



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΟΙΝΟΥ, ΑΜΠΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε ζυθοποιεία**

**του φοιτητή**

**ΓΚΟΥΖΙΩΤΗ ΣΤΑΜΑΤΙΟΥ**

**ΑΜ**

**131023**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:**

**ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΣΠΥΡΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2023**



---

**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**SCHOOL OF FOOD SCIENCES**  
**DEPARTMENT OF WINE, VINE & BEVERAGE**  
**SCIENCES**

**BACHELOR THESIS**  
**Wastewater Treatment Facilities in Breweries**

by  
**GKOUZIOTIS STAMATIOS**

**REGISTRATION NUMBER**  
**131023**

**SUPERVISOR**  
**PAPAKONSTANTINOU SPYROS**

**Athens, February, 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΟΙΝΟΥ, ΑΜΠΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ**

**Τίτλος εργασίας**

**Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε ζυθοποιεία**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΓΚΟΥΖΙΩΤΗΣ ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ του ΘΕΟΔΟΣΙΟΥ, με αριθμό μητρώου 131023 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστημών Οίνου Αμπέλου και Ποτών δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επεξεργασία των αποβλήτων ζυθοποιίας αποτελεί ένα σημαντικό μέρος των εγκαταστάσεων παραγωγής μύρας. Αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που προέρχονται από ζυθοποιία. Το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή της μύρας αλλά και για τα επόμενα στάδια όπως η πλύση των φιαλών αποφέρουν μεγάλο όγκο υγρών αποβλήτων όπου χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα οργανικών ρύπων. Μέσα από βιβλιογραφία, αναφέρονται στην παρούσα πτυχιακή οι διεργασίες για την επεξεργασία των λυμάτων ενός ζυθοποιείου οι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας και οικονομικών πόρων καθώς και η διαδικασία καθαρισμού μίας ζυθοποιίας. Γίνεται αναφορά σε τρόπους επαναχρησιμοποίησης του νερού των αποβλήτων αλλά και σε συμβατές μεθόδους προ-επεξεργασίας των λυμάτων μιας ζυθοποιίας για την απομάκρυνση του COD με φυσικούς, χημικούς ή βιολογικούς τρόπους. Η αποτελεσματικότητα τους καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα επισημαίνονται και αξιολογούνται.

## ABSTRACT

Brewery waste treatment is an important part of beer production facilities. The subject of this work is the study of the treatment of liquid waste coming from a brewery. The water used for the preparation of the beer but also for the subsequent stages such as washing the bottles produce a large volume of liquid waste characterized by high levels of organic pollutants. Through bibliography, the processes for the treatment of a brewery's wastewater, the ways to save energy and financial resources as well as the cleaning process of a brewery are mentioned in this thesis. Reference is made to ways of reusing waste water but also to compatible methods of pre-treatment of a brewery's wastewater to remove COD by physical, chemical or biological means. Their effectiveness as well as advantages and disadvantages are highlighted and evaluated.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### Κεφάλαιο 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική αναδρομή.....	10
1.2 Βιομηχανική σημασία της μύρας.....	12
1.3 Διαδικασία παραγωγής ζύθου	
1.3.1 Βυνοποίηση.....	12
1.3.2 Ζυθοποίηση.....	13

### Κεφάλαιο 2 : ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΖΥΘΟΠΟΙΕΙΑΣ

2.1 Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων ζυθοποιίας.....	17
2.1.1 COD.....	18
2.1.2 BOD.....	19
2.1.3 pH.....	24
2.1.4 Άζωτο και φώσφορος.....	24
2.2 Χαρακτηριστικά στερεών αποβλήτων ζυθοποιίας.....	25
2.3 Καταναλώσεις και εκπομπές στην παραγωγή ζύθου.....	26
2.3.1 Κατανάλωση ενέργειας.....	26
2.3.2 Αέριες εκπομπές.....	26
2.4 Μελέτη για την διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης του κατασκευασμένου μικροοργανισμού <i>Hycura</i> στην επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας.....	27

### Κεφάλαιο 3 : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΙΑΣ ΖΥΘΟΠΟΙΕΙΑΣ

3.1 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων και τα στάδιά της .....	35
3.1.1 Προκαταρκτική επεξεργασία.....	36
3.1.2 Πρωτοβάθμια ή πρωτογενή επεξεργασία.....	38
3.1.3 Δευτεροβάθμια ή δευτερογενή επεξεργασία.....	39
3.1.4 Τριτοβάθμια ή τριτογενή επεξεργασία.....	40
3.2 Μέθοδος ενεργούς ιλύος .....	41
3.2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διεργασία της ενεργούς ιλύος.....	42
3.2.2 Κροκίδωση.....	43
3.2.3 Τελική διάθεση λάσπης.....	44
3.2.4 Διαχείριση υγρών αποβλήτων στην Αθηναϊκή ζυθοποιία.....	47
3.3 Βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης Λειτουργιών Ζυθοποιίας (BMP).....	51
3.4 Εγκατάσταση ενός σημείου παρακολούθησης.....	52

3.5 Επιπτώσεις της προ επεξεργασίας στην απομάκρυνση του COD από τα λύματα ζυθοποιίας.....	53
3.5.1 Φυσικές μέθοδοι.....	54
3.5.2 Χημικές μέθοδοι.....	54
3.5.3 Βιολογικοί μέθοδοι.....	55
3.6 SAB Miller's Eden Project.....	57
3.7 Προηγμένη διαδικασία επεξεργασίας οξείδωσης.....	58
3.8 Κατεργασίες με βάση διαφορετικές μεθόδους.....	59
3.9 Συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.....	63
3.9.1 Σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων MBR (Membrane Bio-Reactor).....	63
3.9.2 Μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων τύπου SBR.....	63
3.9.3 Τεχνολογία MBBR.....	66
3.9.4 Τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων-υγρών αποβλήτων MBBR-HYBRID BAS.....	68

#### **Κεφάλαιο 4 : ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ**

4.1 Πιθανοί κίνδυνοι.....	69
4.1.1 Χημικοί κίνδυνοι.....	69
4.1.2 Φυσικοί κίνδυνοι.....	70
4.1.3 Μικροβιολογικοί κίνδυνοι.....	70
4.2 Καθαρισμός της ζυθοποιίας.....	71
4.2.1 Καθαρισμός και απολύμανση.....	71
4.3 Σκοπός της πρόληψης και του περιορισμού της ρύπανσης.....	73
4.4 Βέλτιστες τεχνικές για την πρόληψη της ρύπανσης.....	74
4.5 Βέλτιστες τεχνικές για τον περιορισμό της ρύπανσης.....	78

#### **Κεφάλαιο 5 : ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

5.1 Συστήματα ποιότητας στη ζυθοποιία.....	80
--	----

#### **Κεφάλαιο 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## Κεφάλαιο 7 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΠΙΝΑΚΕΣ

- ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Απομάκρυνση του COD σε σχέση με τον χρόνο.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Καμπύλη BOD (A) και καμπύλη νιτροποίησης (B)
- ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Τιμές BOD διάφορων βιομηχανιών
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ιδιότητες ακατέργαστων λυμάτων ζυθοποιίας
- ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Μεταβολές COD κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας
- ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Μεταβολή του BOD κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Μεταβολή του TSS κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας
- ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Μεταβολή του TK κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας
- ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Μεταβολή του TP κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας
- ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Μεταβολή του pH κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας
- ΠΙΝΑΚΑΣ 11. Χαρακτηριστικά επεξεργασμένων λυμάτων ζυθοποιίας σε σύγκριση με τις οδηγίες του ΠΟΥ για διάθεση.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 12 . Τυπική σύσταση ιλύος πριν και μετά από επεξεργασία
- ΠΙΝΑΚΑΣ 13. Χαρακτηρισμός δειγμάτων λυμάτων των νερών της ζυθοποιίας.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Βέλτιστες δοσολογίες πηκτικού
- ΠΙΝΑΚΑΣ 15. Ανάλυση απόδοσης χλωριούχου σιδήρου
- ΠΙΝΑΚΑΣ 16. Απόδοση πηκτικού
- ΠΙΝΑΚΑΣ 17. Βέλτιστες δοσολογίες κροκιδικών και οι τιμές αποτελεσματικότητας του COD
- Πίνακας 18. Τα 12 βήματα εφαρμογής του συστήματος HACCP

### ΕΙΚΟΝΕΣ

- ΕΙΚΟΝΑ 1. Η πορεία της μύρας
- ΕΙΚΟΝΑ 2. Φιάλη Winkler μμέτρησης του BOD
- ΕΙΚΟΝΑ 3. Εσχάρα τύπου κυλινδρικού τυμπάνου
- ΕΙΚΟΝΑ 4. Δεξαμενή εξισορρόπησης
- ΕΙΚΟΝΑ 5. Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης
- ΕΙΚΟΝΑ 6. Ξέστρα σάρωσης της λάσπης / πριονωτά λούκια υπερχειλίσης
- ΕΙΚΟΝΑ 7. Δεξαμενή πάχυνσης ιλύος
- ΕΙΚΟΝΑ 8. Σύστημα παρακολούθησης για τη δειγματοληψία μόνο των λυμάτων ζυθοποιίας και όχι άλλων πηγών λυμάτων
- ΕΙΚΟΝΑ 9. Compact μονάδα AS-HSBR
- ΕΙΚΟΝΑ 10. Compact μονάδα AS-HSBR
- ΕΙΚΟΝΑ 11. Μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων στο Kigali- Rwanda
- ΕΙΚΟΝΑ 12. Σύστημα MBBR -Προκατασκευασμένες δεξαμενές από χάλυβα
- ΕΙΚΟΝΑ 13. Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ζυθοποιίας Olympic Breweries



ΕΙΚΟΝΑ 14. Τελική καθίζηση

ΕΙΚΟΝΑ 15. Διάγραμμα ροής διεργασιών στην παραγωγή μύρας

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

BOD : Biological Oxygen Demand -Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

BOD5 : Βιοχημικά Απαιτούμενο οξυγόνο πέντε ημερών

COD : Chemical Oxygen Demand - Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο

TSS: Total Suspended Solids -Ολικά αιωρούμενα στερεά

TP:Total Potassium- Ολικός φώσφορος

TS: Total solids - Ολικά στερεά

TN: Total Nitrogen- Ολικό άζωτο

ΠΟΥΥ : Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας

BMP : Best Management Practices - Βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης

DMSP : Σκόνη σπόρων *Detarium microcarpum* (DMSP)

ODSP : Σκόνη αποξηραμένου κελύφους στρειδιών

CW : Constructed Wetlands – Τεχνητοί υδροβιότοποι

AOPs : Advanced oxidation processes – Προηγμένες διαδικασίες οξειδωσης

MF : Μembranes Microfiltration Ultrafiltration (UF)

NF : Μembranes Nanofiltration

MBR : Membrane Bio Reactor – Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών

MBBR : Moving bed biofilm reactor

UASB : Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor – Αντιδραστήρες ανοδικής ροής

MFC : Μικροβιακή κυψέλη καυσίμου

CE : Κουλομβικές αποδόσεις

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

#### Η μύρα στην αρχαιότητα

Ακριβώς το πότε ανακαλύφθηκε ακριβώς η μύρα δεν είναι γνωστό. Οι πρώτες αρχαιολογικές ενδείξεις ζύμωσης αποτελούνται από υπολείμματα μύρας 13.000 ετών. Σήμερα τα παλιότερα αποδεικτικά στοιχεία αξιολογούνται ότι είναι 6000 ετών και αναφέρονται στους Σουμέριους. Αυτοί ανακάλυψαν την ζύμωση κατά τύχη. Πιθανότατα ένα κομμάτι ψωμιού βράχθηκε και ξεχάστηκε. Μετά από λίγο καιρό άρχισε να ζυμώνεται με τη βοήθεια ζυμών του αέρα, και τελικά παράχθηκε μία αλκοολούχος πούλπα. Οι Σουμέριοι επανέλαβαν την παραπάνω διαδικασία και έτσι θεωρούνται ο πρώτος πολιτισμός που παρήγαγε μύρα, την οποία πρόσφεραν στους θεούς τους. Η αυτοκρατορία των Σουμέριων καταστράφηκε τη 2<sup>η</sup> χιλιετία π.Χ. Τότε άρχισε να αναπτύσσεται ο πολιτισμός των Βαβυλώνιων. Και αυτοί γνώριζαν πολύ καλά την τέχνη της μύρας. Παρήγαγαν 20 διαφορετικά είδη μύρας από τα οποία 8 παραγόταν από το φυτό έμμερ, 8 από κριθάρι και 4 από μίγμα σπόρων.

#### Η μύρα στον μεσαίωνα

Η ζυθοποιία από τους πρώτους αιώνες μετά τη γέννηση του Χριστού μέχρι το μεσαίωνα παρέμεινε δουλειά των γυναικών. Όμως κατά το τέλος της 1<sup>ης</sup> χιλιετίας άρχισε η παραγωγή της μύρας να γίνεται και σε μοναστήρια. Ο λόγος που οι μοναχοί ασχολήθηκαν με αυτό το θέμα ήταν επειδή θέλανε ένα γευστικό, θρεπτικό ποτό να σερβίρουν με τα γεύματα τους. Επίσης κατά τη διάρκεια της νηστείας η μύρα επιτρεπόταν και έτσι η παραγωγή της έφτασε σε υψηλά επίπεδα. Αλλά μετά από λίγο καιρό παρήγαγαν μεγαλύτερη ποσότητα από αυτή που χρειαζόντουσαν για τις ανάγκες τους και τελικά άρχισαν το εμπόριο της. Η μύρα τους ήταν υψηλής ποιότητας και έγινε γρήγορα αποδεκτή. Όμως οι ανώτατοι άρχοντες εκείνης της εποχής βλέποντας την κερδοφόρο αυτή επιχείρηση, φορολόγησαν την παραγωγή και το εμπόριο της μύρας. Τα μοναστήρια δυστυχώς δεν είχαν τη δυνατότητα να πληρώσουν τα παράλογα πρόστιμα και τα ζυθοποιία τους άρχισαν να κλείνουν το ένα μετά το άλλο (1368-1437 μ.Χ.). Τα διάφορα βότανα που χρησιμοποιούσαν οι παραγωγοί στη συνταγή τους ήταν συχνά δηλητηριώδη ή προκαλούσαν παραισθήσεις στους καταναλωτές της μύρας τους. Σήμερα γνωρίζουμε ότι διάφορες παραισθησιογόνες ουσίες παράγονται από το βότανο υοσκάμος κατά τη διάρκεια της ζυθοποίησης. Έτσι για την μη επιτυχή παραγωγή της μύρας θεωρούνταν υπεύθυνα κακά πνεύματα. Το μεσαίωνα οι παραγωγοί κρεμούσαν συνήθως σκόρδα και διάφορα φυλαχτά στα βαρέλια τους.

## Η μύρα στην σύγχρονη εποχή

Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα δύο επαναστατικές ανακαλύψεις συμβάλουν στην παραγωγή της μύρας. Η πρώτη ήταν η ατμομηχανή του James Watt, που είχε σαν αποτέλεσμα να πάρει η μύρα το δρόμο της βιομηχανοποίησης. Οι πρώτες βιομηχανίες που χρησιμοποίησαν ατμό αυτοονομάστηκαν βιομηχανίες μύρας ατμού. Ακόμη, το 1835 ο πρώτος Γερμανικός σιδηρόδρομος ένωνε τη Nurnmberg και το Furth. Αυτό είναι σημαντικό και το αναφέρουμε γιατί τα πρώτα αγαθά που μεταφέρθηκαν ήταν 2 βαρέλια μύρας.

Η δεύτερη ανακάλυψη αυτού του αιώνα ήταν η τεχνητή ψύξη από τον Carl von Linde. Εκείνη την εποχή είχε ήδη επιστημονικά αποδειχθεί ότι η παραγωγή καλής ποιότητας μύρας απαιτούσε συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Αυτές επιτυγχάνονταν μόνο το χειμώνα ή σε βαθιά κελάρια με χρησιμοποίηση μεγάλων ποσοτήτων πάγου. Έτσι μετά την ανακάλυψη του Linde η μύρα μπορούσε να παραχθεί ανεξαρτήτως εποχής. Το πρώτο σύστημα ψύξης δοκιμάστηκε σε ένα ζυθοποιείο του Μονάχου. Το 19<sup>ο</sup> αιώνα έγιναν πολλές σημαντικές έρευνες σχετικά με τη μύρα. Η πιο σημαντική απ' αυτές ήταν του Louis Pasteur ο οποίος το 1854 άρχισε να διδάσκει στο πανεπιστήμιο της Γαλλικής πόλης Lille.

Τελικά διαπίστωσε ότι ενώ η επιθυμητή παραγωγή της αλκοόλης γινόταν από τις ζύμες, ανεπιθύμητα προϊόντα της ζύμωσης οφείλονταν στη δράση άλλων οργανισμών, όπως τα βακτήρια. Σαν λύση στο πρόβλημα πρότεινε τη θέρμανση του ζύθου σε υψηλές θερμοκρασίες, έτσι ώστε να θανατωθούν τα ανεπιθύμητα βακτήρια. Την ίδια λύση πρότεινε και για το ξίνισμα του γάλακτος, δηλαδή τη διαδικασία που ονομάζουμε σήμερα «παστερίωση» (pasteurization). Μια άλλη μεγάλη ανακάλυψη σχετικά με την μύρα βγήκε μέσα από τη δουλειά του Christian Hansen.

Ο Δανός αυτός επιστήμονας απομόνωσε με επιτυχία ένα κύτταρο ζύμης, με το οποίο παρήγαγε καθαρή καλλιέργεια ζυμών. Με τον τρόπο αυτό η ζύμωση της μύρας βελτιώθηκε και η γεύση της τελειοποιήθηκε. Τέλος το 1964 τα ξύλινα βαρέλια αντικαταστάθηκαν από μεταλλικά. Αυτό έγινε γιατί το καθάρισμα, το γέμισμα, το κλείσιμο και το σφράγισμα ήταν πολύ πιο απλά.

## 1.2 Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΠΥΡΑΣ

Η μύρα κατέχει σήμερα ένα τεράστιο κομμάτι στη βιομηχανία αλκοολούχων ποτών. Η βιομηχανία παραγωγής μύρας είναι σήμερα πολύ ανεπτυγμένη, περιλαμβάνοντας αρκετές και οικονομικά ισχυρές εταιρείες, αλλά και πολλές χιλιάδες μικρών ζυθοποιείων, από μπαρ μέχρι τοπικά ζυθοποιεία. Η βιομηχανία ζυθοποιίας αποτελεί ένα εξαιρετικά σημαντικό οικονομικό κλάδο κάθε χώρας καθώς η μύρα είναι το πέμπτο πιο καταναλισκόμενο ποτό στον κόσμο πίσω από το τσάι, τα αναψυκτικά, το γάλα και τον καφέ. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, όπου βρίσκονται περίπου 7367 Ζυθοποιεία μεταξύ των οποίων και οι έδρες μερικών από τις μεγαλύτερες Ζυθοποιείες στο κόσμο παρήγαγε το 2015, 395 εκατομμύρια εκατόλιτρα μύρας. Είναι ο 2ος μεγαλύτερος παραγωγός μύρας στο κόσμο μετά από τη Κίνα.

Η μύρα αποτελεί ένα ζυμωμένο υδατικό διάλυμα αλεσμένου κριθαριού και μαγιάς, το οποίο αρωματίζεται με λυκίσκο. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τα τέσσερα βασικά συστατικά για την παραγωγή της μύρας τα οποία είναι το νερό, το κριθάρι, η μαγιά και ο λυκίσκος. ([www.ellinikienosizithopoion.gr](http://www.ellinikienosizithopoion.gr))

## 1.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΥΘΟΥ

Η μέθοδος παραγωγής μύρας είναι παρόμοια για τα περισσότερα ζυθοποιεία. Όταν παρατηρούνται κάποιες διαφορές, εξαρτώνται συνήθως από παράγοντες όπως ο τύπος μύρας που παράγεται και το πόσο μεγάλο ή μικρό είναι το ζυθοποιείο. Τα μικρότερα ζυθοποιεία παράγουν μόνο μύρα από βυνοποιημένο κριθάρι για να δώσουν μια ισχυρότερη γεύση, ενώ η βιομηχανική παραγωγή μύρας παράγεται από ένα συνδυασμό βύνης και αραβοσίτου. Τα στάδια παραγωγής της μύρας είναι η βυνοποίηση, η ζυθοποίηση, η ζύμωση και η εμφιάλωση.

### 1.3.1 Βυνοποίηση

Κατά το στάδιο της βυνοποίησης το κριθάρι καθαρίζεται, διαβρέχεται, αφήνεται να βλαστήσει και τελικά σχηματίζονται ένζυμα που διασπούν το άμυλο. Στη συνέχεια ακολουθεί ξήρανση με θερμό αέρα με αποτέλεσμα την παραγωγή της βύνης.

Αρχικά το κριθάρι διαβρέχεται με νερό, το οποίο έχει ήδη αεριστεί. Το νερό διαβροχής ανανεώνεται 4 με 5 φορές. Όταν η υγρασία φθάσει σε ποσοστό 45%, τότε το κριθάρι αφήνεται για περίπου 4 με 6 ημέρες για να βλαστήσει. Κατά τη διαδικασία της βλάστησης παράγονται ένζυμα, τα οποία προκαλούν τη διάσπαση του αμύλου (α-αμυλάση και β-αμυλάση), πρωτεάσες και κυτάσες. Οι αμυλάσες διασπούν μέρος του αμύλου του κριθαριού, οι πρωτεάσες διασπούν μέρος των πρωτεϊνών σε αμινοξέα και οι κυτάσες μαλακώνουν το κυτταρικό τοίχωμα. Η θερμοκρασία βλάστησης είναι 15-18°C. Όταν το μήκος του ριζιδίου φθάσει περίπου το μέγεθος του σπόρου, διοχετεύεται θερμός αέρας, που ξηραίνει τους σπόρους και σταματάει τη βλάστηση. Οι ξηροί σπόροι του κριθαριού ύστερα από τη βλάστηση ονομάζονται βύνη. Τέλος η θερμοκρασία ξήρανσης επηρεάζει την ποιότητα της μύρας και καθορίζει το χρώμα της. Οι ξανθές μύρες, παράγονται από τη βύνη που θερμάνθηκε μέχρι τους 65-85 °C, ενώ στις μαύρες μύρες, η θερμοκρασία της βύνης είναι 105°C ίσως και μεγαλύτερη.

### 1.3.2 Ζυθοποίηση

Η διαδικασία ζυθοποίησης περιλαμβάνει το άλεσμα, την ανάμιξη, την διήθηση, το βρασμό, την ψύξη, τη ζύμωση με μαγιά, την ωρίμανση (σίτευση), την παστερίωση και τη συσκευασία. Η διαδικασία της **ζυθοποίησης** περιλαμβάνει **6** σημαντικά στάδια:

#### Ανάμιξη

Ποσότητα βύνης αλέθεται και αναμιγνύεται με νερό, σε ειδική δεξαμενή, για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Το σακχαροδιάλυμα που προκύπτει από την ανάμιξη αυτή ονομάζεται γλεύκος.

#### Διήθηση

Το γλεύκος διηθείται, με στόχο την επίτευξη διαύγασης. Η διήθηση πραγματοποιείται σε ειδικές δεξαμενές, με διάτρητο πυθμένα και σύστημα ανάδευσης αποτελούμενο από περιστρεφόμενα μαχαίρια. Κατά τη διαδικασία της διήθησης, δημιουργείται ένας πλακούντας ορισμένου πάχους στον πυθμένα της δεξαμενής, αποτελούμενος από φλοιούς βύνης και αδιάλυτες καθιζάνουσες πρωτεΐνες. Ο φλοιός αυτός αποτελεί το βασικό φίλτρο κατά τη διήθηση του ζυθογλεύκους.

## **Βρασμό**

Κατά την διάρκεια του βρασμού αποστειρώνεται το ζυθογλεύκος, απενεργοποιείται η δράση των ενζύμων και αναπτύσσεται το χρώμα, καθώς και το γευστικό και αρωματικό προφίλ. Παράλληλα, συμπυκνώνεται το ζυθογλεύκος, λόγω της εξάτμισης του νερού, πραγματοποιείται η ισομερίωση και η εκχύλιση των ουσιών που περιέχονται στο λυκίσκο, σχηματίζονται και καταβυθίζονται συμπλέγματα πρωτεϊνών και πολυφαινολών, απομακρύνονται πτητικές, ανεπιθύμητες ουσίες, σταθεροποιώντας τη γεύση και τα αρώματα. Τέλος, τα υπολείμματα του λυκίσκου και οι κροκιδωμένες κατά τον βρασμό πρωτεΐνες απομακρύνονται από το βρασμένο γλεύκος, ενώ το διαυγές γλεύκος ψύχεται, περνώντας από εναλλάκτη θερμότητας και οδηγείται προς τη δεξαμενή ζυμώσεως.

## **Ζύμωση**

Μία σημαντική διαδικασία, όπου προστίθεται μαγιά και διοχετεύεται αέρας στο γλεύκος, στην πορεία του προς τη δεξαμενή ζυμώσεως, στην οποία πραγματοποιείται η αλκοολική ζύμωση, υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, διαρκώντας από 5 έως 9 ημέρες. Η θερμοκρασία ζύμωσης διατηρείται στους 4-9 °C για τις βυθοζύμες και στους 15-20°C για τις αφροζύμες. Τα κύτταρα της ζύμης διπλασιάζονται περίπου τρεις φορές και τελικά ο πληθυσμός της ζύμης καταλήγει να είναι 7 φορές μεγαλύτερος από το πληθυσμό που προστέθηκε αρχικά. Όταν ο πολλαπλασιασμός σταματήσει σημαίνει ότι το οξυγόνο έχει καταναλωθεί και στο στάδιο αυτό οι ζύμες αρχίζουν να αναπτύσσονται σε αναερόβιο περιβάλλον με αποτέλεσμα την παραγωγή αλκοόλης και διοξειδίου του άνθρακα. Με την ολοκλήρωση της ζύμωσης, η μαγιά καθιζάνει στον κώνο της δεξαμενής, συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται, ενώ το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα συλλέγεται και υφίσταται συμπίεση και υγροποίηση, ενώ στη συνέχεια αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί κατά την ενανθράκωση της μπύρας.

## **Σίτευση/ωρίμανση**

Μετά τη ζύμωση απομακρύνονται οι ζύμες με διήθηση και το διαυγές διήθημα που παίρνουμε αποθηκεύεται κάτω από συνθήκες ψύξης για αρκετές εβδομάδες μέχρι να ωριμάσει. Από την 8η ως την 10η ημέρα η ζυωρή ζύμωση σταματάει εντελώς και η μπύρα μεταφέρεται σε δοχεία παραμονής, στα οποία πραγματοποιείται μια βραδεία συμπληρωματική ζύμωση (μεταζύμωση) και η ωρίμανση της μπύρας.

Η μπύρα αποκτά το τελικό της γευστικό προφίλ, μέσω της ψύξης της στους -1 με 0°C και μέσω της μεταζύμωσης, που βελτιώνει την μη ωριμασμένη μπύρα, αυξάνοντας την περιεκτικότητά της σε διοξείδιο του άνθρακα. Η μεταζύμωση γίνεται από τους ζυμομύκητες που έχουν παραμείνει από την κύρια ζύμωση. Κατά το διάστημα ωρίμανσης της μπύρας πραγματοποιείται ο σχηματισμός ουσιών που βελτιώνουν το άρωμα και τη γεύση.

## **Φιλτράρισμα**

Απομακρύνονται υπολείμματα μαγιάς, καθώς και διάφορες άλλες ουσίες που επηρεάζουν την ποιότητα της μύρας, ενώ ρυθμίζεται η ακριβής συγκέντρωση του ανθρακικού και η πυκνότητά της. Στη συνέχεια, η διαυγής πλέον μύρα οδηγείται προς το τμήμα εμφιάλωσης και συσκευασίας.

### **Συσκευασία**

Η μύρα συσκευάζεται σε φιάλη, αλουμινένιο κουτί και βαρέλι, ενώ η διαδικασία της συσκευασίας περιλαμβάνει:

#### **Τον καθαρισμό των φιαλών/βαρελιών ή το ξέπλυμα των κουτιών**

Υπάρχουν δυο είδη καθαρισμού, ο μηχανικός και ο βιολογικός. Ο μηχανικός καθαρισμός μπορεί να θεωρηθεί επιτυχής, όταν οι φιάλες καλύπτονται από ένα συνεχές φιλμ νερού. Ο βιολογικός καθαρισμός μπορεί να θεωρηθεί επιτυχής, όταν όλοι οι μικροοργανισμοί εξουδετερωθούν και απομακρυνθούν. . Μετά τον καθαρισμό περνάμε στον οπτικό έλεγχο της κατάστασης των φιαλών. Το στάδιο του καθαρισμού των φιαλών είναι πολύ σημαντικό, καθώς ο χρόνος ζωής της μύρας εξαρτάται από το πόσο καθαρές είναι οι φιάλες.

Το γέμισμα των φιαλών ακολουθεί αεροστεγές κλείσιμο. Κατά το γέμισμα, θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα, ώστε η μύρα να μην έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Επιπλέον ρυθμίζεται η περιεκτικότητά της σε διοξείδιο του άνθρακα. Η εμφιάλωση πρέπει να γίνεται με γρήγορους ρυθμούς και χωρίς ζημιές, οπότε χρησιμοποιείται η εμφιάλωση με ανάστροφη πίεση.

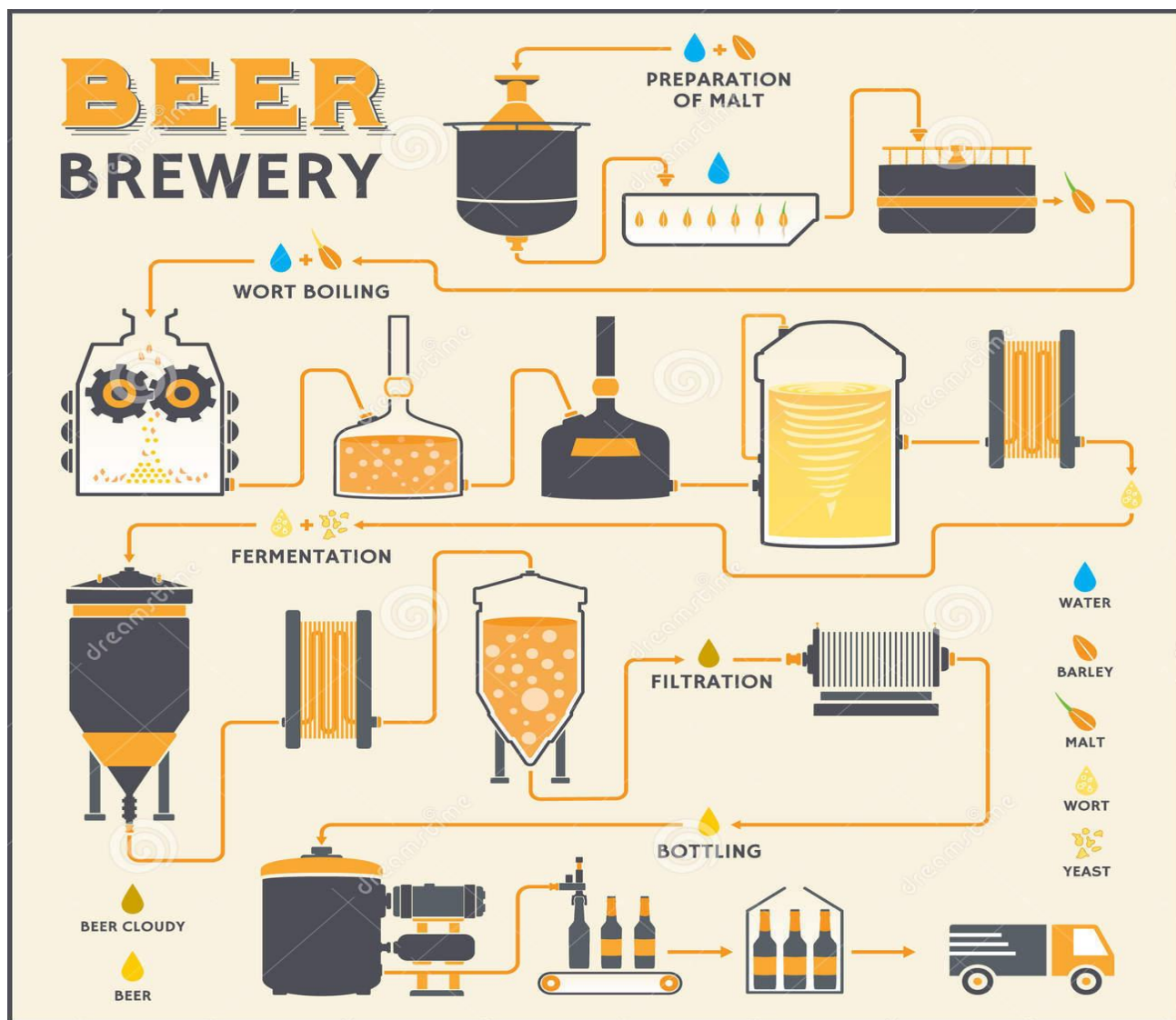
### **Την παστερίωση**

Η παστερίωση έχει ως σκοπό να μεγαλώσει τον χρόνο διατήρησης αλλάζοντας όμως σημαντικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της μύρας. Κατά την παστερίωση η μύρα θερμαίνεται για σύντομο χρονικό διάστημα σε υψηλή θερμοκρασία προκειμένου να αδρανοποιηθούν οι μικροοργανισμοί που επέζησαν από τη διεργασία της ζύμωσης. Παρόλα αυτά, η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί φυσικοχημικές αντιδράσεις στα συστατικά της με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση του αρώματος και της γεύσης. Η μέθοδος της παστερίωσης διαρκεί για μισή έως μία ώρα στους 60°C.

### **Την προσθήκη της ετικέτας στις φιάλες**

#### **Αποθήκευση**

Μετά τη συσκευασία της, η μύρα αποθηκεύεται σε συνθήκες που διασφαλίζουν την υψηλή της ποιότητα και ακολουθεί η διανομή της. (Νεράντζης, Η., Ταταρίδης, Π. & Κεχαγιά, Δ., 2014. Τεχνολογίες βύνης και ζύθου. Αθήνα: Εκδόσεις Έμβρυο.)



ΕΙΚΟΝΑ 1. Η πορεία της μύρας ΠΗΓΗ: Google images

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΖΥΘΟΠΟΙΕΙΑΣ



Στη βιομηχανία της μύρας χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες νερού από το οποίο το μεγαλύτερο μέρος αποβάλλεται στο σύστημα υγρών αποβλήτων. Στην Ελλάδα, η κατανάλωση ανέρχεται περίπου στα 9 κυβικά νερού ανά τόνο μύρας. Η χρήση του νερού κατανέμεται ως εξής: παρασκευή μύρας 20 %, καθαριότητα 45 %, νερό ψύξης 11 %, άλλες χρήσεις 24 %. Τα περισσότερα υγρά απόβλητα παράγονται κατά τη διαδικασία της εμφιάλωσης (περίπου 60%) και την επεξεργασία της βύνης (25%).

Το μεγαλύτερο οργανικό φορτίο προέρχεται από τη ζύμωση της μύρας και την επεξεργασία της βύνης. Το ΡΗ εξαρτάται από τα χημικά που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των φιαλών.

Τα απόβλητα της ζυθοποιίας χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα οργανικών ρύπων που απαιτούν επεξεργασία πριν από την απόρριψη ή την αξιοποίηση τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, πολλοί ζυθοποιοί αναζητούν τρόπους για να μειώσουν τη χρήση νερού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παρασκευής ζύθου και στη συνέχεια να εξασφαλίσουν οικονομικά αποδοτική και ασφαλή επεξεργασία των αποβλήτων ζυθοποιίας για επαναχρησιμοποίηση ή περαιτέρω αξιοποίηση τους.

## **2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΖΥΘΟΠΟΙΑΣ**

Στην παραγωγική διαδικασία βλέπουμε ότι μεγάλες ποσότητες νερού καταναλώνονται κατά τη διάρκεια της παρασκευής της μύρας. Το εκάστοτε ζυθοποιείο απορρίπτει μεγάλες ποσότητες ρυπογόνων αποβλήτων καθ' όλη την διάρκεια μιας χρονιάς. Τα απόβλητα διαφέρουν και ποσοτικά αλλά και ποιοτικά ανάλογα από ποια διαδικασία/ στάδιο προέρχονται. Για παράδειγμα, το καθάρισμα των φιαλών δίνει μεγάλο όγκο αποβλήτων, αλλά περιέχει μικρό μέρος από το σύνολο των οργανικών ουσιών που απορρίπτονται από τις διεργασίες της ζυθοποιίας. Τα απόβλητα από τη ζύμωση και το φιλτράρισμα αντίθετα είναι υψηλά σε οργανικές ουσίες αλλά αποδίδουν μικρότερο όγκο υγρών αποβλήτων.

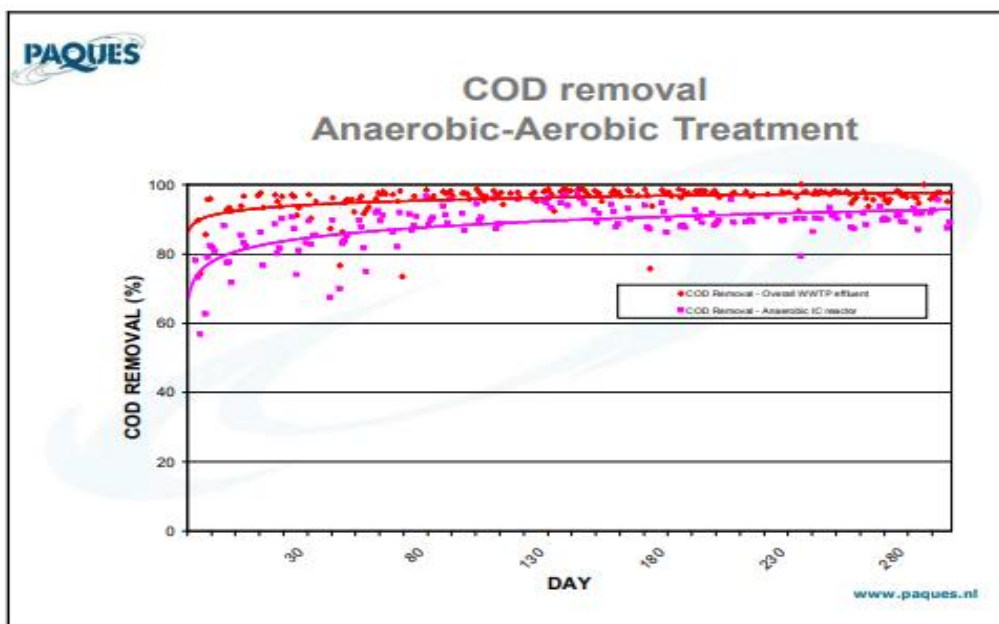
Τα απόβλητα της ζυθοποιίας έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά. Για αυτό τον λόγο η απόρριψη τους σε δημόσια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων έχει εκτός από μεγάλο κόστος αλλά και ως πηγή ανησυχίας για τους αποδέκτες των επόμενων σταδίων της αλυσίδας. Η συγκέντρωση οργανικού υλικού συνήθως μετριέται ως η χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) ή η βιολογική ζήτηση οξυγόνου (BOD).

### **2.1.1 COD**

Ως χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) ορίζεται η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η

οξειδωση πραγματοποιείται με ένα ισχυρό χημικό οξειδωτικό μέσο σε συνθήκες όξινης και υψηλή θερμοκρασία παρουσία καταλύτη, ένα αξιόπιστο οξειδωτικό μέσο για αυτό το σκοπό θεωρείται το διχρωμικό κάλιο. Τα υγρά απόβλητα ζυθοποιίας έχουν συνήθως υψηλή χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) από οργανικά συστατικά όπως για παράδειγμα τα σάκχαρα, το διαλυτό άμυλο και την αιθανόλη.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Απομάκρυνση του COD σε σχέση με τον χρόνο. ΠΗΓΗ [www.paques.nl](http://www.paques.nl)**



Από την ποσότητα του διχρωμικού καλίου που χρησιμοποιήθηκε υπολογίζεται το COD. Το COD τεστ είναι απαραίτητο για την μέτρηση του οργανικού φορτίου βιομηχανικών αποβλήτων που περιέχουν ουσίες τοξικές στην βιολογική ζωή. Η τιμή του COD είναι πάντοτε υψηλότερη απ΄ αυτή του BOD αφού περισσότερες ενώσεις μπορούν να οξειδωθούν χημικά παρά βιολογικά.

Το τεστ για να θεωρηθεί πλήρες απαιτεί 4 ώρες περίπου αλλά αυτός ο χρόνος μπορεί να μειωθεί και σε 1 ώρα περίπου κατά την χρήση του για μετρήσεις ρουτίνας στις εγκαταστάσεις καθαρισμού. Κατά την μέτρηση του COD είναι δυνατόν να οξειδωθούν και μερικές ανόργανες ενώσεις καθώς επίσης είναι δυνατόν να μην οξειδωθούν όλες οι οργανικές ενώσεις π.χ οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες.

Η μέτρηση του COD σε συνδυασμό με τη μέτρηση του BOD μπορεί να αποτελέσει ένδειξη για την ύπαρξη τοξικών συνθηκών και την παρουσία οργανικών ουσιών που δεν βιοαποικοδομούνται. Ο λόγος COD/BOD5 αποτελεί έναν δείκτη τοξικότητας του αποβλήτου. Όσο ο λόγος αυτός πλησιάζει στην μονάδα τόσο το απόβλητο είναι εύκολα

βιοαποικοδομήσιμο και επομένως ενδείκνυται μία βιολογική επεξεργασία του αποβλήτου (ήπια οξείδωση), ενώ όσο ο λόγος απομακρύνεται από τη μονάδα τόσο το απόβλητο γίνεται και πιο δύσκολο σε μία βιολογική επεξεργασία. Στη περίπτωση αυτή πιθανώς μία χημική οξείδωση (ισχυρά οξείδωση), σαν μέθοδος προ επεξεργασίας του αποβλήτου, μπορεί να βελτιώσει τον λόγο αυτόν.

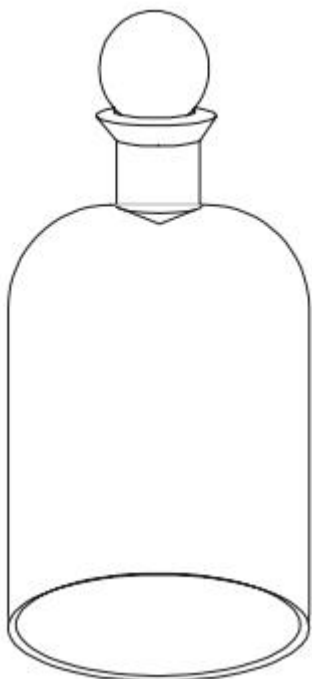
Η ανάλυση του COD προτιμάται πολύ συχνά στον έλεγχο των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους, διότι μπορεί να δώσει γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελέσματα. **(Βλυσίδης Απόστολος Καθηγητής ΕΜΠ- ΑΘΗΝΑ 2007 )**

### 2.1.2 BOD

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) είναι παράμετρος που χρησιμοποιείται συχνά για τον καθορισμό του οργανικού ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων, καθώς μετράει έμμεσα τις οργανικές ενώσεις που διασπώνται βιολογικά, δίνοντας μία χρήσιμη ένδειξη για την απομάκρυνση οργανικού φορτίου που αναμένεται να προκύψει με τη χρήση βιολογικών μεθόδων. Σαν βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο, ορίζεται η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από τους αερόβιους μικροοργανισμούς του περιβάλλοντος για την βιοοξείδωση ενός λίτρου αποβλήτου στην θερμοκρασία των 20°C .

Η θερμοκρασία του νερού στα υγρά απόβλητα συνήθως είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος εξαιτίας προσθήκης ζεστού νερού κατά τη χρήση. Η σπουδαία αυτή παράμετρος είναι σε θέση να επηρεάσει την ταχύτητα των χημικών και βιοχημικών αντιδράσεων κατά την επεξεργασία, την καταλληλότητα του για παραγωγικές χρήσεις, αλλά και να δημιουργήσει στρωματώσεις στους αποδέκτες επηρεάζοντας έτσι την υδρόβια ζωή. Η θερμοκρασία συνήθως κυμαίνεται από 25 °C έως 38 °C, αλλά μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία.

Η μέθοδος μέτρησής του BOD περιλαμβάνει την τοποθέτηση γνωστής ποσότητας αποβλήτων, αραιωμένη με ειδικά προετοιμασμένο νερό, σε ειδικές για το BOD φιάλες των 300ml όπως φαίνεται στην εικόνα 2 . Στη φιάλη αυτή προστίθενται κατάλληλα προσαρμοσμένοι στο απόβλητο μικροοργανισμοί, για τον “εμβολιασμό” του δείγματος, εάν δεν υπάρχουν αρκετοί στα απόβλητα. Το νερό της αραιώσης που περιέχει ρυθμιστικό διάλυμα (pH 7.2), θειικό μμαγνήσιο, χλωριούχο ασβέστιο και τριχλωριούχο σίδηρο, είναι κορεσμένο σε διαλυμένο οξυγόνο.



**ΕΙΚΟΝΑ 2. Φιάλη Winkler μέτρησης του BOD. ΠΗΓΗ Δήμου Χαραλαμπία, 2018**

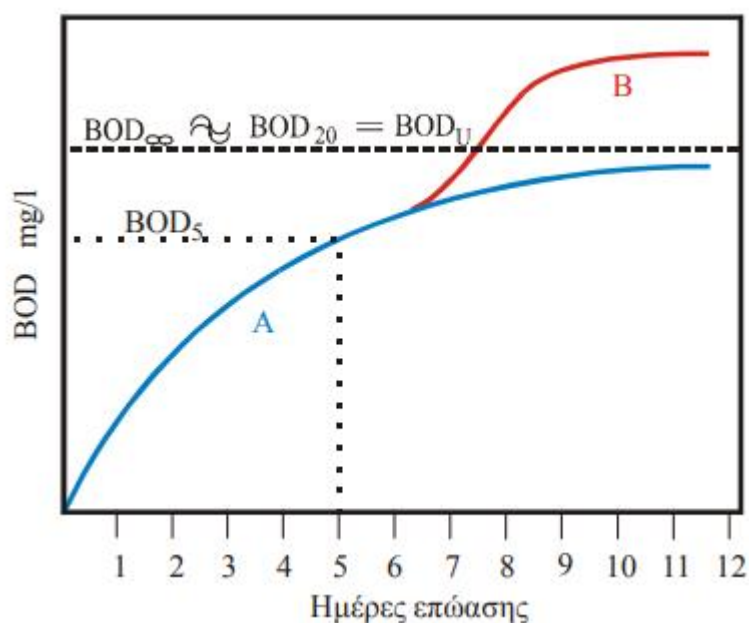
Το οργανικό φορτίο (περιεχόμενο) των αποβλήτων, χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς, σαν θρεπτικό υπόστρωμα το δε νερό αραίωσης προσφέρει το απαραίτητο οξυγόνο για τις βιοαντιδράσεις. Η πρωτογενής αντίδραση περιλαμβάνει τον μεταβολισμό του οργανικού υλικού από τα βακτήρια με κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου και παράλληλη έκλυση  $\text{CO}_2$  καθώς επίσης και ουσιαστική αύξηση του πληθυσμού των βακτηρίων. Η δευτερογενής αντίδραση είναι μια αντίδραση κατανάλωσης των βακτηρίων από τα πρωτόζωα χρησιμοποιώντας το διαλυμένο οξυγόνο. Στις συνθήκες μέτρησης του BOD η δευτερογενής αντίδραση δεν προλαβαίνει να αναπτυχθεί διότι ο χρόνος επώασης είναι μικρός καθώς επίσης και οι συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ελαττώνεται γρήγορα κάτω από το όριο ανάπτυξης των πρωτόζωων.

Η τελική μείωση του διαλυμένου οξυγόνου που χρησιμοποιείται στην φιάλη δοκιμής εξαρτάται άμεσα από τις ποσότητες των βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλικών. Το BOD των αποβλήτων όταν ήδη υπάρχουν μικροοργανισμοί και δεν χρειάζεται πρόσθετη “σπορά” απ’ αυτούς, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση

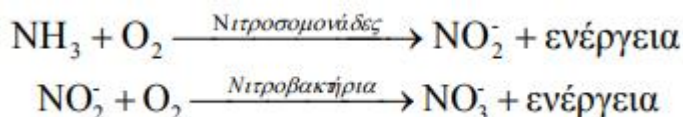
$$\text{mg BOD/l} = \frac{\text{mg/l αρχικού DO} - \text{mg/l τελικό DO}}{\frac{\text{ml δείγματος}}{\text{ml όγκου φιάλης Winkler}}}$$

όπου: DO = συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου Η πρότυπη μέτρηση έχει μια περίοδο εκκόλαψης 5 ημερών στους 20°C. Για την μέτρηση του έχει μια περίοδο εκκόλαψης 5 ημερών στους 20oC. Για την μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου χρησιμοποιούνται μερικές μέθοδοι παραλλαγές της βασικής μεθόδου Winkler. Μια τυπική καμπύλη BOD ή κατανάλωσης οξυγόνου δίδεται στον πίνακα 2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Καμπύλη BOD (A) και καμπύλη νιτροποίησης (B) ΠΗΓΗ Δήμου Χαραλαμπία, 2018**



Η οριακή τιμή της καμπύλης A (καμπύλη BOD) αντιστοιχεί στην κατανάλωση οξυγόνου για άπειρες ημέρες επώασης η οποία προσεγγίζεται πρακτικά σε είκοσι ημέρες και ισχύει:  $BOD_{\infty} \approx BOD_{20} = BOD_u$  Η (B) καμπύλη του πίνακα 2 παριστάνει το απαιτούμενο οξυγόνο για τις αντιδράσεις νιτροποίησης που μπορούν να συμβούν κατά τη διάρκεια του πειράματος αν υπάρχουν στο δείγμα και βακτηρίδια νιτροποίησης όπως φαίνεται στις παρακάτω εξισώσεις:



Ευτυχώς η ανάπτυξη των βακτηρίων νιτροποίησης καθυστερεί απ' αυτή των μικροοργανισμών που επιτελούν την βιοαποικοδόμηση του οργανικού άνθρακα (Α τμήμα της καμπύλης BOD). Η διαδικασία νιτροποίησης ουσιαστικά αρχίζει μετά τις 7-8 ημέρες, και αυτό το γεγονός αποτελεί έναν ακόμη λόγο για την επιλογή του χρόνου των 5 ημερών σαν περίοδο επώασης για την μέτρηση του BOD. Ένας άλλος λόγος, της επιλογής του χρόνου των 5 ημερών, ήταν ότι το BOD5 έχει πειραματικά αποδειχθεί ότι αποτελεί σημαντικό ποσοστό του ολικού BOD και κυμαίνεται για περιπτώσεις πολλών βιομηχανικών αποβλήτων στα 70-80% του τελικού BOD

Κατά τη μέτρηση του BOD μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί:

- α) στη σωστή εξουδετέρωση των αποβλήτων
- β) στην προσθήκη κατάλληλα προσαρμοσμένης μικροβιακής καλλιέργειας στις φιάλες μέτρησης, και
- γ) στην χρησιμοποίηση ικανοποιητικής αραίωσης ούτως ώστε να εξαλειφθεί η αρνητική επίδραση κάθε πιθανής τοξικότητας και να πετύχουμε έτσι τη μέγιστη τιμή BOD.

Βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν άλλα τοξικά συστατικά απαιτούν ειδική μελέτη και προ κατεργασία. Σε ακραίες περιπτώσεις όπου δεν μπορεί να αναπτυχθεί μία τεχνική για την εξουδετέρωση της τοξικής ουσίας, πρέπει να εγκαταλείψουμε την δοκιμή BOD και να την αντικαταστήσουμε με ανάλυση του COD.

Οι μετρήσεις BOD έχουν σπουδαία εφαρμογή στην επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων. Είναι το κύριο τεστ που εφαρμόζεται για να προσδιοριστεί η απαίτηση των βιομηχανικών αποβλήτων σε οξυγόνο για την βιολογική αποικοδόμησή τους. Τα βιομηχανικά απόβλητα έχουν συχνά εξαιρετικά υψηλές τιμές BOD.

Γενικά υπολογίζεται ότι μία μέση τιμή του BOD οργανικών βιομηχανικών απορροών, όταν συνδυάζονται διάφορα ρεύματα νερών από την βιομηχανική εγκατάσταση- νερά βιομηχανικής κατεργασίας, νερά για ξέπλυση είναι της τάξεως των 3500 mg/lt δηλαδή μεγαλύτερη πάνω από 10 φορές της τιμής ενός οικιακού λύματος. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ενδεικτικά, τιμές BOD αποβλήτων από διάφορες βιομηχανίες.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Τιμές BOD διάφορων βιομηχανιών. ΠΗΓΗ Δήμου Χαραλαμπία, 2018**

Πηγή αποβλήτων	BOD <sub>5,20°C</sub> mg/l
Εργοστάσια παραγωγής ζάχαρης	450-2000
Ζυθοποιίες (ελαφριά απόβλητα)	500-1200
Ζυθοποιίες (Βαριά απόβλητα)	11500-26500
Κονσερβοποιίες	300-4000
Οινοπνευματοποιίες	20000-45000
Τυροκομία	40000-60000
Χαρτοβιομηχανίες	16000-25000
Γαλακτοβιομηχανίες	300-2000
Βυρσοδεψία	500-5000
Κρεατοβιομηχανίες	600-2000
Βαφεία υφάνσιμων υλών	50-1750
Εριουργεία	200-10000
Βιομηχανίες αεριούχων ποτών	300-1000
Ελαιουργεία	40000-60000
Αστικά λύματα	250-450

Όταν το BOD των βιομηχανικών αποβλήτων εκφράζεται σε mg/l στερείται σημασίας για την κοινή γνώμη. Γι' αυτό το ρυπαντικό φορτίο των βιομηχανικών αποβλήτων μπορεί να συσχετιστεί με τον αριθμό των προσώπων που θα χρειαζόντουσαν για να συνεισφέρουν με τα λύματα τους μία ισοδύναμη ποσότητα BOD<sub>5</sub>. Ο όρος “ισοδύναμο πληθυσμού” είναι δυνατόν να μεταφράσει την ρυπαντική ισχύ μιας βιομηχανικής αποβολής σε όρους οικιακών λυμάτων.

Το “ισοδύναμο πληθυσμού” λοιπόν BOD, με βάση μια μέση ποιότητα αστικών λυμάτων είναι 77gr BOD<sub>5</sub>/ πρόσωπο και ημέρα. **(Βλυσιδης Απόστολος Καθηγητής ΕΜΠ,2007)**

### 2.1.3 pH

Το pH είναι ένας βασικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζεται από τον όγκο των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση και τον καθαρισμό του ζυθοποιείου για την αποφυγή μολύνσεων από μικροοργανισμούς. Τα υγρά απόβλητα από την εμφιάλωση της μύρας τον καθαρισμό και την συσκευασία των φιαλών παράγει όξινα και βασικά απόβλητα. Η τιμή pH των συνολικών αποβλήτων είναι συνάρτηση των διεργασιών και μπορεί να κυμανθεί από 7 έως 12. Παράγονται υγρά απόβλητα με συγκέντρωση οργανικού φορτίου (2.000 - 3.000 mg/L COD), θερμοκρασίες 25 - 30 ° C και υψηλό PH (εξαιτίας των χημικών καθαριστικών). Τα καθαριστικά συνεισφέρουν στην αποβολή P.

### 2.1.4 Άζωτο και φώσφορος

Τα υγρά απόβλητα ενός ζυθοποιείου είναι πλούσια σε άζωτο και φώσφορο. Το άζωτο προέρχεται από την βύνη και το νιτρικό οξύ, το οποίο χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό. Σε κάποιες περιπτώσεις οι μεγάλες συγκεντρώσεις αζώτου δεν είναι αποτρεπτικές καθώς υπάρχει ανεπάρκειά του για την αερόβια επεξεργασία των αποβλήτων. Έλλειψη του οδηγεί σε νερό ακατάλληλο για ανάπτυξη μικροβίων και βιολογική επεξεργασία ενώ η περίσσεια οδηγεί σε ευτροφισμό. Το άζωτο το συναντάμε στα απόβλητα ως αμμωνία αλλά και ως οργανικό άζωτο. Το νιτρικό οξύ που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό μπορεί να συμβάλει στο συνολικό άζωτο. Η συγκέντρωση του αζώτου είναι από 30 έως και 100 mg/L.

Ο φώσφορος, ο οποίος προέρχεται από την βυνοποίηση και τα καθαριστικά, συναντάται συνήθως σε συγκεντρώσεις των 30-100 g/m<sup>3</sup>. Όπως και το άζωτο έτσι και ο φώσφορος όταν βρίσκεται σε περίσσεια συμβάλλει στο φαινόμενο του ευτροφισμού. Ο φώσφορος είναι σημαντικό στοιχείο επειδή η βιολογική επεξεργασία των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων απαιτεί προσθήκη του. Επίσης μπορεί να προέρχεται από καθαριστικά μέσα.



## 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΖΥΘΟΠΟΙΑΣ

Εκτός από τα υγρά απόβλητα υπάρχουν και τα στερεά απόβλητα. Τα στερεά απόβλητα προέρχονται κυρίως από σπόρους, υπολείμματα ζυθογλεύκους ,μαγιά που έχει περισσέψει από την διαδικασία της ζύμωσης αλλά και απόβλητα καθαρισμού φιαλών και τυποποίησης (αλουμίνιο, γυαλί, χαρτοπολτός). Το ζυμώσιμο κλάσμα αυτών των αποβλήτων είναι 100 kg ανά 1000 kg κριθαριού.

Το υπόλειμμα ζυθογλεύκους είναι μια μορφή λάσπης η οποία απαρτίζεται από ζυθογλεύκος, κομμάτια λυκίσκου και από ασταθή κολλοειδή πρωτεϊνών που καθιζάνουν κατά τον βρασμό του ζυθογλεύκους. Το υπόλειμμα διαχωρίζεται πριν τη διαδικασία ψύξης του ζυθογλεύκους και αποτελεί το 0,2-0,4% του όγκου του ζυθογλεύκους με ξηρό περιεχόμενο 15-20%. Το περιεχόμενο του υπολείμματος ζυθογλεύκους και των εκχυλισμάτων εξαρτάται από το ποσοστό διαχωρισμού του από το ζυθογλεύκος.

Η πλεονάζουσα μαγιά παράγεται κατά τη ζύμωση και μόνο ένα μέρος της μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Η ποσότητα της λάσπης της μη εύχρηστης μαγιάς είναι 2-4 kg (10-15% σε στερεό περιεχόμενο) ανά 100 L παραγόμενης μύρας, ενώ η συγκέντρωση του BOD5 είναι 120.000-140.000 mg/L. Η περίσσεια μαγιάς δεν πρέπει να διατίθεται στα υγρά απόβλητα, γιατί θα προκαλέσει προβλήματα λόγω του υψηλού οργανικού φορτίου και της οξυγένεσης στα απόβλητα (παραγωγή οργανικών οξέων) υπό στατικές συνθήκες. Η μαγιά μπορεί να αποτελέσει άριστο συστατικό ζωοτροφής, καθώς περιέχει ποσοστό άνωτερο του 40% σε πρωτεΐνες.

Η αξιοποίηση των προϊόντων αυτών έχει εδαφικά οφέλη αλλά και οικονομικά για ένα ζυθοποιείο. Η διάθεση των στερεών αποβλήτων ως ζωοτροφές ή και ως λιπάσματα σε διάφορες μονάδες κτηνοτροφίας η αγροκτημάτων αποφέρει οικονομικά οφέλη στο ζυθοποιείο.

Μία τέτοια περίπτωση αποτελεί η εταιρεία ReGrained από την Καλιφόρνια. Οι ιδρυτές της εταιρείας Jordan Schwarz και Daniel Kurzrok αποφάσισαν να χρησιμοποιήσουν τα απόβλητα της μύρας ως κύριο συστατικό της ιδέας τους. Να φτιάξουν σοκολάτα με βάση τα απόβλητα μύρας. Η ίδια η ιδέα της χρήσης αποβλήτων μύρας για την παραγωγή τροφίμων δεν είναι καινούργια, αλλά η ReGrained θέλει να χρησιμοποιήσει τα απορρίμματα της βιομηχανίας μύρας σε αμετάβλητη μορφή, δηλαδή να παράγει από σπόρους ή αλεύρι μια υγιεινή διατροφή με στόχο να αποδείξουν ότι ένα άτομο μπορεί να "φάει" την μύρα. Το τελικό προϊόν της εταιρείας δεν θα περιέχει αλκοόλ και αυτό ίσως απογοητεύσει κάποιους.

## 2.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΥΘΟΥ

Εκτός από τις καταναλώσεις νερού όπου το εύρος του διακυμαίνεται από 8,5- 13,5 λίτρα νερού ανά λίτρο μύρας υπάρχει και η κατανάλωση ενέργειας. Οι μορφές ενέργειας που καταναλώνονται συνήθως σε ένα ζυθοποιείο είναι η ηλεκτρική και η θερμική ενέργεια.

### 2.3.1 Κατανάλωση ενέργειας

Η κατανάλωση της θερμικής ενέργειας εξαρτάται από τα στάδια της παραγωγής όπως για παράδειγμα στην εμφιάλωση ή στην παστερίωση αλλά και ο τύπος και η ηλικία των μηχανημάτων. Σε ένα ζυθοποιείο το οποίο δεν έχει συστήματα ανάκτησης θερμότητας, η κατανάλωση μπορεί να είναι ακόμα και τριπλάσια από αυτή ενός ζυθοποιείου που έχει συστήματα ανάκτησης θερμότητας.

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται στα 80 – 120 kw ανά τόνο μύρας και είναι σε συνάρτηση με την παραγωγική διαδικασία. Σύμφωνα με το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. το 2001 στην Ελλάδα η κατανάλωση ενέργειας διαφέρει από εργοστάσιο σε εργοστάσιο. Για παράδειγμα ένα ζυθοποιείο στο Αιγάλεω έχει κατανάλωση 122 kw ανά τόνο μύρας ενώ στην Πάτρα και στην Σίνδο όπου αναλαμβάνουν και την βυνοποίηση έχουν 168 και 212 αντίστοιχα. (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, 2001)

### 2.3.2 Αέριες εκπομπές

Οι αέριες εκπομπές που προκύπτουν κατά τη λειτουργία της βιομηχανίας μύρας είναι το διοξείδιο του άνθρακα, πτητικές οργανικές ενώσεις και ανάλογα με την παραγωγική διαδικασία δύναται να παραχθεί υποξείδιο του αζώτου και διοξείδιο του θείου. Η βασική παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα οφείλεται στην καύση καυσίμου στους λέβητες, ενώ αρκετά μικρότερη ποσότητα παράγεται από τη ζύμωση της μύρας. Σωματίδια -κυρίως από την σκόνη- εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κατά την εκφόρτωση και τον καθαρισμό του κριθαριού, ενώ οι οσμές που παράγονται στη βιομηχανία μύρας προκαλούνται κυρίως κατά τη ξήρανση της βύνης και τη ζύμωση της μύρας. (Economopoulos, 1993)

## 2.4 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ HYCURA ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η ποιότητα των λυμάτων μετριέται κυρίως από τις φυσικοχημικές του παραμέτρους που περιλαμβάνουν τη χημική ζήτηση οξυγόνου, τη βιολογική ζήτηση οξυγόνου, τα συνολικά αιωρούμενα στερεά, το pH, το ολικό άζωτο και τα ολικά φωσφορικά άλατα. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) αναφέρονται στην ποσότητα των στερεών σε εναιώρημα στα λύματα και αυτά μπορούν εύκολα να καταναλωθούν από βακτήρια. Το ολικό άζωτο αναφέρεται στην ποσότητα οργανικού αζώτου που είναι διαθέσιμη στα λύματα. Τα ολικά φωσφορικά (TP) αναφέρονται σε ανόργανα φωσφορικά άλατα που είναι διαθέσιμα στα λύματα. Πρόσφατες μελέτες ανέφεραν ότι η εφαρμογή μικροοργανισμών ως βιολογικών εμβολιασμών ενισχύει την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας λυμάτων κατά την επεξεργασία λυμάτων διεργασίας.

Οι κατασκευασμένοι μικροοργανισμοί όπως το Hycura γίνονται σημαντικοί ως αναερόβιοι μικροοργανισμοί στη βιολογική επεξεργασία λυμάτων λόγω της ικανότητάς τους να ενισχύουν την απομάκρυνση των ρύπων στα λύματα. Αυτή η μελέτη επικεντρώθηκε στη διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης του Hycura στην επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας.

Τα λύματα ζυθοποιίας ελήφθησαν από μια τοπική ζυθοποιία και στη συνέχεια διεξήχθη αναερόβια επεξεργασία των λυμάτων σε δοχείο 10 L εμβολιασμένο με 0,050 g/L Hycura.

Η επεξεργασία αφέθηκε να λάβει χώρα σε περίοδο 5 ημερών υπό αναερόβιες συνθήκες και η ποσότητα των αποβλήτων διηθήθηκε. Τα ακατέργαστα λύματα της ζυθοποιίας και τα επεξεργασμένα λύματα δοκιμάστηκαν για ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), βιολογική ζήτηση οξυγόνου (BOD), ολικό άζωτο (TN), pH και ολικά φωσφορικά άλατα (TP). Τα COD, BOD, TSS, TP και TN μετρήθηκαν σε χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο (mg/L).

Τα λύματα της ζυθοποιίας χαρακτηρίστηκαν από υψηλές συγκεντρώσεις COD, BOD και TSS 1400 mg/L, 640 mg/L και 320 mg/L αντίστοιχα. Τα χαρακτηριστικά έδειξαν ότι ήταν δυνατή η βιολογική επεξεργασία των λυμάτων. (**Manyuchi M.M. & al 2018**)

Μια σύνοψη των χαρακτηριστικών των λυμάτων της ζυθοποιίας σε σύγκριση με τις κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) για τη διάθεση των λυμάτων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα .

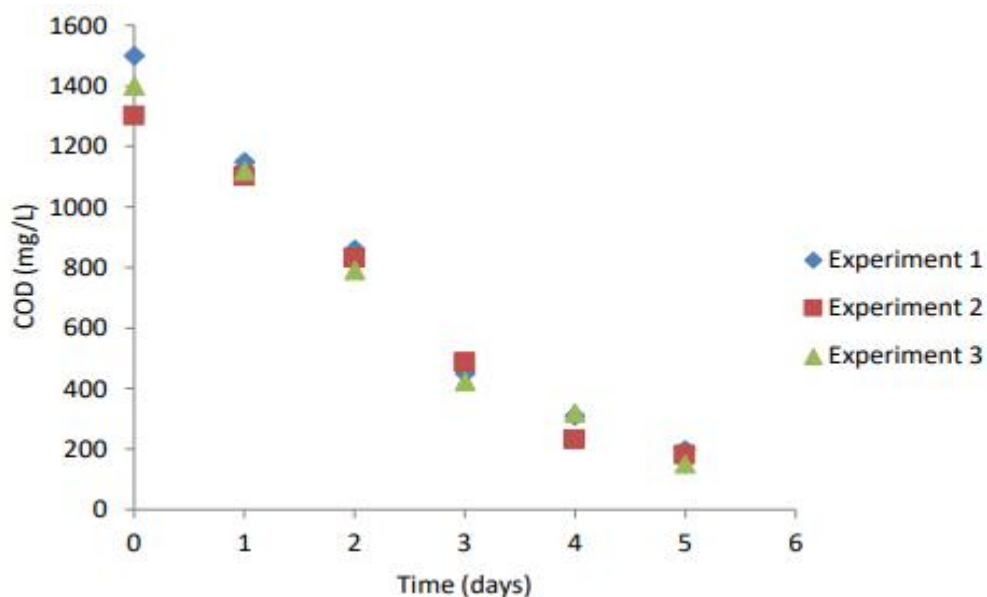
**ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ιδιότητες ακατέργαστων λυμάτων ζυθοποιίας. ΠΗΓΗ Manyuchi M.M. & al (2018)**

Parameter	Brewery wastewater	WHO Guidelines for disposal
COD	1400±100	125
BOD	640±31	30
TSS	320±10	50
TKN	40±3	10
TP	31±2	2
pH	10.4±0.1	6.0-9.0

### **Επίδραση στο COD**

Η συγκέντρωση COD στα λύματα της ζυθοποιίας μειώθηκε με την αύξηση του χρόνου διατήρησης με μείωση 87% της COD να παρατηρείται στις 5 ημέρες. Όταν ο καταλύτης *Hycura* εμβολιάστηκε στα λύματα, επέτρεψε την απομάκρυνση των βιολογικών ρύπων και τροφοδοτήθηκε από αυτούς τους ρύπους με αποτέλεσμα να έχουμε μειωμένο COD. Οι Jaiyeola και Bwarwa (2015) ανέφεραν ότι η χρήση βιολογικής επεξεργασίας στην επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της COD που κυμαίνεται μεταξύ 74-100%.

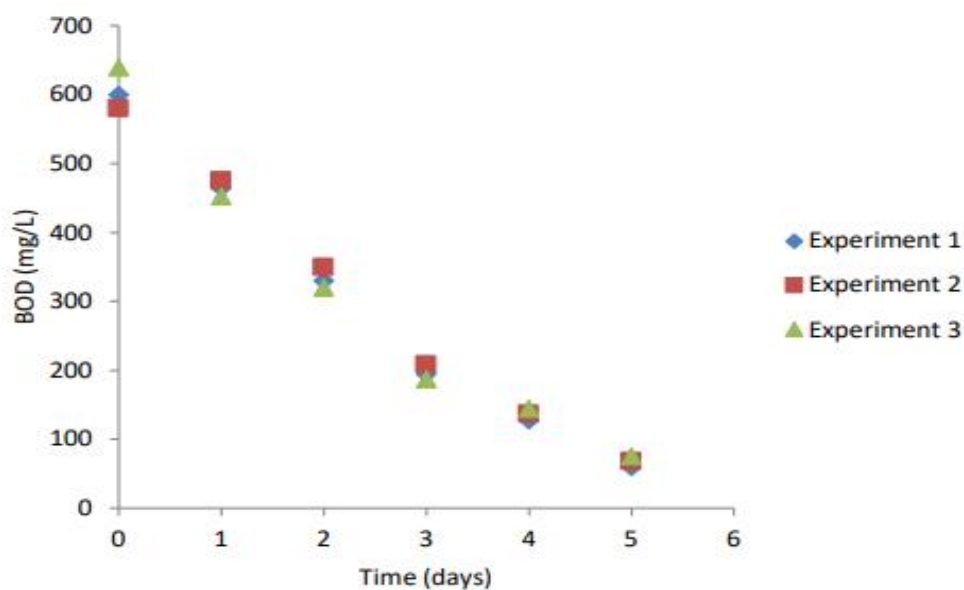
**ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Μεταβολές COD κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας**  
**ΠΗΓΗ Manyuchi M.M. & al (2018)**



### Επίδραση στο BOD

Η συγκέντρωση BOD στα λύματα της ζυθοποιίας μειώθηκε με την αύξηση του χρόνου διατήρησης κατά 88%. Καθώς ο καταλύτης *Hycura* εμβολιάστηκε στα λύματα της ζυθοποιίας, παρατηρήθηκε ότι συνεισφέρει στην μείωση της συγκέντρωσης BOD στα λύματα του ζυθοποιείου. Ποσοστά απομάκρυνσης BOD που κυμαίνονται μεταξύ 90-94% έχουν αναφερθεί και σε άλλα συστήματα όπου χρησιμοποιήθηκε η βιολογική επεξεργασία των λυμάτων ζυθοποιίας.

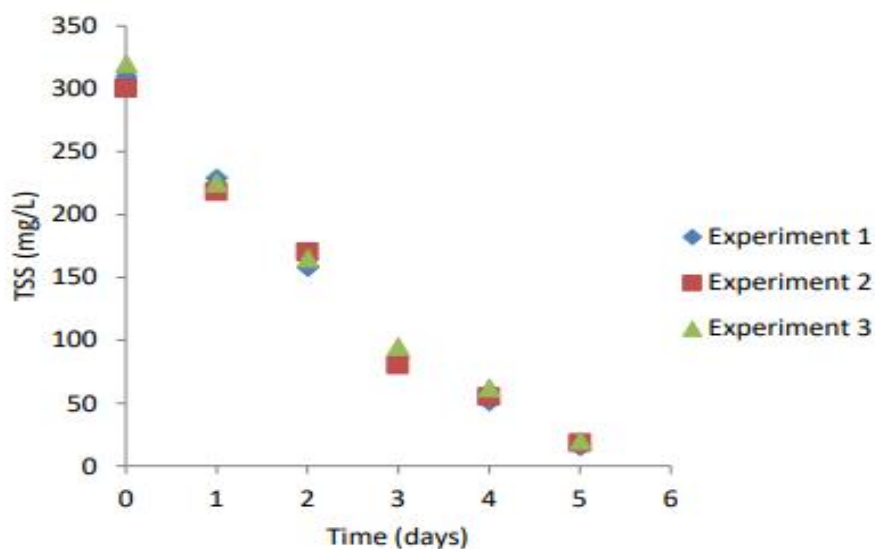
**ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Μεταβολή του BOD κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας.  
ΠΗΓΗ Manyuchi M.M. & al (2018)**



### **Επίδραση στο TSS**

Η συγκέντρωση του TSS μειώθηκε καθώς ο χρόνος διατήρησης αυξάνεται κατά 94% που παρατηρείται την ημέρα 5. Η μείωση του TSS μπορεί να αποδοθεί στη μείωση τόσο του COD όσο και του BOD όταν τα λύματα της ζυθοποιίας υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με το Hycura ως μικροοργανισμό εμβολιασμού.

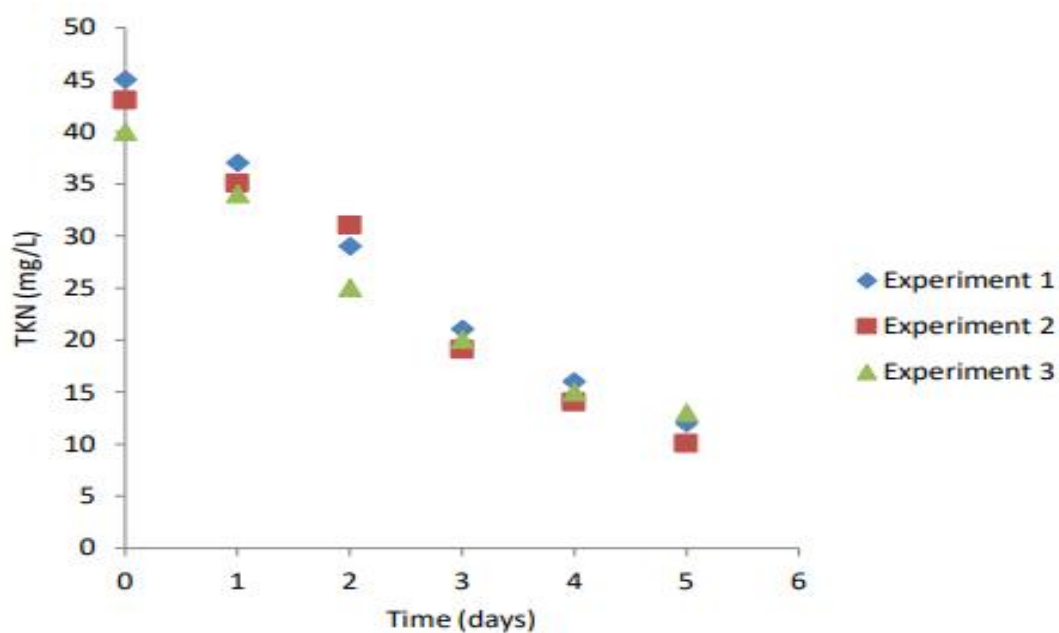
**ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Μεταβολή του TSS κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας**  
ΠΗΓΗ Manyuchi M.M. & al (2018)



### Επίδραση στο TN

Η συγκέντρωση TN μειώθηκε σημαντικά με την αύξηση του χρόνου διατήρησης έως και 5 ημέρες μετά τον εμβολιασμό με Hycura ως μέσο βιολογικής θεραπείας. Η συγκέντρωση TN μειώθηκε κατά 68% κατά τη διάρκεια της περιόδου των 5 ημερών. Η μείωση αποδόθηκε στη χρήση αζώτου από το Hycura κατά τον μεταβολισμό του κατά τη φάση επεξεργασίας των λυμάτων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Μεταβολή του ΤΚ κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας**  
**ΠΗΓΗ Manyuchi M.M. & al (2018)**

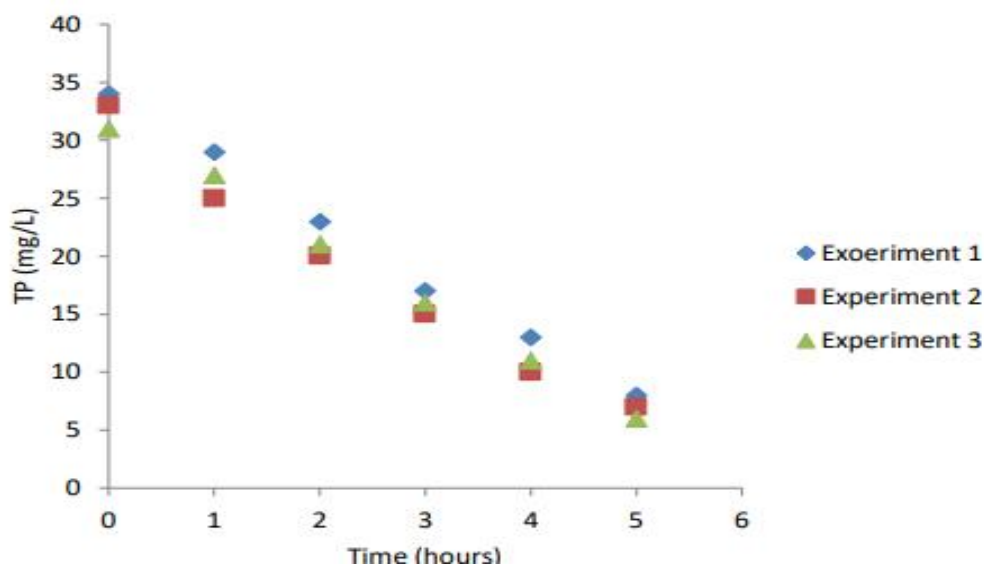


### Επίδραση στο TP

Η συγκέντρωση TP μειώθηκε σημαντικά κατά 81% καθώς τα λύματα της ζυθοποιίας επεξεργάζονταν χρησιμοποιώντας το Hycura σε διάστημα 5 ημερών. Τα φωσφορικά είναι ένα από τα κύρια θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται από τους μικροοργανισμούς για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή και αυτός ήταν ο πιθανός λόγος για τον οποίο η συγκέντρωση φωσφορικών αλάτων μειώθηκε όταν τα λύματα της ζυθοποιίας υποβλήθηκαν σε βιολογική επεξεργασία με Hycura.



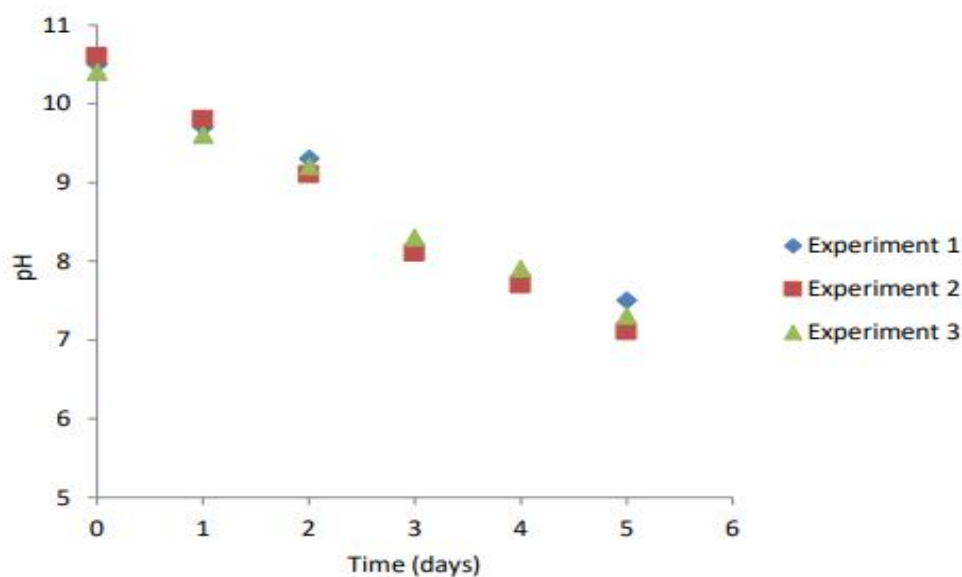
**ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Μεταβολή του TP κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας**  
ΠΗΓΗ Manyuchi M.M. & al (2018)



### Επίδραση στο pH

Το pH των λυμάτων της ζυθοποιίας άλλαξε από αλκαλικό σε ουδέτερο κατά τη βιοεπεξεργασία με *Hycura* για περίοδο διατήρησης 5 ημερών. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση της αφαίρεσης βιολογικών ρύπων στα λύματα του ζυθοποιείου. Οι Bodike και Thatikonda ανέφεραν μια σχεδόν παρόμοια τάση στην αλλαγή του pH όταν χρησιμοποίησαν το *Pseudomonas Species* ως μικροοργανισμό βιολογικής επεξεργασίας για τα λύματα της ζυθοποιίας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Μεταβολή του pH κατά τη βιολογική επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας ΠΗΓΗ Manyuchi M.M. & al (2018)**



Παρατηρούμε ότι ο μικροοργανισμός *Hycura* επεξεργάζεται αποτελεσματικά τα λύματα της ζυθοποιίας μέσω της απομάκρυνσης των βιολογικών ρύπων. Το TSS και το pH υποβλήθηκαν σε επεξεργασία στο εύρος των αποδεκτών τιμών από τον ΠΟΥ, ενώ οι άλλες παράμετροι ήταν ελαφρώς μειωμένες.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11. Χαρακτηριστικά επεξεργασμένων λυμάτων ζυθοποιίας σε σύγκριση με τις οδηγίες του ΠΟΥ για διάθεση. ΠΗΓΗ Manyuchi M.M. & al (2018)**

Parameter	Treated brewery wastewater	WHO Guidelines for disposal
COD	176±24	125
BOD	76±8	30
TSS	20±3	50
TKN	13±3	10
TP	6±1	2
pH	7.3±0.1	6.0-9.0

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΙΑΣ ΖΥΘΟΠΟΙΕΙΑΣ

### 3.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ

Τα συστατικά που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία παρασκευής της μύρας είναι φυσικά και μπορεί να φαίνονται ακίνδυνα, το προκύπτον προϊόν των λυμάτων είναι δύσκολο να επεξεργαστεί καθώς περιέχει υψηλά επίπεδα TSS, BOD και COD, τα οποία μπορούν να αυξήσουν το κόστος και να εμποδίσουν την απόδοση. Παρόλο που οι ζυθοποιίες χρησιμοποιούν συστατικά όπως ο λυκίσκος και το κριθάρι, το μεταγενέστερο αποτέλεσμα απαιτεί μια πολύπλοκη διαδικασία για την επεξεργασία του νερού και την ασφαλή απελευθέρωση του.

Χαρακτηριστικά	των	Λυμάτων	και	Ζυθοποιίας
Υψηλά	επίπεδα	ζάχαρης	και	αλκοόλ
Στερεά	που	μετατρέπονται	σε	λάσπη
Χαμηλά		επίπεδα		pH
Μέσος	όρος	COD	των	5000 mg/L
Μέσος	όρος	BOD	από	3000 mg/L
Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) κατά μέσο όρο 1800 mg/L				

#### Στάδια επεξεργασίας αποβλήτων

Οι μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων(wastewater treatment plants) περιλαμβάνουν μια σειρά από διεργασίες οι οποίες μπορεί να είναι φυσικές, χημικές ή βιολογικές. Βεβαία σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι το ευρύ κοινό στον ελλαδικό χώρο αναφέρεται στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων με το γενικό όρο βιολογικός καθαρισμός. Ο όρος αυτός δεν είναι σωστός καθώς η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων δεν είναι παρά ένα από τα στάδια τα οποία πραγματοποιούνται σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Οι μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων περιέχουν τα ακόλουθα 4 στάδια:

Προκαταρκτική	επεξεργασία	ή	προ-επεξεργασία
Πρωτοβάθμια	ή	πρωτογενή	επεξεργασία
Δευτεροβάθμια	ή	δευτερογενή	επεξεργασία
Τριτοβάθμια	ή	τριτογενή	επεξεργασία

### 3.1.1 Προκαταρκτική επεξεργασία

Τα λύματα της ζυθοποιίας χαρακτηρίζονται από σκούρο καφέ χρώμα. Αυτό απαιτεί προ-επεξεργασία για την ελαχιστοποίηση των αιωρούμενων σωματιδίων και άλλων οργανικών φορτίων. Γενικά, η διαδικασία προ-επεξεργασίας λυμάτων ζυθοποιίας έχει σκοπό να αλλάξει τις φυσικές, χημικές και ή βιολογικές ιδιότητες του νερού τροφοδοσίας. Η διαδικασία προ-επεξεργασίας πραγματοποιείται με φυσικά, χημικά ή βιολογικά μέσα ή συνδυασμούς των δύο ή περισσότερες μεθόδους. Ωστόσο, η επιλογή της μεθόδου προ-επεξεργασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το τελικό σημείο απόρριψης των λυμάτων.

Για παράδειγμα, σε μια κατάσταση όπου το ζυθοποιείο δεν απορρίπτει στη δημοτική αποχέτευση, απαιτούνται μόνο πρωτογενείς και δευτερεύουσες επεξεργασίες, αλλά εάν το ζυθοποιείο επιτρέπεται να εκκενωθεί στη δημοτική αποχέτευση, απαιτείται προ-επεξεργασία για τη μείωση των οργανικών φορτίων του στη δημοτική μονάδα επεξεργασίας και να τηρεί επίσης τους κανονισμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων.

Ωστόσο, οι δήμοι κατά καιρούς επιβάλλουν υψηλότερα τέλη απόρριψης αποχετεύσεων στους όγκους των λυμάτων καθώς και στα οργανικά φορτία και αυτό μπορεί να αναγκάσει ορισμένες βιομηχανίες ζυθοποιίας να λειτουργούν τις δικές τους μονάδες επεξεργασίας προκειμένου να εξοικονομήσουν κόστος. **(Amenorfenyo D. & al (2019) publ.)**

Η προκαταρκτική επεξεργασία ή προ-επεξεργασία (preliminary treatment) είναι το στάδιο εκείνο της μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων κατά το οποίο αφαιρούνται υλικά, όπως ογκώδη αντικείμενα, και χαλίκια-άμμος, λίπη και έλαια τα οποία θα μπορούσαν στην συνέχεια να δημιουργήσουν πρόβλημα και ζημιές στο μηχανολογικό εξοπλισμό. Άρα μπορούμε να πούμε κάλλιστα ότι ο πρωταρχικός σκοπός της προ-επεξεργασίας είναι η προστασία της μονάδας. Η προ-επεξεργασία συνήθως περιλαμβάνει τις παρακάτω διεργασίες:

#### **Εσχάρωση (screening).**

Σκοπός των εσχάρων η απομάκρυνση ογκωδών αντικειμένων τα οποία μπορούν να αποφράξουν και να καταστρέψουν τις αντλίες και τον υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό της μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων. Η απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων γίνεται με την συγκράτηση τους στις σχάρες κατά τη διέλευση των αποβλήτων μέσα από αυτές. Μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται με πιο λεπτές σχάρες

- Μείωση αιωρούμενων σωματιδίων (TSS) κατά 5 – 10 %.
- Μείωση οργανικού φορτίου ως BOD5 κατά 0 – 10 %.

#### **Αμμοσυλλογή**

Σκοπός της είναι η απομάκρυνση βαριών αδρανών υλικών όπως χαλίκια, άμμος, σπόροι, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων σωματιδίων γεωλογικής ή άλλης υφής, με διάμετρο μεγαλύτερη από 200 μm που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη, γιατί η παρουσία τους δημιουργεί προβλήματα στη μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων, όπως εναπόθεση φερτών υλών στο πυθμένα των αγωγών, φράξιμο σωληνώσεων, φθορά του μηχανολογικού εξοπλισμού και μείωση της απόδοσης στα διάφορα στάδια καθαρισμού. Επίσης αυξάνει τον απαιτούμενο όγκο των δεξαμενών επεξεργασίας ύδους. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την εξάμμοση ονομάζονται αμμοσυλλέκτες και η λειτουργία τους βασίζεται είτε στην επίδραση της βαρύτητας είτε στην επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης.

Η διάταξη της εξάμμωσης, δηλαδή ο αμμοσυλλέκτης, είναι στην πραγματικότητα μια δεξαμενή καθίζησης στην οποία τα διακεκριμένα στερεά τα οποία βρίσκονται σε υγρό με μικρότερη πυκνότητα, επιταχύνονται μέχρις ότου φθάσουν να κινούνται με μια τερματική ή οριακή ταχύτητα. Τότε η δύναμη βαρύτητας εξισορροπείται με τη οπισθέλκουσα δύναμη με αποτέλεσμα την καθίζηση των στερεών. Ο στόχος είναι ο διαχωρισμός των κόκκων άμμου, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων αδρανών υψηλής πυκνότητας, με διάμετρο μεγαλύτερη από 200 μm που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών. Η ταυτόχρονη καθίζηση και μικρής ποσότητας οργανικών ουσιών αντιμετωπίζεται με διατάξεις πλύσης της άμμου οι οποίες τοποθετούνται στους αμμοσυλλέκτες. Οι κόκκοι της άμμου καθιζάνουν με ταχύτητες που εξαρτώνται από τις διαστάσεις και το ειδικό τους βάρος. Στους αμμοσυλλέκτες τα λύματα δεν είναι στάσιμα αλλά βρίσκονται σε συνεχή ροή. Συνεπώς και η ροή (στρωτή ή τυρβώδης) παίζει σημαντικό ρόλο καθώς επίσης και η θερμοκρασία των λυμάτων. Με στρωτή ροή η καθίζηση της άμμου γίνεται ομαλά, με την ίδια ταχύτητα όπως και στα στάσιμα νερά. Όταν όμως η ροή δεν είναι στρωτή η καθίζηση της άμμου επιβραδύνεται και δημιουργούνται προβλήματα στον αμμοσυλλέκτη. Συγκεκριμένα οι υπερβολικά μικρές ταχύτητες οδηγούν στη καθίζηση οργανικών σωματιδίων με επακόλουθο τη σήψη των οργανικών ενώσεων και τις δυσάρεστες οσμές. Οι κυριότεροι τύποι αμμοσυλλεκτών είναι οι οριζόντιοι, οι κατακόρυφοι, οι κυκλικοί. Οι αμμοσυλλέκτες μπορεί να είναι αεριζόμενοι ή μη. **(Ευθύμιος Νταρακάς, Α.Π.Θ., 2010)**

**Άλεση** ή **πολτοποίηση.**  
Είναι διεργασία που δεν συνηθίζεται πολύ στην Ελλάδα. Λειτουργεί συμπληρωματικά προς την εσχάρωση για την απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων.

### **Λιποσυλλογή**

Σκοπός της διεργασίας αυτής είναι η απομάκρυνση επιπλεόντων υλικών όπως λίπη και λάδια

για την αποφυγή προβλημάτων στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας. Τα ελεύθερα και επιπλέοντα λιπαρά υλικά διαχωρίζονται σύμφωνα με το νόμο της βαρύτητας. Δηλαδή τα λιπαρά συστατικά έχουν ειδικό βάρος μικρότερο από του νερού, άρα επιπλέουν στην επιφάνεια του διαχωριστή και ξαφρίζονται για επιπλέον επεξεργασία ή διάθεση. (Κούγκολος Α. 2007)

### 3.1.2 Πρωτοβάθμια ή πρωτογενή επεξεργασία

Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των στερεών από τα απόβλητα. Περιλαμβάνει την:

**Καθίζηση** ή **επίπλευση.**

Σκοπός της πρωτοβάθμιας καθίζησης (primary sedimentation) είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, οργανικών και ανόργανων. Η απομάκρυνση αυτή σκοπεύει στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου τους (SS και BOD) που προορίζεται για τις επόμενες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας.

**Χημική επεξεργασία(κροκίδωση) με καθίζηση.**

Σκοπός της είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών που δεν απομακρύνονται με απλή καθίζηση. Η διαδικασία αυτή σκοπεύει στη μείωση των ολικών στερεών (TS), στη βελτίωση της απόδοσης της πρωτοβάθμιας καθίζησης και στην απομάκρυνση του φωσφόρου.

**Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης**

Σκοπός της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθιζήσεως (ή αλλιώς δεξαμενή εξισορροπήσεως) είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών με την ελάττωση της ταχύτητας ροής των λυμάτων, οπότε ελαττώνεται και η συρτική ικανότητα, με αποτέλεσμα τα μεγαλύτερα και βαρύτερα αιωρούμενα υλικά να καθιζάνουν στον πυθμένα. Αποτελεί την πρώτη βασική μονάδα καθαρισμού.

Οι δεξαμενές καθιζήσεως κατασκευάζονται συνήθως, είτε ως ορθογωνικές με ροή των υγρών κατά μήκος της μεγάλης πλευράς, είτε ως κυκλικές με λοξή ροή από την κορυφή προς τα πάνω και έξω. Οι ορθογωνικές κατασκευάζονται με μήκη μέχρι 90 m (συνήθως 30 m) και οι κυκλικές με διάμετρο έως 60 m. Τα βάθη εκλέγονται συνήθως σε 2 – 4 m και για τις δύο περιπτώσεις. Ο χρόνος συγκρατήσεως υπολογίζεται μεταξύ 1,5 – 2,5 ώρες.

Απόδοση πρωτοβάθμιας καθίζησης:  
- Μείωση αιωρουμένων σωματιδίων (TSS) κατά 40 – 50 %.

- Μείωση οργανικού φορτίου ως BOD5 κατά 25 – 40 %.  
(Κούγκολος Α. 2007)

### 3.1.3 Δευτεροβάθμια ή δευτερογενή επεξεργασία

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των αστικών λυμάτων ακολουθεί συνήθως την πρωτοβάθμια και αποσκοπεί στη περαιτέρω μείωση του διαλυτού οργανικού φορτίου (BOD) και των αιωρούμενων στερεών (S.S.), ενώ ακόμα μπορεί να στοχεύει στη μείωση των αζωτούχων (N) και φωσφορικών (P) ενώσεων, που μπορεί να υπάρχουν στα υγρά απόβλητα. Με δεδομένο ότι το κυριότερο ρυπαντικό φορτίο στα αστικά λύματα είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος (σε ποσοστό περίπου 70 %) οργανικής σύνθεσης, η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στηρίζεται στη βιοχημική αποικοδόμηση και μετατροπή των πολύ λεπτών και διαλυμένων οργανικών ουσιών σε συσσωματώματα, τα οποία στη συνέχεια απομακρύνονται με καθίζηση. Διακρίνεται ανάλογα με τους μικροοργανισμούς οι οποίοι παίζουν το σπουδαιότερο ρόλο και είναι υπεύθυνοι για τη διάσπαση και τη σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών σε:

- αερόβια, κατά την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση και σταθεροποίηση από αερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς,
- αναερόβια, κατά την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση και σταθεροποίηση από αναερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς και
- αερόβια-αναερόβια, κατά την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση και σταθεροποίηση και από τα τρία είδη των οργανισμών (αερόβιοι, αναερόβιοι και επαμφοτερίζοντες).

Κατά τη βιολογική διεργασία οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν ένα μέρος της τροφής (του υποστρώματος) σε διεργασίες αποσύνθεσης, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη για τις λειτουργικές τους ανάγκες ενέργεια, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούν ένα άλλο μέρος του υποστρώματος για τη σύνθεση της κυτταρικής τους δομής. Στα αερόβια συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κυριαρχεί η μέθοδος της « ενεργού ιλύος».

Η ενεργός ιλύς αποτελείται από μια συσσωμάτωση ζωντανών και νεκρών μικροοργανισμών που δεν έχουν ακόμα αποσυντεθεί, οργανικών αιωρούμενων και κolloειδών στερεών που δεν έχουν απομακρυνθεί στο στάδιο της προ-επεξεργασίας των αποβλήτων, οργανικών ουσιών κolloειδούς υφής, ενδιάμεσων προϊόντων βιολογικής αποικοδόμησης οργανικών ενώσεων και αδρανών στερεών που δεν επιδέχονται αποσύνθεση. (Ευθύμιος Νταρακας, Α.Π.Θ. 2010)

### 3.1.4 Τριτοβάθμια ή τριτογενή επεξεργασία

Σκοπός της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών που δεν απομακρύνονται στα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας. Με την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία επιτυγχάνεται ένας βαθμός καθαρισμού του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών της τάξης του 85- 90%. Η τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία έπεται της δευτεροβάθμιας και αποσκοπεί στην περαιτέρω αφαίρεση στερεών, οργανικού φορτίου, χρώματος, αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και άλλων ρυπαντών όπως τα βαριά μέταλλα, το αρσενικό (As), οι τοξικές οργανικές ενώσεις, τα θειούχα (S<sup>2-</sup>), τα κυανιούχα (CN<sup>-</sup>) κ.λπ. (μη συμβατικοί ρύποι του νερού).

Οι διατάξεις και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

- η διήθηση με πολλές παραλλαγές όπως η διήθηση χώρου, η διήθηση επιφάνειας . με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος, ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Σημειώνεται ότι στις πιο προχωρημένες εφαρμογές μεμβρανών ανήκει η μικροδιήθηση (MF), η υπερδιήθηση (UF), η νανοδιήθηση (NF),
- η αντίστροφη ώσμωση (RO),
- η χημική επεξεργασία (οξειδωση, αναγωγή κ.λπ.),
- οι διεργασίες προχωρημένης οξειδωσης (Advanced Oxidation Processes AOP).
- η προσρόφηση (κυρίως σε ενεργό άνθρακα),
- η ιοντοεναλλαγή(Ευθύμιος Νταρακας , Α.Π.Θ. 2010)

Στην τριτοβάθμια επεξεργασία συναντάμε και την απολύμανση εκροής (Χλωρίωση). Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών με τα νερά του αποδέκτη, στα οποία διοχετεύονται τα απόβλητα. Είναι άξιο επισήμανσης η διαφορά μεταξύ της απολύμανσης και της αποστείρωσης οι οποίες είναι δυο έννοιες που συγχέονται συχνά. Η αποστείρωση είναι η καταστροφή κάθε μορφή ζωής. Η περισσότερο διαδεδομένη και δοκιμασμένη μέθοδος απολύμανσης είναι η χλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο. Το χλώριο είναι ουσία τοξική για τον άνθρωπο, σε μικρές συγκεντρώσεις όμως είναι αβλαβές. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το μικρό κόστος εγκατάστασης, η απλότητα λειτουργίας, η παρατεταμένη απολυμαντική δράση. Παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος αυτή, έχει το βασικότερο μειονέκτημα το οποίο είναι η δυσμενής επίδραση του χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον που διοχετεύονται τα χλωριωμένα απόβλητα. Η επίδραση αυτή εκδηλώνεται άμεσα στις διάφορες μορφές ζωής (πχ ψάρια) λόγω της τοξικότητας του χλωρίου ή έμμεσα από τις ενώσεις που δημιουργούνται από την αντίδραση του χλωρίου με τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων. Είναι λοιπόν προφανές ότι δεν πρέπει στο υδάτινο περιβάλλον να διοχετεύονται μεγάλες ποσότητες χλωρίου.

Γίνονται διάφορες προσπάθειες για τη βελτίωση της απόδοσης της χλωρίωσης, ώστε να αποφεύγεται η ανεξέλεγκτη χρήση του χλωρίου. Το παραπάνω βασικό μειονέκτημα της χλωρίωσης έχει οδηγήσει σε προσπάθειες αντικατάστασης της από άλλες μεθόδους απολύμανσης που είναι εξίσου δραστικές. Στις μεθόδους αυτές ανήκει η απολύμανση με



υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Η υπεριώδης ακτινοβολία διαπερνά τη κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών και απορροφάται από τα κυτταρικά - 30 - συστατικά τους (DNA & RNA) εξοντώνοντας τους ή καθιστώντας ανίκανους να πολλαπλασιαστούν. Η ακτινοβολία UV αποτελεί ένα φυσικό τρόπο απολύμανσης χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. **(Κούγκολος Α. 2007)**

### 3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ

Η διεργασία της ενεργού ιλύος είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων. Αναπτύχθηκε αρχικά από τους Arden και Lockett στο Μάντσεστερ της Αγγλίας στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, αλλά η ευρεία εφαρμογή της ξεκίνησε μετά το 1940. Ονομάστηκε έτσι λόγω της παραγόμενης ενεργού λάσπης από μικροοργανισμούς, που έχουν την ικανότητα της αερόβιας σταθεροποίησης των αποβλήτων **(Ανδρεδάκης, Α.Δ., 1986)**.

Η διαδικασία της ενεργού ιλύος αποτελείται από δύο φάσεις, τον αερισμό και την καθίζηση της ιλύος.

Στην πρώτη φάση, τα λύματα οδηγούνται στην δεξαμενή αερισμού που περιέχει τον ανάμικτο μικροβιακό πληθυσμό και προστίθεται αέρας είτε με επιφανειακή ανάδευση ή μέσω διαχυτών πεπιεσμένου αέρα. Ο αερισμός επιτελεί διττή λειτουργία – να προμηθεύει οξυγόνο στους αερόβιους μικροοργανισμούς στον αντιδραστήρα και να διατηρεί τους μικροβιακούς φλόκους σε μια διαρκή κατάσταση αιώρησης, διασφαλίζοντας τη μέγιστη πιθανότητα επαφής της επιφάνειας του φλόκου και των λυμάτων. Αυτή η διαρκής ανάμιξη είναι σημαντική όχι μόνο για τη διασφάλιση επαρκούς τροφής, αλλά και γιατί η μέγιστη συγκέντρωση οξυγόνου αυξάνει τη μεταφορά μάζας και βοηθά τη διασπορά των τελικών προϊόντων του μεταβολισμού έξω από το φλόκο.

Καθώς τα λύματα εισέρχονται στη δεξαμενή αερισμού εκτοπίζουν το ανάμικτο υγρό (το μίγμα των λυμάτων και της μικροβιακής μάζας) στη δεξαμενή καθίζησης. Αυτή είναι η δεύτερη φάση, όπου η κροκιδωμένη βιομάζα καθιζάνει γρήγορα για να δημιουργήσει την ιλύ και το επιφανειακό στρώμα (θεωρητικά χωρίς στερεά) που υπερχειλίζει της δεξαμενής καθίζησης.

Στα συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος παράγονται περίπου 0,5 – 0,8 kg ξηρής λάσπης για κάθε kg βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD5) που απομακρύνεται. Η ιλύς είναι μία μάλλον αρκετά υδαρής λάσπη με 0,5 – 2,0 % σε στερεά, πράγμα που την καθιστά αντλίσιμη. Ένα μεγάλο ποσοστό της ενεργού ιλύος επιστρέφει στην δεξαμενή αερισμού όπου λειτουργεί ως υλικό εμβολιασμού μικροοργανισμών, διασφαλίζοντας ότι υπάρχει επαρκής μικροβιακός

πληθυσμός για να οξειδώσει πλήρως τα λύματα κατά την παραμονή τους στον αντιδραστήρα. Η περίσσεια της ιλύος απαιτεί επιπλέον επεξεργασία πριν τη διάθεσή της.

Οι δεξαμενές τελικής καθίζησης πρέπει να είναι ικανές να δεχτούν μια μεγάλη ημερήσια και εποχιακή διακύμανση στην παροχή και το ρυπαντικό φορτίο, να ανταπεξέρχονται σε περιπτώσεις όπου παράλληλες γραμμές είναι εκτός για συντήρηση και επίσης να προσαρμόζονται σε λάσπες με προβλήματα καθιζησιμότητας όπως αφρώδεις λάσπες. **(Gray, N.F., 1990)**

Ο μηχανισμός απομάκρυνσης, αφομοίωση ή αποδόμηση, μπορεί να επιλεγεί χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες λειτουργικές συνθήκες με συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, η πιο γρήγορη απομάκρυνση του υποστρώματος επιτυγχάνεται με την αφαίρεση της οργανικής ύλης μόνο με αφομοίωση στη βιομάζα που στη συνέχεια καθιζάνει. Τέτοια συστήματα παράγουν περισσότερη ιλύ, που συνεπάγεται αναλογικά μεγαλύτερο κόστος επεξεργασίας και διάθεσης. Η πλήρης οξείδωση (αποδόμηση) των λυμάτων είναι πολύ πιο αργή διαδικασία και απαιτεί μεγάλους χρόνους αερισμού. Έτσι παράγεται πολύ λιγότερη ιλύς, οπότε και μικρότερο το κόστος επεξεργασίας και διάθεσής της, αλλά το κόστος αερισμού είναι κατά πολύ μεγαλύτερο.

### **3.2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διεργασία της ενεργούς ιλύος**

Η δραστηριότητα των μικροβιακών πληθυσμών στα απόβλητα καθώς και ο ρυθμός βιοχημικών αντιδράσεων επηρεάζονται από έναν αριθμό περιβαλλοντικών παραγόντων όπως είναι το pH, η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, η συγκέντρωση θρεπτικών και η φύση των αποβλήτων.

#### **pH**

Η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου στο νερό συνδέεται στενά με το βαθμό ιονισμού των μορίων του νερού. Το βέλτιστο εύρος pH για ανθρακογενή οξείδωση κυμαίνεται από 6.5-8.5. Σε pH μεγαλύτερο του 9 αναστέλλεται η μικροβιακή δραστηριότητα, ενώ σε pH μικρότερο του 6.5 οι μύκητες επικρατούν των βακτηρίων κατά τον ανταγωνισμό για το υπόστρωμα

#### **Θερμοκρασία**

Οι δεξαμενές αερισμού σε συστήματα ενεργού ιλύος λειτουργούν συνήθως σε θερμοκρασίες αποβλήτων 12-25 °C. Οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας, με συνέπεια την αύξηση του ρυθμού απομάκρυνσης υποστρώματος. Ο αυξημένος μεταβολισμός όμως μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα ανεπάρκειας οξυγόνου. Σύμφωνα με το νόμο του Vant Hoff ο ρυθμός βιολογικής δραστηριότητας διπλασιάζεται για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C (για εύρος 5-35 °C).

### **Διαλυμένο οξυγόνο D.O**

Ο αερισμός ή παροχή οξυγόνου στο βιοαντιδραστήρα εξυπηρετεί δύο σκοπούς:

Την τροφοδότηση του συστήματος με διαλυμένο οξυγόνο, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί από τους αναπτυσσόμενους μικροοργανισμούς και

Την ανάδευση του συστήματος, ώστε να μην παρατηρείται καθίζηση των μικροοργανισμών από το ανάμικτο υγρό.

Τυπικά, οι απαιτήσεις συγκέντρωσης D.O. στο ανάμικτο υγρό είναι της τάξης των 2 mg /L ή και περισσότερο, για να πραγματοποιηθεί επιτυχώς η διεργασία της νιτροποίησης, αλλά συνίσταται η διεξαγωγή πειραμάτων σε κάθε συγκεκριμένη εγκατάσταση, ώστε να καθοριστεί η βέλτιστη συγκέντρωση του D.O κάθε συγκεκριμένου συστήματος. **(Ευθύμιος Νταρακάς ,Α.Π.Θ. 2010)**

### **3.2.2 Κροκίδωση**

Η βασική λειτουργική μονάδα της ενεργού ιλύος είναι η κροκίδωση. Κάτω από το μικροσκόπιο, η ενεργός ιλύς, περιλαμβάνει διακριτές συστάδες μικροοργανισμών, γνωστές ως φλόκοι, που ποικίλουν σε μέγεθος και σχήμα. Η καλή κροκίδωση είναι σημαντική για την επιτυχή λειτουργία της διαδικασίας, έτσι ώστε αιωρούμενη, κolloειδής και ιονισμένη ύλη μέσα στα λύματα να μπορεί να απομακρυνθεί με προσρόφηση και συσσωμάτωση στον αερόβιο αντιδραστήρα και κατόπιν στη δεξαμενή καθίζησης με γρήγορο και αποτελεσματικό διαχωρισμό της λάσπης από την επεξεργασμένη υπερχειλίση. Υπάρχει μια γρήγορη συσσωμάτωση της σωματιδιακής και κolloειδής ύλης πάνω στους φλόκους μόλις αναμιχθούν η ενεργός ιλύς και τα λύματα, πράγμα που οδηγεί σε μια δραματική πτώση του υπολειμματικού BOD των λυμάτων.

Η ενεργός ιλύς είναι ένα σύνθετο οικολογικό σύστημα που αποτελείται από διάφορα είδη τα οποία ανταγωνίζονται μεταξύ τους σε όλα τα τροφικά επίπεδα. Τα κυριότερα βιολογικά είδη που παρατηρούνται είναι τα βακτήρια, οι μύκητες, τα πρωτόζωα και οι νηματοειδείς. **(Gray, N.F., 1990)**

### **3.2.3**

### **Τελική**

### **διάθεση**

### **λάσπης**

Η ιλύς, όπως αποβάλλεται από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων χρίζει περαιτέρω επεξεργασίας επειδή έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό και παθογόνους μικροοργανισμούς. Υποβάλλεται σε ιδιαίτερες επεξεργασίες, ώστε να αποκτήσει την κατάλληλη ποιότητα για τελική διάθεση, χωρίς να προκαλεί περαιτέρω προβλήματα ρύπανσης. Γενικοί στόχοι των διεργασιών αυτών είναι η μείωση του όγκου, η βιοχημική σταθεροποίηση της ιλύος και η μετατροπή της σε βιολογικά σταθερή (αδρανή) μάζα. Η

σταθεροποίηση της οργανικής ύλης προλαμβάνει την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οσμών και ελαττώνει τον αριθμό των παθογόνων μικροοργανισμών κυρίως των εντερικών παρασίτων και των ιών, οι οποίοι υπάρχουν σε μεγάλες συγκεντρώσεις στη λάσπη. Η ελάττωση της περιεκτικότητας της ιλύος σε νερό περιορίζει τον όγκο της λάσπης, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το κόστος μεταφοράς της στα τελικά σημεία εναπόθεσης.

Ανάλογα με το στάδιο επεξεργασίας των λυμάτων διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες ιλύος:

- 1) πρωτοβάθμια ιλύς, είναι η λάσπη που παράγεται κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων,
- 2) βιολογική ιλύς, η οποία παράγεται κατά τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων (δευτεροβάθμια επεξεργασία),
- 3) μικτή ιλύς, η οποία αποτελεί ένα μίγμα πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος. (Χριστούλας Δ., Ανδρεαδάκης Α., Κουζέλη-Κατσίρη Α., Αφτιάς Ε., Μαμάης Δ. 1999)

Η περιεκτικότητα της λάσπης σε στερεά μετά από πρωτογενή καθίζηση είναι περίπου 3-8%, ενώ αυτή της ενεργοποιημένης ιλύος από τη δεξαμενή καθίζησης του δευτερογενούς καθαρισμού είναι 0,5-2% κατά βάρος.

Η επεξεργασία της λάσπης περιλαμβάνει τα ακόλουθα διαδοχικά στάδια – διεργασίες:

1. Προ επεξεργασία
2. Πάχυνση (Συμπύκνωση)
3. Βιολογική χώνευση (αερόβια, αναερόβια)
4. Βελτίωση (χημική βελτίωση, θερμική επεξεργασία (αποστείρωση))
5. Αφυδάτωση
6. Απόρριψη

### **Προ επεξεργασία**

Περιλαμβάνονται εξάμμωση, μίξη διαφόρων ειδών ιλύος και προσωρινή αποθήκευση. Θεωρείται προαιρετική, ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης και την ποσότητα της διαχωριζόμενης ιλύος. Συνήθως υποκαθίσταται από την πάχυνση.

### **Πάχυνση**

Πρόκειται για ένα στάδιο που έχει στόχο την μείωση του όγκου της ιλύος, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση δεξαμενών καθίζησης είτε με φυγοκέντριση, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται απομάκρυνση των περιεχομένων υγρών και βελτίωση των χαρακτηριστικών της ιλύος, ώστε να είναι πιο αποτελεσματικές οι μετέπειτα διεργασίες.

### **Χώνευση**

Είναι μια βιολογική διεργασία, η οποία αποσκοπεί στην σταθεροποίηση της οργανικής ύλης και στην καταστροφή μεγάλου μέρους των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται στην λάσπη, κυρίως λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια του εν λόγω σταδίου. Η διεργασία της χώνευσης μπορεί να γίνει κάτω από αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες.

### **Αφυδάτωση**

–

### **Ξήρανση**

Επιτυγχάνει την περαιτέρω ελάττωση του όγκου της ιλύος με επιπλέον μείωση της περιεκτικότητας της σε νερό, με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολη η διακίνηση, μεταφορά και τελική διάθεση της σταθεροποιημένης ιλύος. Χρησιμοποιούνται μηχανικές και θερμικές μέθοδοι, συνήθως ταινιοφιλτρόπρεσσες ή φυγοκεντρικοί συμπυκνωτές και κλίνες ξήρανσης ή συνδυασμός αυτών. Σύμφωνα με τον Carrington (2001), η απλή ξήρανση δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική διαδικασία με εξαίρεση τα μεσογειακά κλίματα. **(Carrington E.G.,2001)**

### **Ξήρανση μηχανικά αφυδατωμένης ιλύος**

Μπορεί να επιτευχθεί σε θερμικό ξηραντήρα, άμεσου ή έμμεσου τύπου. Στους πρώτους, η ιλύς έρχεται σε άμεση επαφή με το μέσο μεταφοράς θερμότητας, που είναι συνήθως θερμός αέρας, ενώ στους δεύτερους η ιλύς αναδεύεται – προωθείται μηχανικά σε εναλλάκτη κελύφους, που θερμαίνεται συνήθως με διαθερμικό λάδι. Ο Carrington (2001) αναφέρει ότι η θερμική ξήρανση σε θερμοκρασίες άνω των 80 °C, η οποία καταλήγει σε λάσπη με τελική περιεκτικότητα σε ύδωρ 10%, είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος θανάτωσης των παθογόνων μικροοργανισμών.

### **Απόρριψη**

Η επεξεργασμένη ιλύς δεν θεωρείται απόβλητο στην περίπτωση που επαναφέρεται στην οικονομική δραστηριότητα, όταν δηλαδή χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό υλικό ή σε άλλες εμπορικές χρήσεις, μετά την τελική της επεξεργασία. Τα τελευταία χρόνια στις ανεπτυγμένες χώρες έχουν αναπτυχθεί διαδικασίες ελεγχόμενης εφαρμογής της επεξεργασμένης και συμπυκνωμένης λάσπης στις γεωργικές καλλιέργειες. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της στο έδαφος είναι να πληροί τις σχετικές προδιαγραφές ποιότητας, κυρίως ως προς βαρέα μέταλλα. Επίσης, ανάλογα με το μικροβιακό φορτίο παθογόνων της ιλύος, έχουν θεσπιστεί μια σειρά από κριτήρια που αφορούν το είδος των καλλιεργειών που θα αναπτυχθούν σε αυτές τις περιοχές, το χρονικό διάστημα μεταξύ εναπόθεσης και σποράς κ.α. Σε κάθε άλλη περίπτωση το τελικό προϊόν αποτελεί στερεό απόβλητο, το οποίο είτε καταλήγει σε κάποιο φυσικό αποδέκτη, είτε αποτίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12 . Τυπική σύσταση ιλύος πριν και μετά από επεξεργασία ΠΗΓΗ : Βαβίζος, Γ., (1995).**

Τύπος ιλύος	Στερεά DS (%)	οργανικά στερεά (% DS)	Ολικό N (%DS)	N-NH <sub>4</sub> (%N)	C/N
Μίγμα ανεπεξέργαστης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας	3 -5	60 - 80	3 - 5	<10	10 – 14
Ανεπεξέργαστη δευτεροβάθμια από εγκ/ση τύπου παρατεταμένου αερισμού	2 - 5	40- 60	2 - 6	5 - 15	4 – 8
Μετά από αναερόβια χώνευση	5 - 10	40 - 80	2 - 7	20 - 40	5 – 10
Μετά από αερόβια σταθεροποίηση	4 - 8	50 - 70	3 - 8	5 - 10	5 – 8
Μετά από αφυδάτωση σε κλίνες ξήρανσης	35 - 50	35 - 50	2 - 4	<10	8 – 12
Μετά από μηχανική αφυδάτωση με προσθήκη χημικών	20 -30	40 - 60	2 - 6	<5	5 – 10

### 3.2.4 Διαχείριση υγρών αποβλήτων στην Αθηναϊκή ζυθοποιία

Η αθηναϊκή Ζυθοποιία χρησιμοποιεί ως σύστημα επεξεργασίας των αποβλήτων , το σύστημα ενεργού ιλύος. Η επιφάνεια των δεξαμενών επεξεργασίας είναι 11,500 m<sup>2</sup> και έχει δυνατότητα επεξεργασίας 9000 m<sup>3</sup> υγρών αποβλήτων ημερησίως και απόδοση 99%. Αποτελείται από δύο ορθογώνιες δεξαμενές αερισμού στις οποίες ο αερισμός γίνεται με διαχύτες μεμβράνης λεπτής φυσαλίδας , ένα σύστημα τεσσάρων δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης, μια λίμνη τελικής καθίζησης καθώς και ξηραντήρα λάσπης και παχυντή.

Τα απόβλητα διέρχονται από ένα κυλινδρικό κόσκινο. Το υγρό που διαχωρίζεται μπαίνει κάθετα από την εξωτερική κυλινδρική επιφάνεια προς το εσωτερικό του τυμπάνου και στην συνέχεια εξέρχεται στο κανάλι της εκροής από το τύμπανο. Τα εσχαρίσματα κινούνται πάνω στην εξωτερική επιφάνεια από το σημείο τροφοδότησης των λυμάτων μέχρι την περιοχή αφαίρεσης τους με την λεπίδα απόξεσης.



**ΕΙΚΟΝΑ 3. Εσχάρα τύπου κυλινδρικού τυμπάνου ΠΗΓΗ Athenianbrewery.gr**

Έπειτα γίνεται η επεξεργασία των λυμάτων σε σύστημα ενεργού ιλύος. Τα λύματα οδηγούνται σε μία δεξαμενή εξισορρόπησης, χωρητικότητας  $500 \text{ m}^3$  και στην συνέχεια οδηγούνται στις 2 δεξαμενές αερισμού χωρητικότητας  $3500 \text{ m}^3$  και  $6500 \text{ m}^3$ . Στην μικρότερη δεξαμενή τα απόβλητα δέχονται έναν ασθενή αερισμό ενώ στην μεγαλύτερη δέχονται εντονότερο αερισμό. Για τον αερισμό των δεξαμενών χρησιμοποιούνται διαχύτες μεμβράνης λεπτής φυσαλίδας. Οι διαχύτες μεμβράνης λεπτής φυσαλίδας είναι πορώδεις διαχύτες φτιαγμένοι από εύκαμπτα υλικά. Το υλικό που είναι φτιαγμένη η μεμβράνη είναι το διμερές του αιθυλενοπροπυλενίου (EPDM). Οι πορώδεις δίσκοι τοποθετούνται ομοιόμορφα στον πυθμένα των δεξαμενών αερισμού και είναι προσαρμοσμένοι σε σωλήνες αέρα. Έτσι παράγονται οι φυσαλίδες που εξαπλώνονται στο υγρό της δεξαμενής.

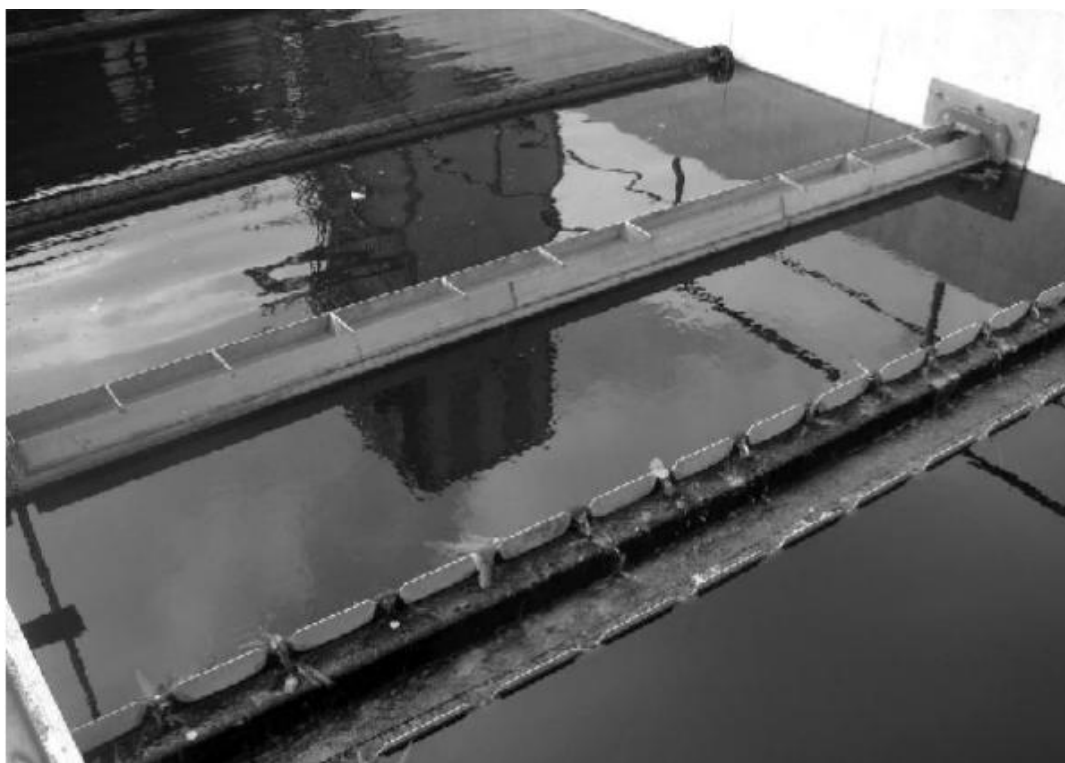


**ΕΙΚΟΝΑ 4. Δεξαμενή εξισορρόπησης ΠΗΓΗ Athenianbrewery.gr**

Μετά την βιολογική αποδόμηση, η εκροή εισέρχεται σε σύστημα δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των στερεών από τα υγρά. Η ιλύς καθιζάνει, ενώ διαχωρίζεται από το υγρό στοιχείο. Οι μικροοργανισμοί ενσωματώνονται και καθιζάνουν παρασέρνοντας έτσι και αιωρούμενα στερεά στον πυθμένα της δεξαμενής. Ένα κομμάτι της ιλύος επιστρέφεται στις δεξαμενές αερισμού, ενώ η περίσσεια ιλύς μεταφέρεται για παραπάνω επεξεργασία μετά την συγκέντρωσή της στον πυθμένα. Το νερό απομακρύνεται επιφανειακά μέσω του υπερχειλιστή για περαιτέρω καθαρισμό.

Το σύστημα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αποτελείται από τέσσερις ορθογώνιες δεξαμενές που έχουν τοποθετηθεί παράλληλα και διαχωρίζουν την βιολογική λάσπη του συστήματος από το διαυγασμένο νερό. Η αφαίρεση της ιλύος από τον πυθμένα γίνεται με προώθησή της με κατάλληλα ξέστρα σάρωσης που κινούνται από ατέρμονη αλυσίδα προς μία χοάνη η οποία βρίσκεται στο άκρο της εισόδου της δεξαμενής. Τα σωματίδια που επιπλέουν απομακρύνονται με πριονωτά λούκια υπερχειλίσης. Το υπερκείμενο υγρό από τις δεξαμενές καθίζησης μεταφέρεται στην δεξαμενή και δέχεται ελαφρύ αερισμό για περισσότερη μείωση του ρυπαντικού φορτίου. Το περιεχόμενο της δεξαμενής ελαφρού αερισμού μεταφέρεται σε δεξαμενή καθίζησης για να γίνει διαχωρισμός της λάσπης από το υπερκείμενο υγρό το οποίο έχει απαλλαχθεί από το ρυπαντικό φορτίο.





**ΕΙΚΟΝΑ 5. Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης ΠΗΓΗ Athenianbrewery.gr**

Η λάσπη μεταφέρεται με αντλία για κοινή επεξεργασία με την υπόλοιπη λάσπη. Πολύ μικρό ποσοστό των επεξεργασμένων λυμάτων χρησιμοποιείται για πότισμα ενώ μεγάλο μέρος κατευθύνεται για επιπλέον επεξεργασία. Η λάσπη οδηγείται σε δεξαμενή πάχυνσης χωρητικότητας  $1800 \text{ m}^3$  . Στη συνέχεια περνάει στη φυγόκεντρο για αφυδάτωση. Η τροφοδοσία λάσπης σε αυτό το στάδιο είναι  $5-18\text{m}^3/\text{h}$  . Τέλος η λάσπη μετά την σταθεροποίησή της μεταφέρεται σε φορηγά για την διάθεσή της κυρίως για λίπασμα. (Athenianbrewery.gr)



**ΕΙΚΟΝΑ 6. Ξέστρα σάρωσης της λάσπης (αριστερά), Πριονωτά λούκια υπερχειλίσης (δεξιά) ΠΗΓΗ Athenianbrewery.gr**



**ΕΙΚΟΝΑ 7. Δεξαμενή πάχυνσης ιλύος ΠΗΓΗ Athenianbrewery.gr**

### 3.3 ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΖΥΘΟΠΟΙΑΣ (BMP)

Τα λύματα από ζυθοποιεία μπορεί να περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις οργανικής ύλης από τα τυπικά οικιακά λύματα. Οι επιχειρήσεις που στέλνουν συμπυκνωμένα απόβλητα στο αποχετευτικό σύστημα πληρώνουν επιπλέον χρέωση επειδή κοστίζει περισσότερο η επεξεργασία αυτού του νερού.

Για να βοηθήσει τις ζυθοποιείες να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις και να διαχειριστούν το κόστος, η King County (κομητεία της πολιτείας Ουάσιγκτον) έχει αναπτύξει αυτά τα BMP (Best Management Practices) για τα λύματα ζυθοποιίας. Τα BMPs είναι δραστηριότητες, διαδικασίες και χαρακτηριστικά που έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν τους ρύπους που απορρίπτονται στην αποχέτευση ή απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Όλες οι ζυθοποιείες που στέλνουν τα λύματα τους στο αποχετευτικό σύστημα King County πρέπει να βεβαιωθούν ότι τα λύματα τους πληρούν τα τοπικά όρια και απαγορεύσεις απόρριψης, που αναφέρονται στον Κωδικό King County 28.84.060. (**Industrial Waste Program 2017**)

#### **Καθιζόμενα**

#### **Στερεά**

Τα λύματα πρέπει να περιέχουν λιγότερο από 7 χιλιοστό λίτρα ανά λίτρο στερεών ικανών να καθιζάνουν. Τα απορρίμματα τροφίμων πρέπει να μπορούν να περάσουν από κόσκινο 1/4 ίντσας. Τα στερεά που μπορούν να καθιζάνουν μπορεί να περιορίσουν ή να εμποδίσουν τη ροή στις γραμμές αποχέτευσης. Μια εταιρεία ή μια εγκατάσταση που απορρίπτει στερεά που προκαλούν λύματα είναι υπεύθυνη για τυχόν ζημιές.

#### **pH**

Το pH των λυμάτων πρέπει να παραμείνει μεταξύ 5,0 και 12,0. Τα λύματα δεν μπορούν να πέφτουν μεταξύ 5,0 και 5,5 για περισσότερο από 15 λεπτά. Τα λύματα που είναι πολύ όξινα ή πολύ αλκαλικά μπορούν να διαβρώσουν σοβαρά το αποχετευτικό σύστημα, επομένως το pH πρέπει να είναι ισορροπημένο.

#### **Θερμοκρασία**

Τα λύματα δεν πρέπει να υπερβαίνουν τους 65 βαθμούς Κελσίου (150 βαθμούς Φαρενάιτ) στο σημείο όπου εισέρχονται στο δημόσιο αποχετευτικό σύστημα ή τους 40°C (104 F) στην εισροή της μονάδας επεξεργασίας.

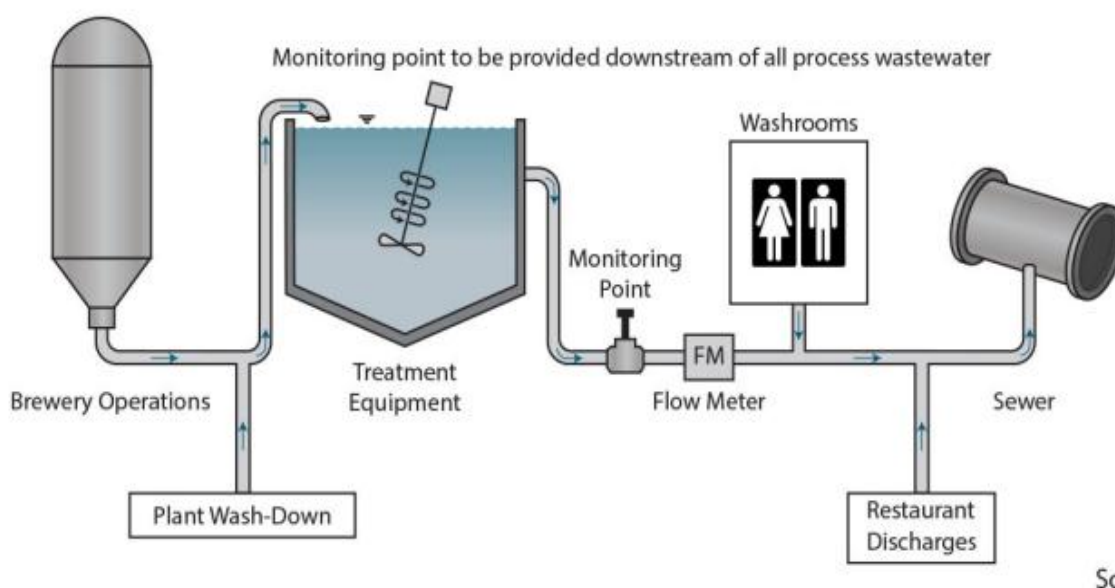
Ορισμένες επιχειρήσεις χρειάζονται άδειες ή εξουσιοδότηση για να στείλουν τα λύματα τους στην αποχέτευση. Οι ζυθοποιείες πρέπει να υποβάλουν αίτηση για άδεια εάν πληρούν τα ακόλουθα κριτήρια:

Παράγουν 3.000 ή περισσότερα βαρέλια μύρας ετησίως, ή Στέλνουν 1.000 ή περισσότερα γαλόνια λυμάτων στην αποχέτευση κάθε μέρα, ή Έχουν τις εγκαταστάσεις τους στη ζώνη Carnation or Vashon Treatment Plant Collection(Industrial Waste Program 2017)

### 3.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Για να διασφαλιστεί ότι τα λύματα τους πληρούν τις απαιτήσεις, οι ζυθοποιίες που χρειάζονται επίσημη άδεια πρέπει να διαθέτουν ένα εύκολα προσβάσιμο σημείο παρακολούθησης. Πρέπει να είναι σε θέση να συλλέγουν δείγματα που αντιπροσωπεύουν τα λύματα της ζυθοποιίας σε μια τοποθεσία που είναι χωριστή η αποχέτευση υγιεινής. Ενώ τα μικρά ζυθοποιεία μπορεί να μην έχουν πάντα ξεχωριστό σημείο παρακολούθησης, η King County διατηρεί την εξουσία να το ζητήσει. Στο παρελθόν, οι ζυθοποιίες που μεγάλωσαν αρκετά ώστε να χρειαστούν επίσημη άδεια χρειάστηκε να αναδιαμορφώσουν και να αντικαταστήσουν τα υδραυλικά για να πληρούν τις απαιτήσεις. (Industrial Waste Program 2017)

Figure 1: Monitoring point is needed to sample brewery wastewater only, not other sources of wastewater.



**ΕΙΚΟΝΑ 8.** Σύστημα παρακολούθησης για τη δειγματοληψία μόνο των λυμάτων ζυθοποιίας και όχι άλλων πηγών λυμάτων.

ΠΗΓΗ Industrial Waste Program 2017

### 3.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ COD ΑΠΟ ΤΑ ΛΥΜΑΤΑ ΖΥΘΟΠΟΙΑΣ

Η προσβασιμότητα σε χρησιμοποιήσιμο φρέσκο νερό αποτελεί παγκόσμια ανησυχία λόγω των περιορισμένων υδάτινων πόρων και του σταθερά αυξανόμενου πληθυσμού. Στις μεταποιητικές βιομηχανίες σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Νότιας Αφρικής, υπάρχουν μεγάλοι όγκοι ρυπογόνων λυμάτων που απορρίπτονται ετησίως στις εσωτερικές πλωτές οδούς. Αυτή η ερευνητική μελέτη εστιάζει στη βιομηχανία ζυθοποιίας γιατί αποτελεί σημαντικό οικονομικό τμήμα οποιασδήποτε χώρας στον κόσμο. Η παραγωγή μύρας σε εμπορική κλίμακα απαιτεί πολύ περισσότερο νερό από αυτό που περιέχεται στην ίδια την μύρα, αν ληφθεί υπόψη το νερό που χρησιμοποιείται για ψύξη και υγιεινή.

Τα λύματα και τα στερεά απόβλητα από την παραγωγή μύρας, υποτίθεται ότι απορρίπτονται ή υποβάλλονται σε επεξεργασία με τον λιγότερο δαπανηρό και ασφαλέστερο τρόπο. Πολυάριθμες ζυθοποιίες παγκοσμίως αναζητούν μέσα για να μειώσουν τη χρήση νερού κατά τη διαδικασία παρασκευής μύρας. Ορισμένοι ερευνούν επίσης τρόπους για την αποτελεσματική και ασφαλή επεξεργασία των λυμάτων του ζυθοποιείου για επαναχρησιμοποίηση. Οι μεγάλοι όγκοι νερού που χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή μύρας έχουν ως αποτέλεσμα η βιομηχανία ζυθοποιίας να απορρίπτει μεγάλους όγκους υψηλά ρυπογόνων λυμάτων, επομένως η απόρριψη μη επεξεργασμένων λυμάτων ζυθοποιίας στα υδατικά συστήματα μπορεί να αποτελέσει πιθανή ή σοβαρή ρύπανση στα υδατικά συστήματα. Οι περισσότερες μεγάλες ζυθοποιίες απαιτούν κάποιο βαθμό επεξεργασίας των λυμάτων.

Σε περιπτώσεις που η ζυθοποιία δεν απορρίπτει στο δημοτικό αποχετευτικό δίκτυο, τότε απαιτείται πρωτογενής και δευτερογενής επεξεργασία των λυμάτων. Ωστόσο, εάν επιτραπεί στο ζυθοποιείο να απορρίψει σε δημοτικό αποχετευτικό δίκτυο, ενδέχεται να απαιτείται προ-επεξεργασία για την τήρηση των δημοτικών κανονισμών ή/και τη μείωση του φορτίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα τέλη απόρριψης αποχετεύσεων που επιβάλλονται στον όγκο των λυμάτων και στα αιωρούμενα και οργανικά φορτία, από τον δήμο μπορεί να ενθαρρύνουν το ζυθοποιείο να εγκαταστήσει τη δική του εγκατάσταση επεξεργασίας. Η προ-επεξεργασία έχει σκοπό να αλλάξει τις φυσικές, χημικές ή/και βιολογικές ιδιότητες του νερού τροφοδοσίας βελτιώνοντας έτσι την απόδοση των διεργασιών. Επομένως, η προ επεξεργασία γίνεται με φυσικές, χημικές ή βιολογικές μεθόδους ή με συνδυασμό όλων αυτών των μεθόδων. **(Fosso-Kankeu E. (2019) Conference)**

### 3.5.1 Φυσικές μέθοδοι

Η φυσική επεξεργασία λυμάτων έχει χρησιμοποιηθεί γενικά για τη μείωση των αιωρούμενων στερεών από τα λύματα μέσω της καθίζησης μέσω της δύναμης της βαρύτητας. Η διαδικασία διαχωρίζει επίσης τα υλικά όπως γράσο και λάδι από τα λύματα. Ωστόσο, οι μέθοδοι φυσικής επεξεργασίας αφαιρούν μόνο στερεά χονδροειδή υλικά, αλλά δεν υποβαθμίζουν τους ρύπους. Σύμφωνα με τον έλεγχο Thakur, η ανάμειξη εξισορρόπησης ροής, η επίπλευση και η καθίζηση είναι οι φυσικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος στην επεξεργασία των λυμάτων. Η εξισορρόπηση ροής είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την ενοποίηση των λυμάτων σε δεξαμενές συγκράτησης για εξισορρόπηση πριν τα λύματα εισαχθούν σε μεταγενέστερες διαδικασίες επεξεργασίας. Συνήθως, η φυσική επεξεργασία χρησιμεύει ως στάδιο προ-επεξεργασίας της επεξεργασίας λυμάτων ζυθοποιίας. **(Amenorfenyo D. & al (2019) publ.)**

### 3.5.2 Χημικές μέθοδοι

Οι διεργασίες χημικής επεξεργασίας περιλαμβάνουν ρύθμιση του pH ή πήξη/κροκίδωση με την προσθήκη διαφορετικών χημικών ουσιών στα απόβλητα για αλλαγή της χημείας του. Η πήξη-κροκίδωση είναι το πρώτο στάδιο επεξεργασίας στη μέθοδο χημικής επεξεργασίας λυμάτων. Η κροκίδωση περιλαμβάνει την ανάδευση των χημικά επεξεργασμένων λυμάτων για την πρόκληση πήξης που βελτιώνει την απόδοση καθίζησης αυξάνοντας το μέγεθος των σωματιδίων, αυξάνοντας έτσι την απόδοση καθίζησης. Τα ανόργανα πηκτικά όπως το θειικό αλουμίνιο και ο χλωριούχος σίδηρος έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην επεξεργασία λυμάτων. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας επεξεργασίας, τα λύματα, οργανικές ενώσεις οξειδώνονται μέσω της προσθήκης χημικών ενώσεων όπως το χλώριο, το όζον-οξυγόνο ή το υπερμαγγανικό άλας για τη δημιουργία CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O και άλλων αβλαβών υλικών. Τα απόβλητα CO<sub>2</sub> μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξουδετέρωση των καυστικών λυμάτων από συστήματα καθαρισμού σε χώρους (CIP) και πλυντήρια φιαλών. **(www.beer-brewing.com/default.htm)**

Τα χημικά κροκιδωτικά είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά αλλά είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Το pH των λυμάτων πρέπει να διατηρείται μεταξύ 6 και 9 για την προστασία των μικροοργανισμών (βακτηρίων) που υπάρχουν. Συνήθως, η εξουδετέρωση του pH των λυμάτων με χρήση H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και HCl δεν συνιστάται λόγω της διαβρωτικής φύσης τους και του περιορισμού της απόρριψης θεικών και χλωριόντων.

Το *Detarium microcarpum* αναφέρεται ότι είναι ένα αποτελεσματικό πηκτικό για την απομάκρυνση της θολότητας από τα λύματα της ζυθοποιίας. Οι Okolo, διεξήγαγαν μια μελέτη για τη βελτιστοποίηση πηκτικών για την επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας χρησιμοποιώντας μεθοδολογία επιφάνειας απόκρισης.

Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των επιδράσεων και της αλληλεπίδρασης τριών παραγόντων, δηλαδή της δόσης των πηκτικών, του pH και του χρόνου ανάδευσης για την απομάκρυνση στερεών σωματιδίων στην αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας χρησιμοποιώντας σκόνη σπόρων *Detarium microcarpum* (DMSP) και σκόνη αποξηραμένου κελύφους στρεπιδίων (ODSP) ως πηκτικά.

Τα αποτελέσματα έδειξαν τις βέλτιστες συνθήκες για δοσολογία πηκτικού (100,53 mg/L), pH εκροής (2,001) και χρόνο ανάδευσης (24,47 λεπτά) με 90,44% αφαίρεση στερεών σωματιδίων (SP) για DMSP και δόση πηκτικού (104,19 mg/L), pH (3,34) και χρόνος ανάδευσης (27,54) με 96,55% αφαίρεση SP για ODSP. Τα απόβλητα CO<sub>2</sub> μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξουδετέρωση των καυστικών λυμάτων από συστήματα καθαρισμού σε χώρους (CIP) και πλυντήρια φιαλών. **(Amenorfenyo D. & al (2019) publ.)**

### 3.5.3 Βιολογικοί μέθοδοι

Η αφθονία οργανικών ουσιών στα λύματα της ζυθοποιίας είναι η κύρια αιτία υψηλού COD που απαιτεί αποτελεσματικές μεθόδους επεξεργασίας που μπορούν εύκολα να απομακρύνουν τους οργανικούς ρύπους. Γενικά, οι βιολογικές μέθοδοι είναι μια πιο βιώσιμη επιλογή από τις φυσικοχημικές μεθόδους όσον αφορά την αποτελεσματική απομάκρυνση της οργανικής ύλης από τα λύματα. Επομένως, η επεξεργασία με διοχέτευση των λυμάτων μέσω μιας διαδικασίας αναερόβιας χώνευσης με χρήση αναερόβιων βακτηρίων και στη συνέχεια μέσω αερόβιας διεργασίας με χρήση ενεργοποιημένης ιλύος έχει γίνει η τυπική και πιο συνιστώμενη διαδικασία για τα λύματα ζυθοποιίας. Τόσο η αναερόβια όσο και η αερόβια μέθοδος χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα, με στόχο τη μείωση του COD των λυμάτων ζυθοποιίας πριν μεταφερθούν σε δημοτικές εγκαταστάσεις ανάκτησης υδατικών πόρων. **(Jaiyeola A.T. & Bwapa J.K. (2016) publ.)**

Σε σύγκριση με τις φυσικοχημικές ή χημικές μεθόδους, οι βιολογικές μέθοδοι έχουν τρία πλεονεκτήματα : (1) η τεχνολογία επεξεργασίας είναι υψηλότερη, (2) υψηλή απόδοση στην αφαίρεση COD και BOD, που κυμαίνεται από 80 έως 90%, και (3) χαμηλό κόστος επένδυσης. Ωστόσο, αν και οι διαδικασίες βιολογικής επεξεργασίας είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές για την επεξεργασία λυμάτων, απαιτούν υψηλή εισροή ενέργειας. Η βιολογική επεξεργασία των λυμάτων μπορεί να είναι είτε αερόβια (με τροφοδοσία οξυγόνου) είτε αναερόβια (χωρίς οξυγόνο). Γενικά, η αερόβια επεξεργασία έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για την επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας και πρόσφατα τα αναερόβια συστήματα έχουν γίνει μια ελκυστική επιλογή.

*Η CB's Brewing Company εγκατέστησε ένα σύστημα βιολογικής προ-επεξεργασίας στο ζυθοποιείο της στο Honeoye Falls της Νέας Υόρκης. Το σύστημα μείωσε τα επίπεδα BOD κατά 90%. Το έργο κατασκευάστηκε σε συνεργασία με το χωριό Honeoye, μια μικρή κοινότητα που έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται κυρίως οικιακά λύματα. Η εγκατάσταση ενός οργανικού συστήματος προ-επεξεργασίας βασίστηκε ως προϋπόθεση για τις εγκρίσεις του χωριού, όχι από την άποψη της οικονομικής απόδοσης. (Simate G.F. & al (2011) publ.)*

Ο Haydon έδειξε ότι η αναερόβια χώνευση των λυμάτων της ζυθοποιίας χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο για τη δημιουργία μιας πηγής ενέργειας όπως το βιοαέριο. Αυτό απαιτεί την απομάκρυνση της περιεκτικότητας του βιοαερίου σε υδρόθειο. Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος αναερόβιας χώνευσης.

Τα αερόβια συστήματα είναι πιο αποτελεσματικά όσον αφορά την απομάκρυνση των οργανικών ρύπων αλλά απαιτούν τη χρήση οξυγόνου που αυξάνει το λειτουργικό κόστος και το κόστος κεφαλαίου. Τόσο οι αναερόβιες όσο και οι αερόβιες διεργασίες απαιτούν υψηλό κόστος κεφαλαίου, ωστόσο, διαφέρουν ως προς το λειτουργικό κόστος που είναι χαμηλότερο για τις αναερόβιες διεργασίες σε σύγκριση με τις αερόβιες διεργασίες. Το κόστος εκκίνησης της αναερόβιας χώνευσης είναι υψηλό λόγω της επίπονης διαδικασίας σποράς που απαιτείται για μια κατάλληλη καλλιέργεια μικροοργανισμών και οι αναερόβιες διεργασίες δεν είναι σε θέση να μειώσουν αποτελεσματικά το επίπεδο ορισμένων θρεπτικών συστατικών όπως τα νιτρικά.

Στην αναζήτηση αποτελεσματικών μεθόδων επεξεργασίας λυμάτων ζυθοποιίας, η επεξεργασία των λυμάτων ζυθοποιίας μπόρεσε να αντλήσει από την εμπειρία άλλων εφαρμογών και βιομηχανιών, ιδιαίτερα την επεξεργασία της αποστράγγισης όξινων πετρωμάτων μέσω της χρήσης δομών αερόβιας και αναερόβιας χώνευσης.

Οι δομές αερόβιας χώνευσης είναι συνήθως υγρότοποι και ρηχές λίμνες καθίζησης που παρέχουν ένα οξειδωτικό περιβάλλον για παρασυρόμενες προσμείξεις, ενώ οι δομές αναερόβιας χώνευσης χρησιμοποιούν αναερόβια βακτήρια για την πέψη πολλών από τα θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται στα λύματα της ζυθοποιίας.

Αυτές οι μέθοδοι είναι ξεχωριστές από τις διεργασίες αναερόβιας χώνευσης και ενεργής ιλύος που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των λυμάτων της ζυθοποιίας. (Jaiyeola A.T. & Bwapa J.K. (2016) publ.)



### 3.6 SAB MILLER'S EDEN PROJECT

Ο Jones ολοκλήρωσε μια μελέτη για το SAB Miller's Eden Project που πραγματοποιήθηκε στην τοποθεσία του ζυθοποιείου Ibhayi. Αυτή ήταν μια πειραματική εγκατάσταση που στόχευε στη δοκιμή και την προσαρμογή της αποκατάστασης των λυμάτων της ζυθοποιίας με τη χρήση λιμνών αλάτων υψηλής ταχύτητας και τεχνολογίας κατασκευασμένων υγροτόπων (HIRAP/CW). Ο πειραματικός σταθμός χρησιμοποίησε ένα ειδικά σχεδιασμένο θερμοκήπιο για να δοκιμάσει τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων για την καταλληλότητά του σε δευτερεύουσες εφαρμογές. Αυτά τα πειράματα προσπάθησαν να μειώσουν ή να εξαλείψουν την περιεκτικότητα σε χλώριο των λυμάτων. Τα επεξεργασμένα λύματα αποδείχθηκαν κατάλληλα για την ανάπτυξη των λαχανικών, καθώς και για την εκτροφή ψαριών.

Επιπλέον, καλλιέργειες ανθεκτικές στο νάτριο όπως οι μπανάνες αναπτύχθηκαν με επιτυχία με τα επεξεργασμένα λύματα. Το έργο SAB Miller πρέπει να επεκταθεί με τέτοιο τρόπο ώστε όλα τα λύματα από το ζυθοποιείο Ibhayi και τις άλλες τοποθεσίες της SAB Miller να μπορούν να αντιμετωπίζονται με παρόμοιο τρόπο.

Το πείραμα SAB Miller είναι μοναδικό και αντιπροσωπεύει την πρώτη μελέτη περίπτωσης μιας εμπορικής ζυθοποιίας που επεξεργάζεται λύματα ζυθοποιίας στη Νότια Αφρική. Η μέθοδος αποδείχθηκε αποτελεσματική στη μείωση των επιπέδων αμμωνίας και φωσφορικών αλάτων στο νερό της εκροής σε ρυθμιζόμενα πρότυπα. Ωστόσο, η μέθοδος δεν μπορεί να αφαιρέσει χλωριούχα και άλατα νατρίου από τα απόβλητα.

Ως εκ τούτου, τα απόβλητα παραμένουν κατάλληλα μόνο για απόρριψη σε θάλασσες. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το εξαιρετικά χαμηλό κόστος και η αξιοπιστία της. Οι Kivaisi και Shrestha εξέτασαν τη χρήση της τεχνολογίας κατασκευασμένων υγροτόπων (CW) για τη μείωση του COD στην επεξεργασία αστικών λυμάτων. Ανέφεραν ότι θα μπορούσε να μειωθεί κατά 90-94% από έναν «ώριμο» υγρότοπο.

Ομοίως, ο Shepherd εξέτασε τη χρήση της τεχνολογίας CW στην επεξεργασία των λυμάτων οινοποιείου, που είναι παρόμοια με τα λύματα της ζυθοποιίας, και ανέφερε απόδοση αφαίρεσης COD έως και 98%. Όλα αυτά τα στοιχεία έδειξαν ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας HIRAP/CW για την επεξεργασία των λυμάτων ζυθοποιίας θα μπορούσε να είναι εξαιρετικά επιτυχής για τη μείωση του COD στα λύματα προτού τα περάσουν σε περαιτέρω επεξεργασία ή στο περιβάλλον. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η περιεκτικότητα σε αλατόνερο των λυμάτων δεν επηρεάστηκε από την επεξεργασία HIRAP/CW. **(Jaiyeola A.T. & Bwapa J.K. (2016) publ.)**

Ο Simate χρησιμοποίησε νανοσωλήνες άνθρακα για την επεξεργασία λυμάτων από τη βιομηχανία ζυθοποιίας. Οι νανοσωλήνες άνθρακα παρασκευάστηκαν από διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το οποίο είναι ένα άλλο σημαντικό υποπροϊόν της ζυθοποιίας. Οι νανοσωλήνες είναι πολύ αποτελεσματικοί ως κροκιδωτικός παράγοντας και ως μέσο διήθησης κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Αναφέρθηκε ότι η επεξεργασία με χρήση

νανοσωλήνων άνθρακα μείωσε τη θολότητα των εκροών και αφαιρούσε το 96% του COD εκροής. Δεδομένης της τρέχουσας προσοχής στην τεχνολογία νανοσωλήνων άνθρακα/γραφενίου, αυτή είναι μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για την επεξεργασία των λυμάτων ζυθοποιίας στο εγγύς μέλλον. Η δύναμη αυτής της τεχνολογίας είναι το γεγονός ότι οι νανοσωλήνες άνθρακα μπορούν να παραχθούν από καθαρό CO<sub>2</sub> ως πηγή άνθρακα. Επιπλέον, είναι ένας πιθανός τρόπος χρήσης μεγάλων ποσοτήτων CO<sub>2</sub> που παράγεται από τη βιομηχανία ζυθοποιίας από τη διαδικασία ζύμωσης.

Ωστόσο, η επεξεργασία με νανοσωλήνες άνθρακα για τα λύματα από τη βιομηχανία ζυθοποιίας δεν είναι ακόμη βιώσιμη επιλογή. Η τεχνολογία απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας για τον καθαρισμό του CO<sub>2</sub> και τη σύνθεση νανοσωλήνων άνθρακα. Επομένως, το κόστος θα ήταν υπερβολικό. Επίσης, η αναπόφευκτη απελευθέρωση νανοσωλήνων άνθρακα στο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε τεράστιες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία με απροσδόκητες συνέπειες.

Οι νανοσωλήνες άνθρακα και άλλες ενώσεις τύπου φουλερενίου είναι φυσικά προϊόντα που απαντώνται στην αιθάλη από την καύση άνθρακα, ενώ το γραφένιο είναι το βασικό μοριακό δομικό στοιχείο του γραφίτη και του άνθρακα. Η πρόκληση με αυτήν την τεχνολογία νανοσωλήνων άνθρακα είναι το γεγονός ότι το περιβάλλον δεν έχει εκτεθεί ποτέ σε αυτήν σε μεγάλη κλίμακα. Για το λόγο αυτό, απαιτούνται περισσότερες έρευνες σχετικά με το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την ασφάλεια διεργασιών των νανοσωλήνων άνθρακα.

### **3.7 ΠΡΟΗΓΜΕΝΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ**

Οι προηγμένες διεργασίες επεξεργασίας οξειδωσης (AOP) χρησιμοποιούνται ευρέως στην επεξεργασία λυμάτων, ειδικά σε αποστακτήρια αλκοόλης, τα οποία παράγουν σχεδόν τον ίδιο τύπο λυμάτων με τη βιομηχανία ζυθοποιίας, με υψηλά επίπεδα οργανικών ενώσεων. Η διαδικασία παραγωγής στα αποστακτήρια είναι σχεδόν ίδια με τα ζυθοποιεία γιατί και τα δύο περιλαμβάνουν ζύμωση.

Το όζον, το υπεροξείδιο του υδρογόνου και η υπεριώδης ακτινοβολία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδροξυλίου (OH) κατά το πρώτο στάδιο της οξειδωσης. Στο δεύτερο στάδιο, το υδροξύλιο (OH) αντιδρά με οργανικούς ρύπους για να παράγει ιζήματα.

Οι καθιερωμένες τεχνολογίες AOP μπορούν να γίνουν δυνατές με τη βοήθεια των ακόλουθων συνδυασμών: όζον/υπεροξείδιο του υδρογόνου (O<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), όζον/υπεριώδη ακτινοβολία (O<sub>3</sub>/UV) και υπεροξείδιο του υδρογόνου/υπεριώδη ακτινοβολία (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV).

Μελετήθηκε ότι τόσο το όζον όσο και το υδροξύλιο (OH) είναι ισχυρά οξειδωτικά και είναι ικανά να οξειδώσουν μια σειρά από οργανικές ενώσεις. Το όζον είναι ένα ισχυρό οξειδωτικό που αντιδρά με μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων και διευκολύνει την απομάκρυνση οργανικών ρύπων από τα λύματα, αφού διαλυθούν στο νερό. Δρα με δύο διαφορετικούς τρόπους, (1) με άμεση οξείδωση ως μοριακό όζον και (2) με έμμεση αντίδραση μέσω του σχηματισμού δευτερογενών οξειδωτικών όπως τα είδη ελεύθερων ριζών, ιδιαίτερα οι ρίζες υδροξυλίου (OH).

### **3.8 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**

#### **Κατεργασία διήθησης μεμβράνης**

Η διήθηση με μεμβράνη μπορεί να είναι μια αποτελεσματική θεραπεία ανάλογα με τον τύπο της εκροής. Αυτή η μέθοδος μπορεί να επιτύχει έως και 99% απομάκρυνση COD, Βιοχημική ζήτηση οξυγόνου (BOD) και ολική αφαίρεση αιωρούμενων στερεών (TSS). Εάν το απαιτούμενο τελικό προϊόν είναι πόσιμο νερό, μπορεί να προστεθεί αντίστροφη ώσμωση στη διαδικασία. Οι μεμβράνες Microfiltration (MF), Ultrafiltration (UF) και Nanofiltration (NF) έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την αποκατάσταση των λυμάτων ζυθοποιίας. Η πρόκληση με τις τεχνολογίες μεμβράνης είναι η ρύπανση και η κατανάλωση ενέργειας, αλλά νέοι τύποι μεμβρανών με αντιρρυπαντικές ιδιότητες καθιστούν τη διαδικασία μεμβράνης μια βιώσιμη επιλογή επεξεργασίας. Απαιτούνται περισσότερες μελέτες σε αυτόν τον τομέα για την παραγωγή μεμβρανών που μπορούν να λειτουργήσουν με ελάχιστη ρύπανση και αποτελεσματική χρήση ενέργειας.

#### **Κατεργασία βιοαντιδραστήρα μεμβράνης**

Η επεξεργασία με μεμβράνη βιοαντιδραστήρα (MBR) είναι μια επιτυχημένη τεχνολογία για την επεξεργασία λυμάτων και κατά την τελευταία δεκαετία έχει επίσης επιτυχή αποτελέσματα για το πόσιμο νερό. Είναι ένας συνδυασμός δύο αποδεδειγμένων τεχνολογιών: ενισχυμένη βιολογική επεξεργασία με χρήση ενεργοποιημένης ιλύος ή αναερόβιας μονάδας και διήθηση με μεμβράνη. Η ανάπτυξη διαφόρων συνδυασμών μεμβρανών με άλλα συμβατικά συστατικά επεξεργασίας δικαιολογείται από την αυξανόμενη τιμή του νερού και τη συνεχή εξάντληση των υδάτινων πόρων.

Ως εκ τούτου, το MBR θεωρείται ως μια οικονομική και τεχνικά βιώσιμη επιλογή για την επεξεργασία των λυμάτων. Μπορούν να αναγνωριστούν δύο διαμορφώσεις διεργασίας MBR: πλευρική ροή και βυθισμένη. Σε μια διαδικασία πλευρικής ροής, η μονάδα μεμβράνης τοποθετείται έξω από τον αντιδραστήρα και το αναμεμιγμένο υγρό του αντιδραστήρα ρέει πάνω από έναν βρόχο ανακυκλοφορίας που περιέχει τη μεμβράνη. Σε μια βυθισμένη διαμόρφωση, η μεμβράνη τοποθετείται μέσα στον αντιδραστήρα και βυθίζεται στο αναμεμιγμένο υγρό.

Τα MBR πλευρικής ροής είναι πιο εντατικά από τα βυθισμένα MBR λόγω των υψηλών λειτουργικών μεμβρανικών πιέσεων και της σημαντικής ογκομετρικής ροής που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας εγκάρσιας ροής. Τα MBR που καλύπτονται από νερό χρησιμοποιούν περισσότερη επιφάνεια μεμβράνης και λειτουργούν σε χαμηλότερα επίπεδα ροής.

Η τεχνολογία MBR μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία στην επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας και έδειξε απομάκρυνση COD έως και 96% χρησιμοποιώντας έναν αντιδραστήρα αναερόβιας ιλύος αναρροής (UASB) με ενσωματωμένη μεμβράνη.

Η επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας με χρήση MBR αναφέρθηκε επίσης σε άλλες μελέτες. Στις περισσότερες από αυτές τις μελέτες, καταγράφηκαν σημαντικές ποσότητες απομάκρυνσης COD έως και 90%, γεγονός που υποδεικνύει ότι η διαδικασία MBR μπορεί να είναι μια επιτυχημένη επιλογή για την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων ζυθοποιίας. Ωστόσο, όπως συμβαίνει με κάθε διαδικασία μεμβράνης, η ρύπανση είναι η μεγαλύτερη πρόκληση και πρέπει να αντιμετωπιστεί με τακτικό καθαρισμό και συντήρηση. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί επίσης να είναι μια αδυναμία, ειδικά όταν πρόκειται για μεμβράνες πλευρικής ροής. Το κόστος κεφαλαίου μπορεί επίσης να είναι υψηλότερο λόγω του συνδυασμού δύο μονάδων: μεμβράνης και αναερόβιου ή αερόβιου αντιδραστήρα.

### **Κατεργασία με βάση τα μικροφύκη**

Αναλύθηκε η δυνατότητα χρήσης ενός στελέχους μικροφυκών που είναι γνωστό ως *Scenedesmus obliquus* για την επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας. Συνήθως, τα μικροφύκη μπορούν να αναπτυχθούν στα λύματα της ζυθοποιίας χρησιμοποιώντας ρύπους ως θρεπτικά συστατικά. Οι καλύτερες συνθήκες λειτουργίας είναι οι αεριζόμενες καλλιέργειες που εκτίθενται σε φως υψηλής έντασης για 12 ώρες καθημερινά. Αναφέρθηκε ότι η μέγιστη ανάπτυξη βιομάζας επιτεύχθηκε μετά από 9 ημέρες με απόδοση 0,9 g ξηρής βιομάζας ανά λίτρο καλλιέργειας. Η απομάκρυνση των ρύπων με 57,5% COD και 20,8% ολικό N<sub>2</sub> καταγράφηκε μετά από 14 ημέρες. Οι τελικές τιμές COD και ολικού αζώτου βρέθηκαν να είναι 1692 mg O<sub>2</sub>/L και 47 mg N<sub>2</sub>/L αντίστοιχα. Σε σύγκριση με τα πρότυπα απόρριψης, τα οποία είναι 150 mg O<sub>2</sub> /L και 15 mg N<sub>2</sub>/L, αντίστοιχα, οι τελικές τιμές COD και ολικού αζώτου ήταν υψηλότερες.

Ως αποτέλεσμα, η επεξεργασία των λυμάτων από μικροφύκη μπορεί να επιτευχθεί είτε στη δευτερογενή είτε σε τριτογενή φάση της επεξεργασίας, σε συνδυασμό με άλλες επεξεργασίες. Μετά τη χρήση, η προκύπτουσα βιομάζα φυκιών μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Η επεξεργασία των λυμάτων με φύκια είναι μια αναδυόμενη μέθοδος που μπορεί επίσης να βοηθήσει στην επίλυση της πρόκλησης της επεξεργασίας λυμάτων ζυθοποιίας με χαμηλότερο κόστος. Απαιτούνται περισσότερες έρευνες για την εύρεση κατάλληλων στελεχών που είναι σε θέση να απομακρύνουν αποτελεσματικά μεγάλες ποσότητες οργανικών μολυσματικών ουσιών από τα λύματα της ζυθοποιίας, αλλά υπάρχει ένα δυνητικό και πολλά υποσχόμενο μέλλον σχετικά με αυτόν τον τύπο επεξεργασίας.

### **Κατεργασία μικροβιακών κυψελών καυσίμου**

Εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα μιας μεθόδου μικροβιακής κυψέλης καυσίμου (MFC) για να προσδιορίσει την καταλληλότητά της για επεξεργασία λυμάτων ζυθοποιίας. Αυτή η μέθοδος είναι ακόμα νέα και έχει προσελκύσει το παγκόσμιο ενδιαφέρον επειδή μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια από οργανική ύλη που υπάρχει στα λύματα. Τα MFC είναι συσκευές που χρησιμοποιούν μικροοργανισμούς για να μετατρέψουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια από οργανική ύλη. Το MFC είναι ένα συνδυασμένο σύστημα με αναερόβια και αερόβια χαρακτηριστικά.

Η αναερόβια χώνευση από μικροοργανισμούς λαμβάνει χώρα στο διάλυμα κοντά στην άνοδο με την κάθοδο εκτεθειμένη στο οξυγόνο. Τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται από τη βακτηριακή οξείδωση των οργανικών ενώσεων μεταφέρονται στην κάθοδο όπου αντιδρούν με το οξυγόνο από το νερό.

Χρησιμοποιήθηκαν παράμετροι όπως η μέγιστη πυκνότητα ισχύος και η αφαίρεση COD ως συναρτήσεις της θερμοκρασίας, της αντοχής των εκροών και των κουλομβικών αποδόσεων (CE) για να ελέγξει την απόδοση του MFC. Διαπιστώθηκε ότι όταν η θερμοκρασία μειώθηκε από 30 °C σε 20 °C, η μέγιστη πυκνότητα ισχύος μειώθηκε από 205 mW/m<sup>2</sup> σε 170 mW/m<sup>2</sup>. Ωστόσο, οι αφαιρέσεις COD και το CE μειώθηκαν ελαφρώς με τη μείωση της θερμοκρασίας.

Επίσης, η απόδοση του αντιδραστήρα επηρεάστηκε έντονα από την ρυθμιστική ικανότητα. Η πυκνότητα ισχύος αυξήθηκε σημαντικά κατά 136% με την προσθήκη 50 mM φωσφορικού. Η απόδοση αφαίρεσης COD ήταν 85% και 87% στους 20 °C και 30 °C, αντίστοιχα.

Η απόδοση του MFC διαδοχικής ανόδου-καθόδου πέτυχε απόδοση αφαίρεσης COD μεγαλύτερη από 90%. Σε μια άλλη μελέτη, επετεύχθη αφαίρεση COD έως και 94% χρησιμοποιώντας τη μέθοδο MFC για τα λύματα της ζυθοποιίας. Συμπερασματικά, το MFC, ειδικότερα η διαδοχική άνοδος-κάθοδος, μπορεί να προσφέρει μια νέα προσέγγιση για την επεξεργασία των λυμάτων της ζυθοποιίας, ενώ προσφέρει μια εναλλακτική μέθοδο παραγωγής ενέργειας.

### **Κατεργασία με βάση τον ενεργό άνθρακα**

Ο ενεργός άνθρακας είναι ένα από τα πιο ισχυρά προσροφητικά για την απομάκρυνση ενός ευρέος φάσματος ρύπων από βιομηχανικά και δημοτικά λύματα, στραγγίσματα χωματερών και μολυσμένα υπόγεια ύδατα. Αυτό το ισχυρό προσροφητικό μπορεί να αντιμετωπίσει ένα ευρύ φάσμα ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των οργανικών ρύπων που υπάρχουν στα λύματα της ζυθοποιίας.

Μπορεί να υπάρχουν διαφορετικοί ρύποι στην ίδια εκκένωση και ο άνθρακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία της συνολικής ροής ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση συγκεκριμένων ρύπων ως μέρος μιας προσέγγισης πολλαπλών σταδίων. Τα λύματα ζυθοποιίας χαρακτηρίζονται από τη χαρακτηριστική τους οσμή που προκύπτει από τη ζύμωση και άλλες διαδικασίες παραγωγής μύρας και μπορεί επίσης να περιέχουν δεσμούς άνθρακα-θείου. Τα μόρια με δεσμούς άνθρακα-θείου και αρωματικούς δακτυλίους συχνά μυρίζουν και παράγουν άσχημη γεύση, αλλά αυτά είναι μόρια που προσροφούνται κατά προτίμηση στον άνθρακα.

Η ικανότητα αποχλωρίωσης του άνθρακα προκύπτει από την ικανότητά του να δρα ως αναγωγικός παράγοντας που αντιδρά με ισχυρούς οξειδωτικούς παράγοντες όπως το διοξείδιο του χλωρίου και το υποχλωριώδες οξύ. Η προσρόφηση άνθρακα χρησιμοποιείται στη διαδικασία παρασκευής για την επεξεργασία του ταννικού οξέος για την αφαίρεση οσμών. Ο άνθρακας χρησιμοποιείται επίσης για την αφαίρεση χρώματος από τις βύνες για χρήση σε καθαρές μύρες και άλλα αρωματισμένα ροφήματα βύνης.

Οι ενεργοί άνθρακες είναι μια αποτελεσματική επιλογή κατεργασίας για να διασφαλιστεί ότι το επεξεργασμένο νερό δεν έχει γεύση και οσμή. Είναι η λιγότερο δαπανηρή διαδικασία και δεν απαιτεί ηλεκτρισμό ή υψηλή πίεση νερού. Μειώνει μια μεγάλη ποικιλία οργανικών ρύπων και μπορεί να σχεδιαστεί για να μειώνει τα επίπεδα ορισμένων ανόργανων χημικών ουσιών όπως ο μόλυβδος και το αρσενικό. Ωστόσο, ο ενεργός άνθρακας είναι αναποτελεσματικός έναντι πολλών ανόργανων ρύπων όπως τα άλατα, ο σίδηρος, το φθόριο, το αλουμίνιο και το ασβέστιο.

### **Επεξεργασία των λυμάτων ζυθοποιίας με χρήση ηλεκτροχημικών μεθόδων**

Η ηλεκτροχημική μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την επεξεργασία των λυμάτων που παράγονται στα πλοία. Αργότερα, η εφαρμογή της ηλεκτροχημικής επεξεργασίας χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων που είναι πλούσια σε πυρίμαχα οργανικά και περιεκτικότητα σε χλωριούχα. Ο Vijayaraghavan ανέπτυξε μια νέα μέθοδο επεξεργασίας λυμάτων ζυθοποιίας που βασίζεται στην παραγωγή υποχλωριώδους οξέος. Το παραγόμενο υποχλωριώδες οξύ χρησίμευε ως οξειδωτικός παράγοντας που κατέστρεφε τις οργανικές ενώσεις που υπήρχαν στα λύματα του

ζυθοποιείου. Σε αυτή τη μελέτη επιτεύχθηκε αφαίρεση COD έως και 97%. Το υποχλωριώδες οξύ δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας μια άνοδο γραφίτη και ένα φύλλο ανοξείδωτου χάλυβα ως κάθοδο σε έναν αδιαίρετο ηλεκτρολυτικό αντιδραστήρα. Αρχικά, κατά την ηλεκτρόλυση, παρήχθη χλώριο στην άνοδο και αέριο υδρογόνο στην κάθοδο.

Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για την αποικοδόμηση οργανικών μολυσματικών ουσιών επειδή είναι εφικτή η πλήρης ή μερική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Το πλεονέκτημα των ηλεκτροχημικών μεθόδων είναι ότι απαιτούν λιγότερο χρόνο συγκράτησης και δεν υπόκεινται σε αστοχία που προκύπτει από τη διακύμανση της αντοχής των λυμάτων ή την παρουσία τοξικών ουσιών. (Jaiyeola A.T. & Bwapa J.K. (2016) publ.)

### **3.9 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

#### **3.9.1 Μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας MBR (Membrane Bio-Reactor)**

Η μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας με μεμβράνες (MBR) βασίζεται σε πρωτοποριακή τεχνολογία και διαφέρει από άλλες συμβατικές μονάδες βιολογικής επεξεργασίας με παρόμοια δυναμικότητα και μέγεθος. Η επεξεργασία είναι ταχύρρυθμη και η απόδοση είναι πολύ μεγαλύτερη. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα προς επαναχρησιμοποίηση που προσφέρει η μέθοδος αυτή, έχουν μεγαλύτερη διαύγεια. Για το διαχωρισμό των στερεών από τα υγρά και για τη βιοδιάσπαση της οργανικής ύλης, γίνεται ένας συνδυασμός του βασικού συστήματος της ενεργής ιλύος με ένα σύστημα διύλισης μέσω μεμβρανών.

Οι μεμβράνες αυτές έχουν σχετικά μεγάλο βαθμό διαπερατότητας με πόρους από 0,01 μm ως 1,0 μm τοποθετούνται, είτε εντός του αεριζόμενου βιοαντιδραστήρα (sMBR), είτε εκτός αυτού (Βιολογικοί Καθαρισμοί Λυμάτων MBR sidestream MBR). Η μέθοδος αυτή μπορεί να αποτελέσει αυτοτελή επεξεργασία, η συμπλήρωμά επεξεργασίας σε υφιστάμενες μονάδες ως τριτογενής επεξεργασία και είναι πλέον κατάλληλη ως αποκεντρωμένο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων.

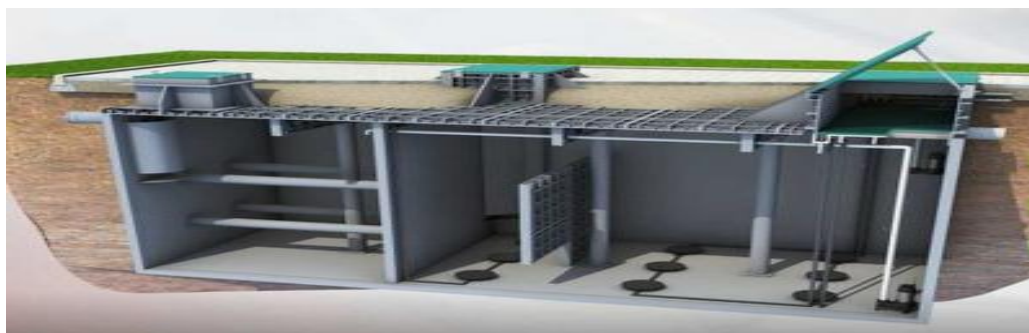
#### **3.9.2 Μέθοδος βιολογικής επεξεργασία λυμάτων τύπου SBR (Sequential Batch Reactor)**

Η μέθοδος βιολογικής επεξεργασία λυμάτων τύπου SBR (Sequential Batch Reactor), βασίζεται σε ενεργό ιλύ (βιομάζα). Η διαφοροποίηση σε σχέση με την συμβατική σχεδίαση αντιδραστήρα ενεργού ιλύος είναι ότι στον αντιδραστήρα διαλείποντος έργου ή εναλλασσόμενης λειτουργίας (SBR), οι φάσεις της επεξεργασίας διαχωρίζονται χρονικά και όχι χωρικά καθώς οι φάσεις της τροφοδοσίας, του αερισμού, της καθίζησης και της εκκένωσης, διαδέχονται η μια την άλλη. Έτσι, δεν απαιτούνται ξεχωριστές δεξαμενές αερισμού και καθίζησης αλλά οι δυο αυτές διεργασίες πραγματοποιούνται σε μια κοινή

δεξαμενή. Βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας SBR είναι η εύκολη προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Το σύστημα πραγματοποιεί 3-4 κύκλους λειτουργίας ημερησίως. Ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας περιλαμβάνει το χρόνο τροφοδοσίας, το χρόνο αερισμού (βιοαποδόμησης), το χρόνο καθίζησης και το χρόνο άντλησης των επεξεργασμένων λυμάτων. Η διάρκεια κάθε φάσης είναι καθορισμένη από τον κατασκευαστή αλλά μπορεί να ρυθμιστεί και από τον χειριστή της μονάδας. Ο συνήθης συνολικός χρόνος ενός κύκλου είναι 6-8 ώρες.

1. Πρωτοβάθμια καθίζηση: Εδώ αφαιρούνται τα χονδρόκοκκα στερεά από τα υγρά απόβλητα.
2. Εξισορρόπηση: Μέσω του όγκου εξισορρόπησης αποθηκεύονται τα προεπεξεργασμένα λύματα. Έτσι παρέχεται η δυνατότητα απορρόφησης μεγάλων αιχμών του υδραυλικού και οργανικού φορτίου.
3. Βιοαντιδραστήρας SBR: Εδώ λαμβάνει χώρα ο βιολογικός καθαρισμός των λυμάτων με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος. Οι τρεις φάσεις που ξεχωρίζουν είναι η ανάμειξη, ο αερισμός και η τελική καθίζηση. Με το τέλος της άντλησης των επεξεργασμένων λυμάτων προς διάθεση, ο κύκλος αρχίζει ξανά.
4. Αποθήκευση ιλύος: Η περίσσεια βιομάζα (ενεργός ιλύς) απομακρύνεται σε προκαθορισμένα διαστήματα ώστε να διατηρείται σταθερή η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στη δεξαμενή SBR. Η σταθεροποιημένη περίσσεια ιλύς οδηγείται στη δεξαμενή ιλύος

Η compact μονάδα AS-HSBR (hybrid sequence batch reactor) αποτελεί ενιαία ορθογώνια κατασκευή, κατασκευασμένη από πάνελ ενισχυμένου πολυπροπυλενίου και είναι κατάλληλη για άμεση υπόγεια ή υπέργεια τοποθέτηση. ([https://www.enya.gr/products/biological-treatment/compact\\_biologikos\\_kauarismos\\_SBR\\_AS-HSBR](https://www.enya.gr/products/biological-treatment/compact_biologikos_kauarismos_SBR_AS-HSBR))



**ΕΙΚΟΝΑ 9. Compact μονάδα AS-HSBR (hybrid sequence batch reactor).**  
**ΠΗΓΗ.**[https://www.enya.gr/products/biological-treatment/compact\\_biologikos\\_kauarismos\\_SBR\\_AS-HSBR](https://www.enya.gr/products/biological-treatment/compact_biologikos_kauarismos_SBR_AS-HSBR)



Η ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής, εκπληρώνει τα παρακάτω όρια, βάση της ελληνικής νομοθεσίας ΚΥΑ5673/400/97:

Συγκέντρωση BOD<sub>5</sub> : <25 mg /lt

Συγκέντρωση COD: <125 mg /lt

Αιωρούμενα στερεά: <35 mg / lt

Βαθμός επεξεργασίας: > 95%

pH : 6-8



**EIKONA 10. Compact μονάδα AS-HSBR. ΠΗΓΗ**[https://www.enya.gr/products/biological-treatment/compact\\_biologikos\\_kauarismos\\_SBR\\_AS-HSBR](https://www.enya.gr/products/biological-treatment/compact_biologikos_kauarismos_SBR_AS-HSBR)

Η Μέθοδος SBR χρησιμοποιείται στη Μονάδα Επεξεργασίας Αποβλήτων BRALIRWA Brasseries – HSG στο Kigali – Rwanda

#### **Δεδομένα Σχεδιασμού**

Ημερήσια παροχή: 375 m<sup>3</sup>

Εισερχόμενο BOD<sub>5</sub>: 1.000 mg/l

Εξερχόμενο BOD<sub>5</sub>: < 50 mg/lt

Απόδοση: 95%

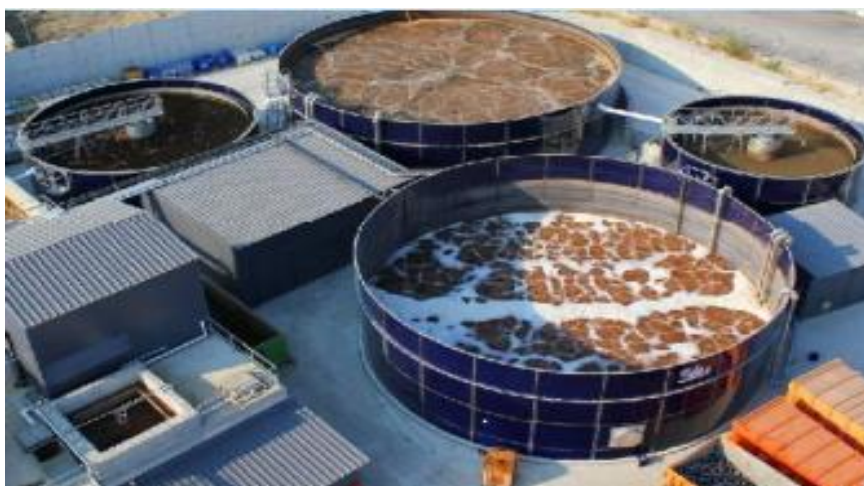
(<https://www.ecc.com.gr/el/>)



**ΕΙΚΟΝΑ 11. Μονάδα Επεξεργασίας Αποβλήτων στο Kigali – Rwanda**  
ΠΗΓΗ [www.ecc.com](http://www.ecc.com)

### **3.9.3 Τεχνολογία MBBR (Moving bed biofilm reactor)**

Το MBBR είναι μια αποτελεσματική μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας που στηρίζεται στην προσκολλημένη βιομάζα. Είναι ένα σύστημα πλήρους ανάμιξης και συνεχούς λειτουργίας, όπου η βιομάζα αναπτύσσεται πάνω σε μικρούς φορείς ειδικής γεωμετρίας, συνήθως από PE, που έχουν πυκνότητα λίγο μικρότερη από του νερού και βρίσκονται σε συνεχή ανάμιξη εξαιτίας του προσφερόμενου αέρα. Ο απαιτούμενος όγκος των δεξαμενών MBBR είναι πολύ μικρότερος, καθώς εξαιτίας της προσθήκης των πλαστικών φορέων αυξάνεται η ειδική επιφάνεια καθώς οι μικροοργανισμοί έχουν διαθέσιμη την επιφάνεια τους για να αναπτυχθούν. Το πληρωτικό υλικό παραμένει εντός του αντιδραστήρα και δεν διαφεύγει με την εκροή, με τη βοήθεια κατάλληλων διαφραγμάτων.



**ΕΙΚΟΝΑ 12. Σύστημα MBBR (Moving bed biofilm reactor) - Προκατασκευασμένες δεξαμενές από γάλβα ΠΗΓΗ [www.ecc.com](http://www.ecc.com)**

Η συγκεκριμένη τεχνολογία (MBBR) χρησιμοποιείται στην Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Ζυθοποιίας “Olympic Breweries”

**Δεδομένα Σχεδιασμού**

Ημερήσια Παροχή: 1500 m<sup>3</sup>

Εισερχόμενο BOD<sub>5</sub>: 2700 kg

Εξερχόμενο BOD<sub>5</sub>: < 25mg/l

Απόδοση: 98,5%



**ΕΙΚΟΝΑ 13. Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Ζυθοποιίας “Olympic Breweries” ΠΗΓΗ [www.ecc.com](http://www.ecc.com)**



**ΕΙΚΟΝΑ 14. Τελική Καθίζηση ΠΗΓΗ [www.ecc.com](http://www.ecc.com)**

### **3.9.4 Τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων – υγρών αποβλήτων MBBR – HYBRID BAS**

Η νέα αυτή τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί σε νέες μονάδες ή να αποτελέσει αναβάθμιση στις υπάρχουσες συμβατικές μονάδες βιολογικού καθαρισμού. Το Συνδυασμένο υβριδικό σύστημα (HYBRID – BAS) είναι πολύ υψηλών αποδόσεων και αποτελεί μία εξελιγμένη μέθοδο που συνδυάζει τα οφέλη των συστημάτων αιωρούμενης βιομάζας (π.χ. ενεργός ιλύς – AS) με εκείνα των συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας, εξαλείφοντας τα προβλήματα που παρουσιάζει η κάθε μέθοδος ξεχωριστά.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ**

### **4.1 ΠΙΘΑΝΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΕ ΜΙΑ ΖΥΘΟΠΟΙΑ**

Η μύρα όπως είναι γνωστό ανήκει στα «Αλκοολούχα ποτά», τα οποία χαρακτηρίζονται από την περιεκτικότητά τους σε αιθυλική αλκοόλη σε οποιοδήποτε ποσοστό και η οποία προέρχεται είτε από φυσική ζύμωση είτε από προσθήκη κατά την επεξεργασία. Στις σύγχρονες γραμμές παραγωγής, παρουσιάζονται διάφοροι μικροβιολογικοί, φυσικοί και χημικοί κίνδυνοι. Ως προϊόν η μύρα δεν χαρακτηρίζεται ως υψηλής επικινδυνότητας, αλλά αυτό δε σημαίνει ότι δεν ενέχουν κίνδυνοι που μπορεί να έχουν άμεση επίδραση στον τελικό καταναλωτή.

### 4.1.1 Χημικοί κίνδυνοι

Όσο αφορά στους χημικούς κινδύνους στη βιομηχανία των ποτών, συνήθως αυτοί προέρχονται από υπολείμματα χημικών καθαριστικών και απολυμαντικών στις γραμμές παραγωγής. Τα προγράμματα καθαρισμού-απολύμανσης θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά προκειμένου να αποφευχθεί η παρουσία ανεπιθύμητων βακτηρίων και ζυμών. Ένα πλήρες πρόγραμμα πάντα ολοκληρώνεται με ένα κατάλληλο ξέπλυμα των γραμμών και του εξοπλισμού που δεν αφήνει καθόλου χημικά υπολείμματα. Στη ζυθοποιία, λόγω της φύσης της βασικής πρώτης ύλης (κριθάρι), ως χημικοί κίνδυνοι αναγνωρίζονται οι μυκοτοξίνες που μπορεί να αναπτυχθούν κυρίως κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του κριθαριού και της βύνης. Οι μυκοτοξίνες αποτελούν δευτερεύοντα, τοξικά προϊόντα μεταβολισμού ορισμένων μυκήτων. Μέχρι σήμερα έχουν απομονωθεί γύρω στις 80 μυκοτοξίνες, που παράγονται από 200 είδη μυκήτων (π.χ. αφλατοξίνες, πατουλίνη, ωχρατοξίνες, σποροφουασρίνη, ισλανδιτοξίνη, εργοτοξίνες κ.ά.).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι ένα τρόφιμο που δεν είναι προσβεβλημένο από μύκητες δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι απαλλαγμένο και από μυκοτοξίνες, γιατί οι μυκοτοξίνες εισχωρούν στο τρόφιμο και παραμένουν εκεί ακόμα και μετά την απομάκρυνση του μύκητα που τις παρήγαγε. Ένας τελευταίος κίνδυνος είναι τα βαρέα μέταλλα (όπως κασσίτερος, ψευδάργυρος, υδράργυρος, μόλυβδος, κάδμιο, χαλκός, αρσενικό κ.ά.), που συνήθως 48 επιμολύνουν το κριθάρι από το χωράφι ή μπορεί να προέλθουν από σωληνώσεις και ακατάλληλες δεξαμενές στις επεξεργασίες νερού. (Αρβανιτογιάννης, Ι., Σάνδρου, Δ. & Κούτρης, Λ., 2001)

### 4.1.2 Φυσικοί κίνδυνοι

Κατά το στάδιο της διήθησης, υπάρχει ο φυσικός κίνδυνος ξένων υλών ο οποίος αντιμετωπίζεται με προαπαιτούμενα προγράμματα: οπτικούς ελέγχους, μετρήσεις πίεσης στα φίλτρα, σωστή εφαρμογή των προγραμμάτων καθαριότητας. Όσο αφορά στη συσκευασία της μπίρας, στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται γυάλινοι περιέκτες ελέγχονται για ραγίσματα και ξένα σώματα. Ακόμη πιο αυστηρός έλεγχος είναι ο έλεγχος όταν οι φιάλες είναι επαναχρησιμοποιούμενες. Το στάδιο αυτό εμπεριέχει τον πολύ σοβαρό φυσικό κίνδυνο ύπαρξης θραύσματος γυαλιού μέσα στο τελικό προϊόν. Ο κίνδυνος αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά μόνο με ειδικές κάμερες ακτινών Χ που ελέγχουν κάθε φιάλη. Κατά το σφράγισμα, υπάρχει και πάλι ο κίνδυνος του σπασίματος του γυαλιού, ο οποίος αντιμετωπίζεται με σωστές ρυθμίσεις της μηχανής εμφιάλωσης και με τακτική συντήρηση και επιθεώρηση του εξοπλισμού. Συχνά επίσης οι μηχανές εμφιάλωσης προσελκύουν έντομα που μπορεί να παγιδευτούν εντός της φιάλης. Ειδική έμφαση πρέπει να δίδεται στο το σύστημα διαχείρισης εντόμων (pest management) με πρόληψη, εκπαίδευση προσωπικού,

αλλά φυσικά και με τη χρήση φερομονικών παγίδων και παγίδων UV. (Bamforth, C. W., 2006)

### 4.1.3 Μικροβιολογικοί κίνδυνοι

Οι μικροβιολογικοί κίνδυνοι έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης στη μύρα και σε αυτούς θα εστιάσουμε. Για την παραγωγή της μύρας χρησιμοποιούνται συνήθως αφροζύμες (ale) που είναι στελέχη του *Saccharomyces cerevisiae* (Εικόνα 3.1) και βυθοζύμες (lager) που είναι στελέχη του *Saccharomyces uvarum*. Ο έλεγχος των ζυμών στη ζυθοποιία αποτελεί μια συνεχή, καθημερινή μάχη που δεν πρέπει να χαθεί και γι' αυτό το λόγο πλέον χρησιμοποιούνται έτοιμες καλλιέργειες που βοηθούν τις βιομηχανίες.

Παρακάτω αναφέρονται σημεία στα οποία μπορεί να γίνει πολλαπλασιασμός των μικροοργανισμών:

1. Στο κριθάρι και στα πρόσθετα δημητριακά: Μεγάλη ανάπτυξη μυκήτων – μούχλας, ενώ ζύμες και βακτήρια είναι επίσης παρόντα.
2. Στη βυθοποίηση: Κατά τη διαδικασία αυτή, οι περισσότεροι μικροοργανισμοί από την επιφάνεια των καρπών απομακρύνονται και δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης των εναπομεινάντων μικροοργανισμών.
3. Στη ζυθοποίηση: Παράγεται μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών, αλλά μετά το βρασμό του γλεύκους, το τελικό αποτέλεσμα θεωρείται αμελητέο.
4. Στο νερό: Σε περίπτωση που η δεξαμενή που προμηθεύει νερό στη γραμμή παραγωγής έχει επιμολυνθεί με μύρα, τότε είναι πιθανή η ανάπτυξη σπορίων των *Bacillus* Spp, *Enterobacteriaceae* Spp, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα, εφόσον διοχετευτούν στην παραγωγική διαδικασία μέσω της γραμμής του νερού (ναυτία, κοιλιακό άλγος, διάρροια, εμετός).
5. Στη ζύμωση: Τα γένη των *Lactobacillus* και *Bacillus*, είναι ικανά να αντέξουν συνθήκες χαμηλού pH και υψηλής θερμοκρασίας. Τα σπόρια των βακίλων συνήθως επιβιώνουν του βρασμού αλλά το χαμηλό pH δεν τα επιτρέπει να πολλαπλασιαστούν. Επίσης το βακτήριο *Obesumbacterium proteus* είναι ικανό να αναπτυχθεί και να προκαλέσει αλλοίωση, κάτι όμως που δε συμβαίνει λόγω παρουσίας αλκοόλης και χαμηλού pH. Ορισμένα γένη όμως των *Lactobacillus* και *Pediococcus* είναι ικανά να επιβιώσουν της αρχικής ζύμωσης και των

επόμενων σταδίων ωρίμανσης και να προκαλέσουν σημαντικές αλλοιώσεις, όπως θόλωμα και όξινη.

Επίσης ορισμένες ζύμες (saccharomyces), είναι ικανές να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, αλλά χωρίς να δημιουργούν τελικά ιδιαίτερα προβλήματα. Τέλος, η παρουσία βακτηρίων όπως Hafnia, Aerobacter και Escherichia αποτελεί ένδειξη κακής υγιεινής πρακτικής και τα αναερόβια βακτήρια όπως Pectinatus, Megasphaera, Zymomonas προκαλούν σοβαρά προβλήματα αλλοίωσης, με θολώματα και δυσάρεστες οσμές. **(Preedy, V. R., 2009)**

## 4.2 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΖΥΘΟΠΟΙΑΣ

Ο καθαρισμός είναι η διαδικασία απομάκρυνσης οργανικών και ανόργανων ρύπων. Τα καθαριστικά έχουν σχεδιαστεί για να διευκολύνουν αυτή τη διαδικασία με τη διάσπαση, τη διαλυτοποίηση και τη διασπορά ρύπων στο νερό, έτσι ώστε οι μολυσματικοί παράγοντες να μπορούν να ξεπλυθούν. Η αποχέτευση είναι η διαδικασία εξάλειψης των ζωντανών μικροοργανισμών σε αποδεκτό επίπεδο και η οποία δεν έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην παρασκευή μύρας. Λάβετε υπόψη ότι ένας συγκεκριμένος παράγοντας πλύσης ή απολύμανσης ενδέχεται να μην είναι συμβατός με κάθε τύπο υλικού στον εξοπλισμό παρασκευής μύρας.

### 4.2.1 Καθαρισμός και απολύμανση

Τα δάπεδα, οι τοίχοι, οι οροφές, οι αποχετεύσεις, οι απολυμαντές, οι ζυμωτήρες, οι δεξαμενές, τα βαρέλια, οι εύκαμπτοι σωλήνες, οι χοάνες, οι θραυστήρες, οι πρέσες, τα εξαρτήματα και τα εξαρτήματα, οι κάδοι, τα έμβολα, οι συσκευές δειγματοληψίας και οτιδήποτε έρχεται σε επαφή με την μύρα πρέπει να καθαρίζονται πριν ή / και μετά τη χρήση. Τα δάπεδα και οι τοίχοι των χώρων των κελαριών πρέπει να καθαρίζονται αυστηρά όπως απαιτείται για να απομακρυνθούν οι ριζωμένες ακαθαρσίες, τα έγχρωμα υλικά και τα βιοφίλμ που θα αποτρέψουν την αποτελεσματικότητα των καθημερινών εργασιών καθαρισμού.

#### Καθαρισμός και αποχέτευση πέντε βημάτων

Για να είναι αποτελεσματικό στην απομάκρυνση οργανικών και ανόργανων ρύπων και στη μείωση του αριθμού των παθογόνων, ένα πλαίσιο καθαρισμού και απολύμανσης πέντε βημάτων χρησιμοποιείται συνήθως από τα ζυθοποιεία.

##### ➤ Προ-ξέβγαλμα

Αφού χρησιμοποιήσετε ένα μέρος του εξοπλισμού και ενώ οποιοδήποτε οργανικό υλικό είναι ακόμα υγρό, ξεπλύνετε τον εξοπλισμό για να απομακρύνετε το

μεγαλύτερο μέρος του υλικού, το οποίο διαφορετικά μπορεί να επηρεάσει (δεσμεύσει) τα χημικά απορρυπαντικά που εφαρμόζονται κατά τον καθαρισμό.

#### ➤ **Κύκλος καθαρισμού**

Μόλις απομακρυνθούν τα ορατά υπολείμματα, τα απορρυπαντικά χρησιμοποιούνται για τη διαλυτοποίηση τυχόν υπολειμμάτων. Τα τυπικά απορρυπαντικά καθαρισμού περιλαμβάνουν νερό (ζεστό και κρύο), υδροξείδιο του νατρίου ή καλίου (καυστικά), ανθρακικά, φωσφορικό νάτριο και φυσικές ενέργειες καθαρισμού όπως τρίψιμο, βούρτσισμα ή ψεκασμό υψηλής πίεσης. Υπάρχει επίσης μια σειρά ιδιόκτητων μειγμάτων που μπορεί να περιλαμβάνουν επιφανειοδραστικές ουσίες (απορρυπαντικά ή παράγοντες διαβροχής για την απομάκρυνση ρύπων από επιφάνειες) και δεσμευτικούς παράγοντες (χειλικούς παράγοντες μετάλλων), οι οποίοι είναι σημαντικοί όταν χρησιμοποιείται σκληρό νερό.

#### ➤ **Μετά το ξέβγαλμα**

Μόλις ολοκληρωθεί ο κύκλος καθαρισμού με τη χρήση απορρυπαντικών, οι επιφάνειες του εξοπλισμού πρέπει να ξεπλυθούν καλά για να απομακρυνθούν οι υπολειμματικές χημικές ουσίες. Ένα υπόλειμμα απορρυπαντικού μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα του επόμενου βήματος αποχέτευσης ή, στη χειρότερη περίπτωση, να μολύνει την μύρα.

#### ➤ **Κύκλος απολύμανσης**

Μόλις αφαιρεθούν οι εναποθέσεις και τα συντρίμια και οι επιφάνειες είναι ορατά καθαρές, ο εξοπλισμός μπορεί στη συνέχεια να απολυμανθεί. Ένα κατάλληλο απολυμαντικό θα μειώσει σημαντικά το φορτίο μικροοργανισμών μέσα στο δοχείο. Οι κύριοι τύποι απολυμαντικών περιλαμβάνουν ζεστό νερό και / ή ατμό, τεταρτοταγές αμμώνιο, όζον, διοξείδιο του χλωρίου και όξινο διοξείδιο του θείου.

#### ➤ **Τελικό ξέβγαλμα**

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία αποχέτευσης, οι επιφάνειες ξεπλένονται για να αφαιρεθεί το υπολειμματικό απολυμαντικό και αποστραγγίζονται. Για παράδειγμα, η αποχέτευση δεξαμενών και εύκαμπτων σωλήνων ακολουθείται συνήθως με έκπλυση κιτρικού οξέος για την εξουδετέρωση τυχόν υπολειμματικών αλκαλίων. Εάν το νερό περιέχει πάρα πολύ χλώριο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα φθινό φίλτρο νερού άνθρακα για την απομάκρυνση του χλωρίου.

#### ➤ **Υλικό επιφάνειας και φινίρισμα**

Ο ανοξείδωτος χάλυβας έχει γίνει το υλικό επιλογής για τον περισσότερο εξοπλισμό επεξεργασίας, αν και μια ποικιλία άλλων υλικών μπορεί ακόμα να συναντήσει στα



ζυθοποιεία. Αυτά περιλαμβάνουν πλαστικά, συνθετικό καουτσούκ (εύκαμπτοι σωλήνες) και μια ποικιλία μετάλλων που περιλαμβάνουν αλουμίνιο, χαλκό, ορείχαλκο και χάλυβες. Ο ίδιος ο ανοξείδωτος χάλυβας έρχεται σε μια ποικιλία βαθμών, με ορισμένους βαθμούς πιο ανθεκτικούς στη διάβρωση από άλλους. ([www.beer-brewing.com/default.htm](http://www.beer-brewing.com/default.htm))

### 4.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η λήψη μέτρων για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης κατά την παραγωγική διαδικασία των μονάδων επεξεργασίας και η λήψη μέτρων για τον έλεγχο της ρύπανσης μετά την παραγωγή αποσκοπούν στην επίλυση σημαντικών προβλημάτων που μπορούν να προκύψουν κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης, όπως είναι:

Ο περιορισμός των απωλειών μύρας. Εξοικονόμηση νερού και ενέργειας. Διάθεση των στερεών ουσιών που μπορούν να ανακυκλωθούν προς παρασκευή ζωοτροφών (μαγιά, ριζίδια). Η μελέτη και ο σχεδιασμός του τρόπου επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων λόγω του υψηλού οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών.

### 4.4 ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Τα μέτρα πρόληψης της ρύπανσης στον κλάδο της ζυθοποιίας είναι γενικές απλές τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν στην παραγωγή. Αφορούν την εκπαίδευση του προσωπικού σχετικά με τον έλεγχο της ρύπανσης και την εξοικονόμηση νερού, την αυστηρή τήρηση των κανόνων υγιεινής στις εγκαταστάσεις της μονάδας, την εξέταση του ενδεχόμενου για ενεργειακή ανάλυση και την εξοικονόμηση ενέργειας.

**Υιοθέτηση πρακτικών καλής λειτουργίας**

- Ειδικευμένη εκπαίδευση του προσωπικού για τον έλεγχο της ρύπανσης και την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας.
- Αυστηρή τήρηση των κανόνων υγιεινής της εγκατάστασης.
- Συστηματικός έλεγχος και συντήρηση εξοπλισμού.
- Καθορισμός των διαδικασιών παραγωγής και επιμερισμός τους σε κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό.
- Ορισμός ειδικών υπεύθυνων για τη συντήρηση και την καλή λειτουργία του εξοπλισμού και της μονάδας επεξεργασίας των αποβλήτων.
- Τήρηση προγράμματος μέτρησης της ποιότητας της καύσης και καταγραφή των αποτελεσμάτων.
- Τήρηση ειδικού βιβλίου παρακολούθησης του όγκου και της ποιότητας των υγρών αποβλήτων.
- Ελαχιστοποίηση της χρήσης νερού για τον καθαρισμό πατωμάτων και εγκαταστάσεων.
- Ελαχιστοποίηση θερμικών απωλειών με θερμομονώσεις
- Ενεργειακή ανάλυση και κατάστρωση <<Χάρτη ενεργειακής κατανάλωσης>> για τον προσδιορισμό των εφικτών επιλογών εξοικονόμησης ενέργειας.
- Αντικατάσταση μαζούτ με φυσικό αέριο, η οποία προβλέπει σημαντική μείωση της αέριας ρύπανσης, ιδιαίτερα στην αιθάλη και στο διοξείδιο του άνθρακα.

#### **Τεχνικές εξοικονόμησης νερού**

- Αυτόματη διακοπή της παροχής νερού ψύξης στις δεξαμενές, όταν αυτές είναι εκτός λειτουργίας.
- Χρήση ακροφυσίων στους ελαστικούς σωλήνες εκπλύσεων για αυτόματο κλείσιμο της παροχής νερού.

#### **Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας**

- Εξοικονόμηση καυσίμου και ενέργειας με διαβάθμιση της ξήρανσης και την ανακυκλοφορία του αέρα με χρήση καλά μονωμένων εσωτερικών και εξωτερικών σωλήνων.
- Ψύξη δεξαμενών ζύμωσης μέσω κλειστού κυκλώματος.
- Βρασμός ζυθογλεύκους και της μύρας με τη χρήση συστήματος ανάκτησης θερμότητας.
- Χρήση κλειστών δεξαμενών ζύμωσης για την αποφυγή απωλειών.
- Εγκατάσταση αυτόματου συστήματος για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του ζυθογλεύκους με σκοπό τη μείωση των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού ψύξης

#### **Τεχνικές για την πρόληψη των διαρροών**

- Σχεδιασμός δεξαμενών αποθήκευσης ζυθογλεύκους για αποφυγή διαρροών υπερπλήρωσης.
- Περιορισμός των μη αναγκαίων υπερχειλίσεων νερού ή μπύρας μέσω κατάλληλων μηχανισμών στις δεξαμενές ή μέσω αλλαγών στις σωληνώσεις.
- Μέτρηση των παραγόμενων ποσοτήτων ζυθογλεύκους με ειδικούς μετρητές για αποφυγή πλεοναζόντων ποσοτήτων.
- Κατασκευή προστατευτικού τοιχείου γύρω από τις δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων, για την αποφυγή εξάπλωσης των διαρροών και τη διευκόλυνση της συλλογής τους.

### **Τεχνικές βελτιστοποίησης και τροποποίησης διεργασιών**

- Βελτιστοποίηση ψύξης της αζύμωτης μπύρας με εγκατάσταση ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου της θερμοκρασίας της προκειμένου να μειωθούν οι απαιτούμενες ποσότητες νερού ψύξης.
- Βρασμός της αζύμωτης μπύρας μόνο κατά τον απαιτούμενο χρόνο με σκοπό την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας. Η αλλαγή αυτή θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την τελική επιθυμητή ποιότητα.
- Εξέταση χρήσης πνευματικού συστήματος μεταφοράς των σπόρων κριθαριού λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα τρυπήματος των σωληνώσεων στις γωνίες προκειμένου να χρησιμοποιούνται σωληνώσεις κατάλληλων προδιαγραφών.
- Θερμική αδρανοποίηση της μαγιάς, όταν διατίθεται στο σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και αποθήκευσή της υπό κατάλληλες συνθήκες.
- Έλεγχος της θερμοκρασίας κατά την παστερίωση για να μην σπάνε τα μπουκάλια.
- Διερεύνηση στη χρήση των φίλτρων κεραμικής μεμβράνης για την διαύγαση της μπύρας.
- Αντικατάσταση των ψυγείων που λειτουργούν με CFCs, με ψυγεία που χρησιμοποιούν περιβαλλοντικά φιλικότερες ουσίες.

### **Τεχνικές βελτιστοποίησης συστήματος καθαρισμού**

- Αντικατάσταση του νερού με αέρα που είναι υπό πίεση, όταν είναι εφικτό.
- Η χρήση του νερού πρέπει να αποφεύγεται, αλλά σε περιπτώσεις που είναι απαραίτητη, η χρήση του πρέπει να είναι υψηλής πίεσης ή να είναι αναμιγμένο με ατμό υψηλής πίεσης.
- Χρήση ακροφυσίων νερού με βελτιωμένο ψεκασμό νερού για αποδοτικότερο καθαρισμό των βαρελιών μπύρας.
- Αποφυγή χρήσης απορρυπαντικών στον καθαρισμό των βαρελιών.
- Εγκατάσταση συστημάτων CIP για τον καθαρισμό των κλειστών δεξαμενών. Τα συστήματα CIP πρέπει να είναι κατάλληλα κατανεμημένα για να αποφεύγονται οι μεγάλοι μήκους σωληνώσεις των διαλυμάτων καθαρισμού. Επίσης, θα πρέπει να έχουν δεξαμενές αποθήκευσης των νερών ξεβγάλματος για την επαναχρησιμοποίησή τους.

- Όταν δεν πραγματοποιείται χρήση απορρυπαντικών για τον καθαρισμό των βαρελιών, πρέπει να χρησιμοποιείται ζεστό νερό.
- Χρήση καθαριστικού αφρού για τον καθαρισμό των δαπέδων των τοίχων και του εξοπλισμού.
- Χρήση απορρυπαντικών σπρέι για την απομάκρυνση των στερεών της δεξαμενής ζύμωσης.
- Εγκατάσταση σύγχρονου συστήματος πλύσης φιαλών προς κατανάλωση λιγότερης ποσότητας νερού.

### **Ανακύκλωση, ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση**

- Συλλογή και επαναχρησιμοποίηση των νερών ξεπλύματος των φιαλών με χρήση αντλιών και δεξαμενών και των νερών ξεπλύματος των τελευταίων ξεπλυμάτων των βαρελιών.
- Ανακύκλωση των νερών που χρησιμοποιούνται για την ψύξη των δεξαμενών ζύμωσης και για την επόμενη πολτοποίηση.
- Επαναχρησιμοποίηση των τελευταίων πλυσιμάτων και των τελευταίων υγρών μπύρας.
- Ανάκτηση της μπύρας με δόκιμες μεθόδους φυσικών διεργασιών (μεμβράνες CMF- Cross Flow Membrane Filtration) από τα υπολείμματα ζύμωσης.
- Ανάκτηση της μπύρας από μίγματα μπύρας-νερού σε σωληνώσεις.
- Ανακυκλοφορία των μέσων ψύξης των δεξαμενών βρασμού, του ζυθογλεύκου και της ζύμωσης της μπύρας.
- Επαναχρησιμοποίηση των διαλυμάτων οξέων που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του εξοπλισμού καθαρισμού.
- Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των χημικών καθαριστικών, αρκεί αυτά να μην έχουν χάσει την ισχύ τους και να μην είναι πολύ επιβαρυνμένα σε στερεά.
- Ανακύκλωση του υγρού από τον εξαντλημένο λυκίσκο στη διεργασία βρασμού του ζυθογλεύκου.
- Ανάκτηση της μαγιάς που περιέχεται στα αρχικά πλυσίματα δεξαμενών ζύμωσης, από τη φυγοκέντρωση ή τις δεξαμενές αποθήκευσης της μαγιάς με την χρήση πρέσσας.
- Ανακύκλωση μέρους του CO<sub>2</sub> που παράγεται από την πρώτη ζύμωση για την εξουδετέρωση των ανεπεξέργαστων αποβλήτων.

### **Χρήση αποβλήτων ως χρήσιμες πρώτες ύλες σε άλλες βιομηχανίες και έρευνα για την πρόληψη της ρύπανσης και τη χρήση παραπροϊόντων**

- Προώθηση ενεργειών για την αύξηση του κλάσματος του προς ανακύκλωση γυαλιού και αλουμινίου.
- Προώθηση των φλοιών, των ριζιδίων, του εξαντλημένου λυκίσκου και του εξαντλημένου κριθαριού στη βιομηχανία ζωοτροφών.
- Συλλογή των υπολειμμάτων μαγιάς και πώλησή τους για ζωοτροφές ή σε άλλες ζυθοποιίες.

- Ανάκτηση απώλειας μύρας κατά την παραγωγική διαδικασία και ανάμιξη με τους εξαντλημένους σπόρους κριθαριού ή τους φλοιούς του κριθαριού. Κατά αυτόν τον τρόπο προωθούνται στη βιομηχανία ζωοτροφών και δεν αυξάνεται το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων.

## 4.5 ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

### Διαχωρισμός ρευμάτων αποβλήτων

- Χρήση εσχάρων για την κατακράτηση των απορριπτόμενων στερεών αποβλήτων και μη ανάμιξή τους με το ρεύμα των υγρών αποβλήτων αποσκοπώντας στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων προς επεξεργασία (π.χ. απόβλητα δεξαμενής ζύμωσης).
- Διαχωρισμός του ρεύματος υγρών αποβλήτων βυνοποιείου από την υπόλοιπη παραγωγική διαδικασία και προώθηση των υγρών αποβλήτων σε σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.
- Διαχωρισμός ρευμάτων όμβριων και υγρών αποβλήτων παραγωγής με κατάλληλη επεξεργασία ή διάθεση.

### Σωστή επιλογή σχήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ορθός σχεδιασμός, έλεγχος και λειτουργία μονάδων κατεργασίας υγρών αποβλήτων

- Απαιτείται συστηματική συντήρηση του εξοπλισμού και παρακολούθηση των ποιοτικών παραμέτρων των υγρών αποβλήτων. Πρέπει να είναι δυνατός ο συνδυασμός των εξής σταδίων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων:
  - Κοσκίνηση/Εσχάρωση
  - Εξισορρόπηση
  - Ρύθμιση pH
  - Βιολογική επεξεργασία (Δεξαμενές αερισμού και δευτεροβάθμιας καθίζησης, αεριζόμενες δεξαμενές)
  - Χλωρίωση

### **Σωστή επιλογή σχήματος επεξεργασίας αέριων εκπομπών, ορθός σχεδιασμός, έλεγχος και λειτουργία μονάδων κατεργασίας αέριων εκπομπών**

- Εξέταση εισαγωγής τεχνικών συμπύκνωσης των ατμών στη διεργασία του βρασμού της μύρας.
- Έλεγχος οσμών μέσω απομάκρυνσης των πτητικών οργανικών ενώσεων κατά την ξήρανση της βύνης και τη ζύμωση της μύρας με δυνατότητα επιλογής μεταξύ απορρόφησης και καύσης.
- Κατακράτηση της σκόνης που παράγεται κατά τη μεταφορά του κριθαριού και της βύνης με τη χρήση ειδικών φίλτρων.

### **Σωστή επιλογή σχήματος επεξεργασίας στερεών αποβλήτων, ορθός σχεδιασμός, έλεγχος και λειτουργία μονάδων κατεργασίας στερεών αποβλήτων**

- Πάχυνση ιλύος.
- Διερεύνηση της πιθανότητας χρήσης της ιλύος για την παραγωγή βιοαερίου (αναερόβια χώνευση). Αφυδάτωση ιλύος με φυγοκέντρηση ή χρήση ταινιοφιλτρόπρεσσω. Η σταθεροποιημένη ιλύς από ζυθοποιίες μπορεί να διατεθεί ως εδαφοβελτιωτικό. (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. 2001)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

### **5.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΖΥΘΟΠΟΙΑ**

Σε κάθε ζυθοποιία οι προσπάθειες να ενισχυθεί η διοίκηση ποιότητας είναι ένα μέρος της προσπάθειας αύξησης των κερδών, η βελτίωση της ποιότητας τόσο των προϊόντων όσο και των λειτουργιών και των αναλύσεων περιβαλλοντικής υπεύθυνης συμπεριφοράς της εταιρείας. Ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα ποιότητας είναι το HACCP (Hazard Analysis Critical Points, Ανάλυση Επικινδυνότητας Κρίσιμων Σημείων Ελέγχου).

Το σύστημα HACCP είναι ένα προληπτικό εργαλείο που ως στόχο έχει την εύρεση όλων των

δυναμικών κινδύνων (μικροβιολογικών, χημικών και φυσικών) που θα μπορούσαν να προκαλέσουν βλάβη στην υγεία του καταναλωτή και εν συνεχεία τον καθορισμό των κρίσιμων σημείων της παραγωγικής διαδικασίας (από την παραγωγή ως την αποθήκευση και διανομή του προϊόντος), στα οποία οι κίνδυνοι αυτοί θα ήταν δυνατόν να εξαιρεθούν ή να μειωθούν σε αποδεκτά επίπεδα. Τελικός στόχος του συστήματος είναι η προσφορά απόλυτα ασφαλών τροφίμων στον σύγχρονο καταναλωτή. (Αμβροσιάδης, Ι., 2005)

Πιο αναλυτικά, τα οφέλη που θα προκύψουν από την εγκατάσταση του συστήματος HACCP μπορεί να μην είναι ορατά και απολύτως μετρήσιμα, ωστόσο σε βάθος χρόνου είναι μεγάλα, σημαντικά και σχετίζονται άμεσα με την υγεία των καταναλωτών. Τα 12 βήματα που ακολουθούνται για την εφαρμογή του συστήματος HACCP είναι εναρμονισμένα με τα προτεινόμενα βήματα από την επιτροπή του Codex Alimentarius. Μέσα σε αυτά τα 12 απαραίτητα βήματα για την εφαρμογή του συστήματος, κρύβονται, οι 7 αρχές του HACCP (Βήμα 6 έως Βήμα 12), όπως αποκαλούνται διεθνώς και είναι τα δομικά στοιχεία του συστήματος.

**Πίνακας 17. Τα 12 βήματα εφαρμογής του συστήματος HACCP**  
**ΠΗΓΗ Αμβροσιάδης, Ι., 2005**

ΒΗΜΑ 1	Επιλογή ομάδας HACCP
ΒΗΜΑ 2	Περιγραφή προϊόντος
ΒΗΜΑ 3	Προσδιορισμός της χρήσης του προϊόντος
ΒΗΜΑ 4	Σχεδιασμός διαγραμμάτων ροής
ΒΗΜΑ 5	Επαλήθευση των διαγραμμάτων ροής
ΒΗΜΑ 6	Αναγνώριση και καταγραφή των κινδύνων σε κάθε βήμα
ΒΗΜΑ 7	Εφαρμογή του δέντρου αποφάσεων για το καθορισμό των CCPs
ΒΗΜΑ 8	Καθορισμός των κρίσιμων ορίων
ΒΗΜΑ 9	Εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης
ΒΗΜΑ 10	Καθορισμός σχεδίου διορθωτικών ενεργειών
ΒΗΜΑ 11	Καθορισμός διαδικασιών επαλήθευσης
ΒΗΜΑ 12	Τεκμηρίωση συστήματος και τήρηση αρχείων

Το HACCP βελτιώνει τη λειτουργία της μονάδας και δίνει μεγαλύτερη απόδοση του εξοπλισμού και φυσικά βελτιωμένη μικροβιολογική ποιότητα. Τον Σεπτέμβριο του 2005, ο ISO δημοσίευσε το διεθνές πρότυπο για την ασφάλεια και την ποιότητα των τροφίμων, το ISO 2200:2005 «Food safety management systems - Requirements for any organization in the chain» **(Αμβροσιάδης, 2005)**

Ο σκοπός του ISO 22000:2005 είναι ο καθορισμός των απαιτήσεων από τις επιχειρήσεις τροφίμων έτσι ώστε να είναι σε πλήρη συμφωνία με τη νομοθεσία τροφίμων. Εφαρμόζεται σε όλη την αλυσίδα τροφίμων. Παράλληλα αναγνωρίζεται ως το πλέον σύγχρονο και αξιόπιστο πρότυπο πιστοποίησης για την ασφάλεια τροφίμων, καθώς συμβαδίζει με το HACCP τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε διεθνές επίπεδο, είναι εναρμονισμένο με τον Codex Alimentarius όσο και με τις απαιτήσεις ενός Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας (ISO 9001) **(Αρβανιτογιάννης, 2009)**

Στη λογική του ISO 22000:2005 εντάσσονται μία σειρά από νεοτερισμούς και χρήσιμα εργαλεία.

- Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επικοινωνία και η συνεργασία σε όλο το μήκος της διευρυμένης αλυσίδας των ενδιαφερόμενων μερών όπου συνδέονται άμεσα ή έμμεσα (επιχειρήσεις, προμηθευτές, πελάτες, εθνικές και διεθνείς αρχές), ώστε να υπάρξει η δυνατότητα εντοπισμού των πιθανών κινδύνων που απειλούν την ασφάλεια των τροφίμων.
- Ενσωματώνει τις Αρχές του HACCP και τα βήματα εφαρμογής του Codex Alimentarius.
- Επιτάσσει τεκμηριωμένη συμμόρφωση με τις εφαρμοστέες νομικές και κανονιστικές απαιτήσεις.
- Ο οργανισμός που το εφαρμόζει πρέπει να γνωστοποιεί αποτελεσματικά τα δεδομένα του για θέματα ασφάλειας και να επιδιώκει την πιστοποίησή του από κάποιον ανεξάρτητο φορέα ή την καταχώρηση του συστήματός του σε κάποιο μητρώο. **(Αρβανιτογιάννης, 2009)**

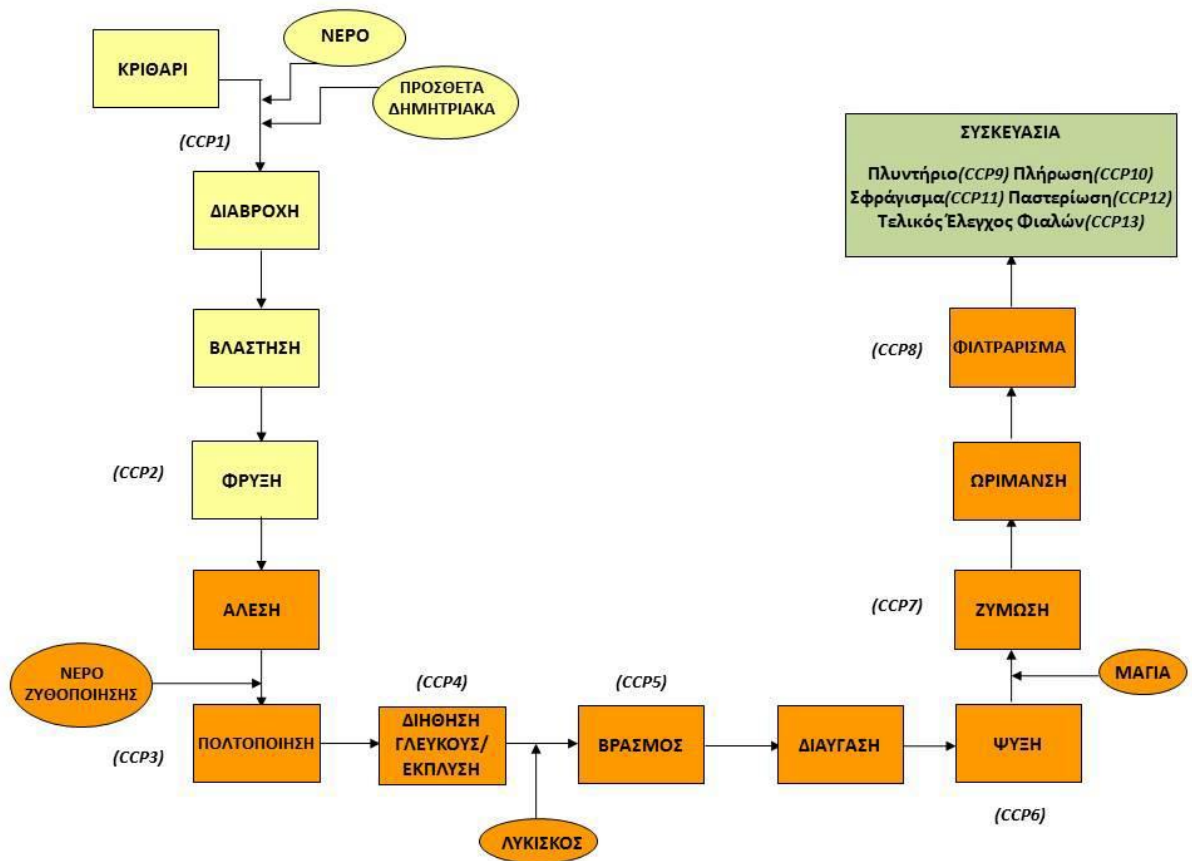
Όταν δεν περιλαμβάνονται ή δεν εφαρμόζονται όλα τα συστήματα ISO, το σύστημα HACCP λειτουργεί ως σύστημα ποιότητας από μόνο του. Το ISO και το HACCP δεν πρέπει να λειτουργούν ως δύο χωριστά συστήματα. Το ISO 22000:2005 είναι ένα Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας Τροφίμων (ΣΔΑΤ), το οποίο, εμπεριέχει την εφαρμογή του συστήματος HACCP (Ανάλυση Κινδύνων και Κρίσιμων Σημείων) και ταυτόχρονα αντικαθιστά με τον πλέον σύγχρονο και ενδεδειγμένο τρόπο το



εθνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 1416, για την εφαρμογή και πιστοποίηση ενός συστήματος ασφάλειας τροφίμων. Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος του είναι η διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων, που έχουν ως τελικό αποδέκτη των καταναλωτή και δεν θέτουν σε κίνδυνο την υγεία του. Το ISO 22000 μπορεί να εφαρμοσθεί σε βιομηχανίες τροφίμων όλων των ειδών κλιμάκων παραγωγής (Αμβροσιάδης, 2005)

Τα βασικά στάδια παραγωγής μπύρας μαζί με τους κρίσιμους δείκτες ελέγχου (CCP) numbers:

- Πρώτες ύλες (CCP1)
- Παραγωγή Βύνης (CCP2)
- Παραγωγή Μούστου (CCP3)
- Τοποθέτηση σε δοχείο (CCP4)
- Βρασμός (CCP5)
- Ζύμωση (CCP7)
- Φιλτράρισμα (CCP8)
- Πλυντήριο μπουκαλιών (CCP9)
- Γέμισμα μπουκαλιών (CCP10)
- Παστερίωση μπουκαλιών (CCP12)
- Επιθεώρηση μπουκαλιών (CCP13)
- Ετικέτες και τυποποίηση (CCP14)
- Παστερίωση μπουκαλιών (CCP12)
- Ετικέτες και τυποποίηση (CCP14)
- Πακετάρισμα μπουκαλιών (CCP14)



**ΕΙΚΟΝΑ 15. Διάγραμμα ροής διεργασιών στην παραγωγή μύρας**  
**ΠΗΓΗ** Αρβανιτογιάννης, Ι., Σάνδρου, Δ. & Κούτρης, Λ., 2001

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βιολογική επεξεργασία της επεξεργασίας λυμάτων ζυθοποιίας με τη χρήση του μικροοργανισμού *Hycura* είναι μια ελκυστική επιλογή ως επιλογή βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων.

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των λυμάτων της ζυθοποιίας παρουσίασαν σημαντική μείωση κατά τον εμβολιασμό με το *Hycura* σε περίοδο 5 ημερών. Αναφέρθηκαν μειώσεις πάνω από το 70% για τα COD, BOD, TSS, TN και TP και παρατηρήθηκε ότι οι τιμές ήταν σχεδόν εντός των καθορισμένων ορίων του ΠΟΥ. Οι μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούνται από 4 στάδια μέσα από τα οποία τα λύματα επεξεργάζονται για την τελική τους διάθεση στο περιβάλλον με σκοπό την διατήρηση του.

Ένα ζυθοποιείο για να απορρίψει τα λύματά του σε δημοτικό αποχετευτικό δίκτυο απαιτείται η κατάλληλη προ επεξεργασία. Εάν δεν απορρίπτει σε δημοτικό αποχετευτικό δίκτυο τότε απαιτείται πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων.

Οι βιολογικές μέθοδοι είναι πιο σύγχρονοι με μεγαλύτερη επίτευξη αφαίρεσης BOD και COD και λιγότερο δαπανηρές από τις φυσικοχημικές. Το αρνητικό τους στοιχείο είναι ότι καταναλώνουν πολλή ενέργεια.

Έχουν αναπτυχθεί πολλοί μέθοδοι επεξεργασίας/κατεργασίας των λυμάτων ενός ζυθοποιείου αναλόγως με τις ανάγκες του αλλά και εναλλακτικές επιλογές που ακόμα είναι σε πρώιμο στάδιο.

Τα λύματα της ζυθοποιίας χρειάζονται ακόμα αποτελεσματικές λύσεις για την αποκατάσταση χαμηλού κόστους. Αυτές οι μέθοδοι δείχνουν πολλά υποσχόμενες, αλλά η καθεμία έχει αδυναμίες που πρέπει να αντιμετωπιστούν για καλύτερο αποτέλεσμα. Όσο αυξάνεται η ζήτηση για μύρα, αυξάνεται και η ποσότητα των παραγόμενων λυμάτων. Η βιομηχανία ζυθοποιίας έχει κύριο σκοπό την παραγωγή περισσότερης μύρας, αλλά οι αγνοούν τη βελτιστοποίηση του νερού που χρησιμοποιείται στη διαδικασία και την ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής επεξεργασίας για τα παραγόμενα λύματα. Τα λύματα πολλών ζυθοποιιών απορρίπτονται στην πλησιέστερη δημοτική μονάδα επεξεργασίας νερού για επεξεργασία.

Γίνονται προσπάθειες ώστε τα απόβλητα των μονάδων να αξιοποιηθούν ανάλογα και κάποιο μέρος τους να διατεθεί προς πώληση (κερδοφόρος επιλογή) αλλά θέλει μεγάλη προσπάθεια τα λύματα να μην είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον και τους οργανισμούς του.

Χώρες με λειψυδρία, όπως η Νότια Αφρική, και η βιομηχανία ζυθοποιίας της, αντιμετωπίζουν κρίση διαθεσιμότητας καθαρού νερού. Ενώ οι νέες τεχνολογίες όπως η εφαρμογή νανοσωλήνων άνθρακα φαίνεται να έχουν τη δυνατότητα να επιτύχουν εξαιρετικά επιθυμητά αποτελέσματα σε εργαστηριακές δοκιμές, η τεχνολογία δεν είναι έτοιμη για εφαρμογή στη βιομηχανία ζυθοποιίας ως προς τον οικονομικό τομέα.

Επιπλέον, υπάρχουν οι άγνωστοι κίνδυνοι για την υγεία από την παρουσία νανοσωλήνων άνθρακα στο περιβάλλον. Βιολογικές μέθοδοι όπως αερόβιες και αναερόβιες επεξεργασίες χρησιμοποιούνται αρκετά λόγω της ικανότητάς τους να απομακρύνουν οργανικούς ρύπους, επιτυγχάνοντας υψηλή αφαίρεση COD, αλλά χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κεφαλαίου ή λειτουργίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αμβροσιάδης, Ι., 2005. Εφαρμογή και έλεγχος του συστήματος HACCP. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία
2. Ανδρεδάκης, Α.Δ., 1986: “Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας και Διάθεσης Αστικών Αποβλήτων”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
3. Αρβανιτογιάννης, Ι., Σάνδρου, Δ. & Κούτρης, Λ., 2001. Ασφάλεια τροφίμων : Εφαρμογή της ανάλυσης επικινδυνότητας και ΚΣΕ (HACCP) στις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
4. Βαβίζος, Γ., (1995) « Βιολογικός Καθαρισμός» Γ΄ Έκδοση, ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα.
5. Δήμου Χαραλαμπία , Διαχείριση και Αξιοποίηση Υποπροϊόντων Βιομηχανιών Τροφίμων, Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων- Μέρος Β, 4-5 η Διάλεξη, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
6. Ευθύμιος Νταρακάς , Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων Α.Π.Θ. 2010
7. Νεράντζης, Η., Ταταρίδης, Π. & Κεχαγιά, Δ., 2014. Τεχνολογίες βύνης και ζύθου. Αθήνα: Εκδόσεις Έμβρυο.
8. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (2001). Η οδηγία 96/61/ΕΚ για την ολοκληρωμένη πρόληψη και περιορισμό της ρύπανσης (IPPC) και οι ελληνικές προτάσεις για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές βιομηχανίας τροφίμων
9. Λυμπεράτος Γεράσιμος, ‘Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων’, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2004.
10. Χριστούλας Δ., Ανδρεαδάκης Α., Κουζέλη-Κατσίρη Α., Αφτιάς Ε., Μαμάης Δ. (1999), «Διαχείριση της παραγόμενης ιλύος κατά την λειτουργία του Κ.Ε.Α. Ψυττάλειας», Heleco ‘ 99, Τόμος Ι., σ.σ. 63-71, Θεσσαλονίκη 1999

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Arvanitoyannis, I., 2009. HACCP and ISO 22000: Application to foods of animal origin. 1η Έκδοση
2. Bamforth, C. W., 2006. Brewing new technologies. s.l.:Woodhead Publishing Limited.
3. Brewers Association. Water and Wastewater Treatment-Volume Reduction Manual
4. Driessen W. & al pres. Sustainable Compact Biological Treatment of Brewery Effluent

5. Economopoulos A. (1993). **Assessment of sources of air, water and land pollution; A guide to rapid source inventory techniques and their use in formulating environmental control strategies.** World Health Organization, Geneva, Switzerland.
6. Fosso-Kankeu E. (2019) **Conference Effects of Pretreatment on the Removal of COD from Brewery Wastewater**
7. Gebeyehu A. & al (2018) **publ. Suitability of nutrients removal from brewery wastewater using a hydroponic technology with Typha latifolia.**
8. Gray, N.F., 1990: “**Activated Sludge – Theory and Practice**”, Oxford Science Publications, New York
9. Kebede T.B. (2018) **publ. Wastewater treatment in brewery industry, Review.**
10. **Industrial Waste Program Brewery Operations Wastewater Best Management Practices – 2017**
11. **International Journal of Enviromental Research And Public Health Microalgae Brewery Wastewater Treatment: Potentials, Benefits and the Challenges**
12. Preedy, V. R., 2009. **Beer in health and disease prevention . s.l.:Elsevier.**
13. Simate G.F. & al (2011) **publ. The treatment of brewery wastewater for reuse\_State of the art**

#### **ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. **Athenianbrewery.gr**
2. **[www.beeroskopio.com/2014/06/blog-post\\_2608.html](http://www.beeroskopio.com/2014/06/blog-post_2608.html)**
3. **[www.beercatalog.gr/zithopoiisi/item/461-zythopoiisi](http://www.beercatalog.gr/zithopoiisi/item/461-zythopoiisi)**
4. **[www.beer-brewing.com/default.htm](http://www.beer-brewing.com/default.htm) The Brewers’ Handbook**
5. **[www.ecc.com](http://www.ecc.com)**
6. **[www.ellinikienosizithopoion.gr](http://www.ellinikienosizithopoion.gr)**
7. **[www.enya.gr/products/biological-treatment/compact biologikos kauarismos SBR AS-HSBR](http://www.enya.gr/products/biological-treatment/compact_biologikos_kauarismos_SBR_AS-HSBR)**
8. **El.wikipedia.org**
9. **[www.paques.nl](http://www.paques.nl)**
10. **Google**