρώμα και οι υψηλές συγκεντρώσεις σε BOD,COD, αιωρούμενων στερεών και AOX σε σχέση με άλλη βιομηχανική δραστηριότητα. Για να υπάρχει μια καλύτερη περιβαλλοντική βλέψη είναι αναγκαίο οι παραγωγικές μονάδες της βιομηχανίας χαρτιού να λαμβάνουν υπόψιν την περιβαλλοντική πλευρά και να συντελούν στην κατάλληλη επεξεργασία του λύματος. Επομένως έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες που βοηθούν στην επίτευξη του στόχου όπως είναι οι πλύντριες, τα κοσκινά, αναδεύσεις και δεξαμενές ανάμειξης. Η αναζήτηση φιλικότερων προς το περιβάλλον λύσεις είναι κάτι που πρέπει να επιτευχθεί για να υπάρχει μια οικονομική και τεχνολογικά προηγμένη διαδικασία για την επεξεργασία των λυμάτων με κύριο στόχο την επαναχρησιμοποίηση και την μείωση της κατανάλωσης του νερού. Με το πέρασμα των ετών έχουν αξιοποιηθεί αρκετές φυσικές και χημικές διεργασίες όπως είναι η μέθοδος της κροκίδωσης, φυσικοχημικής προσρόφησης, διήθησης με μεμβράνη και της προηγμένης χημικής οξείδωσης. Το κύριο μέλημα των προαναφερόμενων τεχνικών αποτελεί την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, επιπλεόντων και των κολλοειδών σωματιδίων. Όμως το υψηλό κόστος για να ανταπεξέλθουν τα συστήματα αυτά όπως είναι η καύση της ιλύος και η μεγάλη παραγωγή λάσπης είναι άρρητα συνδεδεμένες με φυσικοχημικές μεθόδους καθώς προσελκύουν το ενδιαφέρον για φιλικότερη προς το περιβάλλον επεξεργασία των λυμάτων.[35]

Είναι κατανοητό πως η αναζήτηση καλύτερης τεχνολογίας στηρίζεται κατά κύριο λόγο στους μικροοργανισμούς της μικροβιακής κοινότητας και την σύνθεση των λυμάτων. Καθώς η καλυτέρευση των συνθηκών εντός του συστήματος όπως είναι το pH, η

θερμοκρασία και το οξυγόνο είναι κύριοι παράγοντες ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Έχει παρατηρηθεί ότι τα λύματα όταν καταφέρνουν να έχουν τις ιδανικές συνθήκες αναπτύσσουν ένζυμα και οργανικά οξέα που βοηθούν στην βιοαποικοδόμηση και την απολύμανση. Στο σχήμα 5 θα δούμε τις φυσικοχημικές και καινοτόμες μεθόδους επεξεργασίας που στηρίζονται αυτές οι τεχνολογίες. [36]



Σχήμα 5 Μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων βιομηχανίας χαρτιού

Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας απλής τεχνικής διαχωρισμού υγρών και στερεών, είτε με διαχωρισμό βαρύτητας (καθαριστές) είτε με επίπλευση, με την επίπλευση να χρησιμοποιείται ευρύτερα. Η πιο συνηθισμένη μορφή επίπλευσης είναι η επίπλευση με διαλυμένο αέρα (DAF). Η συσκευή εισάγει ένα υπό πίεση ρεύμα νερού κορεσμένου με αέρα στη βάση μιας ρηχής δεξαμενής που περιέχει νερό επεξεργασίας χαρτοβιομηχανίας. Όταν η πίεση μειώνεται, δημιουργούνται φυσαλίδες αέρα από την απελευθέρωση του εγχυόμενου νερού στη δεξαμενή. Οι ανερχόμενες φυσαλίδες έχουν την τάση να συλλέγουν στερεά σωματίδια που προσκολλώνται σε αυτές και μεταφέρονται στην επιφάνεια του νερού καθώς οι φυσαλίδες ανεβαίνουν. Τα στερεά στη συνέχεια απομακρύνονται από την επιφάνεια. Η μέθοδος DAF μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλες ροές νερού, παράγοντας ένα ευρύ φάσμα περιεκτικότητας σε στερεά στο συμπύκνωμα επίπλευσης (300 έως 5000 mg/L), και θεωρείται πολύ οικονομικά αποδοτική.[37]

Δεδομένου ότι τα λύματα των χαρτοβιομηχανιών ανακύκλωσης έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά, η χημική πήξη ακολουθούμενη από καθίζηση αποτελεί μια ιδιαίτερα προτιμώμενη τεχνική για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, ειδικά εκείνων με κολλοειδείς ιδιότητες. Είναι δυνατή η απομάκρυνση λεπτοδιασπαρμένων και κολλοειδών οργανικών σωματιδίων μεγέθους άνω των 0,2 μm . Στη συνέχεια, επειδή το άμυλο και τα κολλώδη είναι αδιάλυτες ενώσεις, μπορούν να απομακρυνθούν χρησιμοποιώντας τεχνικές διαχωρισμού υγρών και στερεών με τη βοήθεια ενός πηκτικού και/ή ενός κροκιδωτικού. Το υπερκείμενο υγρό υποβάλλεται στη συνέχεια σε περαιτέρω βιολογική επεξεργασία για την απομάκρυνση των οργανικών ενώσεων. Επιπλέον, παραδοσιακά πηκτικά όπως το θειικό αλουμίνιο, το χλωριούχο σίδηρο, τα προϊόντα με βάση το αλουμίνιο, ορυκτά όπως οι μπεντονίτες ή οι τάλκες και τα οργανικά πολυμερή μπορούν να απομακρύνουν έως και το 20% του οργανικού φορτίου που μετράται με βάση το COD. Μια μεγαλύτερη μείωση μπορεί να επιτευχθεί με υβριδικά πηκτικά μέσω της βελτιστοποίησης των συμβατικών χημικών ιδιοτήτων (μοριακό βάρος, πυκνότητα φορτίου, βασικότητα) ή της παρουσίας ή απουσίας άλλων ουσιών όπως το πυριτικό άλας . Η ιλύς από τις μονάδες DAF συνήθως συνδυάζεται με ιλύ από εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας πριν από την περαιτέρω επεξεργασία.

Η πήξη μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική μέθοδο πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, όταν χορηγείται η σωστή συγκέντρωση. Είναι ικανή να απομακρύνει αιωρούμενα στερεά, ορισμένες τοξικές ουσίες, χρώμα, COD και BOD, καθιστώντας τη δευτεροβάθμια επεξεργασία οικονομικά αποδοτική και πιο αποτελεσματική. Το στυπτηρία, τα σιδηρούχα άλατα και οι πολυηλεκτρολύτες είναι οι πιο συνηθισμένες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται. Διαπίστωσαν ότι συγκολλητικά με υψηλή σθένωση, όπως το θειικό αλουμίνιο, επιλέγονται συχνά επειδή με το αυξημένο ηλεκτρόνιο σθένωσης, η συγκέντρωση των μεταλλικών ιόντων για τη συγκόλληση μειώνεται, μειώνοντας περαιτέρω το κόστος. Ωστόσο, το θειικό αλουμίνιο έχει μια σειρά από μειονεκτήματα. Είναι αποτελεσματικό ως πηκτικό σε εύρος pH από 5,5 έως 6,5, επομένως συχνά απαιτείται η προσθήκη αλκαλικότητας στα λύματα για την επίτευξη του βέλτιστου pH πήξης· το επίπεδο ιόντων θειικού άλατος στα λύματα αυξάνεται, γεγονός που επηρεάζει την επακόλουθη βιολογική επεξεργασία, και ο κροκός στυπτηρίας που παράγεται είναι ιδιαίτερα εύθραυστος, γεγονός που περιορίζει τη διαδικασία διαχωρισμού των κροκών.[38]

Όταν χρησιμοποιούνται πηκτικά με βάση το αλουμίνιο, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πήξης απομακρύνονται επίσης αμινοξέα, πρωτεΐνες και λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας, με αποτέλεσμα τα λύματα να γίνονται λιγότερο βιοαποδομήσιμα. Επιπλέον, τα υπολείμματα πηκτικών με βάση το στυπτηρία και το σίδηρο αναστέλλουν τη διαδικασία της βιολογικής επεξεργασίας που ακολουθεί, μειώνοντας τον ρυθμό αναπνοής των μικροοργανισμών και την απομάκρυνση της οργανικής ύλης. Επίσης, ανέφεραν ότι οι εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων παρουσίασαν αυξημένη ανάπτυξη αρπακτικών οργανισμών. Για να αντικατασταθεί η χρήση του πηκτικού αλουμινίου, αναπτύχθηκε το πολυπυριτικό σίδηρο (PSI). Το PSI έχει αποδειχθεί πιο αποτελεσματικό από το πολυχλωριούχο αλουμίνιο (PAC) λόγω της ισχυρής γεφυρωτικής ιδιότητάς του, σχηματίζοντας κροκίδες που καθιζάνουν ταχύτερα, επιτρέποντας έτσι τη μείωση του μεγέθους της δεξαμενής καθίζησης. Το PSI είναι επίσης ικανό να διατηρεί τη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών, ωστόσο δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Η ιλύς που παράγεται από τη χημική πήξη είναι συχνά επιβλαβής, περιέχει υδροξείδια και είναι συχνά καυστική με υψηλό pH. Η επεξεργασία, η μεταφορά και η διάθεση της ιλύος είναι δαπανηρές. Τα άλατα σιδήρου, όπως το χλωριούχο σίδηρο και το θειικό σίδηρο, παρά το γεγονός ότι έχουν παρόμοια σθένος με το στυπτηρία και είναι λιγότερο δαπανηρά, έχουν έντονο χρώμα. Ως εκ τούτου, τα προϊόντα σιδήρου δεν προτιμώνται ως πηκτικά για την ανακύκλωση λυμάτων χαρτοβιομηχανίας.

Τα πολυμερή πηκτικά με βάση το αλουμίνιο, με τον γενικό τύπο $(Aln(OH)mCl(3n-m))x$, χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως. Σε αυτά περιλαμβάνονται το PAC ($n = 2$ και $m = 3$) και το χλωριούχο υδρίδιο του αλουμινίου (ACH, $n = 2$ και $m = 5$). Κατά την υδρόλυση, σχηματίζονται διάφορες μονομερείς και πολυμερείς ενώσεις, με το $Al_13O_4(OH)_{24}^{7+}$ να αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό κατιόν. Μια σημαντική ιδιότητα των πολυ-αλουμινικών πηκτικών είναι η βασικότητά τους. Αυτή είναι η αναλογία των υδροξυλικών ιόντων προς τα ιόντα αλουμινίου στο ενυδατωμένο σύμπλοκο, επομένως τα πολυ-αλουμινικά πηκτικά γενικά καταναλώνουν σημαντικά λιγότερη αλκαλικότητα από το στυπτηρία, μειώνοντας λιγότερο το pH του επεξεργασμένου νερού και ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για ρύθμιση του pH. Έτσι, τα πολυ-αλουμινικά πηκτικά είναι αποτελεσματικά σε ένα ευρύτερο εύρος pH σε σύγκριση με το στυπτηρία. Τα κατιονικά ανόργανα πολυμερή όπως το PAC έχουν επίσης το πλεονέκτημα ότι είναι φθηνά, έχουν γρήγορο ρυθμό καθίζησης και χαμηλή

θολότητα, και είναι κατάλληλα για την επεξεργασία αμυλούχων λυμάτων. Το άμυλο, που χρησιμοποιείται για την επιφανειακή κολλαρίωση και την επικάλυψη χρωστικών ουσιών, λειτουργεί ως πηγή μικροβιακής ανάπτυξης, οσμής και χρώματος στη ροή του νερού. Τα βασικά βήματα στη διαχείριση της περιεκτικότητας σε άμυλο είναι η προσθήκη βιοκτόνου για την πρόληψη της αποικοδόμησης από βακτήρια, και συνεπώς του σχηματισμού VFA, στον πολτό χαρτοπολτού, και η προώθηση της σταθεροποίησης στις ίνες μέσω της χρήσης κατιονικού αμύλου στη διαδικασία παραγωγής χαρτιού.

Κατά τη διάρκεια της διακοπής του ιστού, τα ανακτηθέντα χαρτιά επιστρέφονται για επεξεργασία και τα κατιονικά άμυλα παραμένουν συνδεδεμένα με την κυτταρίνη, ενώ, εάν διασκορπιστούν, συσσωματώνονται με ανιονικά υλικά σχηματίζοντας μεγάλα σωματίδια που ενδέχεται να παραμείνουν στο χαρτί, μειώνοντας έτσι την περιεκτικότητα σε άμυλο στα απόβλητα. Επιπλέον, λόγω της δυνατότητας πυκνής συσσωμάτωσης και ταχείας καθίζησης, τα ισχυρά κατιονικά οργανικά πολυμερή ενδέχεται να προτιμώνται έναντι των ανόργανων πηκτικών) για χρήση με επιπλέωση. Συγκεκριμένα, ο σχηματισμός μικρότερων κροκιδωμάτων από την κροκίδωση αιωρούμενων υλικών με τη χρήση πολυμερών όπως το χλωριούχο πολυδιαλλυλοδιμεθυλαμμώνιο (poly-DADMAC) αποδείχθηκε αποτελεσματικός ως κροκιδωτικό για τα λύματα εργοστασίων χαρτοπολτού και χαρτιού. Ωστόσο, ορισμένα πολυμερή κροκιδωτικά μπορούν να βιοαποικοδομηθούν μόνο εν μέρει και παράγουν οσμή, όπως η τριμεθυλαμίνη. Το πολυ-DADMAC, σε συνδυασμό με ακρυλαμίδιο, αποτελεί μια αλειτουργική μέθοδο επεξεργασίας για τον έλεγχο των κολλώδεις ουσιών. Στα εργοστάσια ανακυκλωμένου χαρτιού, οι κολλώδεις ουσίες που βρίσκονται στα απορρίμματα και στο ανακτημένο χαρτί, όπως το άμυλο, διασκορπίζονται σε κολλοειδή μορφή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής πολτού, ώστε να αποφεύγεται η ενσωμάτωση συσσωματωμάτων ινών στα νέα προϊόντα χαρτιού. Ο έλεγχος των κολλωδών ουσιών συνήθως πραγματοποιείται πριν από το στάδιο της χαρτοποιίας, με τη χρήση κοσκινιστήρα ή επίπλευσης με διαλυμένο αέρα, για την απομάκρυνση των κολλωδών ουσιών από τον πολτό, ώστε να μειωθεί κάθε πιθανότητα εναπόθεσής τους στη μηχανή χαρτοποιίας.[39]

Όταν πραγματοποιείται μετά το στάδιο της διασποράς, έως και το 70% των κολλώδεις ουσιών μπορεί να απομακρυνθεί μέσω επίπλευσης. Οι υπόλοιπες κολλώδεις ουσίες παραμένουν στον πολτό ως διαλυμένα ή κολλοειδή υλικά που απαιτούν κατιονικά πηκτικά είτε για την προώθηση της προσκόλλησης στις ίνες, ώστε να απομακρύνονται

μαζί με το φύλλο χαρτιού, είτε για την ενθάρρυνση της συσσωμάτωσής τους με σκοπό την εύκολη απομάκρυνσή τους από τη ροή των λυμάτων. Αξίζει να αναφερθεί ότι ένα κατιονικό πολυμερές, η χιτοζάνη, που μπορεί να αποξερτατικοποιηθεί από τη θαλάσσια βιομάζα ως φυσικό προϊόν, έχει αρχίσει να συγκεντρώνει κάποιο ενδιαφέρον στη βιομηχανία. Η ανάπτυξη υλικών με βάση τη χιτοζάνη ως πηκτικών και κροκιδωτικών είναι ένα εξελισσόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον στην επεξεργασία λυμάτων. Μπορούν να απομακρύνουν τόσο ανόργανα όσο και οργανικά αιωρήματα, καθώς και διαλυμένες οργανικές ουσίες. Όταν ένα υλικό με βάση τη χιτοζάνη χρησιμοποιείται ως πηκτικό, η ιλύς σχηματίζεται πυκνά, επιδεικνύοντας δυνητικά υψηλή απόδοση, ειδικά αν συνδυαστεί με DAF. Η χημική καταβύθιση χρησιμοποιείται επίσης για να βοηθήσει στην μείωση της εισόδου πηκτικών με βάση το χλωριούχο, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση του εξοπλισμού. Αν και οικονομική, παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, όπως η παραγωγή ιλύος και η διάθεσή της.

Καθώς τα αιωρούμενα στερεά συσσωματώνονται και κατακαθίζουν, συσσωρεύονται στον πυθμένα της δεξαμενής. Διαπιστώθηκε διαφορετική επίδραση στην απομάκρυνση του COD και του χρώματος μέσω της πήξης σε pH 4, 5 και 6, που αποτελούν τις καλύτερες τιμές για το $AlCl_3$, το $CuSO_4$ και το πολυχλωριούχο αλουμίνιο αντίστοιχα, όσον αφορά τα λύματα της βιομηχανίας χαρτοπολτού και χαρτιού. Η μέγιστη απομάκρυνση COD και χρώματος, 84% και 92% αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκε με PAC. Το $AlCl_3$ απομάκρυνε το 72% του COD και το 84% του χρώματος. Το $CuSO_4$ πέτυχε απομάκρυνση 74% του COD και 76% του χρώματος. Το επίπεδο pH μειώνεται με την αύξηση της χρήσης πολυηλεκτρολύτη λόγω της όξινης ιδιότητάς τους. Η μείωση του pH ήταν μέγιστη για το $AlCl_3$, σε συνδυασμό με το PAC και στη συνέχεια το $CuSO_4$. Ως εκ τούτου, το pH διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της πήξης, και πρέπει να προστεθεί ένα οξύ ή μια βάση για να διασφαλιστεί ότι το pH βρίσκεται στο βέλτιστο επίπεδο για το πηκτικό που χρησιμοποιείται. Συνολικά, το PAC αποδείχθηκε ότι είναι το πιο αποτελεσματικό πηκτικό, με μεγαλύτερη απομάκρυνση ρύπων που επιτυγχάνεται με λιγότερη παραγωγή ιλύος.

Τα πολυακρυλαμίδια (PAM) χρησιμοποιούνται ευρέως ως κροκιδωτικά, ενώ τα PAM πολύ υψηλού μοριακού βάρους σχηματίζουν μεγάλες συσσωματώσεις από μικρότερα σωματίδια. Με τις πολύ μακριές αλυσίδες τους, τα κροκιδωτικά είναι ικανά να προσροφηθούν σε δύο σωματίδια ταυτόχρονα. Οι δομικές μονάδες αυτών των

πολυακρυλαμιδίων μπορούν να μεταφέρουν φορτία μέσω του ιονισμού ή της υδρόλυσης στο νερό. Κατά συνέπεια, υπάρχουν διάφοροι τύποι, συμπεριλαμβανομένων των κατιονικών, των ανιονικών και των μη ιονικών. Σε όλες αυτές τις μορφές, τα πολυακρυλαμίδια είναι ικανά να υλοποιήσουν κροκίδωση. Συγκεκριμένα, το κατιονικό πολυακρυλαμίδιο προσροφά αρνητικά φορτισμένα κολλοειδή σωματίδια στην αλυσίδα του μέσω ηλεκτροστατικής έλξης, μετατρέποντας τα διασκορπισμένα μικρά σωματίδια σε μεγαλύτερα σωματίδια. Ομοίως, το ανιονικό πολυακρυλαμίδιο λειτουργεί ως «γέφυρα» για πολλαπλά θετικά φορτισμένα κολλοειδή σωματίδια, ώστε να δημιουργήσουν μεγαλύτερα σωματίδια. Το ανιονικό PAM είναι ιδανικότερο για λύματα με υψηλή περιεκτικότητα σε θετικά φορτισμένα ανόργανα αιωρήματα ή αιωρούμενα σωματίδια μεγέθους 0,01–1 mm. Το κατιονικό PAM αποδίδει καλύτερα σε ουδέτερο ή αλκαλικό pH και είναι πιο ορθό για την επεξεργασία λυμάτων με υψηλή συγκέντρωση αρνητικά φορτισμένων αιωρούμενων στερεών και οργανικής ύλης. Είναι ιδανικό να χρησιμοποιείται η βέλτιστη ποσότητα ενός προσιτού πηκτικού για να διεγερθεί η μείωση του επιφανειακού φορτίου, ώστε να αποφευχθεί η σπατάλη των πιο ακριβών κροκιδωτικών[40]

Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Η μέθοδος της ενεργού ιλύος (AS) είναι μία από τις πιο γνωστές τεχνικές στην επεξεργασία λυμάτων της χαρτοβιομηχανίας. Ωστόσο, ο συνδυασμός αναερόβιας επεξεργασίας μετέπειτα από αερόβια βιολογική μέθοδο έχει εφαρμοστεί πιο πολύ τα τελευταία χρόνια. Άλλοι μικροοργανισμοί, όπως μύκητες και φύκια, έχουν επίσης αξιοποιηθεί και ερευνηθεί, με τους μύκητες να αποδεικνύονται αποτελεσματικοί στην αποικοδόμηση των ενώσεων του ξύλου. Μία από τις προγενέστερες τεχνολογίες δευτερογενούς επεξεργασίας είναι η αερόβια επεξεργασία, η οποία περιλαμβάνει αερισμό και ανακυκλοφορία μέρους της αερόβιας ιλύος πίσω στην είσοδο του συστήματος και είναι γνωστή ως ενεργός ιλύς. Υπάρχουν δύο κύριες μονάδες στο σύστημα: μια δεξαμενή αερισμού και μια δεξαμενή καθίζησης. Τα λύματα εισάγονται στην ενεργοποιημένη ιλύ, η οποία είναι ένα εναιώρημα καλλιεργημένων μικροοργανισμών σε υψηλή συγκέντρωση, σχηματίζοντας ένα μεικτό υγρό κατά τη διαδικασία. Το αεριζόμενο υγρό παρέχει οξυγόνο, βελτιώνοντας την αναπνοή της βιομάζας και βοηθώντας την να απορροφήσει, να αφομοιώσει και να μεταβάλει το

BOD. Το υγρό στη συνέχεια εισέρχεται σε δεξαμενή καθίζησης όπου η βιομάζα καθιζάνει, επιτρέποντας την αποκατάσταση της διαύγειας των επεξεργασμένων λυμάτων. Ένα μικρό τμήμα της συμπυκνωμένης βιομάζας στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης απομακρύνεται προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η συγκέντρωση βιοστερεών στη διαδικασία της ενεργού ιλύος. Το μεγαλύτερο μέρος της καθιζάνουσας βιομάζας επαναχρησιμοποιείται στη δεξαμενή αερισμού. Έχει αναφερθεί ότι η μέθοδος της ενεργού ιλύος μπορεί να απομακρύνει έως και 85%–98% του ΒΟΔ και 20%–50% του ΧΟΔ από τα λύματα των εργοστασίων χαρτοπολτού. Συνεπώς, η αερόβια επεξεργασία αποτελεί τον κύριο μηχανισμό απομάκρυνσης των πτητικών οξέων (VFA), καθώς αυτά είναι εξαιρετικά βιοαποικοδομήσιμα. Η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών είναι περίπου 85%–90% όταν χρησιμοποιείται μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία. Η επεξεργασία αποδίδει καλά αποτελέσματα, μπορεί να ελεγχθεί εύκολα και απαιτεί μικρό χώρο εγκατάστασης, επομένως προτιμάται στα περισσότερα εργοστάσια χαρτοπολτού και χαρτιού. Ωστόσο, η αυξημένη παραγωγή λάσπης και τα προβλήματα διόγκωσης που προκαλούν απώλεια απόδοσης είναι αρκετά συνηθισμένα στη διαδικασία ενεργού ιλύος. Η δυσκολία στη διατήρηση χαμηλής συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών στα απόβλητα οφείλεται κυρίως σε προβλήματα διόγκωσης, ειδικά σε νηματώδη λάσπη διόγκωσης, με υπερβολικές εξωκυτταρικές πολυμερείς ουσίες που προκαλούν διόγκωση, παραγωγή μικρών κροκιδίων και διασκορπισμένη βιομάζα. Η χαμηλή απομάκρυνση φωσφορικών αλάτων αποτελεί μια άλλη αδυναμία της ενεργού ιλύος [41]

Η αερόβια επεξεργασία ως ανεξάρτητη δεν είναι αποτελεσματική στην απομάκρυνση του χρώματος και των ανθεκτικών ενώσεων που περιέχονται στα λύματα της χαρτοβιομηχανίας. Η αναερόβια επεξεργασία, από την άλλη πλευρά, έχει αποδειχθεί ότι απομακρύνει το 70%–90% του COD και έως και το 90% του AOX. Η αναερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου. Η βακτηριακή υδρόλυση αποτελεί την έναρξη της διαδικασίας αναερόβιας χώνευσης, κατά την οποία αδιάλυτα οργανικά πολυμερή όπως υδατάνθρακες, ημικυτταρίνη και χλωριωμένες ενώσεις διασπώνται σε διαλυτά και απλούστερα παράγωγα, καθιστώντας τα πιο βιοαποικοδομήσιμα. Στη συνέχεια, τα σάκχαρα και τα αμινοξέα μεταβάλλονται σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), υδρογόνο, αμμωνία και οργανικά οξέα στο δεύτερο στάδιο, το οποίο είναι η οξυγένεση, γνωστή και ως στάδιο ζύμωσης. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της ακετογένεσης, τα οργανικά οξέα μετατρέπονται σε οξικό οξύ, απελευθερώνοντας περισσότερη αμμωνία,

υδρογόνο και CO₂. Τέλος, αυτά τα προϊόντα μετατρέπονται σε μεθάνιο και επιπλέον CO₂ μέσω της μεθανογένεσης. Το μεθάνιο και το CO₂ μπορούν να συλλεχθούν για απόρριψη ή να επαναχρησιμοποιηθούν ως πηγή ανανεώσιμης ενέργειας ή ως πηγές θερμότητας για διεργασίες που απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες. Εκτός από τα σημαντικά οικονομικά οφέλη, αυτή η μέθοδος επεξεργασίας παράγει σημαντικά λιγότερη ιλύ σε σύγκριση με την αντίστοιχη μέθοδο αεριζόμενης βιολογικής επεξεργασίας. Το ενεργειακό κόστος είναι χαμηλότερο, καθώς δεν απαιτείται αντλία αέρα. Έτσι, η αναερόβια διαδικασία αντικαθιστά μερικές φορές την αερόβια ή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την αερόβια επεξεργασία. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι ο σχηματισμός υδρόθειου που προέρχεται από ιόντα θειικού άλατος παρουσία βακτηρίων που αναγάγουν το θειικό άλας και διασπούν τα θειικά άλατα σε σουλφίδια. Αυτά τα βακτήρια αντλούν την ενέργειά τους από την αναγωγή του στοιχειακού θείου σε υδρόθειο, το οποίο μπορεί να παρεμποδίσει την παραγωγή μεθανίου, καθώς το H₂S θεωρείται εξαιρετικά τοξικό για τους μικροοργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή μεθανίου. Με την πάροδο του χρόνου, παρατηρείται συσσώρευση οργανικών ουσιών στα απόβλητα που δημιουργούνται από τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, τα οποία απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία [42]

Τα τελευταία χρόνια, η εφαρμογή αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας ακολουθούμενης από αερόβια επεξεργασία για την απομάκρυνση ρύπων χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά εργοστάσια ανακυκλωμένου χαρτιού. Ενώ η αναερόβια επεξεργασία μειώνει την παραγωγή ιλύος και παράγει βιοαέριο που μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί ως ενέργεια σε άλλα τμήματα του εργοστασίου, μειώνοντας έτσι το κόστος που σχετίζεται με την επεξεργασία της ιλύος και τις ενεργειακές ανάγκες, δεν είναι ικανή. Ως εκ τούτου, η επακόλουθη επεξεργασία με τη χρήση αερόβιας επεξεργασίας βοηθά στην απομάκρυνση των υπολειμματικών οργανικών ουσιών που περιέχονται στα αναερόβια επεξεργασμένα λύματα. Βασικά, το αερόβιο σύστημα βοηθά στην απομάκρυνση των υπερβολικών VFA, των χωνευμένων ανθεκτικών ενώσεων και των διαλυμένων σουλφιδίων που περιέχονται στα αναερόβια λύματα. Εκτός από την απομάκρυνση των σουλφιδίων, ο μικροαερισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οξείδωση των σουλφιδίων σε στοιχειακό θείο, καθιστώντας το σύστημα ακόμη πιο οικονομικά αποδοτικό. Μια τέτοια προσέγγιση έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στην τήρηση των κανονισμών για την απόρριψη λυμάτων από

εργοστάσια χαρτοπολτού και χαρτιού . Είναι επίσης πρακτικό να επαναχρησιμοποιούνται τα επεξεργασμένα λύματα με συνδυάζοντας αυτές τις επεξεργασίες με ένα στάδιο διήθησης με μεμβράνη. Αν και η διαδοχική αναερόβια και αερόβια επεξεργασία συμβάλλει στη μείωση του οργανικού φορτίου και της τοξικότητας των εκροών, μια μελέτη των ανέφερε ότι η συνδυασμένη επεξεργασία που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των εκροών από τη θερμομηχανική αποκόλληση κάνναβης προκάλεσε ορισμένες ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Τα λύματα, μετά την αερόβια επεξεργασία, παρουσίασαν αύξηση του χρώματος και του μοριακού βάρους της υπολειμματικής λιγνίνης. Οι αντιδραστήρες αναδεδεμένης αναερόβιας κρούστας λάσπης (UASB) έχουν καταστεί η πιο δημοφιλής και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αναερόβιας επεξεργασίας μέχρι σήμερα, καθώς είναι οικονομική και απλή στην κατασκευή. Απαιτείται μια δεξαμενή που περιέχει κόκκους καθιζάνουσας λάσπης και μια συσκευή διαχωρισμού αερίου-υγρού-στερεού (GLSS) σε τρεις φάσεις, με σχήμα αντίστροφης χοάνης. Παρ' όλα αυτά, οι αντιδραστήρες UASB έχουν ορισμένους επιζήμιους περιορισμούς, όπως χαμηλή απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, ευπάθεια σε έκπλυση της βιομάζας κατά τη διάρκεια υψηλής ροής εισροής, σχετικά χαμηλή παραγωγή αερίου και πιθανή δημιουργία αποθέσεων, επηρεάζοντας έτσι την αποικοδόμηση και την απομάκρυνση του COD . Η δημιουργία αποθέσεων που προκαλείται από ιζήματα ανθρακικού ασβεστίου μπορεί να προληφθεί μέσω της ενσωμάτωσης μιας ξεχωριστής μονάδας αύξησης του pH χρησιμοποιώντας την τεχνική απομάκρυνσης CO₂. Απαιτείται ένα στάδιο αύξησης του pH, καθώς το pH του αντιδραστήρα UASB είναι πολύ χαμηλό για τον σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου. Στη μονάδα απομάκρυνσης CO₂, το pH αυξάνεται μέσω αερισμού, ενθαρρύνοντας τον σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου και, κατά συνέπεια, των ιζημάτων του. Αυτά τα ιζήματα στη συνέχεια απορρίπτονται ως απόβλητα λάσπης στον καθιζαντήρα. Επιπλέον, προκειμένου να ξεπεραστούν τα προβλήματα της χαμηλής απομάκρυνσης SS και της έκπλυσης της βιομάζας, εφευρέθηκε ένας αντιδραστήρας με διαμερίσματα που ονομάζεται κλιμακωτή κλίνη λάσπης ανερχόμενης ροής (USSB), στον οποίο ο αντιδραστήρας χωρίστηκε κατά μήκος σε έναν αριθμό διαμερισμάτων με τη χρήση διαφραγμάτων. [43]

Οι πιο πρόσφατες γενιές βιολογικών διεργασιών είναι ο αντιδραστήρας διευρυμένης κλίνης κοκκώδους ιλύος (EGSB) και ο αντιδραστήρας εσωτερικής κυκλοφορίας (IC).

Τα συστήματα διευρυμένης κλίνης μπορούν να θεωρηθούν ως βελτίωση των συμβατικών αντιδραστήρων UASB, δεδομένου ότι χρησιμοποιούν κοκκώδη ιλύ με υψηλούς ρυθμούς καθίζησης και μεθανογενή δραστηριότητα, αλλά με πολύ υψηλότερο ογκομετρικό φορτίο και ταχύτητες ροής προς τα πάνω. Οι υψηλοί ρυθμοί φόρτωσης μειώνουν την ικανότητα καθίζησης της ιλύος λόγω της κατακράτησης βιοαερίου στα κοκκία. Ωστόσο, επειδή η ιλύς έχει φυσικά υψηλή ικανότητα καθίζησης, μπορούν να εφαρμοστούν επιφανειακές ταχύτητες ροής άνω των 6 m h^{-1} είτε με τη χρήση ψηλού αντιδραστήρα είτε με ανακύκλωση των εκροών, η οποία, όταν συνδυάζεται με την ανύψωση αερίου στην κλίνη, επεκτείνει εν μέρει την κλίνη ιλύος. Κατά συνέπεια, η επαφή μεταξύ ιλύος και λυμάτων αυξάνεται, βελτιώνοντας τις δυνατότητες φόρτωσης σε σύγκριση με τους κανονικούς αντιδραστήρες UASB. Διάφοροι προμηθευτές EGSB διαθέτουν το δικό τους σχέδιο GLSS με διακριτά χαρακτηριστικά για αντιδραστήρες EGSB που δεν είναι συμβατά με τις συμβατικές συσκευές GLSS. Έτσι, αυτό επιτρέπει την επεξεργασία διαφορετικών τύπων λυμάτων με διαφορετικές περιεκτικότητες σε BOD. Ο IC αποτελεί μια ειδική έκδοση του EGSB. Ο IC διαθέτει μια εσωτερική διάταξη GLSS που διαχωρίζει το παραγόμενο βιοαέριο από το υγρό στο μέσο του αντιδραστήρα, επιτρέποντας στο αέριο να ανεβαίνει μέσω ενός σωλήνα προς έναν απαεριωτή ή μια μονάδα διαστολής. Στη συνέχεια, το μείγμα λάσπης-νερού επιστρέφει στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα μέσω ενός άλλου σωλήνα, ενώ το διαχωρισμένο αέριο απομακρύνεται από το σύστημα. Στη συνέχεια, η ανακυκλοφορία του υγρού και της κοκκώδους λάσπης στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα επιτυγχάνεται μέσω της ανύψωσης ac. Επιφανειακές ταχύτητες ροής της τάξης των $25\text{--}30 \text{ m h}^{-1}$ που προέκυψαν από τη ροή υγρού και αερίου επιτεύχθηκαν με τη χρήση του αντιδραστήρα Biopac IC-reactor που αναπτύχθηκε από την PAQUES. Οι επιφανειακές ταχύτητες ροής ανάμιζαν σχεδόν πλήρως το μέσο του αντιδραστήρα με τη βιομάζα. Μια μελέτη των που χρησιμοποίησε εκροές από τρία διαφορετικά εργοστάσια ανακύκλωσης χαρτιού αποκάλυψε ότι η απόδοση του αντιδραστήρα IC παρέμεινε σταθερή παρά τις διακυμάνσεις του COD, οι οποίες είναι συνηθισμένες στη βιομηχανία ανακύκλωσης χαρτιού.[44]

Τεχνολογίες που εφαρμόζονται σήμερα

Είναι βέβαιο ότι η ανάγκη για επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων αποτελεί τον κύριο παράγοντα έτσι επιτυγχάνεται μείωση των ρύπων σύμφωνα με τις υπάρχουσες

τεχνολογίες. Αερόβιες και αναερόβιες βιολογικές διεργασίες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στο παρελθόν και έχει διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητά τους σαν μέθοδοι καθώς πρέπει να λάβουμε υπόψη και τις διάφορες συνθήκες. Όπως είναι η παρουσία ή μη του οξυγόνου οι αερόβιες και μη αερόβιες συνθήκες καθώς έχει αποδειχθεί ότι είναι κατάλληλες για απομάκρυνση επιβλαβών ρύπων στην χαρτοποιία. Η αερόβια βιολογική επεξεργασία αποτελείται από διαδικασίες ενεργού ιλύος όπως οι αεριζόμενες λιμνοδεξαμενές καθώς θα πρέπει να έχουν εφαρμοστούς αντιδραστήρες. Ενώ οι αναερόβιες στηρίζονται σε φίλτρα, στρωματά ιλύος και σε μεθόδους ρευστοποιημένης κλίνης. Πρέπει να αναφερθεί ότι για να έχουμε μεγάλο αποτέλεσμα θα πρέπει η αναερόβια και αερόβια να συνυπάρξουν στους μικροοργανισμούς καθώς στην βιομηχανία χαρτιού αξιοποιούνται όλες οι διαθέσιμες τεχνολογίες για να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα. Για να υπάρξει καλύτερη διαχείριση έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη βιοαντιδραστήρα όπως με μεμβράνη, διαδοχικών πατρίδων ρευστοποιημένης κλίνης. Έχει παρατηρηθεί ότι οι βιοαντιδραστήρες είναι ένα χρήσιμο εργαλείο σε ένα βιολογικό σύστημα είτε στηρίζεται σε ένα σύστημα αυτόβουλο ή έχει συνδυαστικό ρόλο.

Η αερόβια επεξεργασία είναι η πιο γνωστή βιολογική μέθοδος καθώς έχουμε μείωση πάνω από 95% στο BOD, και μείωση στο COD στο εύρος 40%-60%. Ενώ αντιθέτως οι αναερόβιες διεργασίες είναι μια αρκετά καλή λύση με αρκετά θετικά στοιχεία χαρακτηριστικά έχουμε μικρή χρήση χημικών και μικρή παραγωγή ιλύος. Όπως επίσης καταλαμβάνεται και μικρότερος εργασιακός χώρος καθώς έχουμε μικρό αριθμό αντιδραστηρίων που χρειάζονται για να παραχθεί το βιοαέριο. Όμως τα βακτήρια συστήματα είναι ευαίσθητα στις τοξικές ενώσεις στην λιγνινοκυταρίνη καθώς έχουμε μείωση του COD. Στην χαρτοποιία τόσο οι αναερόβιες όσο και οι αερόβιες διεργασίες είναι μέθοδοι που έχουν βέλτιστη αποτελεσματικότητα καθώς έχουν την ιδιότητα να διαχειρίζονται λύματα και μικρής αλλά και μεγάλης κλίμακας. Ένα ακόμα προσόν που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι η αερόβια μέθοδος είναι ότι το νερό που παράγεται είναι καλύτερης ποιότητας αν το συγκρίνουμε με την αναερόβια μέθοδο. Έχει διαπιστωθεί ότι οι συνδυασμένες επεξεργασίες επιφέρουν αρκετά καλύτερο αποτέλεσμα από ότι οι μεμονωμένες καθώς συνδυάζουν και βιολογικές αλλά και χημικές μεθόδους. [45]

Αερόβια βιολογική επεξεργασία

Στηρίζεται στην βιολογική οξείδωση των λυμάτων από ρύπους όταν υπάρχει παρουσία αέρα ή οξυγόνου. Γεγονός ότι υπάρχει αποχώρηση οργανοχλωριωμένων ουσιών, αποτελεί και μια οικονομική αλλά παράλληλα και αποδοτική τεχνολογία. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι οι μονάδες επεξεργασίας στην βιομηχανία χαρτιού παγκόσμιος έχουν στηρίξει τις τεχνολογίες τους σε συστήματα αερόβιας τεχνολογίας. Η κοινή τους εμπορική κατάσταση που θα βρίσκουμε είναι οι αεριζόμενες λιμνοδεξαμενές, οι διεργασίες αερόβιας χώνευσης και η χρήση αερόβιων βιοαντιδραστήρων. Η αερόβια μέθοδος χώνευσης είναι μια τεχνολογία που εφαρμόζεται πλήρως στην βιομηχανία χαρτιού γεγονός που παρατηρείται υψηλή τιμή του BOD. Σαν τεχνολογία στηρίζεται στην κροκίδωση των οργανικών ουσιών, επίσης σαν τεχνολογία εφαρμόζεται σε δυο δεξαμενές ταυτόχρονα. Στην πρώτη δεξαμενή οι φυσαλίδες αέρα εισάγουν αέρα γεγονός που δημιουργεί οξυγόνο στο σύστημα με σκοπό να δημιουργηθούν συνθήκες στροβιλισμού ενώ στην δεξαμενή καθίζησης υπάρχει χαμηλότερη ταχύτητα ροής με απώτερο σκοπό την βαρυτική καθίζηση και απομάκρυνση παράλληλα. Επομένως το BOD αλλά και το COD μειώνεται και η αερόβια χώνευση εφαρμόζεται διαπιστώνουμε μείωση του χρώματος των αιωρούμενων στερεών, φαινολικών και σουλφιδίων των χλωριδίων. [46]

Οι παραπάνω μέθοδοι αξιοποιούν την απομάκρυνση των τοξικών ουσιών, καθώς διάμεσο του κωνικού αερισμού όπως είναι οι δεξαμενές σταθεροποίησης που αξιοποιούνται στην επεξεργασία των λυμάτων. Η επιτυχής υλοποίηση της τεχνολογίας στηρίζεται σε δυο παράγοντες την μετατροπή του BOD σε CO₂ όπως και του CH₄ όπως και την μείωση των συσσωρευμένων στερεών. Οι δεξαμενές σταθεροποίησης έχουν λιγότερο κόστος συγκριτικά με τις δεξαμενές καθίζησης παρόλο που λειτουργικά ευρίσκονται αρκετά προβλήματα λόγω των υψηλών αιωρούμενων στερεών στις ουσίες. Η μείωση του COD μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω μετεπεξεργασία οξείδωσης και απομάκρυνση των ρύπων όπως και του χρώματος. Τα χαμηλής ποσότητας λάσπης συστήματα έχουν λιγότερα φορτία σε BOD, COD που έρχονται από εκροές λευκαντικών στην χαρτοβιομηχανία. Όμως οι διεργασίες χαμηλής ποσότητας έχουν 25% παραπάνω αερισμό σε σύγκριση με συστήματα δεξαμενών αερισμών επομένως υπάρχει μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση

Η μεγάλη απομάκρυνση των ρύπων μπορεί να γίνει μέσω των βιολογικών αντιδραστήρων. Οι αντιδραστήρες διαδοχικών πατρίδων περιέχουν ένα αντιδραστήρα που μπορεί να λειτουργήσει ως δεξαμενή αερισμού και μια δεξαμενή καθίζησης που μπορεί να υλοποιήσει νιτροποίηση αλλά και απονιτροποίηση. Καθώς έχει διαπιστωθεί ότι επιτυγχάνεται απομάκρυνση σε 100% σε μεταβολή, 95% σε άζωτο, και παρατηρείται μείωση του COD. Η απομάκρυνση μέσω των βιοαντιδραστήρων εγγινομούν και κίνδυνους καθώς υπάρχουν αποθέματα που είναι εύφλεκτα. Ο γενικός χαρακτηρισμός είναι ότι έχουν μικρό ποσοστό απομάκρυνσης καθώς οι διάφορες καινοτομίες όπως ο βιολογικός εσκαφέας, το βιοφίλμ κινουμένης κλίνης και η μέθοδος σταγόνας φίλτρου. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εμφανίζονται στον πίνακα 9. [47]

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ενεργός ιλύς	Ευρεία εφαρμογή, υψηλή απομάκρυνση ρύπων, εύκολη αναβάθμιση και τροποποίηση, μείωση των οσμηρών αέριων	Αστάθεια, μαζική παραγωγή λάσπης, δυσκολία στον διαχωρισμό λάσπης λυμάτων, συνεχείς ανάγκες σε οξυγόνο και ενέργεια, υψηλό κόστος λειτουργίας
Δεξαμενή Αερισμού	Υψηλή απομάκρυνση ρύπων, οικονομικά αποδοτικές μέθοδοι, αποτελεσματική αποχλωρίωση, αποτελεσματική μείωση δεικτών COD/BOD	Αστάθεια, μαζική παραγωγή λάσπης και συσσωρευση στέρεων/ θρεπτικών ουσιών, δυσκολία στον διαχωρισμό λάσπης και λυμάτων, συνεχείς ανάγκες σε οξυγόνο και ενέργεια υψηλό κόστος λειτουργίας
Συστήματα χαμηλής παραγωγής λάσπης	Μειωμένη παραγωγή ιλύος, βελτιωμένες ιδιότητες αποστράγγισης και αποτελεσματική μείωση των δεικτών COD/BOD/AOX	Αυξημένες απαιτήσεις αερισμού, σταθερή παροχή ενέργειας και ισχύος καθώς και ακριβά συστήματα λειτουργίας
Αντιδραστήρες κυκλικής λειτουργίας	Μείωση του COD, σχεδόν πλήρως απομάκρυνση του N ₂ και CH ₃ OH, μείωση του BOD αποτελεσματική απομάκρυνση του TOC του AOX και της λύγινης υψηλή ευελιξία.	Χαμηλός ρυθμός απομάκρυνσης παθογόνων, σταθερή παροχή ενέργειας και ισχύος ακριβά συστήματα λειτουργίας και συντήρησης, χαμηλό επίπεδο αυτοματοποίησης καθώς και η εκρηκτικότητα του επικίνδυνου βιοαέριου

Πίνακας 9 Συγκριτικός πίνακας αερόβιας μεθόδου

Αναερόβια βιολογική επεξεργασία

Όλα τα αναερόβια μικρόβια χρησιμοποιούν οξυγόνο που είναι και η κινητήριος δύναμη των οργανισμών. Όπως η αναερόβια χώνευση τα αναερόβια φίλτρα προσκομούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς έχουν με μεγάλη επιτυχία στην απολύμανση του COD, BOD και AOX. Η μείωση της ρύπανσης στην χαρτοποιία επιτυγχάνεται όταν βακτήρια ενισχύουν την αντίσταση των ιόντων χλωρίου από πρωτόνια στα χλωριωμένα μόρια. Επιπρόσθετα η εγκατάσταση και η συντήρηση μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι απλές καθώς καταβάλουν λίγο χώρο και παράγουν μικρή ποσότητα λάσπης. Όμως το υψηλό ποσοστό οξύτητας είναι ένα εμπόδιο τα αναερόβια συστήματα έχουν την δυνατότητα να ανταπεξέρθονται στην έλλειψη θρεπτικών ουσιών για μεγάλο διάστημα χωρίς να παρατηρείται πτώση στην διατήρηση της κινητότητας πράγμα που υποδηλώνει ότι τα υγρά είναι υψηλής συγκέντρωσης. Έχει παρατηρηθεί ότι έχει αρκετές εφαρμογές σε ένα βιολογικό σύστημα καθώς οι απαερωμένες λιμνοδεξαμενές, οι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης και οι αναερόβιοι αντιδραστήρες. Επιπρόσθετα οι μικροοργανισμοί πραγματοποιούν βιοαποικοδόμηση των οργανικών υλικών απουσία οξυγόνου τόσο σε μεθάνιο αλλά και στο βιοαέριο μέσω του CO₂, όπως και διάμεσο της υδρόλυσης, ακετογένεσης και οξυγένεσης. Η ανάγκη για μια ασφαλής λειτουργία είναι ένα μείζων πρόβλημα. Καθώς η αποστράγγιση και η ανάκτηση θρεπτικών συστατικών εγείρουν τον κίνδυνο καθώς η ανάπτυξη μικροβίων και βιομάζας λόγω τοξικότητας δημιουργούν προβλήματα συντήρησης που δεν μπορούν να επιλυθούν στο προσεχές μέλλον. [48]

Ο αντιδραστήρας UASB έχει μεγάλη ανταπόκριση στην λειτουργία καθώς έχει την ιδιότητα να αντιμετωπίζει υψηλά οργανικά φορτία. Τα λύματα εισέρχονται από τα κάτω μέρος του αντιδραστήρα ενώ η ιλύς που παράγεται σταδιακά μαζεύεται στον χώρο που απομένει οπου γίνεται η ανάδευση του βιοαερίου. Το βιοαέριο ανορθώνεται προς τα πάνω συλλέγεται και αποθηκεύεται στην δεξαμενή για μελλοντική αξιοποίηση, ενώ τα λύματα που έχουν επεξεργαστεί ανορθώνονται προς τα πάνω οπου και απορρίπτονται για προ επεξεργασία. Η απομάκρυνση των ρύπων κυμαίνεται σύμφωνα με τους δείκτες BOD/COD καθώς υπάρχει απομάκρυνση της τάξης 80%-93% COD, 50% BOD, 71%- 99% των χλωριωμένων υπολειμμάτων. Μπορεί να εμφανίζει ιδανικά συστατικά ως προς την λειτουργία εμφανίζονται και αρνητικά όπως είναι η έλλειψη διαχωρισμού αερίου στερεού και η διάχυση των λυμάτων και η σταθερότητα των UASB. [49]

Οι βιοαντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης είναι μια εναλλακτική μέθοδο καθώς διαχειρίζεται ένα μείγμα υγρού στερεού οπού τα στερεά μετατρέπονται σε βιομάζα ρευστοποιημένη από ρεύματα υγρού/αερίου. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι βαση ερευνών η προσθήκη λιγνινολυτικών μυκήτων μειώνουν το COD και βελτιώνουν τον αποχρωματισμό, ενώ αντίθετα η αξιοποίηση αναερόβιου φίλτρου απομακρύνει της τάξεως 50% COD, 70% BOD, 50% AOX. Πρέπει να αναφέρουμε ότι το χαμηλό αρχικό κεφάλαιο, ο μικρός υδραυλικός χρόνος παραμονής της βιομάζας σχεδιαστικά έχει υψηλό ρυθμό στην μεταφορά της βιομάζας χωρίς διάυλους επικοινωνίας, επομένως τα οφέλη από την ανακύκλωση είναι εμφανές καθώς μειώνουν το κομμάτι της ενέργειας και του βιοφίλμ. Η αναερόβια χώνευση είναι μια αρκετά εφαρμόσιμη δευτερογενής επεξεργασίας αποβλήτων. Χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα των φίλτρων είναι χαμηλές συγκεντρώσεις στους ρύπους ισόνομη κατανομή στην επεξεργασία καθώς διαπιστώνεται χαμηλότερη θερμοκρασία και μειωμένη παραγωγή ιλύος. Μειονεκτήματα που εμφανίζονται είναι ο μεγάλος χρόνος εκκίνησης το υψηλό κόστος των υλικών πλήρωσης και η χαμηλή ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων σε μεγάλο ποσοστό στερέων σωματιδίων στα φίλτρα.[50] Τα θετικά και τα αρνητικά εμφανίζονται στον πίνακα 7

Αναερόβιες διεργασίες	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
-----------------------	---------------	---------------

Αναερόβια Χώνευση	Η μετατροπή του βιοαέριου σε ηλεκτρική ενέργεια έχει οικονομική απόδοση στην αναερόβια μείωση του COD, χαμηλή παραγωγή λυματολάσπης όταν η αναερόβια γίνεται πρώτα και παρέχει υψηλό ποσοστό αποστράγγισης και θρεπτικών ουσιών στο έδαφος	Αργή απομάκρυνση των μικροβίων χαμηλοί ρυθμοί στην ανάπτυξη της βιομάζας, εκρηκτικότητα του βιοαέριου τοξικότητα στα λύματα και μείωση στην ανάπτυξη της ιλύος και υψηλές απαιτήσεις συντήρησης
Αναερόβιο Φίλτρο	Κατάλληλο για λύματα χαμηλής και υψηλής περιεκτικότητας, οικονομική τεχνολογία, εύκολη χρήση μειωμένη ποσότητα ιλύος, και μειωμένο COD/BOD	Υψηλό κόστος λειτουργίας και υλικών υψηλός χρόνος εκκίνησης, μειωμένη ποσότητα των επεξεργασμένων λυμάτων και αν υπάρχει υψηλή περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά οφείλεται σε φραγή των φίλτρων
Αναερόβιοι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης	Μειωμένα οργανικά λύματα επεξεργασίας και άλλα συγκέντρωσης. Μικρό κεφάλαιο τεχνικός χαρακτηριστικά και μέγεθος είναι ογκώδες, ο υδραυλικός αλλά και ο χρόνος διατήρησης είναι μικρός, η μεταφορά και οι ρυθμοί είναι μεγάλοι χωρίς να έχουμε διοχέτευση ροής και ανακυκλοφορία, στην μεγάλη καταπολέμηση των ρύπων	Μη μεταβαλλόμενη ροή ως προς την ανακύκλωση, ακριβή η συντήρηση αλλά και η λειτουργία ο αντιδραστήρας εμφανίζει περιορισμούς λόγω του μεγέθους, του μεγάλου όγκου του βιοφίλμ η άντληση είναι δύσκολη και επίσης το ποσό βιομάζας που εκπέμπεται
Αναερόβια κουβέρτα λάσπης ανοδικής ροής στον βιοαντιδραστήρα	COD αλλά και η οργανοχλωρίωση έχει μεγάλη αφαίρεση, το βιοαέριο μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό, μειώνεται η ανάγνωση για ενέργεια στον χώρο, μειωμένη παραγωγή ιλύος, ο χρόνος συγκράτησης των μικροβίων άσκοπης εκροής αν κυκλοφορίας και μια ανάγκη υποστήριξης	Χαμηλή εξαγωγή παθογόνων στο σύστημα εμφάνιση ελλείματος αέριων στέρεων, σταθερή διαρροή του βιοαέριου στο κάτω μέρος όπως επίσης και πιθανή έκρηξη λόγω του βιοαέριου

Πίνακας 7 Θετικά και Αρνητικά ειδών Αναερόβιας Χώνευσης

-Ανάλυση των συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας στη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού

Η βιομηχανική παραγωγή χαρτιού στηρίζεται σε αερόβιες και αναερόβιες επεξεργασίες για να περιορίσουν τον μεγάλο όγκο υγρών αποβλήτων. Όμως είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι οι παραδοσιακές τεχνολογίες δεν έχουν την βέλτιστη επίδραση. Όπως η μεγάλη έκταση της γης, μεγάλες δεξαμενές επεξεργασίας γεγονός που συνάπτει με την απομάκρυνση ρύπων. Έτσι έγινε επιτακτική η ανάγκη εύρεσης νέων τεχνολογιών με αποτέλεσμα οι βιοαντιδραστήρες που διαχωρίζονται σε μεμβράνης και διαδοχικών πατρίδων να που όταν αναμιγνύονται με τις φυσικοχημικούς μεθόδους και τις νεότερες τεχνολογίες. Που προσδοκούν απομάκρυνση των ρύπων, καλύτερης ποιότητας νερό και στην παραγωγή του βιοαέριου με κύριο στόχο την οικονομική απόδοση, όπως είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που θα στηρίζεται σε ανανεώσιμες πηγές. Έτσι πρέπει να αναφέρουμε η εφαρμογή τους είναι επιτυχής καθώς επιτυγχάνουμε μεγάλο ποσοστό στην διαχείριση. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε και τους λόγους που θα πρέπει να επιλεχθεί μια τεχνολογία ως προς την διαχείριση καθώς έχει μεγάλα οφέλη όπως είναι το κόστος ως προς την διαχείριση καθώς εμπλέκονται παράγοντες που αφορούν την συντήρηση αλλά και την κατανάλωση ενέργειας όπως επίσης και από οφέλη από την παραγωγή του βιοαέριου. Καθώς πρέπει να εξεταστούν αν μπορούν να εφαρμοστούν σε μια εταιρία χαρτοπολτού.[50]

Τεχνολογίες προηγμένης βιολογικής επεξεργασίας

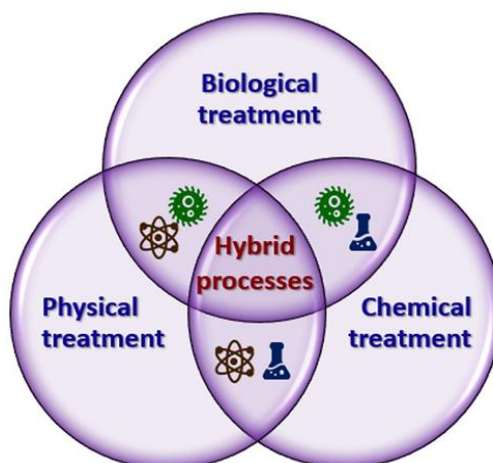
Είναι φυσικό στις μέρες μας η ανάγκη για νέα τεχνολογικά επιτεύγματα να φέρει στο προσκήνιο καινοτόμες διεργασίες που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία χαρτιού που σκοπό έχουν να προσφέρουν τα βέλτιστα για να ξεπεραστούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Υβριδικές και βιολογικές διεργασίες όπως φαίνονται και στην εικόνα 2 είναι αναγνωρισμένες και καθορισμένες που στόχο έχουν την διαχείριση των λυμάτων και σκοπεύουν την αντιμετώπιση αυτών για τεχνολογικά άλλα και περιβαλλοντικά οικονομικές επιλύσεις επεξεργασίας. Κατά το παρελθόν αρκετές μέθοδοι έχουν εφευρεθεί και έχουν ως κύριο σκοπό την καλύτερη περιβαλλοντική διαχείριση που επίσης να συνδυάζεται με αξιοπιστία, ασφάλεια και πράσινη βελτιστοποίηση και οικονομία. Μια ανερχόμενη τεχνολογία αποτελεί η διήθηση με μεμβράνη και η αντιστροφή ώσμωση χαμηλής πίεσης. Μέσω της αναερόβιας αποτελεί μια μέθοδο

επεξεργασίας των λυμάτων χωρίς όμως να αναζητάτε ενέργεια όπως αέρας ή ηλεκτρική ενέργεια για να παραχθεί το βιοαέριο. Στην διήθηση με μεμβράνη το βιολογικά επεξεργασμένο νερό που εισέρχεται κατακόρυφα στις κατά σειρά μεμβράνες αντλούν τα λύματα που φαίνονται σε σχέση με την λάσπη. Έτσι για ανάγκη της ανακύκλωσης είναι γόνιμο το φιλτραρισμένο νερό να αποδοθεί σε αντιστροφή ώσμωση όπου κατά την είσοδο σε αυτή θα αφαιρεθεί το 90% της ποσότητας του αλατιού αξιοποιώντας μια πορώδες ημιπέραντη μεμβράνη. Η χρησιμοποίηση των τεχνικών μεμβράνης και άλλα η επιβολή για επεξεργασία των λυμάτων στην βιομηχανία χαρτιού έχει ενταχθεί στην παγκόσμια στροφή. Ο σχεδιασμός αποτελείται από μια υβριδική μονάδα που συνδέεται με μια σταθερή κλίνη ανοδικής ροής όπου ο αναερόβιος βιοαντιδραστήρας με φίλτρο άμμου παρέχει υψηλή απορρύπανση. Μετέπειτα ο αναερόβιος βιοαντιδραστήρας αλλά και η άμμος όταν συνυπάρχουν με τον βιοαντιδραστήρα βυθισμένης μεμβράνης μπορούν να απομακρύνουν διαλυμένες ουσίες της χαρτοποιίας όπως τα υπολείμματα ασβεστίου (98%) και υπολείμματα αμμωνίας και αζώτου σε βαθμό (96,36%). Γενικά η αξιοποίηση και η χρήση των μεμβρανών αποτελεί μια προοπτική με ποικίλες εφαρμογές στο μέλλον. [51]

Υβριδική βιολογική διήθηση πήξης έχει αξιοποιηθεί σε τεχνικές στην βιομηχανία χαρτιού και συγκεκριμένα σε μολυσμένα λύματα με μεγάλη επιτυχία. Ο αντιδραστήρας εσωτερικά μεγάλης αντοχής τα μολυσμένα λύματα εισέρχονται με αργό ρυθμό από την δεξαμενή αερισμού που αποβάλλει λύματα στην περίπτωση που είναι πλήρης. Ο αντιδραστήρας ονομάζεται Fed batch και μετέπειτα της πήξης και διήθησης της άμμου μας έβγαλε ένα αποτέλεσμα 93% στο COD και το BOD μειώθηκε στο 96,5%. Η χρήση της πήξης μπορεί να επιτευχθεί με βιολογικές διεργασίες κοινώς καθώς εισέρχεται αρχικά μέσω του αναερόβιου φίλμ στους αντιδραστήρες και μετέπειτα σε αερόβιες τεχνικές. Η αποικοδόμηση των αρωματικών αμίνων με ποσοστό 94% του COD. Πρέπει να αναφερθεί ότι το 85 -89% της αφαίρεσης του χρώματος κατανέμει την τεχνολογία με μεγάλο κέρδος δυνατή για απομονωμένες κινήσεις.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι επεξεργασίας των λυμάτων όπως η αξιοποίηση των μεμβρανών με χημική κατακρήμνιση ο συγχωνευμένος με θερμοαλκαλικές διεργασίες ουσίες, η υπερδιήθηση που σχετίζεται με την αναερόβια και αερόβια επεξεργασία. Είναι μέθοδοι που μπορούν να αναφερθούν ως ικανοί στην αποτελεσματικότητα της απορρύπανσης. Όμως πρέπει να γίνουν περαιτέρω μελέτες ώστε να επικυρώνουν την αποτελεσματική ύπαρξη των υβριδικών τεχνολογιών. Η μεγάλη αποτελεσματικότητα

των τεχνολογιών υβριδικών φέρει στο προσκήνιο ότι οι τεχνολογίες αυτές είναι ιδανικές για την βιομηχανία χαρτιού όσον αφορά την απορρύπανση των λυμάτων με ιδανικά απορρύπανση προσφέροντας οικολογία και χαμηλές εκπομπές στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.[52]



Εικόνα 2 Περιγραφή υβριδικού συστήματος

Προηγμένη οξείδωση

Παρά την υψηλή αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των αποικοδομήσιμων οργανικών ουσιών, η ικανότητα των βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας να απομακρύνουν τις ανθεκτικές ενώσεις είναι αμελητέα. Η εφαρμογή προηγμένων διεργασιών οξείδωσης (AOP) μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα απομάκρυνσης των ανθεκτικών ρύπων, μετατρέποντας τις ανθεκτικές ενώσεις σε ανόργανες ενώσεις μέσω ολικής ορυκτοποίησης ή μετατρέποντάς τις σε πιο βιοαποικοδομήσιμες ουσίες μέσω μερικής ορυκτοποίησης.[53]

Υπάρχουν τρία επίπεδα αποικοδόμησης:

- Πρωτογενής: Αλλαγή της δομής των ενώσεων, καθιστώντας την απομάκρυνσή τους λιγότερο απαιτητική από άλλες διεργασίες.
- Δευτερογενής/αποδεκτή αποικοδόμηση: αποσύνθεση ή μείωση της τοξικότητας ή του χρώματός τους
- Τελική αποικοδόμηση: οξείδωση από ρίζες υδροξυλίου, επιτρέποντας την καταστροφή διαλυμένων οργανικών ρύπων, πτητικών οργανικών ενώσεων και οξειδώσιμων ανόργανων ρύπων.

Η υψηλή αντιδραστικότητα και η χαμηλή επιλεκτικότητα οξείδωσης της AOP αποτελούν τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά της, καθιστώντας την κατάλληλη για την επεξεργασία λυμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε ανθεκτικές ή δυσδιάλυτες οργανικές ενώσεις . Η AOP μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προεπεξεργασία για το βιολογικό στάδιο, ενισχύοντας τη βιοαποδομησιμότητα . Ωστόσο, χρησιμοποιείται συχνά ως διαδικασία τριτοβάθμιας επεξεργασίας για την περαιτέρω μείωση της τοξικότητας των επιβλαβών ουσιών που βρίσκονται στα επεξεργασμένα λύματα. Παρά την υψηλή αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των αποικοδομήσιμων οργανικών ουσιών, η ικανότητα των βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας να απομακρύνουν τις ανθεκτικές ενώσεις είναι αμελητέα . Η εφαρμογή προηγμένων διεργασιών οξείδωσης (AOP) μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα απομάκρυνσης των ανθεκτικών ρύπων, μετατρέποντας τις ανθεκτικές ενώσεις σε ανόργανες ενώσεις μέσω ολικής ορυκτοποίησης ή μετατρέποντάς τις σε πιο βιοαποικοδομήσιμες ουσίες μέσω μερικής ορυκτοποίησης.[54]

Υπάρχουν τρία επίπεδα αποικοδόμησης:

- Πρωτογενής: Αλλαγή της δομής των ενώσεων, καθιστώντας την απομάκρυνσή τους λιγότερο απαιτητική από άλλες διεργασίες.
- Δευτερογενής/αποδεκτή αποικοδόμηση: αποσύνθεση ή μείωση της τοξικότητας ή του χρώματός τους
- Τελική αποικοδόμηση: οξείδωση από ρίζες υδροξυλίου, επιτρέποντας την καταστροφή διαλυμένων οργανικών ρύπων, πτητικών οργανικών ενώσεων και οξειδώσιμων ανόργανων ρύπων.

Η υψηλή αντιδραστικότητα και η χαμηλή επιλεκτικότητα οξείδωσης της AOP αποτελούν τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά της, καθιστώντας την κατάλληλη για την επεξεργασία λυμάτων

με υψηλή περιεκτικότητα σε ανθεκτικές ή δυσδιάλυτες οργανικές ενώσεις. Η AOP μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προεπεξεργασία για το βιολογικό στάδιο, ενισχύοντας τη βιοαποδομησιμότητα. Ωστόσο, χρησιμοποιείται συχνά ως διαδικασία τριτοβάθμιας επεξεργασίας για την περαιτέρω μείωση της τοξικότητας των επιβλαβών ουσιών που βρίσκονται στα επεξεργασμένα λύματα.

Διάφοροι παράγοντες, όπως οι οξειδώσιμες οργανικές ενώσεις, τα οξειδωτικά μέσα, ο ρυθμός αντίδρασης των οργανικών ενώσεων, το pH και η θερμοκρασία, μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση της AOP. Επιπλέον, οι ρίζες υδροξυλίου ($\text{HO}\bullet$) πρέπει να παράγονται συνεχώς επιτόπου, λόγω της χημικής τους αστάθειας, προκειμένου να επιτευχθεί μια αποτελεσματική διαδικασία οξείδωσης. Η επιτάχυνση της παραγωγής ριζών OH μπορεί να ενισχυθεί μέσω της χρήσης οξειδωτικών παραγόντων όπως το όζον (O_3), το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2), η ακτινοβολία UV, το συνδυασμό αλάτων σιδήρου (II) και (III) (Fe^{2+} και Fe^{3+}), καθώς και η ακτινοβολία από υπερήχους, ηλιακή και θερμική ενέργεια. Η υπεριώδης ακτινοβολία σε συνδυασμό με το υπεροξείδιο του υδρογόνου ($\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$), το αντιδραστήριο του Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$), η μέθοδος photo-Fenton ($\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$) και οι συνδυασμοί με όζον (O_3/UV , $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$) θεωρούνται αποτελεσματικοί για την οξείδωση των λυμάτων της βιομηχανίας χαρτοπολτού και χαρτιού. Μεταξύ αυτών των μεθόδων, το αντιδραστήριο του Fenton προτιμάται ιδιαίτερα λόγω της αποτελεσματικότητάς του όσον αφορά τον ρυθμό απομάκρυνσης. Τα αντιδραστήρια Fenton χρησιμοποιούν άλατα μετάλλων (συνήθως σιδηρούχα) ως ομογενείς καταλύτες για τον σχηματισμό ριζών. Είναι φιλικά προς το περιβάλλον και η διαδικασία οξείδωσης δεν απαιτεί πολύπλοκες συσκευές ούτε λειτουργία υπό υψηλή πίεση, καθιστώντας βιώσιμη για άμεση εφαρμογή σε οποιαδήποτε κλίμακα.

Η μέθοδος AOP δεν είναι χρήσιμη μόνο ως απλή προεπεξεργασία για τη διαδικασία βιολογικής επεξεργασίας, αλλά και για την απομάκρυνση χλωριωμένων υδρογονανθράκων και πολυφαινολικών ενώσεων που απαντώνται σε ορισμένα απόβλητα λεύκανσης. Σε αυτό το συμπέρασμα κατέληξαν, οι οποίοι μελέτητες τις διεργασίες Fenton και φωτο-Fenton, οι οποίες απομάκρυναν το 80%–85% των AOX από ένα ρεύμα λυμάτων λεύκανσης ενός ολοκληρωμένου εργοστασίου χαρτιού. Δεδομένου ότι το H_2O_2 από μόνο του δεν είναι ικανό να οξειδώσει διαλυμένες ουσίες, οι ρίζες υδροξυλίου ($\text{HO}\bullet$) παράγονται από την αντίδραση του H_2O_2 με μια άλλη ένωση, στην περίπτωση αυτή το Fe^{2+} . Το υπεροξείδιο του υδρογόνου μπορεί επίσης να αντιδράσει με το Fe^{3+} που προκύπτει μετά την αντίδραση με το Fe^{2+} . Η άμεση αναγωγή του Fe(III) σε Fe(II) μετά από κάθε κύκλο αντίδρασης Fenton οφείλεται στην ταχεία αποσύνθεση του H_2O_2 . Ο ρυθμός παραγωγής των ριζών και η συγκέντρωση του οξειδωτικού παράγοντα που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης

καθορίζουν την αποδοτικότητα της μεθόδου Fenton. Επιπλέον, λειτουργικές παράμετροι όπως η πηγή των καταλυτών σιδήρου (άλατα σιδήρου (II)), οι συγκεντρώσεις υπεροξειδίου του υδρογόνου, η αναλογία τους, το pH, η θερμοκρασία και ο χρόνος επεξεργασίας μπορούν επίσης να επηρεάσουν άμεσα την αποδοτικότητα της αντίδρασης Fenton. Η κατανάλωση και η μετατροπή του αντιδραστήριου Fenton μπορούν να ελεγχθούν ώστε να ελαχιστοποιηθεί η αποσύνθεση του υπεροξειδίου σε μη οξειδωτικά είδη. Εξήγησε ότι η αρχική ενίσχυση της διαδικασίας οξείδωσης μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση της συγκέντρωσης του H_2O_2 , η οποία αυξάνει την απομάκρυνση των οργανικών ουσιών έως ότου φτάσει στο μέγιστο. Από εκεί και πέρα, η αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων θα αναστέλλεται από τις υψηλότερες συγκεντρώσεις υπεροξειδίου του υδρογόνου. Επιπλέον, καθώς απελευθερώνονται ιόντα H^+ κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων, τα λύματα γίνονται πιο όξινα. Το χαμηλό pH με τη σειρά του ενισχύει την αποδοτικότητα των αντιδράσεων. Στις περισσότερες μελέτες, διαπιστώθηκε ότι το pH 3–4 είναι το βέλτιστο για την αντίδραση Fenton, καθώς το υπεροξείδιο του υδρογόνου είναι σταθερό σε αυτό το εύρος pH. Επιπλέον, σε υψηλότερο pH, η συγκέντρωση των ιόντων Fe^{2+} μειώνεται λόγω του σχηματισμού σιδηρούχων συμπλόκων και της καθίζησης του υπεροξειδίου του σιδήρου(III). Μεταβατικά μέταλλα όπως ο χαλκός, το μαγγάνιο και το δημήτριο, τα οποία έχουν τουλάχιστον δύο καταστάσεις οξείδωσης, μπορούν επίσης να προάγουν τη δημιουργία ριζών υδροξυλίου από το H_2O_2 , αλλά λόγω οικονομικών και περιβαλλοντικών περιορισμών, τα άλατα σιδήρου προτιμώνται γενικά. Ένας άλλος τρόπος βελτίωσης της αντίδρασης Fenton είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας. Αποκάλυψαν ότι σε υψηλές θερμοκρασίες, η απομάκρυνση του COD είναι υψηλότερη. Η απομάκρυνση του COD έφτασε το 92% στους 90 °C, αλλά μόνο το 67% στους 50 °C. Η βέλτιστη δόση Fe^{2+} και H_2O_2 εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο συζήτησης μεταξύ των ερευνητών. Γενικά, η οξείδωση βελτιώνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης Fe^{2+} . Ωστόσο, σε περίπτωση υπερβολικής συγκέντρωσης, η αποδοτικότητα της επεξεργασίας μειώνεται και η παρουσία αχρησιμοποίητων αλάτων σιδήρου στα απόβλητα πρέπει να απομακρυνθεί, προκειμένου να διασφαλιστεί το βέλτιστο επίπεδο σιδήρου στα απόβλητα. Η συγκέντρωση του H_2O_2 είναι θεμελιώδης για τη συνολική αποδοτικότητα της διεργασίας. Η βέλτιστη αναλογία Fe προς H_2O_2 είναι 1:5. Το H_2O_2 πρέπει να αξιοποιείται πλήρως, καθώς η περίσσειά του μπορεί να συμβάλει στο φορτίο COD και ενδεχομένως να είναι τοξική για την επακόλουθη βιολογική επεξεργασία (Karat, 2013). Το αντιδραστήριο του Fenton είναι πιο ακριβό σε σύγκριση με τα πηκτικά και τα

κροκιδωτικά. Επιπλέον, απαιτείται ρύθμιση του pH για τα τυπικά λύματα χαρτοβιομηχανίας, το οποίο κυμαίνεται γύρω στο 7, γεγονός που οδηγεί τα εργοστάσια ανακυκλωμένου χαρτιού να εξετάζουν συχνά άλλες επιλογές επεξεργασίας.[55]

Μεμβранες

Η ταξινόμηση των μεμβρανών γίνεται ανάλογα με το μέγεθος των πόρων τους και, κατά συνέπεια, με βάση την ικανότητά τους να αποκλείουν αποτελεσματικά ορισμένες ρύπους, όπως οργανική ύλη —συμπεριλαμβανομένων των AOX—, άλατα και ιόντα. Η ευρεία εφαρμογή της τεχνολογίας μεμβρανών περιορίζεται από μια διαρκή πρόκληση: τη ρύπανση. Η ρύπανση συμβαίνει όταν οι ρύποι εναποτίθενται στην επιφάνεια της μεμβράνης ή εγκλωβίζονται στους πόρους της, περιορίζοντας τη ροή του νερού. Αυτό επηρεάζει όχι μόνο την παραγωγικότητα της διήθησης, αλλά αυξάνει επίσης την απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας. Απαιτείται συχνός καθαρισμός για να αποφευχθεί η εμφάνιση ρύπανσης, κάτι που με τη σειρά του αυξάνει τα έξοδα συντήρησης και μειώνει την ανθεκτικότητα της μεμβράνης, οδηγώντας σε υψηλότερο κόστος αντικατάστασης. Ένα άλλο κρίσιμο ζήτημα που αξίζει να αναφερθεί είναι το κόστος που συνδέεται με την τεχνολογία μεμβρανών. Ωστόσο, οι μεμβράνες έχουν καταστεί πιο προσιτές όσον αφορά τις απαιτήσεις χώρου, τις ενεργειακές απαιτήσεις και το κόστος κεφαλαίου με την πάροδο των ετών, καθώς η εφαρμογή τους αυξάνεται σε διάφορους κλάδους. Το μεγαλύτερο μέρος των δαπανών θα αφορά επενδύσεις κεφαλαίου, δηλαδή την αρχική εγκατάσταση του συστήματος μεμβρανών. Όπως ανέφερε ότι ένα πλήρες σύστημα UF που επεξεργάζεται 2000 m³ την ημέρα κοστίζει έως και 1,5 εκατομμύρια δολάρια Αυστραλίας. Όταν προστεθούν όλες οι άλλες δαπάνες, όπως η συντήρηση και η αντικατάσταση, το κόστος μπορεί να καταστεί οικονομικά μη αποδοτικό, ειδικά για μονάδες μικρής κλίμακας. [56]

Τόσο το ενεργειακό όσο και το κεφαλαιουχικό κόστος αυξάνονται καθώς το μέγεθος των πόρων μειώνεται, λόγω της υψηλής ενεργειακής ζήτησης και της έλλειψης βιομηχανικής εφαρμογής. Ως εκ τούτου, η τεχνολογία μεμβρανών εξακολουθεί να μην αποτελεί την προτιμώμενη επιλογή ως αυτόνομη τεχνολογία για την επεξεργασία λυμάτων χαρτοβιομηχανίας. Οι διεργασίες μεμβρανών υπό πίεση είναι μακράν τα πιο συχνά εφαρμοζόμενα συστήματα στην επεξεργασία λυμάτων και, όπως υποδηλώνει το όνομά τους, οι διεργασίες αυτές βασίζονται στην υδραυλική πίεση για την επίτευξη του διαχωρισμού. Οι τέσσερις κύριοι τύποι και τα χαρακτηριστικά τους περιγράφονται

στον Πίνακα 10. Τα φίλτρα MF έχουν μέγεθος πόρων μεταξύ 0,1–10 μm , το οποίο είναι κατάλληλο για την απομάκρυνση στοιχείων όπως βακτήρια και αιωρούμενα στερεά. Η UF, από την άλλη πλευρά, είναι σε θέση να απομακρύνει μικρότερα διαλυμένα σωματίδια, αλλά ενδέχεται να απαιτεί ελαφρώς υψηλότερη πίεση λόγω των μικρότερων μεγεθών πόρων. Ωστόσο, οι πιέσεις που απαιτούνται για τα συστήματα UF και MF είναι σχετικά χαμηλές, με αποτέλεσμα τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Και τα δύο συστήματα έχουν τον ίδιο μηχανισμό διαχωρισμού, κατά τον οποίο οι ρύποι που είναι μεγαλύτεροι από τους πόρους απορρίπτονται, με αποτέλεσμα ένα διήθημα καθαρισμένου υγρού. Όπως ήταν αναμενόμενο, η UF έχει αρχίσει να προσελκύει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον στον κλάδο του χαρτοπολτού και του χαρτιού. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι η UF έχει την ικανότητα να αποκλείει ορισμένα μέταλλα. Με την προσθήκη πολυηλεκτρολυτών, οι ενώσεις σιδήρου, μαγνησίου και ασβεστίου σχηματίζουν σύμπλοκα, γεγονός που καθιστά δυνατή την κατακράτησή τους κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διαύγασης.

Όταν υπάρχει ανάγκη να παρακρατηθούν μικρά μόρια από τα διηθήματα, η NF αποτελεί κατάλληλη επιλογή. Είναι αποτελεσματική στην απομάκρυνση μετάλλων, χρώματος και ακόμη και οργανικών ενώσεων που είναι δύσκολο να αποικοδομηθούν στα λύματα. Η NF και η RO είναι πολύ παρόμοιες ως προς τον σχεδιασμό και τον τρόπο λειτουργίας τους. Ωστόσο, το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης NF είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από αυτό της RO και απαιτεί χαμηλότερη πίεση τροφοδοσίας σε σύγκριση με την RO. Η NF ονομάζεται μερικές φορές «μεμβράνη αποσκλήρυνσης», καθώς οι μικροί πόροι της αποκλείουν τα δισθενή ιόντα κατά προτίμηση έναντι των μονοσθενών ιόντων. Χρησιμοποιείται συχνά για την απομάκρυνση της σκληρότητας από το νερό. Παρ' όλα αυτά, αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο με νερό που έχει χαμηλή συγκέντρωση ολικών διαλυμένων στερεών, διαφορετικά η απόδοση της μεμβράνης θα μπορούσε να επηρεαστεί αρνητικά από την αποθήτηση αλάτων. Τόσο η NF όσο και η RO παράγουν επεξεργασμένο νερό υψηλής ποιότητας για επαναχρησιμοποίηση. Ωστόσο, για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, η NF θεωρήθηκε πιο κατάλληλη, καθώς λειτουργεί σε χαμηλότερη πίεση και προσφέρει υψηλότερη ροή διαπερατού υγρού. Επιπλέον, η NF είναι η προτιμώμενη μεμβράνη για την απομάκρυνση του χρώματος. Συγκεκριμένα, η χαλαρή NF (LNF), η οποία έχει μέγεθος πόρων μεταξύ της NF και της UF, χρησιμοποιείται για την αποτελεσματική απομάκρυνση οργανικών μακρομορίων, αλλά όχι αλάτων. Η LNF έχει υψηλότερη διαπερατότητα από τη σφιχτή

NF, επιτρέποντας ταχύτερη διήθηση σε χαμηλότερη πίεση, μειώνοντας έτσι το ενεργειακό και το λειτουργικό κόστος.[57]

Έτσι, η LNF έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας χαρτοπολτού και χαρτιού, και ιδίως του κλάδου ανακύκλωσης χαρτιού, λόγω της ικανότητάς της να απομακρύνει τη φυσική οργανική ύλη (NOM) και, ως εκ τούτου, να μειώνει το χρώμα . Προκειμένου να διευρυνθεί η εφαρμογή της NF, έχουν δοκιμαστεί διάφορες μεμβράνες NF κατασκευασμένες από διαφορετικές πρώτες ύλες. Πολυμερή όπως η οξική κυτταρίνη και το πολυαμίδιο χρησιμοποιούνται για την αύξηση της χημικής αντοχής της μεμβράνης. Η συμβατική NF βασίζεται σε μια διαδικασία κατασκευής δύο σταδίων που περιλαμβάνει μια αντίδραση διεπαφικού πολυμερισμού πάνω σε μια επίπεδη μεμβράνη UF. Η πρόσφατη τεχνολογία NF χρησιμοποιεί μορφή κοίλων ινών με πολυαιθεροσουλφόνη (PES) για τη δημιουργία μιας χαλαρής, εξωτερικά επιλεκτικής μεμβράνης NF που προσφέρει υψηλή πυκνότητα συσκευασίας και δεν απαιτεί διαχωριστικό , ανοίγοντας νέες προοπτικές για περαιτέρω έρευνα σχετικά με την αποδοτικότητά της στην απομάκρυνση ουσιών. Οι μεμβράνες NF διατίθενται επίσης σε κεραμική μορφή για την αύξηση της αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες , γεγονός που με τη σειρά του μειώνει τα έξοδα συντήρησης και αντικατάστασης. Μεταξύ αυτών των μεμβρανών, η RO είναι γνωστή για την αποτελεσματικότητά της στον διαχωρισμό μονοσθενών ιόντων, συμπεριλαμβανομένων των ιόντων νατρίου και των ιόντων χλωρίου. Βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της ανάκτησης νερού μέσω της επεξεργασίας λυμάτων και της αφαλάτωσης . Το χαρτοποιείο Lucart, το οποίο χρησιμοποιεί προϊόντα ανακυκλωμένου χαρτιού ως πρώτη ύλη και παράγει εκροές λεύκανσης, κατάφερε να επιτύχει COD 25 ppm O₂ και ποσοστά απόρριψης ιόντων 96%–99,9%. Παρά τα ελπιδοφόρα αποτελέσματα της αντίστροφης όσμωσης (RO), οι μεμβράνες MF και UF εξακολουθούν να προτιμώνται σε μεγάλο βαθμό λόγω του χαμηλότερου αρχικού και λειτουργικού κόστους τους. Επιπλέον, μεταξύ των μεθόδων MF και UF, η τελευταία χρησιμοποιείται ευρύτερα, καθώς προσφέρει υψηλότερο ποσοστό απομάκρυνσης τόσο για το χρώμα όσο και για το COD. Παρατηρήθηκε ότι το μέσο ποσοστό απομάκρυνσης του χρώματος ήταν 84% και 75%, ενώ το ποσοστό απομάκρυνσης του COD ήταν 84,3% και 80% για τις μεμβράνες UF και MF αντίστοιχα. Επιπλέον, η μεμβράνη UF μπορεί να απομακρύνει έως και 82,5% λιγνίνη, σε σύγκριση με το 76,5% της MF. Αν και η μείωση της θολότητας ήταν 99% και για τις δύο μεμβράνες, η μεμβράνη UF

παρουσίασε υψηλότερο ποσοστό απομάκρυνσης του COD, του χρώματος και της λιγνίνης.

Τύποι Μεμβράνων	MWCO kDA	Διάμετροι -(μm)	Πίεση (kpa)	Μέση διαπερατότητα	Διατηρούμενες διαλυμένες ουσίες
MF	100-500	10^{-1} - 10	1-3	500	Βακτήρια, λίπος, έλαια, γράσα, κολλοειδή, οργανικές ουσίες, μικροσωματίδια
UF	20-150	10^{-3-1}	2-5	150	Πρωτεΐνες, χρώμα, έλαια, ζάχαρη, οργανικές ουσίες, μικροπλαστικά
NF	43862,00	$10^{-3} - 10^{-2}$	5-15	10-20	Χρώμα, θειικά άλατα, δισθενή κατιόντα και ανιόντα, λακτόζη, σακχαροζη, χλωριούχο νάτριο
RO	0,2-2	$10^{-4} - 10^{-3}$	15-75	5-10	Όλες οι προσμείξεις, συμπεριλαμβανομένων των μονοσθενών ιόντων

Πίνακας 10 Ταξινόμηση και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων μεμβρανών που λειτουργούν με πίεση.

Τάσεις στη λειτουργία κλειστών υδραυλικών συστημάτων και συνέπειες

Τα εργοστάσια χαρτοπολτού και χαρτιού απαιτούν συνεχή παροχή νερού, και μετά τη χρήση του, το νερό παραδοσιακά απορρίπτεται απευθείας σε υδάτινα ρεύματα. Εδώ και πολλά χρόνια, η βιομηχανία χαρτιού αντιμετωπίζει κοινωνικές και κανονιστικές πιέσεις για τη μείωση του όγκου και της τοξικότητας των βιομηχανικών αποβλήτων της . Ως εκ τούτου, η έννοια ενός κλειστού συστήματος νερού κερδίζει ολοένα και

περισσότερη δημοτικότητα στον κλάδο. Το κλείσιμο του συστήματος νερού επιτρέπει ενδεχομένως μια δραστική μείωση ή ακόμη και την πλήρη εξάλειψη των υγρών απορρίψεων, καθώς και τη μείωση της κατανάλωσης γλυκού νερού μέσω της επαναχρησιμοποίησης του νερού επεξεργασίας και των επεξεργασμένων λυμάτων . Αυτό ενδεχομένως επιτρέπει τη μείωση δαπανών όπως τα χημικά και η θέρμανση. Η εμφάνιση νέων και καινοτόμων συστημάτων μηδενικής υγρής απόρριψης (ZLD) οφείλεται σε μεγάλο βαθμό σε αυτές τις προοπτικές . Όταν εφαρμόζεται σε ένα εργοστάσιο, το σύστημα αυτό ανακτά τα λύματα, τα μετατρέπει σε καθαρό νερό επεξεργασίας και τα ανακυκλώνει πίσω στο εργοστάσιο. Η έννοια της «μηδενικής απόρριψης» προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Rapson το 1971 και εφαρμόστηκε πρωτοποριακά από την εταιρεία Great Lakes Forest Products Ltd, στο Thunder Bay του Οντάριο, έντεκα χρόνια αργότερα . Τα βιομηχανικά απόβλητα συχνά περιέχουν σύμπλοκα ανόργανων και οργανικών διαλυμένων ουσιών, και η καθαρισμός τους απαιτεί συνδυασμό τεχνολογιών με συγκεκριμένες λειτουργίες. Ως εκ τούτου, δυσκολίες όπως ο προσδιορισμός της κατάλληλης τεχνολογίας για την επεξεργασία των λυμάτων, η διάθεση της ιλύος, καθώς και η παρουσία και η συγκέντρωση ανεπιθύμητων ρύπων στον κύκλο του νερού αποτελούν αναπόφευκτες προκλήσεις για την υλοποίηση οποιασδήποτε μονάδας κλειστού κύκλου. Αυτές οι δυσκολίες είναι ακόμη μεγαλύτερες στις μονάδες ανακύκλωσης, καθώς το ανακτημένο χαρτί εισάγει ρύπους που προέρχονται από πρόσθετα χαρτιού που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή χαρτιού, καθώς και ξένα σώματα ή υπολείμματα που εισάγονται μαζί με το απορριμμένο χαρτί. Μπορεί να προκύψει σοβαρή υποβάθμιση της ποιότητας του ανακυκλωμένου χαρτιού, καθώς και προβλήματα παραγωγικότητας που προκαλούνται από επιφανειακή μόλυνση, οσμές, σχηματισμό και αξιοπιστία, σε περίπτωση υψηλών επιπέδων ρύπων.[58]

Ένα σύστημα κλειστού κύκλου είναι εφικτό σε ένα εργοστάσιο ανακύκλωσης χαρτιού μόνο με τις κατάλληλες τεχνολογίες και τον κατάλληλο εξοπλισμό . Ωστόσο, για να είναι οικονομικά αποδοτικό, οι επεξεργασίες πρέπει να ενσωματωθούν στο σχεδιασμό της μηχανής χαρτιού. Ενώ αυτό αποτελεί ευκαιρία για το σχεδιασμό νέων εγκαταστάσεων, η μετατροπή των υφιστάμενων εργοστασίων ώστε να ενσωματώσουν αυτές τις τεχνολογίες παραμένει μια πρόκληση. Αν και το κλείσιμο του συστήματος νερού επιτρέπει σημαντική μείωση της κατανάλωσης γλυκού νερού, απαιτείται πάντα μια μικρή ποσότητα γλυκού νερού ως νερό αναπλήρωσης για την αντικατάσταση του

νερού που εξατμίζεται στο τμήμα ξήρανσης της μηχανής χαρτιού. Το κλείσιμο του κύκλου νερού χωρίς κατάλληλη επεξεργασία του κυκλοφορούντος νερού, θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλή θερμοκρασία νερού και αυξημένη περιεκτικότητα σε αιωρούμενα και διαλυμένα στερεά στο σύστημα λευκού νερού, με αποτέλεσμα ελαττώματα στο χαρτί, απώλεια ποιότητας του προϊόντος και προβλήματα αξιοπιστίας της μηχανής χαρτιού. Πιο συγκεκριμένα, στοιχεία που δεν συγκρατούν το σχηματισμένο φύλλο χαρτιού, όπως διαλυτά κολλοειδή και λεπτά στερεά σωματίδια, συσσωρεύονται στο λευκό νερό μέσω της επαναλαμβανόμενης ανακυκλοφορίας και χρήσης. Η μείωση της ποσότητας νερού προκαλεί διαταραχή στην ισορροπία των μερικών ισορροπιών, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, και έχει συνέπειες όπως:

Μείωση της κατακράτησης του μείγματος στο πλέγμα της μηχανής χαρτιού,

- Διάβρωση του εξοπλισμού,
- Καθίζηση ιζημάτων,
- Αφρισμός του πολτού,
- Αύξηση της θερμοκρασίας του κυκλοφορούντος νερού (έως 60–70 °C).
- Ανάπτυξη μικροοργανισμών στο σύστημα,
- Προβλήματα αξιοπιστίας στις μηχανές χαρτιού, όπως θραύση των φύλλων,
- Μείωση της αποτελεσματικότητας των προσθέτων,
- Δυσκολίες στην επεξεργασία των λυμάτων, και
- Μειωμένη ποιότητα προϊόντος.

Παρά ταύτα, η λειτουργία ZLD εξακολουθεί να προσελκύει μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό στις περιβαλλοντικές νομοθεσίες που ρυθμίζουν τις παραμέτρους των λυμάτων, οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν τις απαιτήσεις για τον σχεδιασμό τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων, τον έλεγχο της ρύπανσης των λυμάτων και τις επιπτώσεις τους στα ύδατα υποδοχής. Ο καθαρισμός των βιομηχανικών λυμάτων και η επαναχρησιμοποίηση του νερού της διαδικασίας αποτελούν ένα σημαντικό βήμα στην εξοικονόμηση νερού και στην εξάλειψη της χρήσης περισσότερων χημικών ουσιών. Καθώς οι απαιτήσεις για την ποιότητα των απορρίψεων των χαρτοβιομηχανιών συνεχίζουν να αυξάνονται, καθίσταται

συμφέρουσα η εφαρμογή ενός τριτοβάθμιου σταδίου τελικής επεξεργασίας και η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στις λειτουργίες της χαρτοβιομηχανίας. Η πλήρης κλείσιμο του κύκλου των λυμάτων σε ορισμένα εργοστάσια μπορεί να επιτευχθεί μέσω αυτής της προσέγγισης.[59]

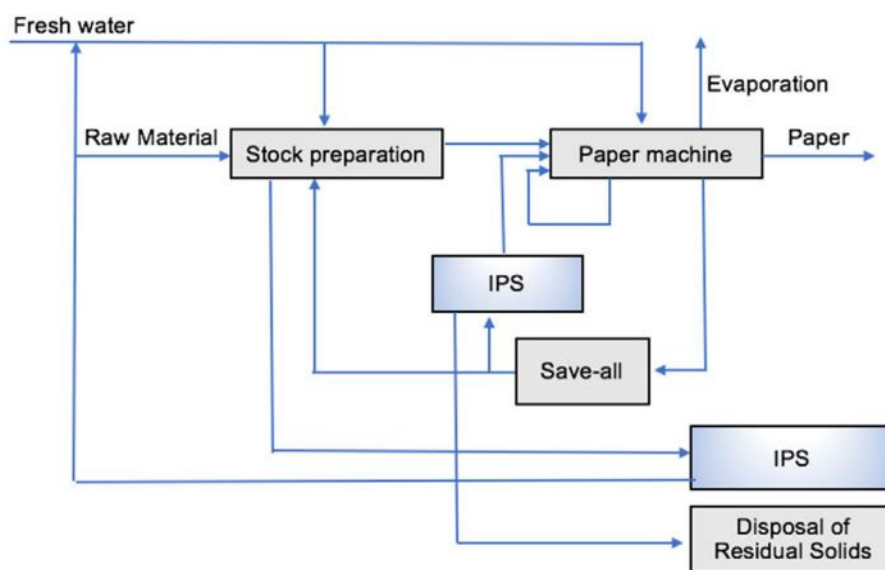
Επιπλέον, η κατανάλωση γλυκού νερού αποτελεί την κύρια πηγή λυμάτων. Η επαναχρησιμοποίηση των λευκών υδάτων πραγματοποιείται, στις περισσότερες περιπτώσεις, με την προσθήκη της μονάδας «save-all». Ο αρχικός σκοπός του εσωτερικού συστήματος επεξεργασίας λευκών υδάτων ή του ολοκληρωμένου συστήματος καθαρισμού (IPS) ήταν η συγκράτηση ινών και πληρωτικών υλικών που διαφορετικά θα χάνονταν. Το υψηλής ποιότητας διαυγές διήθημα από τη μονάδα «save-all» θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως νερό ντους για το τμήμα συρματοπλεγματος της μηχανής χαρτιού.

Η καλή γνώση της διαδικασίας και της επίδρασης των πρώτων υλών και των προσθέτων που χρησιμοποιούνται στο εργοστάσιο αποτελεί τη βάση για την επιλογή ενός κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας. Επιπλέον, οι απαιτήσεις ποιότητας του επεξεργασμένου νερού καθορίζουν τις μεθόδους επεξεργασίας που πρέπει να εφαρμοστούν. Κατ' αρχήν, οι διαθέσιμες μέθοδοι είναι:

- Διαχωρισμός ινών, όπου οι χρωστικές ουσίες και άλλα λεπτά σωματίδια παραμένουν στο νερό,
- Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, με αποτέλεσμα καθαρό νερό,
- Διαχωρισμός κολλοειδών και διαλυμένων ουσιών και ανόργανων αλάτων, ο οποίος συνήθως περιλαμβάνει χημική πήξη και κροκίδωση, βιολογική επεξεργασία ή διήθηση με μεμβράνη

Ένα παράδειγμα συστήματος IPS που χρησιμοποιεί ολοκληρωμένη διαδικασία με μεμβράνες αναπτύχθηκε από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Ναντζίνγκ . Το IPS διαθέτει έναν πυρήνα από πολλαπλές μεμβράνες που αξιοποιεί μια καινοτόμο, εξαιρετικά υδρόφιλη μεμβράνη UF υψηλής αντοχής, κατασκευασμένη από αμφίφιλο συμπολυμερές με πολυβινυλιδενικό φθορίδιο (PVDF) ως κύρια πολυμερή φάση, δημιουργώντας μια μεμβράνη UF με μόνιμη υδροφιλικότητα για τη μείωση της ρύπανσης της μεμβράνης. Ο πλήρης κλειστός χαρακτήρας του συστήματος επεξεργασίας νερού σημαίνει ότι το ολοκληρωμένο σύστημα καθαρισμού θα

αντικαταστήσει το σύστημα επεξεργασίας λυμάτων . Ένα απλοποιημένο κλειστό σύστημα νερού με IPS απεικονίζεται στο Σχ. 6 Αυτό είναι πιο εφαρμόσιμο σε χαρτοβιομηχανίες που παράγουν προϊόντα χαρτιού χαμηλής ποιότητας, καθώς απαιτούν χαμηλότερη ποιότητα νερού για τις ροές ανακυκλωμένου νερού. Σε πολλές περιπτώσεις, δεδομένου ότι τα διαυγή λευκά νερά περιέχουν οργανικές ουσίες που λειτουργούν ως πηγές άνθρακα για την ανάπτυξη βακτηρίων ή τη δημιουργία λάσπης, παρατηρήθηκαν διάβρωση και ανάπτυξη βακτηρίων στη μηχανή παραγωγής χαρτιού. Η ανάπτυξη βακτηρίων μπορεί να προκαλέσει απόφραξη των ακροφυσίων ψεκασμού. Για τον έλεγχο της παραγωγής λάσπης μπορούν να χρησιμοποιηθούν χημικά, βιοκτόνα, διασκορπιστικά ή η αύξηση της θερμοκρασίας του συστήματος σε επίπεδα άνω των 50 °C ή η διατήρηση του pH σε τιμές 8,5–9. Σε χαρτοβιομηχανίες όπου είναι αδύνατη η πλήρης κλειστή λειτουργία των κυκλωμάτων νερού, η επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί το κύριο μέλημα



Σχημα 6 Παράδειγμα ενός πλήρως κλειστού κυκλώματος νερού διεργασίας με ενσωματωμένα συστήματα καθαρισμού (IPS)

Σύγκριση μεθόδων στην βιολογική επεξεργασία στην βιομηχανία χαρτιού

Τα εργοστάσια παραγωγής χαρτιού σε όλο τον κόσμο βασίζονται εδώ και πολύ καιρό στην παραδοσιακή αερόβια/αναερόβια βιολογική επεξεργασία, με σκοπό την αντιμετώπιση των μεγάλων όγκων υγρών αποβλήτων που παράγονται. Παρά το γεγονός ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι είναι απαραίτητες για την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών, συνοδεύονται από πολλούς περιορισμούς που επηρεάζουν την

τελική κερδοφορία και απόδοσή τους. Η σημαντική ευαισθησία στην τοξικότητα, η μεγάλη κατάληψη γης, οι τεράστιες δεξαμενές επεξεργασίας και η έλλειψη συνεπούς συμμόρφωσης στην απομάκρυνση συγκεκριμένων ρύπων είναι μόνο μερικά από τα υπάρχοντα μειονεκτήματα που προκαλούν κόστος υποδομών στην παραγωγή χαρτιού. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι βιομηχανίες χαρτιού και χαρτοποιίας αναζήτησαν καινοτόμες επιλογές, ώστε να παρέχουν στα εργοστάσια βιώσιμες λύσεις ενάντια στις αδυναμίες των υφιστάμενων μεθόδων επεξεργασίας. Βιοαντιδραστήρες όπως οι αντιδραστήρες διαδοχικών παρτίδων και οι αντιδραστήρες μεμβράνης, σε συνδυασμό με τη χρήση μικροοργανισμών και φυσικοχημικές μεθόδους αποτελούν, σύμφωνα με αναφορές, καινοτόμες τεχνικές που προσφέρουν σχεδόν άψογη απομάκρυνση ρύπων, νερό υψηλής καθαρότητας και τεράστια παραγωγή βιοαερίου, και ως εκ τούτου, οικονομική αποδοτικότητα, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, φιλική προς τη φύση λειτουργία και ανανεώσιμη-οικονομική παραγωγή. Επιπλέον, αυτές οι υβριδικές/ολοκληρωμένες τεχνολογίες εφαρμόζονται τόσο σε μεγάλη όσο και σε μικρή κλίμακα σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων χαρτοπολτού και χαρτιού, καθώς και σε εργοστάσια, με εξίσου εγγυημένη. Η επιλογή της κατάλληλης ολοκληρωμένης διαδικασίας εξαρτάται από παράγοντες όπως η σύνθεση των λυμάτων, η απαιτούμενη απόδοση, η διαθεσιμότητα γης και οι δημοσιονομικοί περιορισμοί. Τα καινοτόμα συστήματα βιοαποκατάστασης ενδέχεται να προσφέρουν σημαντικά οφέλη στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και στις βιομηχανίες. Ωστόσο, η αξιολόγηση της πολυπλοκότητας της ροής των λυμάτων και η συνολική ανάλυση κόστους των δαπανών του κύκλου ζωής της βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένων των αρχικών επενδύσεων, των εξόδων λειτουργίας και συντήρησης, καθώς και της κατανάλωσης ενέργειας και των πιθανών εσόδων από την παραγωγή βιοαερίου, πρέπει να αξιολογηθούν προσεκτικά πριν από τη λήψη απόφασης σχετικά με την επιλογή παραδοσιακών ή υβριδικών συστημάτων βιοαποκατάστασης σε μια εταιρεία P&P αποδοτικότητα [60]

Κυκλική οικονομία και βιωσιμότητα

Τα αποτελέσματα μιας έρευνας που διεξήχθη σχετικά με τις βιομηχανικές δαπάνες της P&P το 1978 προέβλεπαν συνολικές κεφαλαιουχικές δαπάνες ύψους 363 εκατομμυρίων δολαρίων για τη διασφάλιση της ποιότητας του αέρα και του νερού και

τη διαχείριση στερεών αποβλήτων, ενώ λιγότερο από το 26% διατέθηκε για δαπάνες προστασίας του περιβάλλοντος. Έχει υποστηριχθεί ότι η προώθηση της Κυκλικής Οικονομίας (CE) αποφέρει βιώσιμα οικονομικά οφέλη. Τα μολυσμένα υδατικά απόβλητα από χαρτοβιομηχανίες δημιουργούν ανησυχίες για την ασφάλεια όσον αφορά τη χρήση ανακυκλωμένων λυμάτων στη γεωργία, το περιβάλλον και την ανθρώπινη κατανάλωση, κάτι που αναφέρεται σε μελέτες που υποστηρίζουν ότι σημαντικός όγκος οργανικών υπολειμμάτων παρέμεινε στα απόβλητα, ακόμη και μετά από ελεγχόμενη αποκατάσταση μέσω ανακύκλωσης. Το μοντέλο της CE συσχετίζεται με έναν κλειστό κύκλο μηδενικών καθαρών αποβλήτων που έχει ως αποτέλεσμα πολλαπλά οφέλη, όπως τη μείωση της απαιτούμενης πρώτης ύλης και την ενίσχυση της χρήσης ανανεώσιμων πόρων, καθώς και τη διαχείριση αποβλήτων-βιομάζας. Η CE μοιάζει με τη φύση, δεδομένου ότι, όπως και στο περιβάλλον μας, κανένα παραγόμενο απόβλητο δεν είναι άχρηστο για ορισμένους οργανισμούς, αλλά είναι χρήσιμο για άλλα ζωντανά όντα. Έτσι, η βιομηχανική συμβίωση είναι μια συλλογική προσέγγιση που ενισχύει τη διαχωρισμό και τη μαζική ανταλλαγή πόρων, ενέργειας, νερού και υποπροϊόντων μεταξύ των βιομηχανιών, ανάλογα με τη γεωγραφική εγγύτητα. [34]

Οι οικολογικές βιομηχανίες χαρτοποιίας της Κίνας δίνουν μεγάλη έμφαση στην εξοικονόμηση πόρων και αναζητούν συνεχώς πιο οικολογικές εναλλακτικές μεθόδους που βασίζονται πρακτικά στην CE. Η υψηλή σπατάλη ενέργειας, πόρων και καυσίμων, και κατά συνέπεια οι υπερβολικές εκπομπές ρύπων στον αέρα, το νερό και το έδαφος, δημιούργησαν επείγουσα ανάγκη για την κινεζική κυβέρνηση να αναπτύξει αρμονικές λύσεις CE. Έχει περάσει μία δεκαετία από τότε που οι κινεζικές βιομηχανίες χαρτοποιίας εισήγαγαν τη δημιουργία οικολογικών βιομηχανικών πάρκων CE που δημιούργησαν δεσμούς ενέργειας και ύλης μεταξύ των υφιστάμενων εργοστασίων στο εσωτερικό τους. Τα περιφερειακά και βιομηχανικά χαρακτηριστικά αξιολογήθηκαν διεξοδικά πριν από την κατασκευή των οικολογικών πάρκων. Το σχέδιο των οικολογικών πάρκων βασίστηκε στις αρχές της CE και περιελάμβανε κεντρική παροχή θέρμανσης, ηλεκτρικής ενέργειας και ψύξης κατάλληλη για όλες τις εποχές, εκτός από τις αλυσίδες CE για την αξιοποίηση ενέργειας, νερού και στερεών υλικών. Τέτοιες καινοτόμες, οικολογικά βιώσιμες μέθοδοι, κατέταξαν τις κινεζικές βιομηχανίες μεταξύ των ταχύτερα εξελισσόμενων και οικολογικών επιχειρήσεων παραγωγής χαρτιού στον πλανήτη. Έντεκα εκατομμύρια τόνοι αποβλήτων παράγονται ετησίως από τα ευρωπαϊκά εργοστάσια χαρτιού και χαρτοποιίας. Το 2004, σε μια προσπάθεια να

προχωρήσει προς μια πιο πράσινη μετάβαση της βιομηχανίας χαρτοποιίας, η Ευρωπαϊκή Ένωση έδωσε προτεραιότητα στην κατάργηση των χώρων υγειονομικής ταφής. Αντίθετα, η ευρέως χρησιμοποιούμενη αποτέφρωση αποβλήτων με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας είναι επιβλαβής λόγω των μαζικών εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και της απίθανης αναξιοποίησης των αποβλήτων [61]

Εκτός από τη δημιουργία οικολογικών πάρκων, οι ανεπτυγμένες διαδικασίες κυκλικής οικονομίας, οι οποίες χρησιμοποιούν βιοιθανόλη, πολυδροξυαλκανοϊκά και βιοαέριο, είναι απολύτως ικανές να μετατρέπουν τα απόβλητα της βιομηχανίας χαρτιού και χαρτοποιίας σε βιοπροϊόντα υψηλής αξίας. Η σκοπιμότητα αυτών των μεθόδων εξαρτάται από παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα πρώτων υλών, η τεχνολογική αποδοχή, τα λειτουργικά έξοδα και τα συνολικά έσοδα. Ως εκ τούτου, αναγνωρίζεται αδιαμφισβήτητα ότι η ιδέα του σχεδιασμού της CE κινείται προς τη σωστή κατεύθυνση για να ανακουφίσει τον πλανήτη μας από την εξάντληση των πόρων και τη συνεχιζόμενη ρύπανση

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων επεξεργασίας

Εάν γίνει ένας απολογισμός όσα έχουμε προαναφέρει θα δούμε ότι η διαχείριση των παραγομένων αποβλήτων στην βιομηχανία χαρτιού αποτελεί ένα περιβάλλον με πολλά θετικά αντίτυπα. Οι μέθοδοι βιοαποκατάστασης έχουν μεγάλη ανταπόκριση καθώς προσφέρουν πράσινες λύσεις φιλικότερες στο περιβάλλον έναντι των αρχικών φυσικοχημικών μεθόδων. Οι μέθοδοι αυτοί στηρίζονται σε μικρόβια όπως βακτήρια, μύκητες φύκια και ένζυμα που έχουν την δυναμική να διασπούν τους περιβαλλοντικούς ρύπους που έχουν τα απόβλητα νερό και εν τέλει τα μετατρέπουν σε χρήσιμα προϊόντα. Οι εφαρμογές των συστημάτων βιοτεχνολογικής επεξεργασίας μπορούν να ελαττώσουν το COD αξιοποιώντας φυσιολογικές μικροβιακές λειτουργίες. Οι αερόβιες βιολογικές διεργασίες παίρνουν έναν ρολό σημαντικό στην διαχείριση μολυσμένων αποβλήτων. Οι αερόβιες διεργασίες εφαρμόζονται σε λιμνοθάλασσες και αντιδραστήρες. Οι αερόβιες τεχνολογίες αρκετές φορές συσσωρεύονται με τα αέρια βακτήρια που με την άφιξη του οξυγόνου το βιοαποικοδομούνται σε οργανικά υπολείμματα. Από την άλλη η αναερόβια διεργασία όπως είναι η πέψη, διεργασίες φιλτραρίσματος και η ρευστοποιημένη κλίνη, οι βιοαντιδραστήρες κουβέρτας λάσπης πρέπει να ακολουθούνται από μικροβιακή δραστηριότητα που σκοπό έχει την ενίσχυση της οργανικής ύλης. Επομένως η βιοαποικοδόμηση έχει ως στόχο την μείωση του BOD

και COD με αρκετούς ρύπους με σκοπό την παραγωγή ανανεώσιμων βιοαερίων με μορφή μεθανίου με δυνατότητα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αερόβιες αλλά και αναερόβιες διεργασίες έχουν την ιδιότητα να προσαρμόζουν τους μικροοργανισμούς ιδανικές λύσεις προς την περιβαλλοντική ρύπανση στα λύματα βάση των μειωμένων εκπομπών. Μια νέα μέθοδος η υβριδοποίηση έχει αποδειχθεί μια νέα τεχνολογία με πολλά υποσχόμενη καθώς οι φυσικοχημικές διεργασίες είναι αρκετά οικονομικά αποδοτικές και έχουν ισχυρές δυνατότητες στην ενδυνάμωση της επεξεργασίας των λυμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο συνδυασμός της σύνδεσης των μονάδων πήξης επίπλευσης. Όπως επίσης και η σύζευξη των τεχνολογιών μεμβράνης νανοδιήθησης είναι κοινός αντιληπτή καθώς είναι αποτελεσματική στην αναγέννηση πόρων για την βιομηχανία χαρτιού. Αν κάνουμε μια σύγκριση με τις φυσικοχημικές μεθόδους η δραστηριοποίηση των μικροοργανισμών δεν επιδέχεται υψηλό ποσοστό ενέργειας γεγονός που λειτουργεί με αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον γεγονός που επηρεάζει την αποτελεσματικότητα στην αποβολή των ρύπων. Όμως υπάρχουν και μέθοδοι που παρόλο που υπάρχει μια άνθηση παραμένουν αμετάβλητες στο πέρασμα τους. Καθώς σπαταλούν αρκετό χρόνο χρειάζονται μεγάλους χρόνους διατήρησης στα λύματα. Στην αερόβια διεργασία μπορεί να είναι αποτελεσματική όμως η μη μεταβαλλόμενη αναζήτηση οξυγόνου καθιστά την υψηλή κατανάλωση ενέργειας κοστοβόρο αερισμό συστημάτων καθώς προβάλλουν μεγάλα ποσοστά βιομάζας. [62]

Η αναερόβια διεργασία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαερίου δεν είναι ικανή για την εξόντωση ελάχιστων παθογόνων καθώς της καθιστά ακριβές και εγγείρουν τον κίνδυνο ευφλεξιμότητας του βιοαερίου. Όμως αν κάνουμε μια αναδρομή θα δούμε ότι χαρτοβιομηχανίες με μικρό εύρος εργασίας δεν εφαρμόζουν διεργασίες υβριδικών μοντέλων θεραπείας. Διότι είναι κοστοβόρες και απαιτούν αρχικό μεγάλο κεφάλαιο γεγονός που δεν μπορούν να ανταποκριθούν στα κόστη εγκατάστασης. Επίσης η μικροβιακή ανάπτυξη είναι ένα γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο διότι τα μικροβιακά συστήματα δέχονται ευκολά ανακατατάξεις θερμοκρασιακής φύσεως που τα συγκαταλέγουν δύστροπα στην διατήρησή τους. Όμως η παγκόσμια αξιοποίηση του βιοαντιδραστήρα που είναι ένα προϊόν στην βιολογική επεξεργασία συνεχίσει να εγείρει τον κίνδυνο στις βιομηχανίες χαρτιού παγκοσμίως, λόγο της διαχείρισης των λυμάτων που εμφανίζονται.

Οι βιομηχανίες χαρτιού είναι επιτακτική η ανάγκη να έχουν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα ως προς την βιολογική επεξεργασία καθώς οι συνθήκες σε ένα βιολογικό σύστημα μεταβάλλονται σύμφωνα με την εποχική διακύμανση. Είναι αναγκαίο να υπάρχει οικονομικός έλεγχος που να αποδεικνύεται η συμμόρφωση. Η ανάγκη για επιτακτική ερευνά και τεχνολογικές βελτιώσεις στοχεύουν στην ανάπτυξη λύσεων σημαντικής φύσεως για τις βιομηχανίες χαρτιού.[63]

Σύγκριση καινοτόμων συστημάτων με παραδοσιακά συστήματα επεξεργασίας στην βιομηχανία χαρτιού

Όλες οι βιομηχανικές παράγωγες χαρτιού παγκόσμιος στηρίζονται στην αερόβια και αναερόβια επεξεργασία που σκοπό έχουν την διαχείριση και επεξεργασία των μεγάλων λυμάτων σε φορτίο αλλά και σε όγκο. Έχει παρατηρηθεί ότι οι πρωτοπόρες μέθοδοι είναι εξίσου σημαντικές για την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών και έχουν κάποιους περιορισμούς που μεταβάλλουν την απόδοσή τους. Τέτοιοι περιορισμοί μπορούν να χαρακτηριστούν η ευαισθησία στο περιβάλλον της τοξικότητας η αντοχή του περιβάλλοντος της γης, η διαχείριση στις λεκάνες απορροής καθώς υπάρχει η έλλειψη συμμόρφωσης με την νομοθεσία. Οι ρύποι είναι ένα αρνητικό φαινόμενο καθώς προκαλούν φαινόμενα στο κόστος της υποδομής στην παραγωγή του χαρτιού. Με αυτά τα φαινόμενα να είναι υπαρκτά οι βιομηχανίες χαρτιού έκαναν διαφορές παραπομπές ώστε οι βιομηχανικές μονάδες να είναι ιδανικές δίνοντας λύσεις στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις.[64]

Βιοαντιδραστήρες συγκεκριμένα αντιδραστήρες μεμβράνης συνδυαστικά μπορούν να αξιοποιηθούν με μικροβιακή χρήση και τις φυσικοχημικές μεθόδους. Οι καινοτόμες διεργασίες παρέχουν λύσεις που αφαιρούν εντελώς τους ρύπους προσφέροντας αφαίρεση ρύπων και καθαρό νερό ιδανικό για παραγωγή βιοαερίου. Έτσι το κόστος αλλά και η αποτελεσματικότητα ως προς την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας προσιτή προς το περιβάλλον και οικονομική ως τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πρέπει να αναφέρουμε ότι οι υβριδικές καινοτόμες τεχνολογίες είτε εγκαταστέκονται σε μικρής ή μεγάλης εμβέλειας εγκαταστάσεις έχουν ως στόχο την αποδοχή της αποτελεσματικότητας.

Για να επιλέξουμε την ιδανική διαδικασία θα πρέπει να μεριμνήσουμε αν τηρούνται κάποιοι παράγοντες. Η σύνθεση των λυμάτων, η απόδοση, η διαθέσιμη επάρκεια σε γη που υπάρχει. Τα καινούργια συστήματα αποτελούν θετικό αντίτυπο σε μονάδες

βιομηχανίας χαρτιού. Η συνθέτη μορφή των συστημάτων με τα ρεύματα στα λύματα και την οικονομική ανάλυση εσοδών εξόδων λειτουργίας αλλά και συντήρησης. Ακόμη η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιφέρει κάποια έσοδα μέσω της παραγωγής του βιοαερίου γεγονός που εγείρει και το ενδιαφέρον ως προς ποια τεχνολογία θα αξιοποιήσουμε την παραδοσιακή ή θα στραφούμε σε υβριδικά συστήματα βιοαποκατάστασης στην βιομηχανία χαρτιού.

Ανάκτηση πόρων και κατανάλωση ενέργειας

Η χαρτοβιομηχανία σαν παραγωγική διαδικασία καταναλώνει μεγάλο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας γεγονός που την κατατάσσει στην 4^η θέση παγκοσμίως ως άμεσος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας σε βιομηχανίες. Ένα ενεργειακό παράδειγμα αποτελεί η Ταιβάν. Οπού υπήρχε κατακόρυφη αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης πείστηκαν στην εφεύρεση νέων τεχνολογιών που έχουν στόχο την μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος κατά 80 % και επομένως να μειωθεί η κατανάλωση της ενέργειας σε επίπεδο 30-40%. Τεχνικές όπως η χημική παραγωγή χαρτοπολτού η ξήρανση του χαρτιού και η εξάτμιση χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια για να πράξουν θερμότητα στις μονάδες ορυκτών καυσίμων. Που όμως αυτές είναι υπεύθυνες για την αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου μέσω των εκπομπών που παράγουν. Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε κατά την παραγωγική διαδικασία παράγονται απόβλητα από πρώτες ύλες που μπορούν να αξιοποιηθούν στην βιομάζα και να καλύψουν ενεργειακές ανάγκες του εργοστασίου. Επομένως η βιομάζα είναι μια πηγή κάλυψης των ενεργειακών αναγκών

Το σύστημα αναερόβιας χώνευσης έχει την δυνατότητα να μειώσει σε ποσοστό 60% το κόστος επεξεργασίας στην Ευρώπη αλλά και στην Βορειά Αμερική . η αύξηση του κόστους οφείλεται στις φυσικές μεταβολές όπως είναι ο αερισμός των μονάδων βιολογικής επεξεργασίας καθώς αντικατοπτρίζει στο 50% του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Μια βέλτιστη λύση θα μπορούσε να αποτελέσει η διακοπή της χρήσης του οξυγόνου και η αξιοποίηση αναερόβιων διεργασιών. Αν το αναλύσουμε θα δούμε ότι αυτή η λύση θα εμφάνιζε μείωση της ποσότητας της ιλύος κατά 10 φορές λιγότερο ποσοστό ιλύος. Τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης η κατανάλωση ενέργειας δεν είναι ισότιμη. Χαρακτηριστικά τα συστήματα αν κυκλοφορίας έχουν μεγάλη απαίτηση σε ανάγκη ενέργειας καθώς επαναφέρουν τα λύματα ξανά στο σύστημα ώστε να έχουν ομοιογενής ρύθμιση των φορτίων στο σύστημα του αζώτου και του φωσφόρου. Όπως

επίσης και στην δεξαμενή αερισμού οι αεριστές αναλώνουν και αυτοί ηλεκτρική ενέργεια. υψηλή γεγονός που αυξάνουν και αυτοί το κόστος.[65]

Η ανάκτηση των πόρων είναι κάτι σημαντικό για την βιομηχανία καθώς έτσι εξοικονομούνται πόροι και τα αποβλήτων καταλήγουν σε φυσικοχημικές μεθόδους. Η πιο συνήθης είναι η αναερόβια χώνευση όπου η ιλύς ενεργοποιείται γεγονός που με την είσοδο των μικροοργανισμών μπορεί να εισφέρει την παραγωγή βιοαέριου. Η παραγωγή του βιοκαυσίμου μπορεί να επιτευχθεί με απομάκρυνση τοξικών ουσιών σε απόβλητα βιομηχανίας χαρτιού πρέπει να υπάρχει κάποιος μύκητας ώστε να το ενεργοποιήσει. Ακόμη η παραγωγή του μεθανίου ως βιοαέριο στην δευτερογενή επεξεργασία λάσπης στην αναερόβια χώνευση .

Ο φωσφόρος είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην ανάπτυξη των βακτηρίων η είσοδος από έξω των θρεπτικών ουσιών μειώνει την εύρυθμη λειτουργία των πόρων και μειώνει την βιομάζα που απορρίπτεται. όμως μπορεί να ανακτηθεί μέσω της βιομάζας διάμεσο της καθίζησης του αμμωνίου. Συγκεκριμένα ο στρουβίτης δημιουργεί άλατα μαγνησίου που έχουν την ιδιότητα να καθιζάνουν το φωσφόρο στην επεξεργασία των υδάτινων αποβλήτων χαρακτηρίζεται ως λίπασμα καλής ποιότητας. Παρόλο που οι μελέτες έχουν δείξει η χρήση των λιγνινοκυτταρινικών ινών στην αξιοποίηση των βιοκαυσίμων βοηθούν στην απορρόφηση των οργανικών ενώσεων όπως είναι τα φυτοφάρμακα οι διοξίνες τα φουράνια όπως επίσης και ρύποι που προέρχονται από βαρέα μέταλλα όπως το αρσενικό αλλά και ο μόλυβδος.

Βιωσιμότητα οικονομική στην κυκλική οικονομία

Μελλοντική βελτίωση

Είναι γεγονός πως η οικολογική συνείδηση καλλιεργείται στην χαρτοβιομηχανία με απώτερο σκοπό στην μείωση του κόστους και το αυξημένο ενεργειακό αποτύπωμα. Έτσι είναι αναπόφευκτο να πούμε ότι αυτή η καλλιέργεια στρέφει στην οικολογία καθώς η αξιοποίηση των πόρων με σκοπό την καλύτερη περιβαλλοντική ευθύνη. Είναι επόμενος και αντιληπτό ότι οι μεγάλες ποσότητες λυμάτων έχουν υψηλά φορτισμένα με υψηλό BOD και COD. Έτσι η μεγάλη μόλυνση των λυμάτων έστρεψε το ενδιαφέρον σε εύρεση νέων τεχνολογιών πιο φιλικές και αντίστοιχα πιο βιώσιμες ως προς το περιβάλλον. Πρέπει να αναφέρουμε ότι οι φυσικοχημικές που εφαρμόζονται στις αερόβιες αναερόβιες διεργασίες αποτελούν ένα σκαλοπάτι επίλυσης καθώς μειώνουν κατά πολύ το κόστος και το περιβαλλοντικό αντίτυπο. Χαρακτηριστικά τα

μικροβιολογικά έχουν διαπιστωθεί ότι έχουν μεγάλη ανταπόκριση ως προς το περιβάλλον, καθώς στην Ευρώπη έχουν μεγάλη ανταπόκριση. Όμως πρέπει και οι βιομηχανίες να εφευρέσουν τεχνολογίες που θα είναι που θα αποτελέσουν και πόρο ανάκτησης κερδοφορίας νέων τεχνικών. [66]

Συμπέρασμα και προοπτικές για το μέλλον

Στην εποχή της ψηφιοποίησης και των μεταβαλλόμενων τρόπων ζωής, η ζήτηση για χαρτί και η χρήση του, για παράδειγμα, στην εκτύπωση, τη γραφή και τη συσκευασία, δεν έχει μειωθεί, αλλά συνεχίζει να αυξάνεται παράλληλα με τη ζήτηση για προϊόντα υγιεινής από χαρτί. Η παγκόσμια κατανάλωση χαρτιού το 2021 αναμένεται να ανέλθει σε 500 εκατομμύρια τόνους, με περισσότερο από το ήμισυ αυτής της παραγωγής να αποδίδεται στο χαρτί συσκευασίας. Το χαρτί κατατάσσεται ως ανανεώσιμος πόρος και η ανάκτηση είναι ζωτικής σημασίας για τη βιομηχανία χαρτιού. Έτσι, το χαρτί, μεταξύ πολλών υλικών, έχει ένα από τα υψηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης. Η ανάκτηση νερού υπογραμμίζει τη σημασία της ανάκτησης πολύτιμων ενώσεων από τις ροές επεξεργασίας και αποβλήτων στη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού. Η μεγιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης των λευκών υδάτων εξυπηρετεί τόσο οικονομικούς όσο και περιβαλλοντικούς στόχους. Με την κατάλληλη επεξεργασία, τα λευκά ύδατα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για πολλαπλές εφαρμογές εντός του εργοστασίου, συμπεριλαμβανομένης της αραίωσης του πολτού, της λειτουργίας των μηχανημάτων, του καθαρισμού και της προσθήκης

Ωστόσο, δεδομένου ότι οι μεμβράνες πρέπει να χρησιμοποιούνται στις απαιτητικές συνθήκες της διαδικασίας παραγωγής χαρτιού, όπως υψηλές θερμοκρασίες, σε συνθήκες υψηλής αλκαλικότητας ή οξύτητας, ή σε διαλύτες, απαιτούνται περαιτέρω έρευνες για καινοτόμες μεμβράνες που μπορούν να αντέχουν σε αυτές τις συνθήκες χωρίς να χάνουν τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Η μεμβράνη θα πρέπει επίσης να παρουσιάζει χαμηλή τάση για ρύπανση. Επιπλέον, όχι μόνο πρέπει να έχουν στενούς πόρους ή συγκεκριμένη λειτουργικότητα, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν βιομηχανικά, αλλά η καινοτόμος μεμβράνη πρέπει επίσης να είναι οικονομικά προσιτή. Επί του παρόντος, η μηδενική απόρριψη υγρών είναι εφικτή με τη χρήση ενός ολοκληρωμένου συστήματος μεμβρανών, το οποίο αποτελεί συνδυασμό δύο ή περισσότερων τύπων μεμβρανών. Μία από τις πιο σημαντικές μεμβράνες είναι οι καινοτόμες κοίλες ίνες NF χαμηλής πίεσης για την απομάκρυνση χρωστικών, οι οποίες χαίρουν μεγάλης προτίμησης στη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας. Λόγω της υψηλής ροής διαπερατότητας και της εξαιρετικής απόρριψης σε πολύ χαμηλότερη πίεση σε σύγκριση με την κανονική NF, θα μπορούσε ενδεχομένως να εφαρμοστεί στη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού, αντικαθιστώντας πιθανώς τις διεργασίες οξείδωσης. Επιπλέον, για την αποτελεσματική βελτιστοποίηση της απόδοσης της μεμβράνης, θα απαιτούνταν ένα εργαλείο παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Επομένως, η ανάπτυξη μιας τέτοιας συσκευής θα καθιστούσε δυνατή την αποφυγή της ρύπανσης και την τροποποίηση του διαχωρισμού μέσω της αλλαγής των συνθηκών λειτουργίας.

Θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί περαιτέρω η επεξεργασία των λευκών υδάτων από άλλους τύπους παραγωγής χαρτιού. Η παρούσα ανασκόπηση βασίστηκε αποκλειστικά σε χαρτοβιομηχανίες που παράγουν χαρτί από ανακυκλωμένες ίνες, καθώς η παραγωγή αυτή θεωρήθηκε λιγότερο απαιτητική σε σύγκριση με άλλους τύπους παραγωγής χαρτιού. Ως εκ τούτου, οι απαιτήσεις όσον αφορά την εσωτερική επεξεργασία των λευκών υδάτων θα ήταν ριζικά διαφορετικές, συχνά υψηλότερες, για άλλους τύπους παραγωγής. Αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία. Επιπλέον, το κλείσιμο μονάδων παραγωγής χαρτιού υψηλής ποιότητας θα ήταν εφικτό με περαιτέρω έρευνα σχετικά με διαφορετικούς συνδυασμούς διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας νερού. Ανάλογα με την έκταση του κλεισίματος και τα πρότυπα ποιότητας νερού, θα απαιτούνταν περισσότερες από δύο τεχνολογίες. Κάθε τεχνολογία προσφέρει τη δική της μοναδική λειτουργία, αλλά έχει και τους δικούς της περιορισμούς. Ως εκ τούτου, απαιτείται η ανάπτυξη ενός συστήματος διαχείρισης νερού. Το σύστημα θα ενσωματωθεί στο σύστημα παρακολούθησης της μηχανής χαρτιού, επιτρέποντας τον έλεγχο της συνδυασμένης λειτουργίας διαφορετικών μονάδων και τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τον ρυθμό παραγωγής και τις τρέχουσες ποιότητες του νερού σε διάφορα σημεία του συστήματος ύδρευσης. Κατά συνέπεια, το σύστημα θα μπορούσε να ειδοποιεί τον χειριστή εάν ή όταν το σύστημα επεξεργασίας λειτουργεί σε σημείο όπου θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά την παραγωγή χαρτιού. Τα αυξημένα επίπεδα θρεπτικών ουσιών στο ανακυκλωμένο νερό, η ανεπαρκής αποχρωματισμός, η υψηλή συγκέντρωση στερεών ή οργανικών υλικών (χουμικά οξέα, πυριτικό νάτριο, άμυλο κ.λπ.) είναι μερικά από τα παραδείγματα που το σύστημα διαχείρισης νερού θα πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύει. Λόγω του τύπου και της προέλευσης της πρώτης ύλης, καθώς και των χημικών ουσιών και των προσθέτων που χρησιμοποιούνται, η χημική σύνθεση κάθε χαρτοβιομηχανίας είναι μοναδική, γεγονός που δημιουργεί επιπλέον προκλήσεις και απαιτεί την εξατομικευμένη προσαρμογή της βελτιστοποίησης των τεχνολογιών.

Βιβλιογραφία

- [1] Aytac, A., & Korkmaz, M. (2022). An analysis of the world paper industry with a focus on Europe and trade perspective. *Studia Universitatis “Vasile Goldis” Arad – Economics Series*, 32, 24–40.
- [2] Sun, X., Jin, L., Zhou, F., Jin, K., Wang, L., Zhang, X., et al. (2022). Patent analysis of chemical treatment technology for wastewater: Status and future trends. *Chemosphere*, 307, 135802.
- [3] De Feo, G., Mays, L. W., & Angelakis, A. N. (2011). 4.01 – Water and wastewater management technologies in the Ancient Greek and Roman Civilizations. In P. Wilderer (Ed.). *Treatise on Water Science* (pp. 3–22). Oxford: Elsevier.
- [4] Angelakis, A. N., Capodaglio, A. G., & Dialynas, E. G. (2023). Wastewater management: From ancient Greece to modern times and future. *Water*, 15, 43.
- [5] S. Sugesty, T. Kardiansyah, and W. Pratiwi, “POTENSI acacia crassicaarpa sebagai bahan baku pulp kertas untuk hutan tanaman industri,” *JURNAL SELULOSA*, 5 (01) (2015).
- [5] Esmaeeli, A., Sarrafzadeh, M.-H., Zeighami, S., Kalantar, M., Bariki, S. G., Fallahi, A., et al. (2023). A comprehensive review on pulp and paper industries wastewater treatment advances. *Industrial & Engineering Chemistry Research*
- [6] Hämmäläinen, A., Kokko, M., Kinnunen, V., Hilli, T., & Rintala, J. (2022). Hydrothermal carbonization of pulp and paper industry wastewater treatment sludges – Characterization and potential use of hydrochars and filtrates. *Bioresource Technology*, 355, 127258.
- [7] Muhamad, M. H., Abdullah, S. R. S., Mohamad, A. B., Abdul Rahman, R., & Kadhum, A. A. H. (2013). Application of response surface methodology (RSM) for optimisation of COD, NH₃-N and 2,4-DCP removal from recycled paper wastewater in a pilot-scale granular activated carbon sequencing batch biofilm reactor (GAC-SBBR). *Journal of Environmental Management*, 121, 179–190.

- [8] Jagaba, A. H., Kutty, S. R. M., Baloo, L., Birniwa, A. H., Lawal, I. M., Aliyu, M. K., et al. (2022). Combined treatment of domestic and pulp and paper industry wastewater in a rice straw embedded activated sludge bioreactor to achieve sustainable development goals. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100261.
- [9] Man, Y., Han, Y., Wang, Y., Jigeng, Li, Chen, L., Qian, Y., Hong, M., 2018. Woods to goods: water consumption analysis for papermaking industry in China. *J. Clean. Prod.* 195, 1377–1388
- [10] Effect of toxic pollutants from pulp and paper mill on water and soil quality and its remediation
[P Singh, N Srivastava, P Singh, S Geetha, N Usharani... - Int. J. Lakes Rivers, 2019](#)
- [11] Olanrewaju, S., Gustavo, M., 2014. Pulp and paper mill effluent management. *Water Environ. Res* 86, 1535–1544
- [12] Bhowmick, K., 2021. Environmental measures for the recycled pulp and paper mills in zero liquid discharge.
- [13] Miranda, R., Blanco, A., Negro, C., 2009. Accumulation of dissolved and colloidal material in papermaking - Application to simulation. *Chem. Eng. J.* 148, 385–393.
- [14] Mehmood, K., Rehman, S.K.U., Wang, J., Farooq, F., Mahmood, Q., Jadoon, A.M., Javed, M.F., Ahmad, I., 2019. Treatment of pulp and paper industrial effluent using physicochemical process for recycling. *Water* 2019, 1–15
- [15] Lofrano, G., & Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment*, 408, 5254–5264.
- [16] Chapter 6 - Physiochemical methods for pulp and paper wastewater treatment
 Valerio Paolini, Patrizio Tratzi, Valentina Terenzi, Daniele Bianconi
- [17] Patel, K., Patel, N., Vaghamshi, N., Shah, K., Duggirala, S. M., & Dudhagara, P. (2021). Trends and strategies in the effluent treatment of pulp and paper industries: A review highlighting reactor options. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100077.
- [18] Meena, M., Yadav, G., Sonigra, P., & Shah, M. P. (2022). A comprehensive review on application of bioreactor for industrial wastewater treatment. *Letters in Applied Microbiology*, 74, 131–158.
- [19] Meyer, T., Yang, M. I., Nesbø, C. L., Master, E. R., & Edwards, E. A. (2024). Microbial community organization during anaerobic pulp and paper mill wastewater treatment. *ACS ES&T Engineering*, 4(6), 1286–1301.
- [20] Gholami, M., Ghaneian, M. T., Fatemi, S. S., Talebi, P., & Dalvand, A. (2022). Investigating the efficiency of coagulation and flocculation process in wastewater treatment of paper and cardboard recycling industry. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(17), 5860–5872

- [21] Su, W., Chen, C., Xu, H., Yang, W., Dai, H., 2016. Filtering whitewater with an ultrafiltration membrane: Effects of the interaction between dissolved organics and metal ions on membrane fouling. *BioResources* 11, 1108–1124
- [22] Shamsuddin, N., Das, D.B., Starov, V.M., 2015. Filtration of natural organic matter using ultrafiltration membranes for drinking water purposes: Circular cross-flow compared with stirred dead end flow. *Chem. Eng. J.* 276, 331–339
- [23] El-Awady, M.H., El-Ghetany, H.H., Aboelghait, K.M., Dahaba, A.A., 2019. Zero liquid discharge and recycling of paper mill industrial wastewater via chemical treatment and solar energy in Egypt. *Egypt J. Chem.* 62, 37–45
- [24] Bhowmick, K., 2021. Environmental measures for the recycled pulp and paper mills in zero liquid discharge
- [25] Ahammad, S.Z., Sreekrishnan, T.R., 2016. Energy from wastewater treatment. *Bioremediation Bioeconomy* 20, 523–536.
- [26] Hovey, G.R., 2016. Characteristics of biosludge from pulp and paper mills
- [27] Birjandi, N., Younesi, H., & Bahramifar, N. (2016). Treatment of wastewater effluents from paper-recycling plants by coagulation process and optimization of treatment conditions with response surface methodology. *Applied Water Science*, 6, 339–348
- [28] Han, N., Zhang, J., Hoang, M., Gray, S., & Xie, Z. (2021). A review of process and wastewater reuse in the recycled paper industry. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101860
- [29] Zhou, G. J., Lin, L., Li, X. Y., & Leung, K. M. Y. (2020). Removal of emerging contaminants from wastewater during chemically enhanced primary sedimentation and acidogenic sludge fermentation. *Water Research*, 175, 115646.
- [30] Jiang, J., Wang, X., Ren, H., Cao, G., Xie, G., Xing, D., & Liu, B. (2020). Investigation and fate of microplastics in wastewater and sludge filter cake from a wastewater treatment plant in China. *Science of The Total Environment*, 746, 141378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141378>
- [31] Bera, S. P., Godhaniya, M., & Kothari, C. (2022). Emerging and advanced membrane technology for wastewater treatment: A review. *Journal of Basic Microbiology*, 62(3-4), 245–259.
- [32] Mainardis, M., Buttazzoni, M., De Bortoli, N., Mion, M., & Goi, D. (2020). Evaluation of ozonation applicability to pulp and paper streams for a sustainable wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120781
- [33] Ribeiro, J. P., Marques, C. C., Portugal, I., & Nunes, M. I. (2020). AOX removal from pulp and paper wastewater by Fenton and photo-Fenton processes: A real case-study. *Energy Reports*, 6, 770–775
- [34] Khader, E. H., Mohammed, T. J., Albayati, T. M., Harharah, H. N., Amari, A., Saady, N. M. C., & Zendejboudi, S. (2023). Current trends for wastewater treatment

technologies with typical configurations of photocatalytic membrane reactor hybrid systems: A review. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 109503

[35] Savant, D. V., Abdul-Rahman, R., & Ranade, D. R. (2006). Anaerobic degradation of adsorbable organic halides (AOX) from pulp and paper industry wastewater. *Bioresource Technology*, 97, 1092–1104.

[36] Fluidized bed bioreactor for multiple environmental engineering solutions. *ScienceDirect* Accessed 27 July, 2023.

[37] Tetteh, E.K., Rathilal, S., 2018. Application of organic coagulants in water and wastewater treatment. *Organic Polym.* 1, 1–18

[38] Bhowmick, K., 2021. Environmental measures for the recycled pulp and paper mills in zero liquid discharge.

[39] Cai, T., Lin, H., Liu, Z., Chen, K., Lin, Y., Xi, Y., Chhuond, K., 2019. Starch wastewater treatment technology. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 358, 1–6

[40] Song, Z., Li, G., Guan, F., Liu, W., 2018. Application of chitin/chitosan and their derivatives in the papermaking industry. *Polymers* 10, 1–14.

[41] Chaudhari, P.K., Majumdar, B., Choudhary, R., Yadav, D.K., Chand, S., 2010. Treatment of paper and pulp mill effluent by coagulation. *Environ. Technol.* 31, 357–363.

[42] Mehmood, K., Rehman, S.K.U., Wang, J., Farooq, F., Mahmood, Q., Jadoon, A.M., Javed, M.F., Ahmad, I., 2019. Treatment of pulp and paper industrial effluent using physicochemical process for recycling. *Water* 2019, 1–15

[43] Toczyłowska-Mamińska, R., 2017. Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment - a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 78, 764–772

[44] Lier, J.B., Zee, F.P., Frijter, C.T.M.J., Ersahin, M.E., 2015. Celebrating 40 years anaerobic sludge bed reactors for industrial wastewater treatment. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 14, 681–702

[45] Stanbury, P. F., Whitaker, A., & Hall, S. J. (2017). Chapter 11 – Effluent treatment. In P. F. Stanbury, A. Whitaker, & S. J. Hall (Eds.). *Principles of fermentation technology* (pp. 687–723). Oxford: Butterworth-Heinemann 3rd ed.

[46] Ghosh, P., & Thakur, I. S. (2017). Treatment of landfill leachate using fungi: An efficient and cost-effective strategy. In T. Satyanarayana, S. K. Deshmukh, & B. N. Johri (Eds.). *Developments in fungal biology and applied mycology* (pp. 341–357). Singapore: Springer.

[47] Al-Asheh, S., Bagheri, M., & Aidan, A. (2021). Membrane bioreactor for wastewater treatment: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100109.

- [48] Pulp and paper industry wastewater management on JSTOR. (Accessed 27 July 2023).
- [49] Li, Y., & Ma, C. (2015). Circular economy of a papermaking park in China: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 92, 65–74.
- [50] Amândio, M. S. T., Pereira, J. M., Rocha, J. M. S., Serafim, L. S., & Xavier, A. M. R. B. (2022). Getting value from pulp and paper industry wastes: On the way to sustainability and circular economy. *Energies*, 15, 4105.
- [51] Covinich, L.G., Bengoechea, D.I., Fenoglio, R., Area, M.C., 2014. Advanced oxidation processes for wastewater treatment in pulp and paper industry: a review. *Am. J. Environ. Eng.* 4, 56–70
- [52] Izadi, A., Hosseini, M., Darzi, G.N., Bidhendi, G.N., Shariati, F.P., Mosaddeghi, M.R., 2018a. Perspectives on membrane bioreactor potential for treatment of pulp and paper industry wastewater: a critical review. *J. Appl. Biotechnol. Rep.* 5, 139–150
- [53] Su, W., Chen, C., Xu, H., Yang, W., Dai, H., 2016. Filtering whitewater with an ultrafiltration membrane: Effects of the interaction between dissolved organics and metal ions on membrane fouling. *BioResources* 11, 1108–1124
- [54] Liao, B.Q., Bagley, D.M., Kraemer, H.E., Leppard, G.G., Liss, S.N., 2004. A review of biofouling and its control in membrane separation bioreactors. *Water Environ. Res.* 76, 425–436
- [55] Meyer, T., Amin, P., Allen, D.G., Tran, H., 2018. Dewatering of pulp and paper mill biosludge and primary sludge. *J. Environ. Chem. Eng.* 6, 6317–6321
- [56] Liao, B.Q., Bagley, D.M., Kraemer, H.E., Leppard, G.G., Liss, S.N., 2004. A review of biofouling and its control in membrane separation bioreactors. *Water Environ. Res.* 76, 425–436
- [57] Johansson, T., 2012. Application of membrane bioreactors in the pulp and paper industry
- [58] Rathoure, A.K., 2019. Zero liquid discharge treatment systems: prerequisite to industries. *MOJ Ecol. Environ. Sci.* 5, 1–10
- [59] Tsai, Y., Cohen, S., Vogel, R.M., 2011. The impacts of water conservation strategies on water use: four case studies. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 47 (4), 687–701
- [60] Kumar, M., Morya, R., Gupta, A., & Thakur, I. S. (2020). Chapter 3 – Anaerobic biovalorization of pulp and paper mill waste. In N. K. Rathinam, & R. K. Sani (Eds.). *Biovalorisation of wastes to renewable chemicals and biofuels* (pp. 41–61)
- [61] Mishra, T., Ramola, S., Shankhwar, A. K., Rabha, A., & Srivastava, D. R. (2015). Pulp and paper mill effluent treatment by hybrid anaerobic upflow fixed-bed bioreactor combined with slow sand filter. *Desalination and water treatment*, 57.
- [62] Al-Asheh, S., Bagheri, M., & Aidan, A. (2021). Membrane bioreactor for wastewater treatment: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100109.

- [63] Amândio, M. S. T., Pereira, J. M., Rocha, J. M. S., Serafim, L. S., & Xavier, A. M. R. B. (2022). Getting value from pulp and paper industry wastes: On the way to sustainability and circular economy. *Energies*, 15, 4105.
- [64] Leppänen, T., Mustonen, E., Saarela, H., Kuokkanen, M., & Tervonen, P. (2020). Productization of industrial side streams into by-products—Case: Fiber sludge from pulp and paper industry. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6, 185.
- [65] Skouteris, G., Rodriguez-Garcia, G., Reinecke, S. F., & Hampel, U. (2020). The use of pure oxygen for aeration in aerobic wastewater treatment: A review of its potential and limitations. *Bioresource Technology*, 312, 123595.
- [66] Ranade, V. V., & Bhandari, V. M. (2014). Chapter 1 - Industrial wastewater treatment, recycling, and reuse: An overview. In V. V. Ranade, & V. M. Bhandari (Eds.). *Industrial wastewater treatment, recycling and reuse* (pp. 1–80). Oxford: Butterworth-Heinemann.