



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ ΔΥΟ ΦΑΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ**

**ΦΟΙΤΗΤΕΣ : ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ (Α.Μ. 6851)  
ΔΡΟΣΟΥ ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ (Α.Μ. 6814)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2020**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ





## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και σχετίζεται με τον προσδιορισμό των υγρών απόβλητων που προκύπτουν από τα διφασικά ελαιοτριβεία και τις ιδιότητες τους. Έπειτα αναφέρονται οι διάφορες μέθοδοι με τις οποίες μπορούν να απομακρυνθούν οι ουσίες από τα υγρά απόβλητα που τα καθιστούν επιβλαβή προς το φυσικό περιβάλλον. Τέλος εκπονήθηκαν ορισμένα πειράματα με σκοπό τη δημιουργία απόβλητου με τις βέλτιστες συνθήκες ώστε να επιτύχουμε το σκοπό αυτό.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Γεώργιο Παναγόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, για τη πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας.

Κωνσταντινίδου Κωνσταντίνα  
Δρόσου Κλεοπάτρα  
Δεκέμβριος 2020

**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή:** Οι κάτωθι Φοιτητές έχουν επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουν υπεύθυνα ότι είναι συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχουν δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία τους όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν και έλαβαν ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουν επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουν ενσωματώσει στην εργασία προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, έχει πλήρως αναγνωριστεί ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχει γίνει αναφορά στο όνομά του και την πηγή προέλευσής του.

Οι Φοιτητές

Κωνσταντινίδου Κωνσταντίνα

Δρόσου Κλεοπάτρα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα μεγάλο μέρος της παγκόσμιας αλλά και της εγχώριας οικονομίες είναι βασισμένο στη παραγωγή λαδιού το οποίο παράγεται και επεξεργάζεται στις μονάδες παραγωγής λαδιού ή αλλιώς γνωστά και ως ελαιοτριβεία. Τα ελαιοτριβεία κατηγοριοποιούνται σε διφασικά και τριφασικά ελαιοτριβεία αλλά για το σκοπό της εργασίας θα ασχοληθούμε με τα διφασικά ελαιοτριβεία. Με τη παραγωγική διαδικασία της παραγωγής του ελαιόλαδου εκτός από το ελαιόλαδο προκύπτουν και υγρά απόβλητα τα οποία ρίχνονται στο οικοσύστημα. Τα υγρά αυτά απόβλητα αποτελούνται από ένα συνδυασμό οργανικών ουσιών όπως υδατάνθρακες, λίπη, έλαια, πρωτεΐνες, φαινόλες και επιφανειακά τασιενεργές ουσίες και ανόργανων ουσιών όπως άζωτο, φώσφορο και διάφορα άλατα καθώς και διάφορα στερεά. Σε αυτά περιέχονται επίσης ουσίες κολλοειδής μορφής, μικροοργανισμοί, μέταλλα, ιχνοστοιχεία, τοξικές ουσίες και διαλυμένα αέρια όπως η αμμωνία ( $NH_3$ ), το υδρόθειο ( $H_2S$ ) κ.ά. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που παράγονται από τα ελαιοτριβεία έχει χρηστεί απαραίτητη από τη νομοθεσία, καθώς οι ουσίες που εμπεριέχονται σε αυτά θεωρούνται ως ρύποι για το περιβάλλον προκαλώντας σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα. Οι βασικές γνώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων αυτών αποτελούν βασικό εργαλείο στην κατανόηση των διαδικασιών επεξεργασίας τους. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τα φυσικά, τα χημικά και τα βιολογικά χαρακτηριστικά. Για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αυτών αποβλήτων χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων και ταξινομούνται σε μηχανικές, βιολογικές, φυσικοχημικές μεθόδους επεξεργασίας καθώς και τη προσρόφηση με χρήση φυσικών αργίλων. Για την επίτευξη του στόχου αυτού εκπονήθηκαν διάφορα εργαστηριακά πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε απόβλητο διαχωριστήρα σε συνδυασμό με πολυγορσκήτη, ο οποίος ανήκει στη κατηγορία των ορυκτών αργίλων, για αυτό το λόγο μας ενδιαφέρει η μέθοδος της επεξεργασίας με προσρόφηση. Κατά τη διάρκεια των διάφορων πειραμάτων προκύπτει ένα σύνολο βέλτιστων τιμών του καθαρού απόβλητου το οποίο στη συνέχεια υποβάλλεται σε διάφορα πειράματα ώστε να βρούμε τις βέλτιστες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του απόβλητου ώστε αυτό να έχει όσο το δυνατόν λιγότερες έως καθόλου περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα (εδάφη, θάλασσες ή και λίμνες).



## ABSTRACT

A large part of the global and domestic economies is based on the production of oil which is produced and processed in the oil production units or otherwise known as olive mills. The mills are categorized into two-phase and three-phase mills but for the purpose of this paper we will deal with two-phase mills. The production process of olive oil production, in addition to olive oil, also results in liquid waste which is dumped into the ecosystem. This liquid waste consists of a combination of organic substances such as carbohydrates, fats, oils, proteins, phenols and surfactants and minerals such as nitrogen, phosphorus and various salts as well as various solids. They also contain colloidal substances, microorganisms, minerals, trace elements, toxic substances and dissolved gases such as ammonia (NH<sub>3</sub>), hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) etc. The treatment of liquid waste generated by olive mills has been used as necessary by law, as the substances contained in them are considered as environmental pollutants causing significant environmental impact on the ecosystem. Basic knowledge of the quality characteristics of these wastewaters is a key tool in understanding their treatment processes. The quality characteristics of liquid waste are divided into three categories, physical, chemical and biological characteristics. For the reuse of these liquid wastes, various methods of waste treatment are used and they are classified in mechanical, biological, physicochemical treatment methods as well as the adsorption using natural clays. To achieve this goal, various laboratory experiments were carried out in which a waste separator was used in combination with polygorskite, which belongs to the category of mineral clays, for this reason we are interested in the method of adsorption treatment. During the various experiments a set of optimal values of the pure waste is obtained which is then subjected to various experiments in order to find the best values of the quality characteristics of the waste so that it has as little to no environmental impact on the ecosystem (soils, seas or lakes).

## Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

### ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### 1. ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ

##### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ

##### 1.2 ΤΥΠΟΙ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

##### 1.3 ΔΙΦΑΣΙΚΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ

*1.3.1 Πλεονεκτήματα διφασικών ελαιοτριβείων*

*1.3.2 Μειονεκτήματα διφασικών ελαιοτριβείων*

##### 1.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ ΣΤΑ ΔΙΦΑΣΙΚΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ

*1.4.1 Στάδια παραγωγής*

#### 2. ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

##### 2.1 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

##### 2.2 ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

##### 2.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

##### 2.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

*2.4.1 Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.*

*2.4.2 Χημικά (ανόργανα) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.*

*2.4.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων*

##### 2.5 ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

##### 2.6 ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

##### 2.7 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

*2.7.1 Επιπτώσεις στην υδρόβια ζωή και στους υδάτινους πόρους.*

*2.7.2 Επιπτώσεις στις καλλιέργειες και το έδαφος.*

*2.7.3 Επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα*

#### 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

##### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

##### 3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ



- 3.2.1 Διήθηση
- 3.2.2 Επίπλευση
- 3.2.3 Καθίζηση
- 3.2.4 Απολίπωση

### **3.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ**

- 3.3.1 Λίμνες Εξάτμισης
- 3.3.2 Ενεργός Ίλος
- 3.3.3 Αναερόβια Επεξεργασία

### **3.4 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ**

- 3.4.1 Διαχωρισμός με μεμβράνες
- 3.4.2 Αποτέφρωση
- 3.4.3 Εξάτμιση-Απόσταξη
- 3.4.4 Συσσωμάτωση
- 3.4.5 Καθίζηση
- 3.4.6 Οξειδωση
- 3.4.7 Προσρόφηση

### **3.5 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

## **4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΑΕ.**

### **4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **4.2 ΠΕΙΡΑΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ pH**

### **4.3 ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΡΑΙΩΣΗΣ ΠΑΛΥΓΟΡΣΚΙΤΗ ΜΕ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ**

### **4.4 ΠΕΙΡΑΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ**

### **4.5 ΠΕΙΡΑΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ**

### **4.6 ΠΕΙΡΑΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΠΑΛΥΓΟΡΣΚΙΤΗ**

### **4.7 ΤΕΛΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ**

- 4.7.1 Πείραμα Φαινόλων
- 4.7.2 Πείραμα COD
- 4.7.3 Πείραμα BOD
- 4.7.4 Πείραμα Ολικών Στερεών

## **ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την αρχαιότητα η ελιά έχει καθοριστικό ρόλο στη πολιτισμική ιστορία της Ελλάδας καθώς αποτελεί σύμβολο ειρήνης, πολιτισμού και ευγενής άμιλλα, δεν περιορίζεται όμως μόνο σε αυτό. Η ελιά μέχρι και σήμερα είναι ένα από τα πολυτιμότερα αγαθά της Μεσογειακής διατροφής καθώς είναι εμπλουτισμένη με θρεπτικές ουσίες απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, ενώ παράλληλα συμβάλει στη πρόληψη σοβαρών ασθενειών όπως: ο καρκίνος, τα καρδιακά νοσήματα ή ο διαβήτης λόγω των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων που έχει. (et F.J. Gomez-de la Cruz, 2020 ; Διαδίκ Η καλλιέργεια της ελιάς και η αξιοποίηση της στην παραγωγή του ελαιόλαδου έχει ξεκινήσει από την αρχαιότητα και συνεχίζεται ακόμα και σήμερα. Κάθε χρόνο παγκοσμίως καλλιεργούνται 750 εκατομμύρια περίπου ελαιόδεντρα τα οποία καλύπτουν μεγάλη γεωγραφική έκταση. Έρευνες δείχνουν ότι το 97 % της ελαιοπαραγωγής λαμβάνει χώρα στις μεσογειακές χώρες με την Ισπανία να κατέχει τη πρώτη θέση και την Ιταλία και Ελλάδα στη δεύτερη και τρίτη θέση αντίστοιχα. Συγκεκριμένα για την Ελλάδα η παραγωγή του ελαιόλαδου κατέχει σημαντικό ρόλο στην οικονομία της χώρας μας δεδομένου ότι μεγάλο ποσοστό ελληνικών οικογενειών ασχολείται επαγγελματικά με αυτή. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραγωγή ελαιόλαδου στην Ελλάδα φτάνει τους 430.000 τόνους ανά έτος με συνεισφορά στο 15 % της παγκόσμιας παραγωγής. Οι περιοχές με το περισσότερο ποσοστό ασχολίας στην ελαιοπαραγωγή είναι η Κρήτη και η Πελοπόννησος ενώ ακολουθούν η Στερεά Ελλάδα, τα νησιά του Ιονίου και του βόρειου Αιγαίου. (M.O.J. Azzam, 2018 ; Agariou et al., 2016)







Η ολοένα και αυξανόμενη επεξεργασία της ελιάς τα τελευταία χρόνια έχει ως συνέπεια και την αύξηση των αποβλήτων που προέρχονται από τις μονάδες επεξεργασίας της (ελαιοτριβεία) γεγονός που έχει αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον, καθώς τα απόβλητα αυτά αποτελούνται από ουσίες που θεωρούνται επιβλαβείς για το οικοσύστημα. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αυτών αποβλήτων ώστε να υπάρξει η καλύτερη αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος και να αξιοποιηθούν με το βέλτιστο τρόπο ως προς το καλό του περιβάλλοντος. (Annab H. et al., 2019 ; Dutournié P. et al., 2019 ; F.J. Gomez-de la Cruz et al., 2020)

## 1. ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ

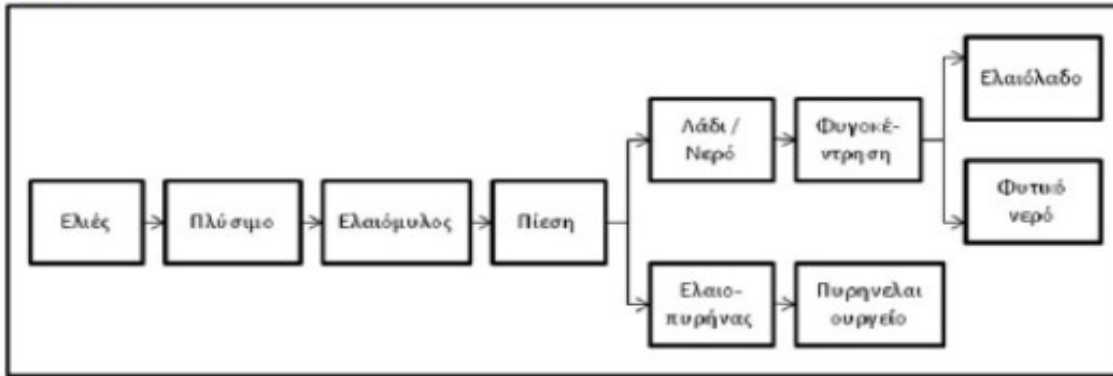
Για την επεξεργασία του καρπού της ελιάς ώστε να υπάρχει παραγωγή ελαιόλαδου έχουν αναπτυχθεί τα ελαιοτριβεία τα οποία αποτελούν βιομηχανικές-γεωργικές μονάδες, συνεταιριστικές ή ιδιωτικές, εποχιακής λειτουργίας ( από τέλη Οκτώβρη μέχρι αρχές Μάρτη, την περίοδο δηλαδή συλλογής της ελιάς). ( M.O.J. Azzam, 2018) Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ελάττωση του αριθμού λειτουργίας των ελαιοτριβείων, σε αντίθεση με την αύξηση παραγωγής του ελαιόλαδου, γεγονός που οφείλεται στη συγχώνευση των μονάδων τους και στον εκσυγχρονισμό τους, συμβάλλοντας στη βέλτιστη παραγωγική τους ικανότητα.

Τα ελαιοτριβεία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : **i)** κλασικού τύπου και **ii)** φυγοκεντρικού τύπου.

**i)** Τα ελαιοτριβεία κλασικού τύπου όπου ανάλογα με τον εξοπλισμό των μηχανών τους χωρίζονται σε διάφορους τύπους όπως παραδείγματος χάριν αριθμός και τύποι πιεστηρίων, τα οποία παίζουν και βασικό ρόλο στην παραγωγική ικανότητα τους.

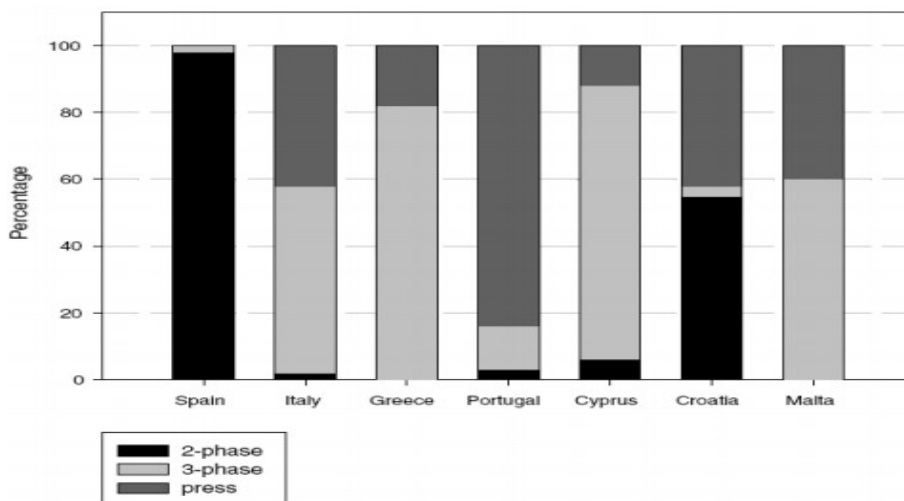
**ii)** Τα ελαιοτριβεία φυγοκεντρικού τύπου χωρίζονται ανάλογα με τον τύπο ή τους οριζόντιους φυγοκεντρικούς διαχωριστές που κατέχουν, η μέγιστη απόδοση των οποίων συνδέεται με την καλύτερη παραγωγική λειτουργίας τους.

Στην Ελλάδα, με βάση τα στατιστικά του Υπουργείου Γεωργίας το 2000, τα ελαιοτριβεία κλασικού τύπου αποτελούν περίπου το 30% του συνόλου ενώ αυτά του φυγοκεντρικού τύπου το υπόλοιπο περίπου 70%, ενώ μπορούν να θεωρηθούν ως μικρής (500-1.000 kg/h επεξεργασμένου καρπού ελιάς), μεσαίας (1.000- 1.250 kg/h) και μεγάλης απόδοσης (1.250- 2.000 kg/h) με βάση τη δυναμικότητα τους. (Γεωργακάκος, 2013 ; Υπουργείο Γεωργίας, 2000)



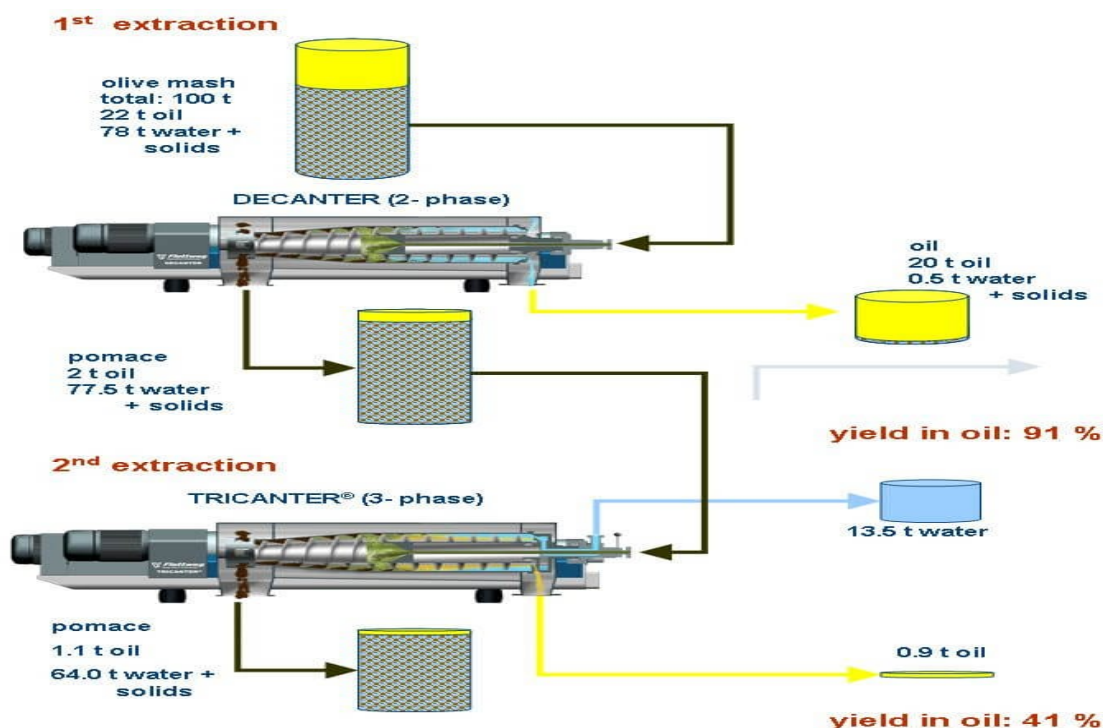
Σχήμα 1.1 : Διάγραμμα ροής παραδοσιακού συστήματος παραγωγής ελαιόλαδου (Πηγή : [www.tdcolive.net](http://www.tdcolive.net))

Η επεξεργασία του ελαιοκάρπου στα ελαιοτριβεία ,κλασικά ή και φυγοκεντρικά , έχει ως συνέπεια την παραγωγή υγρών αποβλήτων . Τα υγρά αυτά απόβλητα απαρτίζονται από τα νερά του πλυσίματος του ελαιοκάρπου , τα μηχανήματα των ελαιοτριβείων , τους φυσικούς χυμούς και του νερού αραιώσης που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του διαχωρισμού του ελαιοπυρήνα και της τελικής φυγοκέντρωσης. Η ποσότητα του νερού κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του ελαιοκάρπου η ποικιλία και η ποιότητα αυτού , η ωρίμανση , ο τρόπος μαζέματος του αλλά και η μέθοδος λειτουργίας και ο τύπος του ελαιοτριβείου έχουν άμεση επιρροή στην ποσότητα των υγρών αποβλήτων που παράγονται.

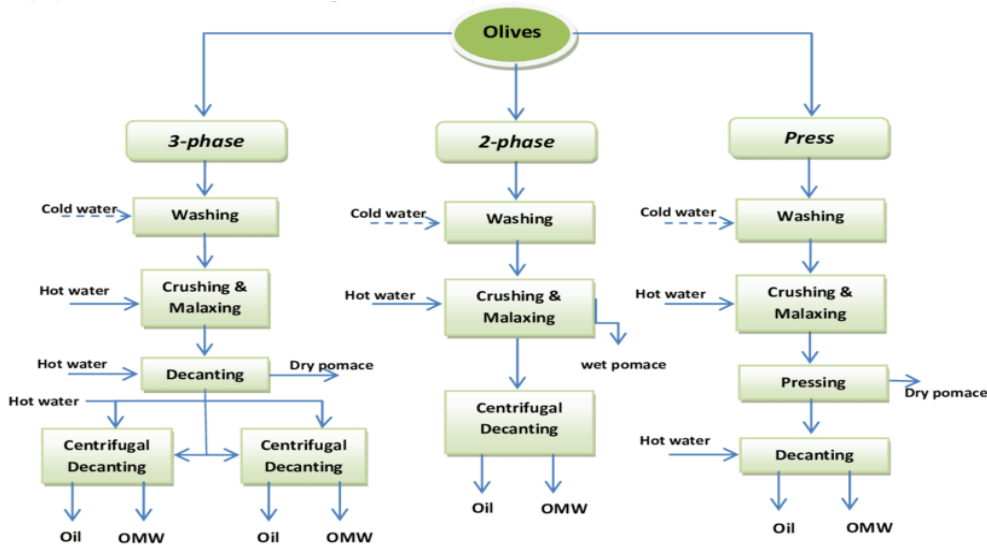


Διάγραμμα 1.1 : Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα ελαιοτριβεία της Ευρώπης (Πηγή : Roig et al., 2006)

Ο διαχωρισμός του ελαιόλαδου από την ελαιοζύμη με τη χρήση φυγόκεντρης δύναμης αντί πίεσης προκάλεσε έντονο προβληματισμό στο κλάδο της ελαιοτεχνίας. Οι προσπάθειες αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος ξεκίνησαν στα τέλη του 19ου αιώνα και έφτασε εις πέρας τη κατά τη χρονική περίοδο 1960-1970 με τη υλοποίηση φυγοκεντρικού διαχωριστή με οριζόντιο άξονα (decanter). Στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί τρεις διαφορετικές μέθοδοι στην παραγωγή του ελαιόλαδου.



Εικόνα 1.1 : 1η και 2η εκχύλιση στην παραγωγή ελαιολάδου (Πηγή : <https://www.flottweg.com>)



Σχήμα 1.4 : Βασικές πληροφορίες για τις τεχνολογίες εξόρυξης ελαιολάδου  
(Πηγή : Yamani M. et al., 2017)

## 1.2 ΔΙΦΑΣΙΚΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ

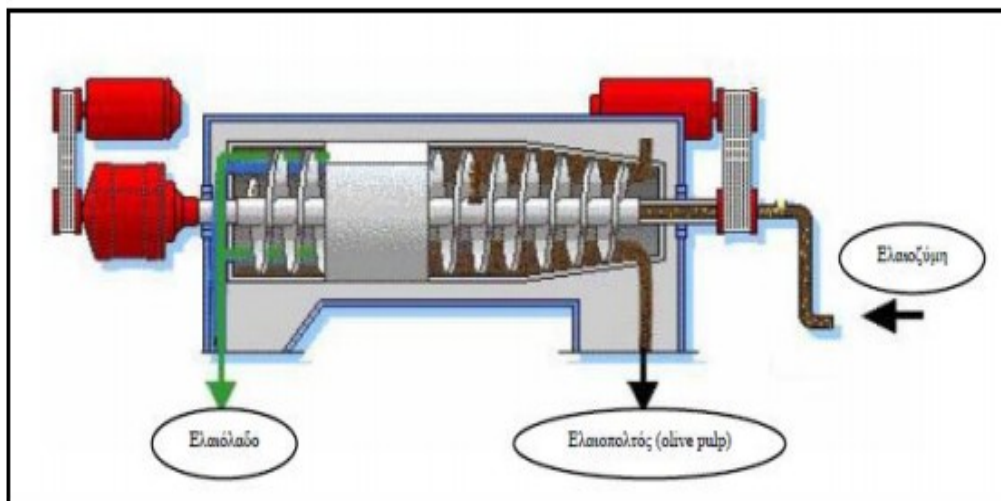
Το διφασικό φυγοκεντρικό σύστημα ή διαφορετικά οικολογικό σύστημα αποτελεί τη πιο πρόσφατη βελτίωση στη διαδικασία παραγωγής του ελαιόλαδου και αποτελεί προϊόν της εταιρίας Westphalia Separator και έχει ως τελικά προϊόντα το καθαρό ελαιόλαδο και τον ελαιοπυρήνα αναμειγμένο με νερό. ( Μισύρη Ι. , 2019)

Η διαδικασία της φυγοκέντρισης στα διφασικά ελαιοτριβεία αποτελείται από τα εξής στάδια :

- i. σπάσιμο των ελιών ,
- ii. ανάμιξη της ελαιοζύμης και
- iii. φυγοκέντρωση με προσθήκη νερού.

Τα διφασικά συστήματα επεξεργασίας κλειστού κυκλώματος λόγω της ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης του νερού και της μείωσης των λυμάτων συμβάλουν σημαντικά στην ελάττωση του περιβαλλοντικού ίχνους των ελαιοτριβείων ενώ παράλληλα η ανακύκλωση των αποβλήτων των ελαιοτριβείων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των πολυφαινόλων που υπάρχουν στα λάδια γεγονός που συμβάλει στην αντιμετώπιση κατά της οξείδωσης που εμφανίζεται σε αυτά.

Τα φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία δύο φάσεων παράγουν λιγότερες ποσότητες υγρών αποβλήτων σε σύγκριση με αυτά των τριών φάσεων ενώ δε γίνεται προσθήκη επιπλέον νερού στην ελαιοζύμη.



Σχήμα 1.1 : Διφασικός διαχωριστήρας ( Γιαλιτάκη, 2013)

### 1.3.1 Πλεονεκτήματα διφασικών ελαιοτριβείων

Ο τρόπος λειτουργίας των φυγοκεντρικών ελαιοτριβείων δύο φάσεων παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα ελαιοτριβεία των τριών φάσεων. Τα πλεονεκτήματα αυτά αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω :

- i. **Ποιότητα ελαιόλαδου** : Η ποιότητα του ελαιόλαδου που προέρχεται από τα φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία δύο φάσεων είναι πολύ καλής ποιότητας , έχει πιο καλά οργανοληπτικά συστατικά και αποτελεί παράγοντα στη διατήρηση της οξειδωσης σε σταθερά επίπεδα.
- ii. **Η παραγωγή της ελαιοπάστας** : Η ελαιοπάστα λόγω της λιγότερης προσθήκης νερού που χρειάζεται για την παραγωγή της έχει ως συνέπεια στη μείωση του κόστους παραγωγής της εγκατάστασης. Αυτό με τη σειρά του συμβάλει στη μείωση της ενέργειας που απαιτείται κατά τη διαδικασία της παραγωγής καθώς η ποσότητα της ελαιοπάστας που είναι για επεξεργασία έχει ελαττωθεί.
- iii. **Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές οριζόντιου άξονα**\_: Τα ελαιοτριβεία δύο φάσεων θεωρούνται πιο αξιόπιστα και οικονομικά σε σχέση με τα τριφασικά ελαιοτριβεία και η αιτία είναι ότι ο τρόπος κατασκευής των φυγοκεντρικών διαχωριστών οριζόντιου άξονα των ελαιοτριβείων δύο φάσεων δεν είναι τόσο περίπλοκος όσο αυτόν που χαρακτηρίζει τα τριφασικά ελαιοτριβεία.

### 1.3.2 Μειονεκτήματα διφασικών ελαιοτριβείων

Η επεξεργασία του ελαιοκάρπου και η παραγωγή του ελαιόλαδου στα διφασικά συστήματα έχει και μειονεκτήματα συγκριτικά με τα συστήματα τριών φάσεων. Κύρια αιτία

των μειονεκτημάτων αυτών αποτελούν τα υγρά απόβλητα που παράγονται σε αυτά. Δεν υπάρχει ακριβής χαρακτηρισμός των αποβλήτων αυτών έχει όμως παρατηρηθεί ότι είναι πλούσια σε φαινόλες, λιπίδια, ξηρότητα ενώ ο δείκτης θολότητας και COD έχουν υψηλές τιμές. Τα απόβλητα των διφασικών συστημάτων ανέρχονται σε ποσοστό 55-70% υγρασίας καθιστώντας τα ασταθή στη διαχείριση, τη μεταφορά και την αποθήκευσή τους.

Επεξεργασία	Είσοδος	Ποσότητα	Έξοδος	Ποσότητα	
Παραδοσιακή	Ελιές	1 tn	Ελαιόλαδο	200 lt	<p>Το 2-φασικό σύστημα δημιουργεί μεγαλύτερο όγκο στερεού υπολείμματος, παράγει όμως μικρότερα ποσά υγρών αποβλήτων και χαμηλότερες τιμές BOD<sub>5</sub>.</p> <p>Είναι, επίσης, χαρακτηριστικό ότι η περιεκτικότητα του ελαιόλαδου σε πολυφαινόλες είναι μικρότερη στο τριφασικό σύστημα λόγω των υψηλών ποσοτήτων προστιθέμενου νερού.</p> <p>Τέλος, το ελαιόλαδο που προκύπτει από τη διφασική επεξεργασία είναι υψηλής ποιότητας και σταθερό στην οξείδωση.</p>
			Πυρήνα υγρή (26% νερό, 7% λάδι)	400 - 500 lt	
			Κασίγαρος (88% νερό)	300 - 400 lt	
3 Φάσεων	Ελιές Νερό (προσθήκη νερού)	1 tn 250 - 400 lt	Ελαιόλαδο	200 lt	
			Πυρήνα υγρή (50% νερό, 5% λάδι)	500 lt	
			Κασίγαρος (94% νερό, 1% λάδι)	550 - 700 lt	
2 Φάσεων	Ελιές Νερό (προσθήκη νερού)	1 tn 0 lt	Ελαιόλαδο	205 lt	
			Πυρήνα υγρή (65% νερό, 4% λάδι)	795 lt	
			Κασίγαρος	0 lt	

Πίνακας 1.4 : Παραλαβή ελαιόλαδου και παραγόμενα απόβλητα (Πηγή : <http://www.agroenergy.gr> )

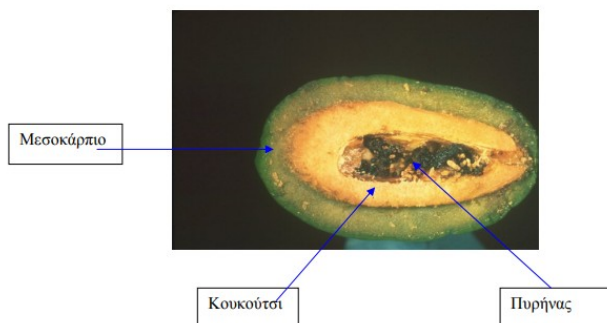
#### 1.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ ΣΤΑ ΔΙΦΑΣΙΚΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ

Η παραγωγή του ελαιόλαδου είναι ευρέως διαδεδομένη στις μεσογειακές χώρες καθώς πολλές ευρωπαϊκές οικογένειες ασχολούνται επαγγελματικά στο τομέα ελαιοπαραγωγής με ποσοστό που φτάνει το 95% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής. Ο κλάδος της ελληνικής ελαιοπαραγωγής κατέχει τη τρίτη θέση ανάμεσα στις μεσογειακές χώρες ενώ περίπου 3.500 ελαιοτριβεία βρίσκονται εν λειτουργία στην ελληνική γη με το μεγαλύτερο αριθμό αυτών να λειτουργούν κυρίως στη Κρήτη και τη Πελοπόννησο ενώ στη συνέχεια ακολουθούν η Στερεά Ελλάδα και τα Νησιά του Ιονίου και Βόρειου Πελάγους. Η λειτουργία έχει άμεση συσχέτιση με τη χρονική περίοδο του μαζέματος της ελιάς για αυτό και λειτουργούν κυρίως από τέλη Οκτώβρη μέχρι αρχές Μαρτίου, κάποιες φορές μέχρι και τον Ιούνιο ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Με τη λειτουργία τους παράγονται περίπου 1.500.000 τόνοι υγρών αποβλήτων η εκπομπή των οποίων προκαλεί σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα λόγω των επιβλαβών συστατικών που τα διακατέχουν.

Η παραγωγή του ελαιόλαδου γίνεται στις εγκαταστάσεις εξευγενισμού (ραφιναρίες) στις οποίες το ελαιόλαδο υποβάλλεται σε εξειδικευμένη επεξεργασία στα πυρηνελαιουργία, με τον πυρήνα να επεξεργάζεται για να παραχθεί πυρηνέλαιο καθώς και στα ελαιοτριβεία που



γίνεται η παραγωγή του όπως και στα στερεά και υγρά απόβλητα που παράγονται από αυτά με απώτερο στόχο τη θέσπιση του ως κατάλληλο για ανθρώπινη χρήση και κατανάλωση.



Εικόνα 1.2 : Τα επιμέρους τμήματα του καρπού (Πηγή : <https://pt.slideshare.net/> )

#### 1.4.1 Στάδια παραγωγής του ελαιόλαδου

Η διαδικασία επεξεργασίας του ελαιόλαδου αποτελείται από ορισμένα στάδια , των οποίων η αναλυτική περιγραφή γίνεται παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα :

- **Παραλαβή του καρπού** : Πρώτο στάδιο στη διαδικασία επεξεργασίας του ελαιόλαδου είναι η παραλαβή του καρπού. Μετά το τέλος της συγκομιδής τους οι ελιές μεταφέρονται, με πλαστικούς σάκους ή πλαστικά τελάρα , σε μεταποιητικές μονάδες για να ξεκινήσει η επεξεργασία τους . Η επεξεργασία του ελαιοκάρπου πρέπει να αρχίσει όσο γρηγορότερα γίνεται και σε περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό πρέπει να φυλάσσεται για μια μικρή χρονική περίοδο σε χώρο με πολύ καλό αερισμό.



Εικόνα 1.3 : Παραλαβή ελαιοκάρπου σε τελάρα (Πηγή : <https://www.agriniosite.gr>)

- **Αποφύλλωση , απομάκρυνση ξένων υλών και πλύση** : Ο καρπός που εισέρχεται στο ελαιοτριβείο , μετά τη συγκομιδή του, είναι γεμάτος με φύλλα και ξένα υλικά (χώμα,σκόνη,πέτρες κ.τ.λ.) τα οποία πρέπει να αφαιρεθούν πριν την εξαγωγή του ελαιόλαδου. Αρχικά γίνεται η αποφύλλωση δηλαδή απομακρύνονται τα φύλλα από το καρπό διαδικασία εξαιρετικά σημαντική καθώς η ύπαρξη των φύλλων προκαλεί πικρή γεύση στο ελαιόλαδο εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης σε ελευρωπάϊνη . Έπειτα ακολουθεί η πλύση τους με νερό ώστε να αφαιρεθούν και τα ξένα υλικά που υπάρχουν στον καρπό.



Εικόνα 1.4 : Αποφύλλωση (Πηγή : <http://www.taleonoliveoil.com>)

- **Άλεση του καρπού** : Στα σύγχρονα ελαιοτριβεία η άλεση του καρπού πραγματοποιείται σε μύλους από μέταλλο, σφυρόμυλους και σπαστήρες με αντίθετα οδοντωτούς δίσκους ή κυλινδροσπαστήρες ενώ αντίθετα στα παραδοσιακά με κυλινδρικές μυλόπετρες. Η άλεση του καρπού αποσκοπεί στη δυνατότητα θραύσης των κυττάρων του μεσοκαρπίου ώστε να είναι ευκολότερη η εξαγωγή του ελαίου και ο σχηματισμός μεγαλύτερων σταγόνων οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να διαχωρίζονται πιο εύκολα στα επακόλουθα στάδια επεξεργασίας. Με την άλεση του καρπού ωστόσο δημιουργείται γαλάκτωμα το οποίο αποτελείται από τις σταγόνες που απελευθερώθηκαν και τις πρωτεΐνες . Είναι σημαντικό παράλληλα η θερμοκρασία της ελαιοζύμης να μην αυξηθεί καθώς και ο θρυμματισμός του καρπού να μην είναι υπερβολικός γιατί αυτό μπορεί να προκαλέσει πικρή γεύση στο ελαιόλαδο.



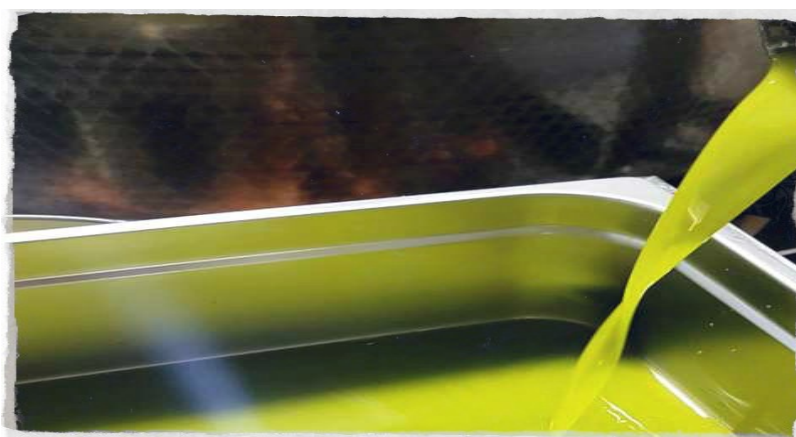
Εικόνα 1.5 : Άλεση ελαιόκαρπου (Πηγή : <https://eleftheriaonline.gr> )

- **Μάλαξη της ελαιοζύμης** : Μετά την άλεση ακολουθεί η μάλαξη της ελαιοζύμης η οποία ανακατεύεται στο μαλακτήρα ,ανοξειδωτες δεξαμενές με διπλά τοιχώματα ,που ζεσταίνονται με τη κυκλοφορία ζεστού νερού το οποίο ιδανικά δε πρέπει να ξεπερνάει τους 25 °C . Η διαδικασία της μάλαξης είναι απαραίτητο στάδιο της επεξεργασίας , έχει διάρκεια 30 λεπτών συνήθως και συμβάλει στη σύζευξη των μικρών σταγονιδίων σε μεγάλες σταγόνες λαδιού.



Εικόνα 1.6 : Μάλαξη ελαιοζύμης (Πηγή : <https://www.kalliergo.gr> )

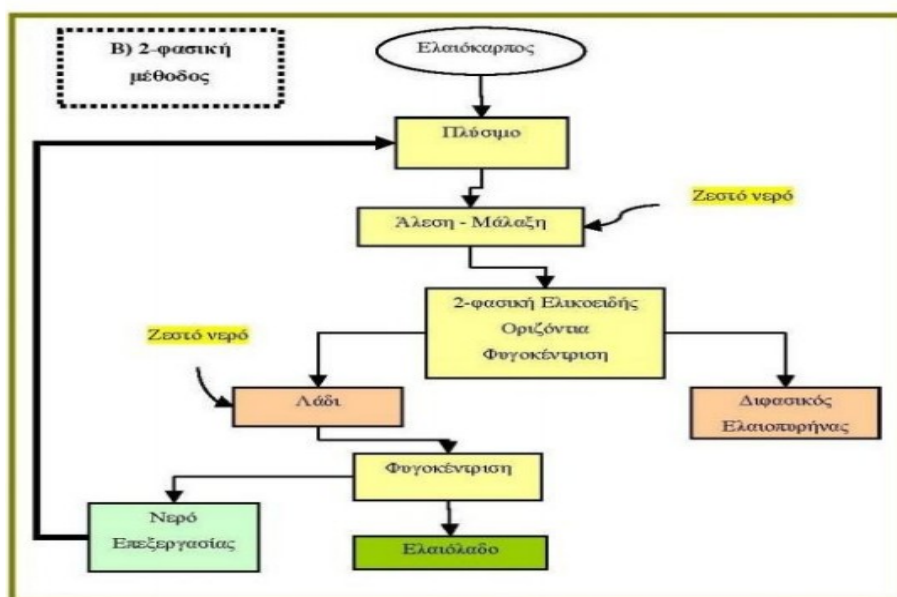
- **Αραίωση της ελαιοζύμης** : Στο μαλακτήρα γίνεται προσθήκη νερού μέχρι να αραιωθεί η συνολική ποσότητα της ελαιοζύμης πριν την εξαγωγή του ελαιόλαδου σε διφασικούς ή τριφασικούς φυγοκεντρικούς διαχωριστές. Η θερμοκρασία του νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 30 °C .
- **Εξαγωγή του ελαιόλαδου** : Η εξαγωγή του ελαιόλαδου από την ελαιοζύμη πραγματοποιείται είτε με πίεση είτε με φυγοκέντριση της ελαιοζύμης.



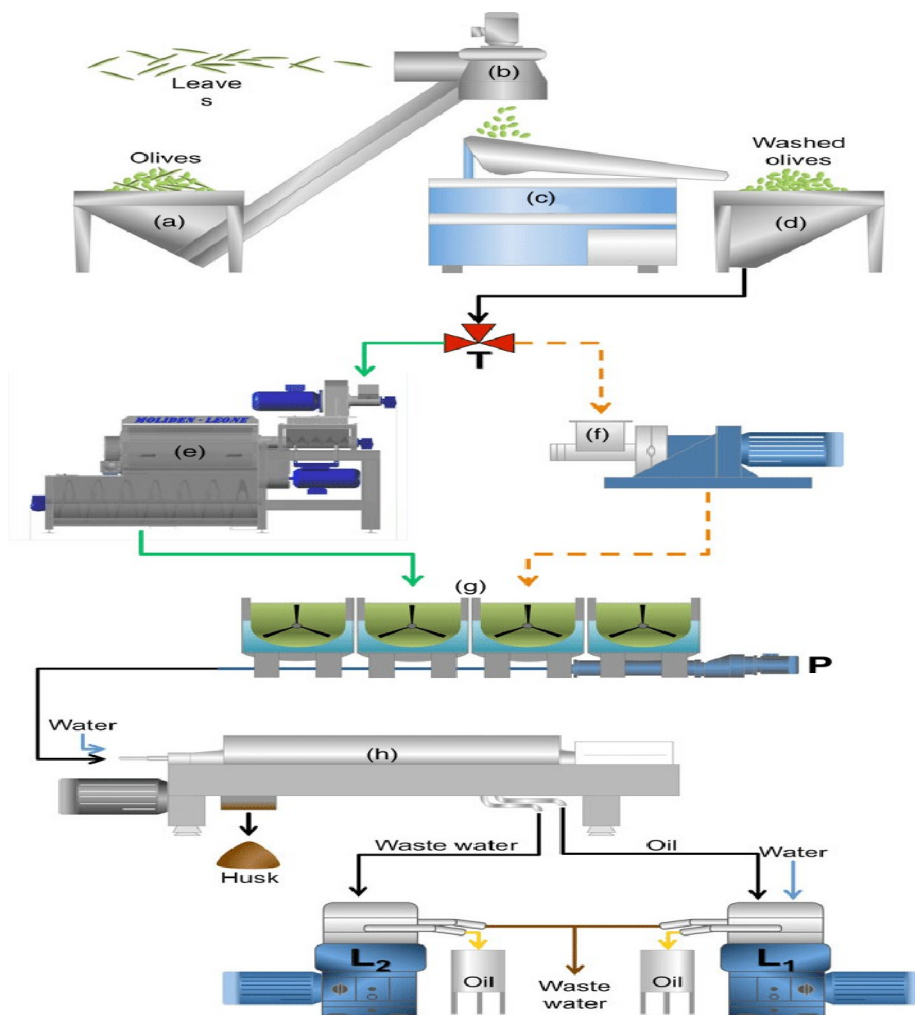
Εικόνα 1.7 : Εξαγωγή ελαιόλαδου (Πηγή : <https://www.evlaveia.gr>)

- **Καθαρισμός του ελαιόλαδου** : Τελικό στάδιο στη παραγωγή του ελαιόλαδου είναι ο καθαρισμός του από στερεά σωματίδια (τεμάχια σάρκας,φλοιού,θρύμματα

πυρηνόξυλου κ.ά.) που είναι διαλυμένα στην υγρή φάση. Έχει υπολογιστεί ότι το βάρος των στερεών αυτών σωματιδίων κυμαίνεται σε ποσοστό 0.5-1% επί του συνολικού βάρους της υγρής φάσης και η απομάκρυνση τους γίνεται χρησιμοποιώντας κόσκινα παλινδρομικής κίνησης (κόσκινα απολάσπωσης) . Τέλος γίνεται ο τελικός διαχωρισμός του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά χρησιμοποιώντας φυγοκεντρικούς διαχωριστές.



Εικόνα 1.8 : Διφασικό σύστημα παραγωγής ελαιόλαδου (Πηγή : Γιαννόπουλος Ι., 2016)



Εικόνα 1.9 : Διάταξη βιομηχανικών εγκαταστάσεων και επεξεργασίας ελαιολάδου: **(A)** χοάνη φόρτωσης ; **(B)** αποφυλλωτής ; **(C)** μηχανή καθαρισμού; **(D)** χοάνη; **(T)** τρισδιάστατη βαλβίδα; **(E)** μερική μηχανή αποστροφής; **(F)** σφυρί θραυστήρα; **(G)** μηχανήματα μάλαξης; **(H)** στερεά / υγρή οριζόντια φυγοκεντρική καράφα; **(L)** υγρό-υγρό κάθετες φυγόκεντρες; **(P)** αντλία κοιλότητας .

(Πηγή : <https://www.researchgate.net>)

## 2. ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

### 2.1 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

Η αυξανόμενη παραγωγή του ελαιόλαδου στα ελαιοτριβεία έχει ως συνέπεια την αύξηση παραγωγής των αποβλήτων τα οποία διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες : τα στερεά ,τα υγρά και αέρια απόβλητα. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων αυτών και η ποσότητα τους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι αναφέρονται επιγραμματικά στη συνέχεια. Η εκβολή των αποβλήτων αυτών δεν πρέπει να είναι ανεξέλεγκτη καθώς μπορεί να προκαλέσει επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. (K.Pelendridou et al, 2013)



Διάγραμμα 2.1 : Παραγόμενες ποσότητες Αποβλήτων στην Ελλάδα. (Πηγή :[http://ejst.teiath.gr/issues/issue\\_54/tsakni\\_54.pdf](http://ejst.teiath.gr/issues/issue_54/tsakni_54.pdf) )

Οι παράγοντες που προσδιορίζουν με ακρίβεια την ποσότητα και σύσταση των αποβλήτων είναι οι εξής :

- i. οι κλιματολογικές και εδαφικές συνθήκες ,
- ii. ο τύπος του ελαιοτριβείου,
- iii. η διαχείριση των αγροκτημάτων,
- iv. οι μέθοδοι συγκομιδής του ελαιοκάρπου και
- v. οι διαδικασίες εξαγωγής του ελαιόλαδου.

	Παραδοσιακή	3 Φάσεων	2 Φάσεων
Στερεό υπόλειμμα (kg)	330	500	800
Υγρά απόβλητα (L)	600	1200	250
Φυτικό νερό των υγρών αποβλήτων (%)	94	90	99
BOD <sub>5</sub> υγρών αποβλήτων (g/L)	100	80	10
Πολυφαινόλες στα υγρά απόβλητα (mg/L)	203	164	200
Δείκτης Πικρότητας	1,4	0,5	-

Εικόνα 2.1 : Σύγκριση ορισμένων χαρακτηριστικών των αποβλήτων από τις διάφορες επεξεργασίες παραγωγής ελαιόλαδου για 1000 kg καρπού (Πηγή : Γιαλιτάκη Μ., 2013)

## 2.2 ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

Κατά την επεξεργασία του ελαιοκάρπου στα ελαιοτριβεία ,εκτός από το ελαιόλαδο, παράγονται και κάποια παραπροϊόντα . Τα παραπροϊόντα αυτά συγκροτούνται από τον ελαιοπυρήνα που αποτελείται από τα αλεσμένα στερεά συστατικά κυρίως από το κουκούτσι της ελιάς, τα φύλλα της ελιάς που έχουν μεταφερθεί μαζί με τον ελαιοκάρπο και μια ποσότητα υγρών αποβλήτων ,ευρέως αναγνωρισμένα ως υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων( Υ. Α .Ε.) ή αλλιώς ως “κασιγάρος” στην ελληνική ορολογία.



Εικόνα 2.2 : Κασιγάρος ή Λιοζούμο (Πηγή : <https://agroil.gr> )

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων αποτελούνται από το μέρος του χυμού του καρπού της ελιάς και του νερού που χρησιμοποιείται στις διάφορες φάσεις επεξεργασίας, δηλαδή τη μάλαξη της ελαιομάζας, το φυγοκεντρικό διαχωρισμό αλλά και από το διαχωρισμό του ελαιόλαδου στον ελαιοδιαχωριστήρα και παράγονται κυρίως από τα τριφασικά φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία.

## 2.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων απαρτίζονται κυρίως από οργανικές ουσίες (υδατάνθρακες, λίπη, έλαια, πρωτεΐνες, φαινόλες και επιφανειακά τασιενεργές ουσίες), ανόργανες ουσίες (άζωτο, φώσφορο και διάφορα άλατα) και διάφορα στερεά. Σε αυτά περιέχονται επίσης ουσίες κολλοειδής μορφής, μικροοργανισμοί, μέταλλα, ιχνοστοιχεία, τοξικές ουσίες και διαλυμένα αέρια όπως η αμμωνία ( $NH_3$ ) , το υδρόθειο ( $H_2S$ ) κ.ά.

Αναλυτικότερα ο μέσος όρος της σύνθεσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων αποτελείται από νερό ,περίπου **80-95%**, ενώ το υπόλοιπο **4-18%** από οργανικές συνθέσεις (φαινόλες, πολυφαινόλες, αζωτούχες ενώσεις, οργανικά οξέα ,πολυαλκοόλη) και το υπολειπόμενο **1-2%** από ανόργανα συστατικά (άλατα καλίου και φωσφορικά άλατα). Το οργανικό κλάσμα αποτελείται από **1-8%** σάκχαρα (φρουκτόζη, γλυκόζη, αραβινόζη, ξυλόζη, ραμνόζη, γλουκορονικά και γαλακτουρονικά οξέα) , **0.5-2.4%** αζωτούχες ενώσεις, **0.5-1.5%** οργανικά οξέα, **3 %** υπολειπόμενο ελαιόλαδο, **0.02-1%** λιπίδια, **0.2%**

πολυφαινόλες και πολυαλκοόλες, **1,5%** πρωτεΐνες και **0,5%** άλλες χρωστικές ουσίες. Όσο αφορά τις φαινόλες εμφανίζονται ενώσεις με μικρό μοριακό βάρος όπως η κατεχόλη, η μεθυλκατεχόλη, η τυροσόλη, η υδροξυτυροσόλη, και και καφεϊκό οξύ. (R. Jarboui et al, 2008 ; C.A. Santi et al, 2008 ; Μισύρη Ι., 2019)

Η κατάταξη των φαινολικών συστατικών διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Τη πρώτη κατηγορία απαρτίζουν οι απλές φαινολικές ουσίες, τα φλαβονοειδή και οι μη αυτοοξειδούμενες ταννίνες. Στη δεύτερη κατηγορία βρίσκονται τα σκουρόχρωμα πολυμερή που προέρχονται από την αυτοοξείδωση και τον πολυμερισμό της πρώτης κατηγορίας. Η αναλογία των δύο αυτών κατηγοριών παίζει βασικό ρόλο στο χρώμα των υγρών αποβλήτων ενώ αυτό με τη σειρά του παίρνει πιο σκούρο χρώμα αν τα απόβλητα αποθηκευτούν για ορισμένη χρονική περίοδο λόγω της οξείδωσης και του διαδοχικού πολυμερισμού των ταννίνων προς τις σκουρόχρωμες πολυφαινόλες. (Niaoumakis et al., 2004)

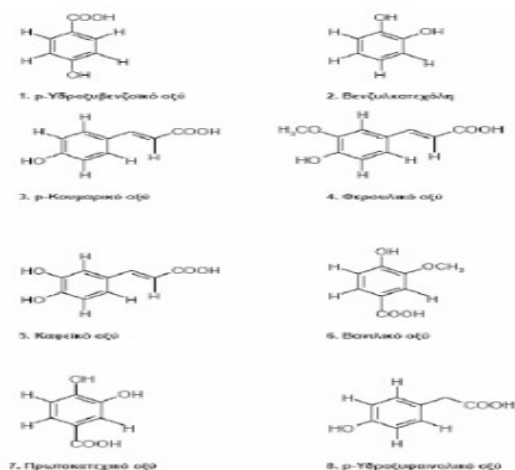
Το οργανικό κλάσμα των υγρών αποβλήτων εμπεριέχει υψηλές συγκεντρώσεις καλίου, αζώτου, φωσφόρου, σιδήρου, μαγνησίου και ασβεστίου, τα οποία θεωρούνται φυτικά θρεπτικά συστατικά κυρίως για την γεωργία. Παρά όμως την υψηλή ποσότητα σε αυτά τα συστατικά, η ανεξέλεκτη εκβολή των λυμάτων αυτών στο έδαφος έχει ως συνέπεια τη συσσώρευση των αλάτων και των φυτοτοξικών ενώσεων, την αλλαγή του pH και την έκπλυση θρεπτικών συστατικών που θα μπορούσαν να μολύνουν τα υπόγεια νερά.

Συστατικό	Εύρος τιμών	Κύρια Συστατικά
Νερό (%)	83-92	
Λίπη (kg m <sup>-3</sup> )	0,3-10	
Αζωτούχες ενώσεις (kg m <sup>-3</sup> )	12-24	Γλουταμίνη, Γλυσίνη, Αργινίνη, Ιστιδίνη, Προλίνη, Τυροσίνη, Φαινυλαλανίνη, Λυσίνη, Μεθειονίνη, Γλουκοζαμίνη κ.ά.
Σάκχαρα (kg m <sup>-3</sup> )	20-80	Ραφινόζη, Μανόζη, Σακχαρόζη, Γλυκόζη, Αραβινόζη, Ραμνόζη, Γαλακτόζη, Ξυλόζη
Οργανικά οξέα μη φαινολικά (kg m <sup>-3</sup> )	5-15	Οξικό, Ηλεκτρικό, Κιτρικό, Γλυκερικό, Φουμαρικό, Γαλακτικό, Μηλικό, Μηλονικό, Οξαλικό, Τρυγικό
Πολυαλκοόλες (kg m <sup>-3</sup> )	5-15	Γλυκερίνη, Μανιτόλη
Πηκτίνες, Ταννίνες (kg m <sup>-3</sup> )	4-15	
Φαινολικές ενώσεις (kg m <sup>-3</sup> )	3-8	Φλαβονοειδή παράγωγα: Λουτεολίνη, Κερκετίνη

Πίνακας 2.1 : Κύρια συστατικά των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων .  
(Πηγή : Μπλικά Π., 2009)

Φαινόλες:  
Καφεϊκό, Κιναμικό, 2,6-διυδροξυβενζοϊκό, π-υδροξυβενζοϊκό, Συριγγικό, Φερούλικό, π-κουμαρικό, Βανύλλικό, Βερατρικό, Πρωτοκατεχικό, Υδροξυτυροσόλη, Τυροσόλη, Πυροκατεχικό.  
Ανθοκυάνες:  
Κυανιδίνη, Παονιδίνη, Δελφινιδίνη, Ελαιευροπαίνη, Βερμπασκοσίδη.





Εικόνα 2.3 : Φαινολικές ενώσεις του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων. (Πηγή : Παπαφώτης Ν., 2018)

## 2.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που παράγονται από τα ελαιοτριβεία έχει επιβληθεί από τη νομοθεσία απαραίτητη, καθώς οι ουσίες που εμπεριέχονται σε αυτά θεωρούνται ως ρύποι για το περιβάλλον και στοχεύει στην εξουδετέρωση τους έτσι ώστε η εφαρμογή των λυμάτων αυτών να μη επιφέρει επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι βασικές γνώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων αυτών αποτελούν βασικό εργαλείο στην κατανόηση των διαδικασιών επεξεργασίας τους. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τα φυσικά, τα χημικά και τα βιολογικά χαρακτηριστικά.

### 2.4.1 Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.

- **Θερμοκρασία** : έχει βασικό ρόλο στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των βιολογικών διαδικασιών στα ελαιοτριβεία.
- **Αγωγιμότητα** : με αυτή εκτιμάται η ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής, ιδίως για γεωργικές εφαρμογές.
- **Χρώμα** : το χρώμα των λυμάτων μπορεί να είναι ανοιχτό καφέ, γκρι ή μαύρο, ανάλογα τη ποιότητα των λυμάτων, δηλαδή αν είναι φρέσκα ή να έχουν υποστεί σήψη.
- **Οσμή** : καθορίζει εάν οι οσμές αποτελούν πρόβλημα ή όχι.
- **Θολότητα** : καθορίζει τη ποιότητα της εκροής.
- **Διαπερατότητα** : καθορίζει τη ποιότητα της εκροής για απολύμανση με UV.
- **Πυκνότητα**

- **Στερεές ουσίες**

#### 2.4.2 Χημικά (ανόργανα) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.

- **pH** : με αυτό μετράται η οξύτητα και η αλκαλικότητα των υγρών αποβλήτων.
- **Αλκαλικότητα** : ορίζει τη ρυθμιστική ικανότητα των υγρών αποβλήτων, πόσο καλά δηλαδή εξουδετερώνουν τα οξέα.
- **Χλωριούχα χαρακτηριστικά** : καθορίζουν τη ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής για επαναχρησιμοποίηση της για τη γεωργία (συνήθως για την άρδευση).
- **Αζωτούχες ενώσεις** : καθορίζουν τη ποσότητα των θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα όπως και το βαθμό αποσύνθεσης τους. Οι οξειδωμένες μορφές τους αποτελούν μέτρο του βαθμού οξείδωσης και είναι οι εξής :
  - i. Αμμωνία ( $NH_4^+$ )
  - ii. Οργανικό Άζωτο (*Org. N*)
  - iii. Νιτρώδη Οξέα ( $NO_2^-$ )
  - iv. Νιτρικά Οξέα ( $NO_3^-$ )
- **Φωσφορικές ενώσεις** : καθορίζουν τη ποιότητα των θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές τους αποτελούν μέτρο του βαθμού οξείδωσης και είναι οι εξής :
  - i. Οργανικός Φώσφορος (*Org. P*)
  - ii. Ανόργανο Φώσφορος (*Inorg. P*)
  - iii. Ολικός φώσφορος (*TP*)
- **Θειικά Οξέα** ( $SO_4^{2-}$ ) : καθορίζουν τη πιθανότητα δημιουργίας οσμών στα υγρά απόβλητα.
- **Μέταλλα** (*Ca, Mg, K, Na, Cr, Cu, Co, Pb, Cd, Hg, Mo, Ni, Fe, Se, As, Zn*) : καθορίζουν τη τοξικότητα των υγρών αποβλήτων και τη καταλληλότητα της εκροής για επαναχρησιμοποίηση. Ορισμένα μέταλλα βοηθούν και στις βιολογικές διαδικασίες.
- **Διάφορα αέρια** ( $O_2, CO_2, NH_3, H_2S, CH_4$ )
- **C-BOD** (Biochemical Oxygen Demand) : Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο που είναι αναγκαίο για τη βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων άνθρακα των υγρών αποβλήτων.
- **N-BOD** : Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο που είναι αναγκαίο για τη βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων άζωτου των υγρών αποβλήτων.
- **COD** (Chemical Oxygen Demand) : Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο που είναι αναγκαίο για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- **TOC** (Total Organic Carbon) : Ολικός Οργανικός Άνθρακας που χρησιμοποιείται σπάνια, συμπληρωματικά με το BOD, γιατί αφορά χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης.

### 2.4.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

- **Ολικά Κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms) και Κολοβακτηριοειδή Κόπραντα (Fecal Coliforms)** : συμβάλουν στην εκτίμηση της ύπαρξης παθογόνων μικροοργανισμών στα υγρά απόβλητα και την αποτελεσματική απολύμανση τους.
- **Μικροοργανισμοί** (Βακτήρια, Ιοί, Πρωτόζωα, Έλμινθες) : εκτιμούν την ύπαρξη συγκεκριμένων μικροοργανισμών που συνδέονται με τις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων(Ε. Ε. Λ.) και την επαναχρησιμοποίηση της εκροής.
- **Τοξικότητα** : διακρίνεται στην Οξεία Τοξικότητα (TU<sub>A</sub>) και τη Χρόνια Τοξικότητα(TU<sub>C</sub>) και δηλώνει τη τοξικότητα των υγρών αποβλήτων.

Παράμετρος	Μονάδες	Κλασσικό ελαιουργείο	Φυγοκεντρικό ελαιουργείο
pH		4.5-5	4.7-5.2
BOD	g/l	90-100	35-48
COD	g/l	120-130	45-60
Στερεά αιωρούμενα	%	0.1	0.9
Στερεά ολικά	%	12	6
Στερεά οργανικά	%	10.5	3.5
Στερεά ανόργανα	%	1.5	0.5
Οργανική ουσία			
Ολικά σάκχαρα	%	5	1
Αζωτούχες ουσίες	%	1.2	0.28
Οργανικά οξέα	%	0.7	0.3
Πολυαλκοόλες	%	1.8	1.1
Πολυπηκτικές τανίνες	%	1	1.37
Πολυφαινόλες	%	1	1.37
Ανόργανα στοιχεία			
P	ppm	500	96
K	ppm	3000	1200
Ca	ppm	350	120
Mg	ppm	200	48
Na	ppm	450	245
Fe	ppm	35	16

Πίνακας 2.2 : Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων των κλασσικών και φυγοκεντρικών ελαιτριβείων.  
(Πηγή : Γεωργακαράκος Κ., 2013)

Κατιόντα (g/L)		Ανιόντα (g/L)	
K <sup>+</sup>	9.8	Cl <sup>-</sup>	0.61
Mg <sup>2+</sup>	1.65	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.40
Ca <sup>2+</sup>	1.35	F <sup>-</sup>	0.25
Na <sup>+</sup>	0.162	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.20
Fe <sup>2+</sup>	0.033	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0090
Zn <sup>2+</sup>	0.0301		
Mn <sup>2+</sup>	0.0091		

Πίνακας 2.3 : Ανόργανα κατιόντα και ανόργανα ανιόντα στα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων.  
(Πηγή : Arienzo M. et al, 2003)

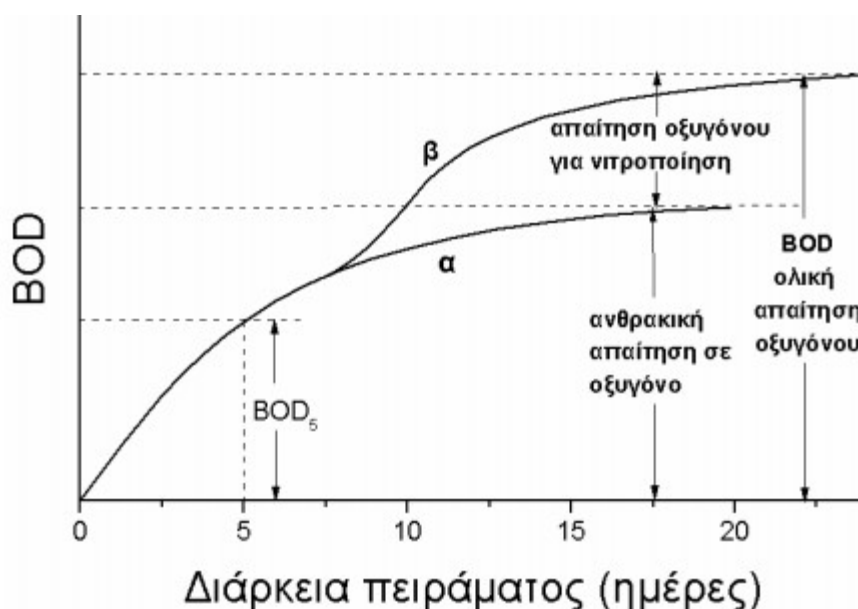
## 2.5 ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) ορίζεται ως η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που είναι αναγκαίο από τους μικροοργανισμούς ώστε να είναι εφικτή η πλήρης βιοχημική οξειδωση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα. Το πόσο γρήγορα γίνεται η βιολογική αυτή οξειδωση σχετίζεται με το είδος της περιεχόμενης οργανικής ύλης στο εξεταζόμενο δείγμα. Υπάρχουν ουσίες στις οποίες η βιολογική οξειδωση και αποικοδόμηση είναι ευκολότερη σε σχέση με άλλες δύσκολες βιολογικά οξειδωμένες ουσίες.

Η πλειοψηφία των οργανικών ουσιών στα αστικά λύματα συνθέτονται κυρίως από ανθρακούχες ενώσεις (υδατάνθρακες, λίπη κ. ά.) , αζωτούχες ενώσεις (ουρία, πρωτεΐνες, αμινοξέα) και θειούχες ενώσεις. Κατά τη βιολογική οξειδωση οι πιο πολλές από τις παραπάνω ουσίες διασπώνται σε άλλες απλούστερες όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) και το νερό (H<sub>2</sub>O). Οι οξειδωτικές αυτές αντιδράσεις συνδέονται με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου, η οποία λειτουργεί ως μέτρο της οργανικής ρύπανσης των νερών. Η βιολογική αποικοδόμηση των ανθρακούχων και αζωτούχων οργανικών ρυπαντικών ουσιών στα αστικά λύματα γίνεται σε δυο στάδια και απαιτείται αρκετός χρόνος για να ολοκληρωθεί.

Στο πρώτο στάδιο οξειδώνονται οι πιο εύκολα βιοδιασπώμενες ουσίες και στη συνέχεια αποικοδομούνται οι ανθρακικές ενώσεις (υδατάνθρακες, λίπη) ενώ στο δεύτερο στάδιο αποικοδομούνται οι αζωτούχες ενώσεις (πρωτεΐνες, αμινοξέα). Πιο συγκεκριμένα για θερμοκρασία 20°C το πρώτο στάδιο αρχίζει αμέσως και ολοκληρώνεται σε 20 ημέρες ενώ το δεύτερο στάδιο, με ίδια θερμοκρασία (20°C), αρχίζει αφού περάσουν 10-15 ημέρες και έχει μεγαλύτερη διάρκεια. Η ολοκλήρωση του πειράματος BOD απαιτεί αρκετό καιρό και

έχει εκτιμηθεί ότι απαιτούνται 20 ημέρες για να ικανοποιηθούν τα 95-99% του BOD. Για αυτό ακριβώς το λόγο η κατανάλωση του οξυγόνου γίνεται με βάση τον προσδιορισμό του  $BOD_5$  ( Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών ) . Σημειώνεται ότι για υψηλότερες θερμοκρασίες η αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών γίνεται γρηγορότερα.



Σχήμα 2.1 : Μεταβολή του BOD σε σχέση με το χρόνο. (Πηγή : Φουντουκίδης Ε., Διαλέξεις)

Κατά τη πραγματοποίηση του πειράματος για τη μέτρηση του BOD το δείγμα εισέρχεται σε γυάλινη φιάλη σκούρου χρώματος και ανακατεύεται δυνατά ώστε όλο της το περιεχόμενο της να γεμίσει με οξυγόνο, ενώ στη συνέχεια σφραγίζεται και παραμένει σε ανακίνηση στο σκοτάδι σε σταθερή θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C}$ . Αφού περάσουν πέντε ημέρες υπολογίζεται μανομετρικά η διαφορά πίεσης μέσα στη φιάλη από τη κατανάλωση οξυγόνου των μικροοργανισμών ώστε να μπορέσουν να επιβιώσουν και να αποικοδομήσουν το οργανικό φορτίο του δείγματος. Το παραγόμενο, κατά τη βιολογική οξείδωση, διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) δεσμεύεται από υδροξείδιο του νατρίου ( $\text{NaOH}$ ).

Το  $BOD_5$  είναι το αποτέλεσμα της κατανάλωσης οξυγόνου , μετριέται σε  $\text{mgO}_2/\text{lt}$  λυμάτων και έχει εκτιμηθεί ότι το  $BOD_5$  των φρέσκων ανεπεξεργαστων αστικών λυμάτων κυμαίνεται από  $200-400 \text{ mgO}_2/\text{lt}$  ή αλλιώς  $50-70 \text{ gr}/\text{κατ. ημ}$  . Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του BOD χρησιμεύουν στην εύρεση της ποσότητας οξυγόνου που είναι αναγκαία για τη βιοχημική οξείδωση των οργανικών ουσιών, για τη διαστασιολόγηση των Ε.Ε.Λ., για την εκτίμηση του πόσο αποδίδουν ορισμένες διεργασίες υγρών αποβλήτων και για την ανακάλυψη των τιμών συμμόρφωσης με τα όρια των εκροών που έχουν τεθεί από τη νομοθεσία.

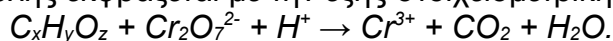


Εικόνα 2.4 : Συσκευή μέτρησης BOD (Πηγή : [www.analytika.gr](http://www.analytika.gr) )

## 2.6 ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

Το COD ορίζεται ως η ποσότητα οξυγόνου που είναι αναγκαία για την επίτευξη της πλήρους χημικής οξειδωσης της οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) και νερό ( $H_2O$ ). Η οξειδωση σχετίζεται με το σύνολο των οργανικών που περιέχονται σε ένα δείγμα το οποίο οξειδώνεται με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο και στη συνέχεια φασματοφωτομετρείται. Σαν τέτοιο οξειδωτικό μέσο λειτουργεί το διχρωμικό κάλιο ( $K_2Cr_2O_7$ ) σε όξινο περιβάλλον. Τα οξειδούμενα συστατικά αντιδρούν με το διχρωμικό ιόν σχηματίζοντας πράσινο χρωμικό.

Η οξειδωση του οργανικού φορτίου λαμβάνει χώρα σε καταστάσεις υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλού pH με τη παρουσία θειικού αργύρου ( $Ag_2SO_4$ ) ο οποίος λειτουργεί ως καταλύτης. Τα χλωριούχα ιόντα που βρίσκονται συνήθως στο δείγμα εξουδετερώνονται με θειικό υδράργυρο ενώ τα περίσσεια διχρωμικά ιόντα ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) εξουδετερώνονται με διάλυμα θειικού αμμωνιούχου σιδήρου ( $FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$ ). Για την ογκομετρική ανάλυση γίνεται χρήση του δείκτη Ferroin. Η οξειδωση της οργανικής ύλης εκφράζεται με την εξής στοιχειομετρική εξίσωση :



Η μέτρηση του COD χρησιμοποιείται συχνότερα σε σχέση με το BOD ή παράλληλα με αυτό. Ο λόγος αυτός είναι ότι η ταχύτητα μέτρησης του COD πραγματοποιείται ταχύτερα και διαρκεί 2 με 3 ημέρες συγκριτικά με του BOD<sub>5</sub> που διαρκεί 5. Αντ' αυτού η μέτρηση του COD είναι λιγότερο αντιπροσωπευτική σε σύγκριση με του BOD<sub>5</sub> όταν αφορά τον προσδιορισμό του οργανικού φορτίου των τυπικών αστικών λυμάτων καθώς μετράει και τη μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη εκτός της βιοδιασπάσιμης. Το COD των φρέσκων ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων είναι περίπου 500 mg/lO<sub>2</sub> ή αλλιώς 110 gr/κατ. ημ. . Ισχύει ότι το COD είναι πάντα μεγαλύτερο σε σχέση με το BOD<sub>5</sub> και ο λόγος COD/BOD<sub>5</sub> των αστικών λυμάτων κυμαίνεται από 1.2-1.5.

Αν ο λόγος BOD/COD των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων είναι ίσος ή μεγαλύτερος του 0.5 αυτό δηλώνει ότι επεξεργάζονται εύκολα με βιολογικές διεργασίες. Εάν είναι μικρότερος από 0.3 τότε στα απόβλητα είναι πιθανό να υπάρχουν κάποια τοξικά στοιχεία με αναγκαία παρουσία προσαρμοσμένων μικροοργανισμών για να τα σταθεροποιήσουν.



Εικόνα 2.5 : Συσκευή πέψης(δεξιά) και Φορητό φασματοφωτόμετρο (αριστερά) για τη μέτρηση του COD  
(Πηγή : <https://web.archive.org> )



## 2.7 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων απορρίπτονται συχνά σε λίμνες εξάτμισης ή άλλους περιβαλλοντικούς υποδοχείς προκαλώντας έντονη οσμή, μόλυνση του εδάφους, αδρανοποίηση της ανάπτυξης των φυτών, ρύπανση των φυσικών ρευμάτων καθώς και σοβαρές επιπτώσεις στην υδρόβια πανίδα και την οικολογική κατάσταση. Ανήκουν στη κατηγορία ενός από τα πιο ρυπαντικά λύματα εξαιτίας του υψηλού οργανικού φορτίου και της υψηλής συγκέντρωσης οργανο-αλογονωμένων ρύπων, λιπαρών οξέων, φαινολικών ενώσεων και τανίνων που διαθέτουν. Οι υψηλές φαινολικές και βιολογικές συγκεντρώσεις στα υγρά απόβλητα αποτελούν τροχοπέδη στη διεργασία της βιοαποικοδόμησης ενώ ταυτόχρονα αυξάνουν τα ποσοστά της φυτοτοξικότητας. Ομοίως η έλλειψη σακχάρων μπορεί να οδηγήσει σε διέγερση της μικροβιακής αναπνοής και μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου. Οι τιμές του χημικού και βιολογικού οξυγόνου στα οικιακά λύματα κυμαίνονται από 80-200 g / L και 12-63 g / L αντίστοιχα και είναι μεγαλύτερες από τις τιμές των δεικτών ρύπανσης των οικιακών λυμάτων.

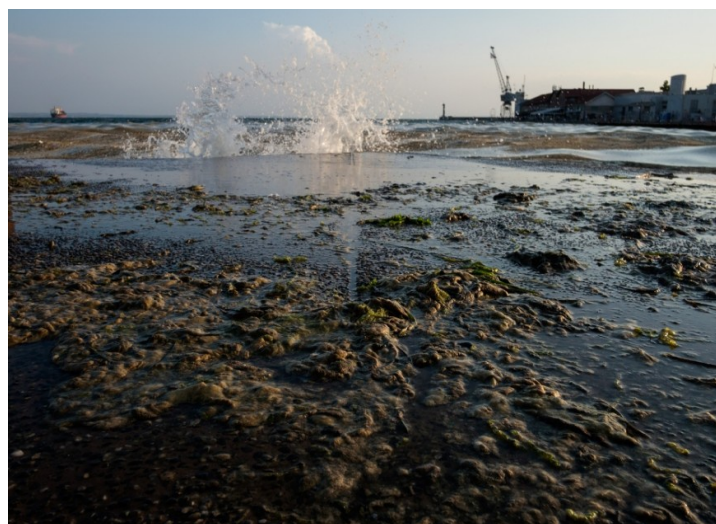
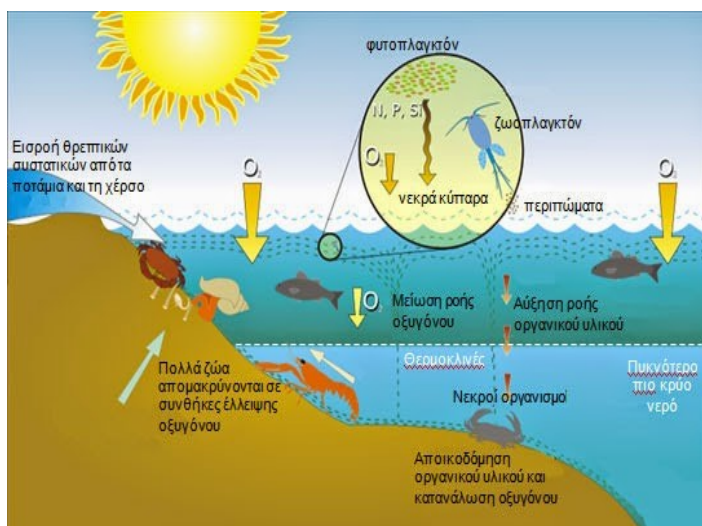
### 2.7.1 Επιπτώσεις στην υδρόβια ζωή και στους υδάτινους πόρους.

Η απόρριψη των υγρών λυμάτων των ελαιοτριβείων μπορεί να προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα φυσικά υδάτινα σώματα. Οι επιπτώσεις αυτές αφορούν κυρίως τη συγκέντρωση, τη σύνθεση και την εποχιακή παραγωγή τους. Η πιο εμφανής επίπτωση τους είναι ο αποχρωματισμός των ρευμάτων και των ποταμών. Η αλλαγή του χρώματος συμβαίνει κυρίως λόγω της οξειδωσης και του επακόλουθο πολυμερισμού των τανινών δίνοντας σκούρα χρωματισμένες φαινόλες. Η υψηλή συγκέντρωση σακχάρων στα υγρά απόβλητα διεγείρει την ανάπτυξη μικροοργανισμών, μειώνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και κατά συνέπεια το διαθέσιμο μερίδιο οξυγόνου που αναλογεί στους άλλους ζωντανούς οργανισμούς που βρίσκονται σε αυτό.

Ο ευτροφισμός αποτελεί άλλη μια σοβαρή επίπτωση των υγρών λυμάτων. Αναλυτικότερα τα υψηλά ποσοστά φωσφόρου που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα επιταχύνουν την ανάπτυξη φυκών και οδηγούν στον ευτροφισμό καταστρέφοντας ολόκληρη την οικολογική ισορροπία των φυσικών ρευμάτων. Αντίθετα με τον άνθρακα και το άζωτο, που διαφεύγουν έπειτα την υποβάθμιση ως διοξείδιο του άνθρακα και ατμοσφαιρικό άζωτο, η αποικοδόμηση του φωσφόρου δεν είναι εφικτή. Αυτό σημαίνει ότι ο φώσφορος προσλαμβάνεται μόνο σε ένα μικρό ποσοστό μέσω της τροφικής αλυσίδας (φυτά-ψάρια-πουλιά).

Οι θρεπτικές ουσίες που υπάρχουν στα υγρά λύματα διεγείρουν τον πολλαπλασιασμό παθογόνων μικροοργανισμών και τη ρύπανση των υπόγειων ρευμάτων γεγονός που επιφέρει σημαντικές συνέπειες στην υδρόβια ζωή και τους ζωντανούς οργανισμούς (ζώα, άνθρωποι) που έρχονται σε επαφή με τα μολυσμένα αυτά νερά.

Με μια μεταγενέστερη έρευνα αποδείχθηκε η χωρική και χρονική επιδείνωση του υδάτινου συστήματος λόγω της ρύπανσης των υγρών λυμάτων με επακόλουθη τη μείωση της ικανότητας των ποταμών να ελαττώσουν τις ρυπαντικές ενώσεις κατά τον αυτοκαθαρισμό. Τα υγρά λύματα ακόμα και αρκετά αραιωμένα μπορούν να προκαλέσουν επιπτώσεις στην υδρόβια πανίδα και την οικολογική κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων. Το οργανικό φορτίο του υποστρώματος εκροής, η μόλυνση και η απόσταση από την εξόδου του μύλου είναι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τα συγκροτήματα μακροασπόνδυλων.



Σχήμα 2.2 : Σχηματική απεικόνιση του ευτροφισμού  
(Πηγή : <https://mde.biologia.gr/> )

Εικόνα 2.6 : Ο ευτροφισμός στην υδάτινη ζωή  
(Πηγή : [www.lifo.gr](http://www.lifo.gr) )

### 2.7.2 Επιπτώσεις στις καλλιέργειες και το έδαφος.

Στα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων εμφανίζεται μεγάλη συγκέντρωση οργανικών ουσιών συμπεριλαμβανομένων των φαινολικών ενώσεων , των οποίων η εφαρμογή επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος και στη διαδικασία δημιουργίας πόσιμου νερού. Λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των υγρών αποβλήτων και της μείωσης του καλίου επηρεάζεται η αστάθεια των κατιόντων του εδάφους, αλλάζοντας τις περιβαλλοντικές συνθήκες των μικροοργανισμών που υπάρχουν σε αυτό και κατά συνέπεια επηρεάζοντας το πορώδες του εδάφους αλλά και τη γονιμότητα. Άλλες επιπτώσεις θεωρούνται η ακινητοποίηση του διαθέσιμου αζώτου και ελάττωση του διαθέσιμου μαγνησίου πιθανότητα εξαιτίας της ανταγωνιστικής τους επίδρασης με το κάλιο.

Επιπλέον η εφαρμογή των υγρών αποβλήτων μπορεί να επιφέρει προβλήματα και στις καλλιέργειες λόγω των φυτοτοξικών και αντιμικροβιακών ιδιοτήτων τους. Αναλυτικότερα οι ιδιότητες αυτές δημιουργούνται λόγω της συγκέντρωσης ,των υγρών λυμάτων, σε φαινόλες και οργανικά οξέα όπως το οξικό και μυρμηκικό οξύ τα οποία με τη σειρά τους συσσωρεύονται σαν μικροβιακοί μεταβολίτες. Η μεταφορά τους στα φυτά επηρεάζει τη



διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τη βλάστηση των σπόρων και την πρόωρη ανάπτυξη φυτών και λαχανικών οδηγώντας σε αποκοπή φύλλων και καρπών.

### 2.7.3 Επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα

Τα ελαιοτριβεία προξενούν εκπομπές αερίων, οι οποίες οδηγούν σε έντονες δύσοσμες μυρωδιές. Πιο συγκεκριμένα αρκετές οργανικές ενώσεις με χαμηλό σημείο βρασμού πτητικά οργανικά οξέα προκαλούν χαρακτηριστικές οσμές τριγύρω από τα ελαιοτριβεία. Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων αποβάλλονται συνήθως σε φυσικά νερά, στο έδαφος ή/και αποθηκεύονται σε δεξαμενές εξάτμισης χαμηλού επιπέδου. Τα λύματα αυτά υφίστανται μια φυσική ζύμωση και εκκρίνουν έντονα αέρια, όπως φαινόλες ( $C_6H_6O$ ), διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) και υδρόθειο ( $H_2S$ ), προκαλώντας σημαντική ρύπανση από τις οσμές κυρίως κατά τη περίοδο παραγωγής του ελαιόλαδου.

Ο πυρήνας της ελιάς έχοντας υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να αποτελέσει μια ακόμα πηγή δημιουργίας οσμών κυρίως κατά τη περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού. Κατά τη ξήρανση του πυρήνα της ελιάς απελευθερώνονται εξαιρετικά έντονες οσμές. Η ανάλυση των συμπυκνωμάτων από τη ξηρή απόσταξη του ακατέργαστου καρπού οδήγησε στην ανακάλυψη ότι κύρια αιτία δημιουργίας των οσμών του πυρήνα της ελιάς αποτελούν οι λιπαρές ενώσεις και οργανικά οξέα (βουτυρικό, καπροϊκό, βαλερικό και ισοβουτυρικό οξύ) και οι ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους, ιδιαίτερα η 4-αιθυλοφαινόλη. Η οξύνιση του ελαιοκάρπου κατά τη διάρκεια της υπαίθριας αποθήκευσης μειώνει τη δημιουργία της 4-αιθυλοφαινόλης και κατά συνέπεια τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προαναφερθέντων οσμών.

## ΥΑΕ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΑΕ	ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
Υψηλή περιεκτικότητα σε χρωστικές	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Περιορισμός φωτοσύνθεσης στους υδάτινους αποδέκτες</li> <li>✓ Παρεμπόδιση ορατότητας ψαριών</li> <li>✓ Αισθητική υποβάθμιση φυσικού περιβάλλοντος</li> </ul>
Υψηλή περιεκτικότητα σε ελαιόλαδο και άλλες λιπαρές ενώσεις	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Παρεμπόδιση οξυγόνωσης υδάτινων αποδεκτών</li> <li>✓ Μείωση πορώδους του εδάφους</li> </ul>
Περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Βιοτοξικότητα-φυτοτοξικότητα</li> <li>✓ Περιορισμός δράσης αποδομητών μ/ο των ΥΑΕ (εμμονή στο περιβάλλον)</li> </ul>
Υψηλό BOD <sub>5</sub> -COD	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Δημιουργία ανοξικών συνθηκών στους υδάτινους αποδέκτες</li> <li>✓ Φαινόμενα ευτροφισμού</li> </ul>
Χαμηλό pH, Υψηλή EC	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Διάβρωση των εδαφών και διείσδυση σε υπόγειους υδροφορείς</li> <li>✓ Ακατάλληλο για άρδευση των περισσοτέρων καλλιεργειών</li> </ul>

Πίνακας 2.4 : Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων. (Πηγή : Χατζηπαυλίδης Ι., Διαλέξεις)

### 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων λόγω των χαρακτηριστικών τους θεωρούνται από τα πιο δύσκολα λύματα προς επεξεργασία και ανήκουν στη κατηγορία των βαρέων αγροβιομηχανικών αποβλήτων. Οι μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων αποτελούν αντικείμενο ενδιαφέροντος και συζήτησης για τους επιστήμονες και μηχανικούς στον ελληνικό αλλά και παγκόσμιο χώρο. Πολλοί επιστήμονες ασχολούνται με την εύρεση αποδοτικών, οικονομικών και παράλληλα εναλλακτικών μεθόδων για τη διαχείριση τους. Για την επίτευξη αυτού του στόχου τα υγρά απόβλητα έχουν υποβληθεί σε ορισμένες μεθόδους, ή και συνδυασμούς αυτών, οι οποίες αναφέρονται αναλυτικότερα στα παρακάτω κεφάλαια.

Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους διαχείρισης φαίνεται να είναι αποδοτικές. Η ανακύκλωση του νερού και η χρήση των υπολειμμάτων ως λίπασμα αμέσως είτε μετά από κομποστοποίηση ή ως ακατέργαστο υλικό για τη παραγωγή αντιοξειδωτικών είναι κάποιοι από τους στόχους επίτευξης της διαχείρισης των λυμάτων. Τα απόβλητα αυτά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και ως καύσιμα είτε με απευθείας καύση είτε μετά την παραγωγή βιοαερίου.

#### 3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ

##### 3.2.1 Διήθηση

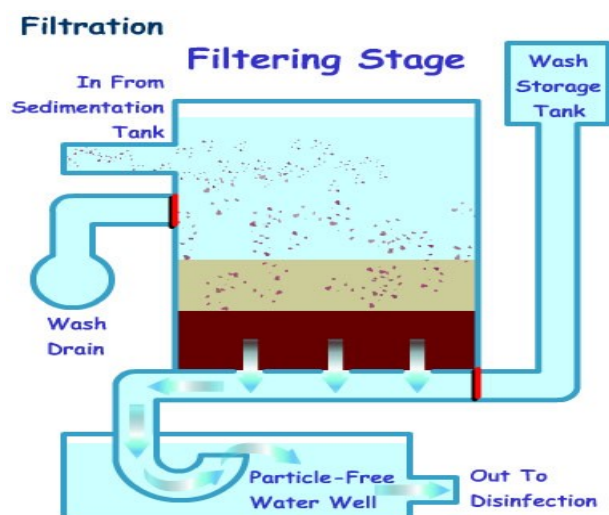
Η διήθηση αποτελεί μια από τις παλαιότερες μεθόδους διαχωρισμού των στερεών από τα υγρά απόβλητα. Τα προαναφερθέντα στερεά απαρτίζονται από άργιλο και ιλύ, οργανική ουσία, ιζήματα από άλλες επεξεργασίες, σίδηρο, μαγγάνιο και μικροοργανισμούς. Τα φίλτρα είναι συνήθως στρώματα άμμου, αμμοχάλικου ή ενεργού άνθρακα και συμβάλλουν στην αφαίρεση και των μικρότερων μορίων. Με τη διήθηση βελτιώνεται η ποιότητα του νερού και βελτιστοποιείται η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης.

Η μέθοδος της διήθησης εφαρμόζεται πολλές φορές συνδυαστικά και με άλλες τεχνολογίες επεξεργασίας. Η διήθηση μπορεί να επιτευχθεί :

- με φυσική ροή (με βαρύτητα) ή
- με εξαναγκασμένη ροή (με εφαρμογή πίεσης) στην πλευρά εισόδου ή
- με εφαρμογή κενού στην πλευρά εξόδου των αποβλήτων.

Τα στερεά υπολείμματα στα λύματα φρακάρουν τις σωληνώσεις και για αυτό είναι απαραίτητο να εξαλειφθούν ώστε να μπορεί να γίνει σωστά η επεξεργασία των

υγρών αποβλήτων. Η εξάλειψη των αιωρούμενων στερεών πραγματοποιείται με τις μεθόδους διαχωρισμού μέσω μεμβρανών.



Εικόνα 3.1 : Διήθηση στα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων.  
(Πηγή : <https://jzcacayuran.wordpress.com> )

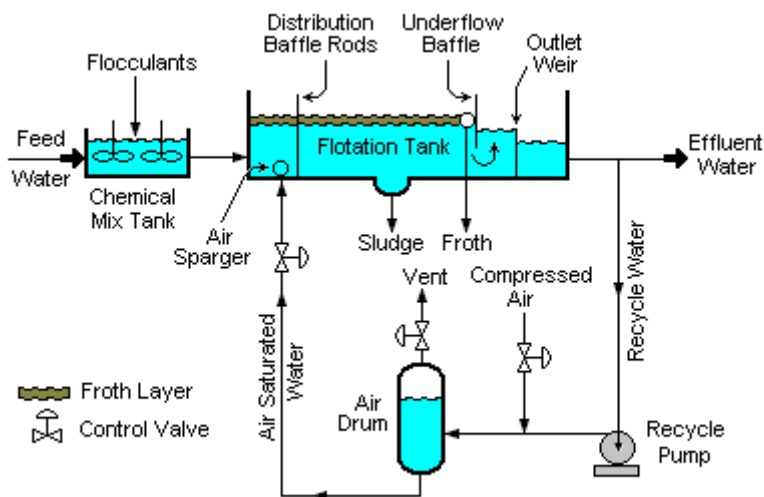
### 3.2.2. Επίπλευση

Η επίπλευση αποτελεί μια μηχανική μέθοδο και χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των αιωρούμενων στερεών από τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων. Ο διαχωρισμός γίνεται καλύτερα με τη χρήση αερίου στο σύστημα (αέρας ή άζωτο) ενώ στη συνέχεια το αέριο αυτό διοχετεύεται υπό πίεση στα απόβλητα, σχηματίζοντας λεπτές φυσαλίδες και κατά συνέπεια ελαττώνοντας το ειδικό βάρος και βοηθώντας το διαχωρισμό. Για την εξυπηρέτηση της διεργασίας γίνεται χρήση ορισμένων χημικών ουσιών, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω.

- i. Ουσίες που προκαλούν **αφρισμό** (foaming chemicals) : με τη δημιουργία αφρού σταθεροποιούνται οι φυσαλίδες και ο αφρός στην επιφάνεια της δεξαμενής. Η μη δημιουργία φυσαλίδων και αφρού μπορεί να προκαλέσει κατακρήμνιση των αιωρούμενων στερεών.
- ii. Ουσίες που δημιουργούν **υδροφοβία** στα αιωρούμενα στερεά : μέσω των ουσιών αυτών τα αιωρούμενα στερεά κολλάνε με μεγαλύτερη ευκολία στις φυσαλίδες του αέρα και κινούνται προς την επιφάνεια. Αυτοί οι χημικοί παράγοντες ονομάζονται αλλιώς και **συλλέκτες**.
- iii. Ουσίες που προκαλούν **κροκίδωση** και ορισμένοι **ρυθμιστικοί** παράγοντες (**ρυθμιστές pH**).

Υπάρχουν διάφορα είδη επίπλευσης που διαφοροποιούνται μεταξύ τους ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής των φυσαλίδων (**ηλεκτρολυτική επίπλευση**, επίπλευση με **διασκορπισμένο αέρα**, επίπλευση με **διαλυμένο αέρα**). Η επίπλευση με διαλυμένο αέρα

(Dissolved Air Flotation) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της ικανότητας της να διώχνει μεγάλη ποσότητα αωρούμενων στερεών. Παλαιότερα η μέθοδος της επίπλευσης εφαρμόζονταν κυρίως σε πειραματικό επίπεδο για την επεξεργασία των λυμάτων των ελαιοτριβείων και για την απομάκρυνση της πολύ λεπτής φάσης του ελαίου ή αλλιώς γνωστό ως γαλάκτωμα στα απόβλητα ελαιοτριβείου. Λόγω όμως του υψηλού κόστους που απαιτεί για να επιτευχθεί η εφαρμογή της δεν συναντάται σε μεγάλο βαθμό στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.



Σχήμα 3.1 : Επίπλευση με διαλυμένο αέρα.  
(Πηγή : <https://en.wikipedia.org>)

### 3.3.3 Καθίζηση

Η καθίζηση μπορεί να είναι μια απλή **φυσική** διεργασία απομάκρυνσης σωματιδίων με βάση τη βαρύτητα ή **εξαναγκασμένη** σε φυγοκεντρικό διαχωριστή ή κυκλώνα . Οι βασικότεροι παράγοντες σχεδιασμού της είναι η ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων (αυτοτελών ή θρόμβων) και η ανοδική ταχύτητα του νερού(επιφανειακή φόρτιση). Η ουσιαστικότερη διαφορά της καθίζησης στις διεργασίες επεξεργασίας νερού και αποβλήτων βρίσκεται στην απόδοση που απαιτείται σε σχέση με τη ποσότητα αιωρούμενων στερεών στην είσοδο. Ύστερα από την απομάκρυνση των στερεών ,τα υγρά απόβλητα καταλήγουν στις δεξαμενές **πρωτοβάθμιας** καθίζησης , όπου η ταχύτητα ροής ελαττώνεται και τα αιωρούμενα υλικά καταλήγουν στον πυθμένα της δεξαμενής. Σε αυτό το στάδιο το 50% περίπου των διαλυμένων στερεών όπως και το 35% του BOD<sub>5</sub> απομακρύνονται, ενώ το έλαιο που επιπλέει συλλέγεται χειρωνακτικά από την επιφάνεια των δεξαμενών. Το υλικό που καθιζάνει (πρωτοβάθμια ιλύς) συγκεντρώνεται σε μια χοάνη και οδηγείται σε περαιτέρω επεξεργασία. Ορισμένες φορές γίνεται χρήση ασβέστη για να ελεγχθούν ανεπιθύμητες μυρωδιές.

### 3.3.4 Απολίπωση

Για την ορθή λειτουργία των βιολογικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων απαιτείται η προϋπόθεση της αφαίρεσης της λιπαρής φάσης πριν την επεξεργασία των αποβλήτων αυτών. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση παγίδας λιπών. Το μέγεθος των ελαιοσταγονιδίων σχετίζεται με την ορθή επιλογή του κατάλληλου συστήματος απολίπωσης. Όσο μεγαλώνει το μέγεθος των ελαιοσταγονιδίων τόσο μεγαλώνει και η τάση τους να σχηματίσουν ένα φιλμ ελαίου στην επιφάνεια του νερού το οποίο απομακρύνεται με τη χρήση ειδικών συσκευών, τους **απολιπωτές** (oil skimmer). Οι συσκευές αυτές αποτελούνται από ιμάντες ή δίσκους από χάλυβα ή πλαστικό, οι οποίοι βυθίζονται συνεχώς στα υγρά απόβλητα. Το έλαιο κολλάει στην υδρόφιλη φάση και έπειτα απομακρύνεται από την επιφάνεια. Σε περιπτώσεις που το μέγεθος των ελαιοσταγονιδίων είναι πολύ μικρό ή η συγκέντρωση του ελαίου είναι χαμηλή γίνεται χρήση φυγοκεντρικών διαχωριστών ή διαχωριστών βαρύτητας.

## 3.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ

### 3.3.1 Λίμνες Εξάτμισης

Οι λίμνες εξάτμισης θεωρούνται ως μια από τις παλαιότερες μεθόδους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με χαμηλό ρυπαντικό φορτίο. Οι βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας σχετίζονται με τους μικροοργανισμούς που καθιστούν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων σε απλούστερα, αβλαβή και ενεργειακά πιο σταθερά προϊόντα. Οι μεγάλες επιφάνειες που ζητούν οι λίμνες εξάτμισης καθώς και η μεγάλη χρονική περίοδος επεξεργασίας τους (περίπου 2 μήνες) αποτελούν από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των λιμνών εξάτμισης. Οι λίμνες εξάτμισης χρησιμεύουν στην εξάτμιση του νερού και στην καθίζηση των στερεών ενώ τα απομένοντα στερεά χρησιμοποιούνται ως λίπασμα. Παρόλο που οι λίμνες αυτές είναι χαμηλού κόστους δεν χρησιμοποιούνται τακτικά λόγω των έντονων δύσοσμων μυρωδιών που αναβλύζονται από τα υγρά απόβλητα και μυρίζουν ακόμα και σε μακρινές αποστάσεις. Σε περιπτώσεις κακής στεγανότητας η διαρροή των υδάτων είναι δυνατό να προκαλέσει επιπτώσεις. Με το τέλος της διαδικασίας παραμένει μια ελαιούχος και υγρή λάσπη.



Εικόνα 3.2 : Λίμνες Εξάτμισης  
(Πηγή : <http://www.kee.gr> )

### 3.3.2 Μέθοδος Ενεργού Ιλύος

Η πρώτη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχει στόχο στην διάσπαση των οργανικών πηγών άνθρακα. Η μέθοδος της ενεργού ιλύος είναι η πιο διαδεδομένη βιολογική διεργασία λυμάτων παγκοσμίως και χρησιμοποιεί αερισμό καθώς και μια βιολογικά χαλαρή συγκεντρωμένη μάζα λεπτών σωματιδίων αποτελούμενη από βακτήρια και πρωτόζωα. Τα βακτήρια που είναι υπεύθυνα για τη διεργασία της διάσπασης αλλά και τα πρωτόζωα που τρώνε τα βακτήρια συμπληρώνουν την απαιτούμενη βιομάζα. Η διεργασία αυτή της βιοκένωσης ονομάζεται ενεργός ιλύς. Η διεργασία αποικοδόμησης οδηγεί στην παραγωγή υψηλών συγκεντρώσεων λάσπης, διοξειδίου του άνθρακα και νιτρικών ιόντων. Η ιλύς (λάσπη) ανακυκλώνεται μερικώς στη δεξαμενή αερισμού ενώ το περίσσειμα καταθέεται σε επεξεργασία. Η διεργασία ενεργούς λάσπης περιλαμβάνει ένα συνδυασμό δεξαμενών με αερόβιες, αναερόβιες και ανοξικές συνθήκες που διώχνουν ανόργανα στοιχεία, σαν το άζωτο και το φώσφορο.

Η μέθοδος ενεργούς ιλύς περιλαμβάνει έναν ποικίλο πληθυσμό μικροοργανισμών που αποτελούνται από βακτήρια, πρωτόζωα, τροχοφόρα και φύκια. Κατά τη διεργασία της μεθόδου αυτής σχηματίζονται συσσωματώματα από τη χλωρίδα, τα οποία καθιζάνουν εύκολα, σχηματίζοντας απόβλητα με χαμηλή συγκέντρωση σε αιωρούμενα στερεά. Για την ορθή λειτουργία της μεθόδου συνιστάται η γνώση των τύπων των παραπάνω βακτηρίων και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τους ρύπους των αποβλήτων ως θρεπτικό υπόστρωμα, οξειδώνοντας του στη συνέχεια σε διοξείδιο του άνθρακα σχηματίζοντας νέα βιομάζα ή ιλύς. Η ενεργός ιλύς χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση κολλοειδών ρύπων χαμηλής συγκέντρωσης στα υγρά απόβλητα. Λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων που εμφανίζονται στα υγρά απόβλητα αλλά και της αργής κινητικής αφαίρεσης των ρύπων η μέθοδος ενεργούς ιλύς θεωρείται ως ακατάλληλη για την άμεση επεξεργασία και απομάκρυνση των πολυφαινόλων και χρωστικών ουσιών (τανίνες) που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα.

Μια πρόσφατη εναλλακτική λύση στα συμβατικά συστήματα της μεθόδου ενεργούς ιλύς είναι η χρήση **βιοαντιδραστήρων μεμβρανών** με εξωτερική ή εσωτερική μονάδα μικροδιήθησης και υπερδιήθησης. Τα προαναφερθεί συστήματα είναι συμπαγή, αποφεύγοντας τη δεξαμενή καθίζησης, υψηλής απόδοσης με συγκεντρώσεις ιλύς 2-3 φορές μεγαλύτερες από τα συμβατικά συστήματα και μπορούν να επεξεργαστούν τα υγρά απόβλητα της βιομηχανίας τροφίμων με υψηλή συγκέντρωση σε COD.

### Τυπική διεργασία ενεργούς ιλύος



Εικόνα 3.3 : Τυπική διεργασία ενεργούς ιλύος (Πηγή : <https://www.enve-lab.eu>)

### 3.3.3 Αναερόβια Επεξεργασία

Η αναερόβια επεξεργασία λυμάτων είναι μια βιολογική επεξεργασία λυμάτων όπου οι μικροοργανισμοί αποικοδομούν τους οργανικούς ρύπους εν απουσία οξυγόνου. Σε ένα κλασικό σύστημα αναερόβιας επεξεργασίας τα υγρά απόβλητα εισέρχονται σε δοχείο βιοαντιδραστήρα στον οποίο περιέχεται μια παχιά ημιστερεά ουσία, γνωστή και ως ιλύς, αποτελούμενη από αναερόβια βακτήρια και μικροοργανισμούς, όπως έχει γίνει αναφορά στο παραπάνω κεφάλαιο. Οι αναερόβιοι αυτοί μικροοργανισμοί “χωνεύουν” τη βιοαποικοδομήσιμη ύλη των υγρών αποβλήτων με συνέπεια σχηματισμού εκροής με χαμηλή συγκέντρωση σε BOD, COD, ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) και υποπροϊόντα βιοαερίου. Η αναερόβια επεξεργασία συνήθως για εκροές με υψηλή συγκέντρωση οργανικού υλικού (BOD, COD, TSS) συχνά πριν την αερόβια επεξεργασία. Χρησιμοποιούνται και για εξειδικευμένες εφαρμογές όπως η επεξεργασία ροών, ανόργανα ή χλωριωμένα οργανικά αποβλήτων και η επεξεργασία ζεστών βιομηχανικών αποβλήτων.

Η αναερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων αποτελείται από δύο φάσεις, την **οξίνιση** ακολουθούμενη από την **παραγωγή μεθανίου**. Και οι δύο φάσεις διαδραματίζονται σε δυναμική ισορροπία. Στη πρώτη φάση σχηματισμού οξέος οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί και βακτήρια (αναερόβια) διασπούν τις σύνθετες οργανικές ενώσεις σε απλούστερα, πτητικά οργανικά οξέα βραχείας αλυσίδας. Στη δεύτερη φάση ή αλλιώς φάση παραγωγής μεθανίου υπάρχουν οι εξής διεργασίες. Αρχικά τα αναερόβια συνθέτουν τα οργανικά οξέα σχηματίζοντας οξικό ιόν, αέριο υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα, διεργασία γνωστή ως ακετογένεση. Έπειτα τα αναερόβια ενεργούν πάνω σε αυτά τα νεοσυσταθέντα μόρια για να σχηματίσουν αέριο μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, διεργασία γνωστή και ως μεθανογένεση. Αυτά τα υποπροϊόντα μπορούν να ανακτηθούν για χρήση ως καύσιμο, ενώ τα λύματα μπορούν να διοχετεύονται για περαιτέρω επεξεργασία ή / και απόρριψη.

Ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες εφαρμογής και τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, τα αναερόβια συστήματα χώνευσης μπορούν να σχεδιαστούν ως μονάδες ενός ή πολλαπλών σταδίων, διαμορφώνοντας τα έτσι με ξεχωριστή δεξαμενή οξέωσης και



μονάδα βιοαντιδραστήρα. Οι συνήθεις τύποι συστημάτων αναερόβιας επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα :

- Αναερόβιες λιμνοθάλασσες
- Αντιδραστήρες με αναερόβια λάσπη και
- Αναερόβιους αντιδραστήρες φίλτρου.

### 3.4 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ

#### 3.4.1 Διαχωρισμός με μεμβράνες

Η απομάκρυνση των αιωρούμενων, κολλοειδών και διαλυμένων ουσιών από τα υγρά απόβλητα πραγματοποιείται με τη μέθοδο διαχωρισμού με μεμβράνες. Η μεμβράνη που χρησιμοποιείται είναι ημιπερατή ή πορώδης και λειτουργεί ως φυσικό φράγμα μέσω του οποίου οι ουσίες ανάλογα με το μέγεθος τους είτε περνούν είτε παρακρατούνται. Η δομή και τα χαρακτηριστικά της μεμβράνης παίζουν ρόλο στη φύση του διαχωρισμού.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των διαδικασιών διήθησης με μεμβράνες είναι η χρήση πίεσης. Η ικανότητα λειτουργίας της μεθόδου αυτής εξαρτάται από το μέγεθος των μορίων και των πόρων των μεμβρανών. Τα μόρια μετακινούνται φυσικά από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης. Εφαρμόζοντας εξωτερική πίεση, τα μόρια ρέουν από περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης σε υψηλή συγκέντρωση. Η διαφορά πίεσης και στις δύο πλευρές της μεμβράνης θα προκαλέσει το διήθημα να διασχίσει τη μεμβράνη σε σταθερή κατάσταση. Αυτό επιτρέπει στο τελικό προϊόν, το διήθημα ή τη κατακράτηση να έχει υψηλότερες συνολικές αποδόσεις.

Η μέθοδος διήθησης με μεμβράνες βοηθά στη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας που με τη σειρά της μειώνει το κόστος λειτουργίας και συμβάλει στη βελτίωση της αποδοτικότητας της παραγωγής και του ποιοτικού ελέγχου. Παράλληλα απαιτούνται λιγότερα χημικά πρόσθετα για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών όπως π.χ. τα κροκιδωτικά στην επεξεργασία λυμάτων, γεγονός που αποτελεί αξιοσημείωτο πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας.

Οι τέσσερις κύριες μέθοδοι διήθησης μεμβράνης με πίεση είναι οι εξής :

- Μικροδιήθηση** : Η μικροδιήθηση χρησιμεύει συνήθως ως προεπεξεργασία για άλλες διαδικασίες διαχωρισμού όπως η υπερδιήθηση και μιας μετα-επεξεργασίας (διήθηση κοκκώδους μέσου). Το τυπικό μέγεθος πόρων που χρησιμοποιείται στη μικροδιήθηση κυμαίνεται από περίπου 0,1-10  $\mu m$ . Όσο αφορά το μοριακό βάρος κατά προσέγγιση, οι μεμβράνες αυτές μπορούν να διαχωρίσουν μακρομόρια μοριακών βαρών γενικά μικρότερα από 100.000  $g/mol$ . Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία μικροδιήθησης είναι ειδικά σχεδιασμένα για να αποτρέπουν τη διέλευση σωματιδίων όπως, ιζήματα, φύκια, πρωτόζωα ή μεγάλα βακτήρια μέσω ενός ειδικά σχεδιασμένου φίλτρου. Το αιωρούμενο υγρό διέρχεται με σχετικά υψηλή ταχύτητα (περίπου 1-3  $m/s$ ) και σε χαμηλές έως μέτριες πιέσεις



(περίπου 100-400  $kPa$ ) παράλληλα ή εφαπτομενικά στην ημι-διαπερατή μεμβράνη σε φύλλο ή σωληνοειδή μορφή. Μια αντλία συνήθως τοποθετείται στον εξοπλισμό επεξεργασίας για να επιτρέψει στο υγρό να περάσει μέσα από το φίλτρο μεμβράνης. Υπάρχουν δύο διαμορφώσεις αντλίας, είτε με πίεση είτε με κενό. Ένας διαφορικός ή κανονικός μετρητής πίεσης συνδέεται συνήθως για τη μέτρηση της πτώσης πίεσης μεταξύ των ρευμάτων εξόδου και εισόδου. Η ροή της διαδικασίας εξόδου μετά την επεξεργασία χρησιμοποιώντας ένα μικρο-φίλτρο έχει ένα ποσοστό ανάκτησης που κυμαίνεται γενικά περίπου 90-98%.

- ii. **Υπερδιήθηση** : Η υπερδιήθηση δεν διαφέρει ουσιαστικά από τη μικροδιήθηση καθώς και οι δύο διεργασίες διαχωρίζονται με βάση την εξαίρεση μεγέθους των πόρων ή τη σύλληψη σωματιδίων. Το μέγεθος των πόρων στην υπερδιήθηση κυμαίνεται από 0,01-0,1  $\mu m$ . Αιωρούμενα στερεά και διαλυμένες ουσίες υψηλού μοριακού βάρους διατηρούνται στη λεγόμενη παρακράτηση, ενώ νερό και διαλυμένες ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους περνούν μέσω της μεμβράνης στο διήθημα. Οι μεμβράνες υπερδιήθησης χρησιμοποιούνται στην απόρριψη ιών και πολυτεπιτιδίων και χρησιμοποιούνται ευρέως στη συγκέντρωση πρωτεϊνών και στην επεξεργασία λυμάτων.
- iii. **Νανοδιήθηση** : Η νανοδιήθηση είναι μια μέθοδος βασισμένη σε διήθηση μεμβράνης πόρων μετρούμενων σε νανόμετρα ( $nm$ ) που διέρχονται μέσω της μεμβράνης. Το μέγεθος των πόρων στις μεμβράνες με νανοδιήθηση κυμαίνεται από 1-10  $nm$ , είναι δηλαδή μικρότερο από αυτών της μικροδιήθησης και υπερδιήθησης αλλά ταυτόχρονα μεγαλύτερο αυτών της αντίστροφης όσμωσης. Οι χρησιμοποιούμενες μεμβράνες προέρχονται κυρίως από λεπτές μεμβράνες πολυμερούς. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως περιλαμβάνουν τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο ή μέταλλα όπως το αλουμίνιο. Οι διαστάσεις των πόρων ελέγχονται από το pH, τη θερμοκρασία και τη χρονική περίοδο ανάπτυξης, με τη πυκνότητα των πόρων να κυμαίνεται από 1-10<sup>6</sup> πόρους/ $cm^2$ . Οι μεμβράνες που κατασκευάζονται από τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο και οι μεμβράνες που έχουν χαραχθεί με ίχνη που ονομάζονται σύμφωνα με τον τρόπο δημιουργίας των πόρων στις μεμβράνες. Η "παρακολούθηση" περιλαμβάνει τον βομβαρδισμό της λεπτής μεμβράνης του πολυμερούς με σωματίδια υψηλής ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαδρομών που αναπτύσσονται χημικά στη μεμβράνη, οι λεγόμενοι πόροι. Οι μεμβράνες που δημιουργούνται από μέταλλο όπως μεμβράνες αλουμίνιας, κατασκευάζονται με ηλεκτροχημική ανάπτυξη ενός λεπτού στρώματος οξειδίου αργιλίου από μέταλλο αλουμινίου σε όξινο μέσο.
- iv. **Αντίστροφη όσμωση** : Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διαδικασία καθαρισμού νερού που χρησιμοποιεί μια μερικώς διαπερατή μεμβράνη για να διαχωρίσει τα ιόντα, τα ανεπιθύμητα μόρια και τα μεγαλύτερα σωματίδια από το πόσιμο νερό. Στην αντίστροφη όσμωση, χρησιμοποιείται μια εφαρμοζόμενη πίεση για να ξεπεραστεί η οσμωτική πίεση, μια ιδιότητα που καθοδηγείται από χημικές διαφορές δυναμικού του διαλύτη. Η αντίστροφη όσμωση μπορεί να απομακρύνει πολλούς τύπους διαλυμένων και αιωρούμενων χημικών ειδών, καθώς και βιολογικών (κυρίως βακτηρίων) από το νερό, και χρησιμοποιείται τόσο στις βιομηχανικές διαδικασίες όσο και στην παραγωγή πόσιμου νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διαλυμένη



ουσία να συγκρατείται στην υπό πίεση πλευρά της μεμβράνης και ο καθαρός διαλύτης να αφήνεται να περάσει στην άλλη πλευρά. Αυτή η μεμβράνη καλό θα ήταν να μην επιτρέπει μεγάλα μόρια ή ιόντα μέσα στους πόρους αλλά να επιτρέπει σε μικρότερα συστατικά του διαλύματος, όπως νερό, να περνούν ελεύθερα. Η αντίστροφη όσμωση είναι πιο γνωστή για τη χρήση της στον καθαρισμό πόσιμου νερού από το θαλασσινό νερό, αφαιρώντας το αλάτι και άλλα απόβλητα από τα μόρια του νερού.

### 3.4.2 Αποτέφρωση

Η μέθοδος της αποτέφρωσης αποτελεί διαδικασία επεξεργασίας των αποβλήτων και περιλαμβάνει την καύση οργανικών ουσιών που υπάρχουν στα απόβλητα. Η αποτέφρωση, όπως και άλλα συστήματα αποβλήτων, υψηλών θερμοκρασιών μπορούν να χαρακτηριστούν και ως **θερμική επεξεργασία**. Με τη διαδικασία της αποτέφρωσης τα υγρά απόβλητα μετατρέπονται σε καυσαέρια, τέφρα και θερμότητα. Η δημιουργία της τέφρας γίνεται κατά κύριο λόγο εξαιτίας των ανόργανων συστατικών που συναντιούνται στα απόβλητα και μπορεί να μετατραπεί είτε σε στερεούς σβώλους είτε σε σωματίδια που μεταφέρονται από τα καυσαέρια. Τα καυσαέρια είναι απαραίτητο να καθαρίζονται από τους αέριους ή σωματιδιακούς ρύπους πριν γίνει η εκβολή τους στην ατμόσφαιρα.

Κατά την αποτέφρωση χρησιμοποιούνται οι αποτεφρωτήρες, κλίβανοι που βοηθούν στην καύση των απορριμάτων. Οι σύγχρονοι αποτεφρωτήρες περιλαμβάνουν εξοπλισμό για τον περιορισμό της ρύπανσης (καθαρισμός καυσαερίων). Υπάρχουν διάφοροι τύποι σχεδιασμού εγκαταστάσεων αποτέφρωσης. Οι πιο συνήθεις είναι οι φούρνοι ρευστοποιημένης κλίνης και οι θάλαμοι στατικής αποτέφρωσης για την αποτέφρωση υγρών αποβλήτων και οι θάλαμοι αποτέφρωσης με περιστροφικούς σωλήνες για την συνδυαστική αποτέφρωση υγρών και στερεών αποβλήτων.

Τα υγρά απόβλητα προκύπτουν ως αποτέλεσμα της χρήσης νερού κατά την αποτέφρωση και ψεκάζονται στο θάλαμο αποτέφρωσης υπό μορφή λεπτών σταγονιδίων μέσω ειδικών ακροφυσίων συμβάλλοντας στην καλύτερη ανάμιξη με το θερμό αέρα. Οι θερμοκρασιακές τιμές της αποτέφρωσης κυμαίνονται από 650-1600 °C. Σημαντική λειτουργία έχει και το ιξώδες των υγρών αποβλήτων καθώς λειτουργεί ως υπόστρωμα. Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της μεθόδου της αποτέφρωσης είναι η δημιουργία της τέφρας και των καυσαερίων γιατί η διαχείριση τους είναι δαπανηρή.

### 3.4.3 Εξάτμιση-Απόσταξη

Για την συμπύκνωση των οργανικών και ανόργανων συστατικών των υγρών αποβλήτων των ελαιολιπιδίων χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι της εξάτμισης και της απόσταξης. Απόσταξη είναι η διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται διαχωρισμός των συστατικών από ένα υγρό μείγμα χρησιμοποιώντας επιλεκτικό βρασμό και συμπύκνωση.



Με την απόσταξη μπορεί να επιτευχθεί πλήρης διαχωρισμός ή μερικός διαχωρισμός που αυξάνει τη συγκέντρωση επιλεγμένων συστατικών στο μείγμα. Σε καθεμία από τις δύο περιπτώσεις, η απόσταξη εκμεταλλεύεται τις διαφορές στη σχετική μεταβλητότητα των συστατικών του μείγματος. Η διαδικασία της απόσταξης θεωρείται ως μια μονάδα λειτουργίας πρακτικά καθολικής σημασίας καθώς και διαδικασία φυσικού διαχωρισμού. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για τη διαχείριση των μολυσμένων υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Το συμπυκνωμένο στερεό υλικό χρησιμοποιείται ως παροχή ενέργειας στις εγκαταστάσεις.

Παράλληλα η ανάκτηση πολύτιμων υλικών και ο διαχωρισμός επικίνδυνων υλικών από ροές αποβλήτων μπορεί να επιτευχθεί και με τη μέθοδο της εξάτμισης. Συμβάλλει στη συμπύκνωση ή την απομάκρυνση αλάτων, βαρέων μετάλλων και επικίνδυνων υλικών από το διάλυμα. Χρησιμοποιείται και για την ανάκτηση χρήσιμων υποπροϊόντων από ένα διάλυμα και για τη συμπύκνωση των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων πριν από τη πρόσθετη επεξεργασία τους και τη τελική τους απόρριψη. Οι περισσότερες εφαρμογές της μεθόδου παράγουν υψηλής ποιότητας επαναχρησιμοποιήσιμο απόσταγμα όπου η εξοικονόμηση νερού αποτελεί προτεραιότητα.

Η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί φυσικά σε λίμνες ηλιακής εξάτμισης ή μέσω της χρήσης εξοπλισμού εξάτμισης που διατίθεται στο εμπόριο. Οι ηλιακές δεξαμενές εξάτμισης συνήθως περιορίζονται από τη διαθεσιμότητα και το κόστος γης, τα πιθανά προβλήματα οσμής ή τις μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες, ενώ οι μηχανικοί εξατμιστές είναι σχετικά συμπαγείς, αξιόπιστοι και αποτελεσματικοί. Το μειονέκτημα των διεργασιών αυτών σχετίζεται με την διαχείριση και τη διάθεση των προϊόντων που προκύπτουν (ημιστερεά υπολείμματα).

#### 3.4.4 Συσσωμάτωση

Η συσσωμάτωση στο πεδίο της χημείας αναφέρεται στην αποσταθεροποίηση διασποράς των κολλοειδών σωματιδίων με προσθήκη κατάλληλων ηλεκτρολυτών, μειώνοντας το φορτίο των κολλοειδών αυτών σωματιδίων και κατά συνέπεια τις ηλεκτροστατικές απωστικές δυνάμεις ενώ σχηματίζονται μεγαλύτερα συσσωματώματα που καθιζάνουν ως ίζημα. Η συσσωμάτωση εξαρτάται από τη βαθμίδα ταχύτητας, το χρόνο και το pH. Συχνή είναι και η προσθήκη ενός χημικού αντιδραστήρα ή αλλιώς κροκιδωτικό μέσο που προωθεί τη διαδικασία της συσσωμάτωσης. Παρόλα αυτά όμως η μέθοδος της συσσωμάτωσης δεν είναι πολύ αποδοτική για την ελάττωση των ρύπων των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων καθώς τα οργανικά συστατικά τους είναι δύσκολο να απομακρυνθούν βοηθάει όμως στην απομάκρυνση των στερεών ύστερα από τη βιολογική επεξεργασία.

#### 3.4.5 Καθίζηση

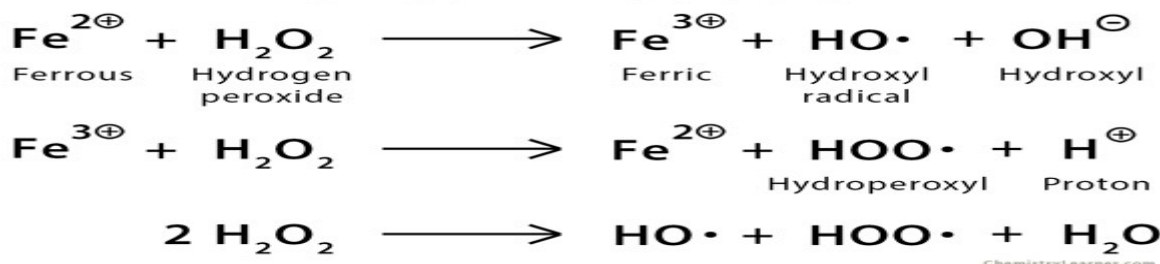
Για την απομάκρυνση των διαλυμένων ουσιών από τα απόβλητα μπορεί να επιτευχθεί με τη διαδικασία της καθίζησης προσθέτοντας ένα χημικό παράγοντα που βοηθά τη συσσωμάτωση των σωματιδίων εμποδίζοντας τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις που τα

κρατούν χωριστά. Τα κύρια στάδια της διαδικασίας απαρτίζονται από τη ρύθμιση του pH, τη συσσωμάτωση, τον καθαρισμό και τη διήθηση. Με τη καθίζηση απομακρύνεται το ρυπαντικό φορτίο των λυμάτων υπό τη μορφή στερεού ιζήματος. Η εμφάνιση του ιζήματος συμβαίνει λόγω του υπερκορισμού στο διάλυμα. Η μέθοδος αυτή συμβάλλει στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων όπου μέσω χημικής αντίδρασης δημιουργεί στερεό ίζημα το οποίο με τη σειρά του απομακρύνεται με φιλτράρισμα, φυγοκέντριση ή χωρίζεται ξεχωριστά από την υγρή φάση.

### 3.4.5 Οξειδωση

Οι τοξικές ουσίες που περιλαμβάνονται στα υγρά απόβλητα, μαζί με άλλα συστατικά που βρίσκονται σε αυτά, μπορούν να καταστραφούν ή να αποτοξινωθούν με τη διαδικασία οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Για τη μείωση του COD και BOD<sub>5</sub> και την απομάκρυνση του οργανικού αλλά και οξειδούμενου ανόργανου ρυπαντικού φορτίου χρησιμοποιούνται οξειδωτικά μέσα (υπεροξειδίο του υδρογόνου, χλώριο) μέσω της χημικής οξειδωσης. Η οξειδωση ενισχύεται με την εφαρμογή των οξειδωτικών μέσων συνδυαστικά με την υπεριώδη ακτινοβολία. Η μέθοδος αυτή δεν είναι τόσο συνήθης στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των οξειδωτικών μέσων που απαιτείται για την επεξεργασία του υψηλού οργανικού φορτίου των αποβλήτων. Ύστερα από την οξειδωση οι χημικές ουσίες παραμένουν στην υδάτινη φάση και δεν είναι εφικτή η περαιτέρω βιολογική επεξεργασία.

## Fenton Reaction



Εικόνα 3.4 : Οξειδωση Fenton (Πηγή : <https://www.chemistrylearner.com>)

## 3.5 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ

Ανάμεσα σε μεγάλο εύρος τεχνολογιών απομάκρυνσης ρύπων από τα απόβλητα, η προσρόφηση είναι γνωστή για την απλότητα της, τη φιλικότητα προς το περιβάλλον, την αποδοτικότητα, την οικονομία και την ικανότητα να ανακτά τους ρύπους και να αναγεννά το ροφητικό. Τα αργιλικά ορυκτά και οι ζεόλιθοι είναι φυσικά ορυκτά τα οποία συναντώνται σε αρκετά μεγάλες ποσότητες στον ελληνικό χώρο. Με άλλα λόγια αποτελούν γεωλογική κληρονομία της χώρας, στην οποία συνέβηκαν γεγονότα όπως ορογένεση, ηφαιστειότητα, εξαλλοιώσεις και ποικίλα μικρά γεωπεριβάλλοντα. Ο τρόπος δημιουργίας των ορυκτών αυτών τους έχει “δώσει” εξαιρετικές ιδιότητες όπως :

- i. Μεγάλη ειδική επιφάνεια,
- ii. εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες (πλαστικότητα, συρρίκνωση),
- iii. χημικές ιδιότητες (κατιοντοανταλλακτική ικανότητα),
- iv. δομικά χαρακτηριστικά (αντοχή φορτίου, αντίσταση σε φθορά και χημικές αντιδράσεις) και
- v. ικανότητα τροποποίησης/ενεργοποίησης.

Οι παραπάνω ιδιότητες μαζί με το χαμηλό τους κόστος τα καθιστούν ως εξαιρετικά προσροφητικά υλικά.

Από την άλλη πλευρά όμως η ποικιλότητα των χαρακτηριστικών των φυσικών αυτών αργίλων, που βασίζονται κυρίως με την περιοχή προέλευσης τους και η χαμηλή ροφητική τους απόδοση έναντι ορισμένων κατηγοριών ρύπων, ωθεί τους ερευνητές στην καλύτερευση των προσροφητικών χαρακτηριστικών των αργίλων/ζεολίθων. Αυτό μπορεί να συμβεί με δύο τρόπους που αναφέρονται παρακάτω :

- Με την τροποποίηση ή την ενεργοποίηση τους με μια σειρά φυσικών, χημικών ή συνδυασμένων μεθόδων και
- με την τεχνητή σύνθεση γεωπολυμερών με πρώτες ύλες φθηνών βιομηχανικών υποπροϊόντων (ιπτάμενη τέφρα, ερυθρά ιλύς).

Παράλληλα η χρήση φυσικών αργίλων με προσρόφηση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του χρώματος από τα απόβλητα. Έχει παρατηρηθεί ότι οι τεχνικές προσρόφησης έχουν συμβάλει επιτυχώς στην απομάκρυνση έγχρωμων οργανικών. Πιο αναλυτικά η *Oukili et al. (2001)* πρότεινε, στην έρευνα της, την χρήση αργίλων σαν προσροφητικά υλικά και του υπεροξειδίου του υδρογόνου ως οξειδωτικού στην φυσικοχημική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με σκοπό να αποσαφηνιστεί το νερό από το μαύρο-καφέ χρώμα και να μειώσει τις ποσότητες τόσο των πολυφαινόλων όσο και του COD. Μέσω αυτής της μελέτης αποδείχθηκε ότι η λεύκανση οδήγησε σε 87% μείωση των πολυφαινόλων και 66% μείωση του COD, ενώ η δομή των αργίλων συνέβαλλε στην αποτελεσματική καταλυτική και προσροφητική επίδραση στην απομάκρυνση των πολυφαινόλων. Παρατηρήθηκε ότι το υπάρχον χρώμα άλλαξε σε κίτρινο από το μαύρο-καφέ που υπήρξε πριν. Το εναπομένον κίτρινο υγρό μπορεί έπειτα να υποβληθεί σε επανεπεξεργασία με άλλες διαδικασίες όπως οι βιολογικές επεξεργασίες για την αφαίρεση των φαινολικών ενώσεων που είναι υπεύθυνες για την ύπαρξη του κίτρινου αυτού χρώματος.

Μια άλλη χρήση των φυσικών αργίλων εντοπίζεται στην ικανότητα τους να απομακρύνουν τα βαρέα μέταλλα από τα υγρά απόβλητα. Τα βαρέα μέταλλα είναι γνωστά για τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούν λόγω της βιοσυσσώρευσής τους στους ζωντανούς οργανισμούς, προκαλώντας διάφορες ασθένειες και διαταραχές για αυτό και η απομάκρυνση τους είναι αναγκαία. Σε αντίθεση με τους οργανικούς ρύπους, τα βαρέα μέταλλα είναι δύσκολο να αποικοδομηθούν και έτσι εύκολα εμπλουτίζονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα απειλώντας τα οικοσυστήματα. Οι φυσικοί άργιλοι είτε σε μορφή



κόκκων είτε σε σκόνη έχουν καλή ικανότητα προσρόφησης οργανικών μορίων προσελκύοντας στην επιφάνεια τους διαλυτά υλικά, όπως η φαινόλη από το διάλυμα. Κατά το σχεδιασμό του συστήματος προσρόφησης είναι σημαντικό να είναι γνωστή η ικανότητα προσρόφησης του προσροφητικού υλικού από την ισόθερμη μελέτη. Υπάρχει συνεχής διάχυση διαλυμένης ουσίας από το υγρό στην στερεά επιφάνεια και πίσω στο υγρό.

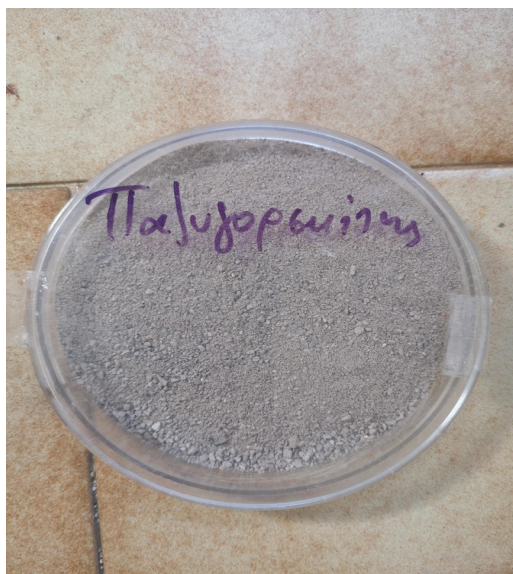
Η αδιαμφισβήτητη χρησιμότητα των αργίλων σε ζητήματα όπως προστασία του περιβάλλοντος ή έλεγχος ρύπανσης του λόγω των χαρακτηριστικών που διαθέτουν καθιστώντας τα εξαιρετικά χρήσιμα για τη βιομηχανία καθώς και την ανθρώπινη κοινωνία. Αναλυτικότερα οι αργιλιόπυριτικές ενώσεις προσροφούν ιόντα από διαλύματα μέσω μια διεργασίας που ονομάζεται ιοντοανταλλαγής και εμφανίζουν μια εκλεκτικότητα για ορισμένα από αυτά. Η προσρόφηση καθώς και η ανταλλαγή κατιόντων από τα φυλλόμορφα αργιλικά ορυκτά συμβαίνει κυρίως εξαιτίας των ελεύθερων αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων της δομής τους, τα οποία με τη σειρά τους δρουν μέσω του κρυσταλλικού πλέγματος των ορυκτών ενώ ένα μικρό ποσοστό οφείλεται στις επιφάνειες των τεμαχιδίων τους που είναι ηλεκτρικά φορτισμένες. Η ύπαρξη των ελεύθερων αρνητικών φορτίων στο κρυσταλλικό πλέγμα των αργιλιόπυριτικών ορυκτών και συγκεκριμένα των ορυκτών της αργίλου οφείλεται στους παρακάτω λόγους :

- Στην ισόμορφη υποκατάσταση πυριτίου των τετραέδρων από κατιόντα με μικρότερο σθένος όπως π.χ του αργιλίου,
- Στην ισόμορφη υποκατάσταση κατιόντων των οκταέδρων του κρυσταλλικού πλέγματος από άλλα κατιόντα μικρότερου σθένους,
- Σε θραυσιγενείς επιφάνειες παράλληλες προς τον άξονα c του κρυσταλλικού πλέγματος,
- Στην ευκινησία των υδρογόνων του φαινολικού όξινου χαρακτήρα περιφερειακών υδροξυλίων που βρίσκονται ήδη στο κρυσταλλικό πλέγμα, καθώς και σε αυτών που σχηματίστηκαν κατά την ενυδάτωση των ακόρεστων φορτίων των προαναφερθέντων θραυσιγενών επιφανειών,
- Στην επίδραση του pH σε αργίλους που παρουσιάζουν ασθενώς όξινο χαρακτήρα οδηγώντας στην αύξηση της ιοντοεναλλακτικής ικανότητας (CEC) με την αύξηση της τιμής του pH.

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ορυκτά του αργίλου είναι τα έξης :

- Οι **σμεκτίτες** : ανήκουν στη γενική κατηγορία των 2:1 φυλλοπυριτικών ορυκτών με την κρυσταλλική τους δομή να περιλαμβάνει ένα οκταεδρικό φύλλο αργιλίου ή μαγνησίου το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε δύο τετραεδρικά φύλλα πυριτίου. Οι συστοιχίες των στρωμάτων τους έχουν πάχος περίπου  $1nm$  ενώ οι πλευρικές τους διαστάσεις ξεκινούν από τα  $30nm$ . Τα δυσδιάστατα στρώματα διαχωρίζονται από ένα κενό Van der Waals που ονομάζεται **ενδοστρωματικός χώρος**.
- Ο **παλυγορσκήτης** : φυσική άργιλος κυψελωτής δομής που σχηματίζει σωματίδια πεπλατυσμένης δοκίδας και ανήκει στην κατηγορία των ένυδρων φυλλοπυριτικών

ορυκτών τύπου 2:1 με χημικό τύπο  $Si_8Mg_8O_{20}(OH)_2(H_2O)_{44}H_2O$ . Τα οκταεδρικά στρώματα των φύλλων 2:1 σταματούν σε μια διεύθυνση παράλληλα με την στον άξονα Z και εναλλάσσονται με τα συνεχή τετραεδρικά στρώματα, χαρακτηρίζοντας έτσι τη δομή του ως “ψευδό-φύλλα”. Παρουσιάζει λευκό ως τεφρό χρώμα και το βρίσκουμε συνήθως με ινώδη-επιμήκη μορφή. Τα εκμεταλλεύσιμα στρώματα ορυκτού του δημιουργούνται σε διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα ενώ ο σχηματισμός του σε εδάφη, λίμνες και ρηχές θάλασσες συνδέονται με κλίματα μεσογειακού τύπου. Ο σχηματισμός του γίνεται στις λίμνες ή περιορισμένες θάλασσες με χημική καταβύθιση, στους ωκεανούς με υδροθερμική εξαλλοίωση ηφαιστειακού γυαλιού ή ηφαιστειακών ιζημάτων, σε τουρβιδικά ιζήματα ή κατά τη διαγένεση αργιλικών ορυκτών καθώς και με άμεση κρυστάλλωση σε ασβεστώδη εδάφη ή κατά την σταδιακή αποσύνθεση και αλλοίωση των σερπεντινικών και άλλων μαγνησιούχων πετρωμάτων.



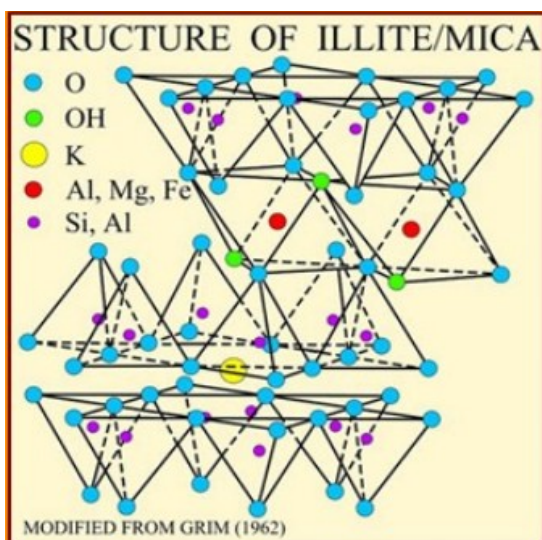
Εικόνα 3.6 : Παλυγορσκήτης ( Πηγή : Φωτογραφικό υλικό πειραμάτων πτυχιακής )

Ο παλυγορσκήτης, τα τελευταία χρόνια, έχει μελετηθεί ενδελεχώς για το στόχο της απομάκρυνσης των οργανικών και ανόργανων ενώσεων από τα υδάτινα συστήματα εξαιτίας της δυνατότητας τροποποίησης του συνδυαστικά με τις ιδιότητες του, το επιφανειακό του φορτίο και τη μεγάλη ειδική επιφάνεια του ( $100 \square 400 m^2/g$ ) καθώς και τη καλή του αλληλεπίδραση με το φυσικό περιβάλλον. Χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς όπως στη φαρμακοβιομηχανία και στις βιομηχανίες γεωργικών λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων για την υπό έλεγχο αφαίρεση ουσιών.

- Ο **βερμικουλίτης** : είναι ένα ένυδρο μαγνησιούχο αργιλοπυριτικό ορυκτό και ανήκει στη γενική κατηγορία των 2:1 φυλλοπυριτικών ορυκτών αποτελούμενος από στρώματα τάλκη όπου το έλλειμα του θετικού φορτίου εξισορροπείται με την παρουσία κατιόντων σε εναλλάξιμη μορφή.

Ομάδα	Όνομα Ορυκτού	Χημικός Τύπος	Δομή
Αργιλικά Ορυκτά	Καολίνη	$H_2Al_2Si_2O_9$	T-O Διοκταεδρικό
	Πυροφυλλίτης	$Al_2Si_5O_{20}(OH)_4$	T-O Διοκταεδρικό
	Τάλκης	$Mg_3Si_2O_{10}(OH)_2$	T-O Τριοκταεδρικό
	Μοντμοριλλονίτης	$nH_2O(1/2Ca,Na)_{0.7}Al_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4$	T-O-T · H <sub>2</sub> O, Ca, Na, K Τριοκταεδρικό
	Σαπωνίτης	$(Ca,Na)_{0.7}Mg_6(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4$	T-O-T Τριοκταεδρικό
Σερπεντίνης	Αντιγορίτης Χρυσοτίλης Λιζαρδίτης	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_8$	T-O Τριοκταεδρικό
Μαρμαρυγίες	Μοσχοβίτης	$K_2Al_4(Si,Al)_8O_{20}(OH,F)_4$	T-O-T Διοκταεδρικό
	Βιοτίτης	$K_2Mg_6(Si,Al)_8O_{20}(OH,F)_4$	T-O-T Τριοκταεδρικό
Χλωρίτης	Κλινόχωρος κ.λ.π.	$Mg_{12}(Si,Al)_8O_{20}(OH)_{16}$	T-O-T.O Τριοκταεδρικό
	Συντοίτης κ.λ.π.	$Al_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_{16}$	T-O-T.O Διοκταεδρικό

Πίνακας 3.1 : Κυριότερα φυλλοπυριτικά υλικά. (Πηγή : [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3476/1/02\\_chapter\\_05.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3476/1/02_chapter_05.pdf) )



Σχήμα 3.2 : Ορυκτά αργίλου δομής 2:1  
 (Πηγή : <https://slideplayer.gr/slide/2307551/> )



## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΑΕ.

#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχει προαναφερθεί στο παραπάνω θεωρητικό μέρος της παρούσας πτυχιακής εργασίας τα υγρά απόβλητα των διφασικών ελαιωτριβείων προκαλούν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα, με τη ρίψη τους σε εδάφη, θάλασσες και λίμνες, λόγω της σύστασης καθώς και των ουσιών που υπάρχουν σε αυτά. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να βρεθεί ο καλύτερος δυνατός τρόπος απομάκρυνσης των επιβλαβών αυτών ουσιών. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έχουν πραγματοποιηθεί διάφορα πειράματα τα οποία αναλύονται παρακάτω.

#### 4.2 ΠΕΙΡΑΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ pH

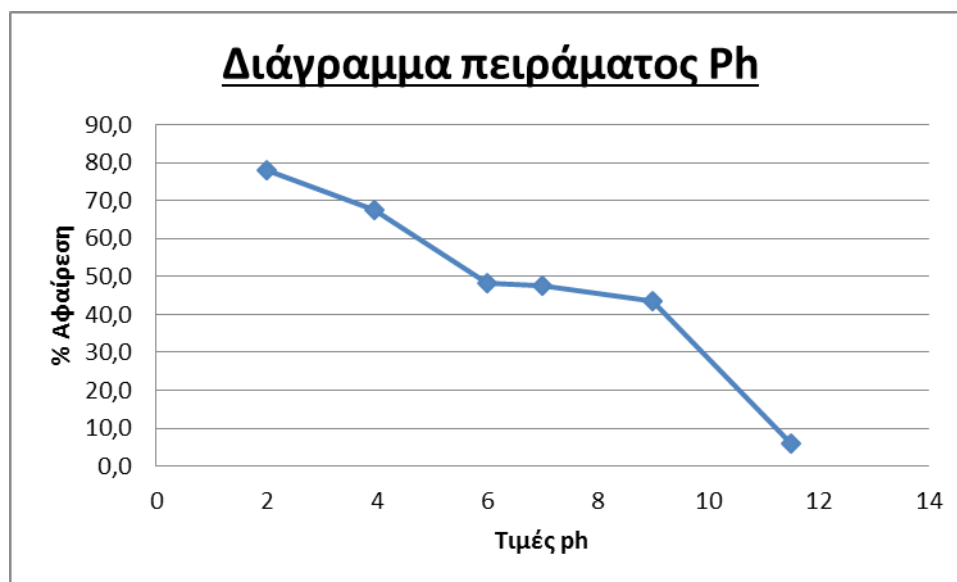
Σε έξι ποτήρια ζέσεως χωρητικότητας  $200\text{ml}$  προσθέτονται  $150\text{ml}$  απόβλητου διαχωριστήρα, το οποίο τοποθετήθηκε σε θερμαινόμενους αναδευτήρες, και περιμένουμε μέχρι η θερμοκρασία να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή των  $25^\circ\text{C}$  και στα 6 ποτήρια. Έπειτα με τη θερμοκρασία να έχει φτάσει στους  $25^\circ\text{C}$  ρυθμίζεται το pH με τη χρήση σταγονόμετρου, διαλύματος υδροχλωρικού οξέος ( $\text{HCl}$ ) ή με πυκνό διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου ( $\text{NaOH}$ ) ανάλογα την τιμή που επιδιώκουμε να επιτύχουμε. Οι τιμές που λαμβάνει το pH για τα προαναφερθέντα διαλύματα είναι καταγεγραμμένες στο παρακάτω πίνακα.

Στη συνέχεια από το κάθε ποτήρι ζέσεως πάρθηκε  $50\text{ml}$  απόβλητο με χρήση σιφωνίου για την πραγματοποίηση των μετρήσεων ενώ στα εναπομείναντα  $100\text{ml}$  προσθέτονται  $4\text{gr}$  παλυγορσκήτη και αφήνονται για μισή ώρα ώστε να αναδευτούν. Μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου το περιεχόμενο κάθε ποτηριού αρχικά φυγοκεντρείται και έπειτα διηθείται ώστε να απομακρυνθεί πλήρως ο παλυγορσκήτης και να παρθούν οι μετρήσεις για το καθαρό απόβλητο. Το απόβλητο τοποθετείται σε ειδικές κυψελίδες χρησιμοποιώντας το νόμο τις αραίωσης.

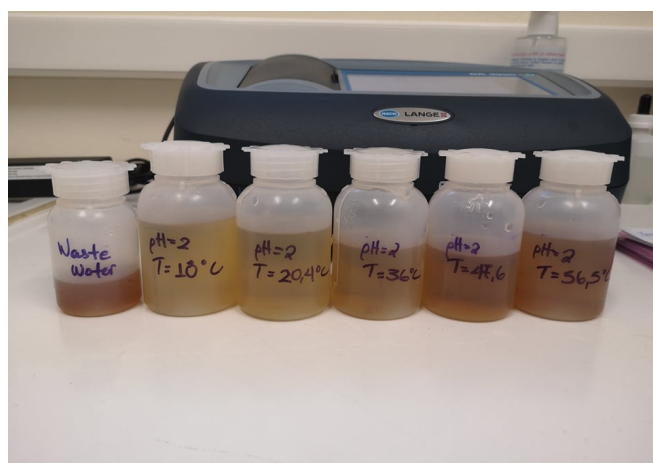
ρΗ	Αρχική συγκέντρωση (mg/L Pt-Co)	Τελική συγκέντρωση (mg/L Pt-Co)	% αφαίρεση
2	2010	444	77,9
3,95	2010	656	67,4
6	2010	1041	48,2
7	2010	1054	47,6
9	2010	1136	43,5
11,5	2010	1890	6,0

Πίνακας 4.1 : Τελικές μετρήσεις καθαρού αποβλήτου

Από το πίνακα των μετρήσεων που βρέθηκαν χρησιμοποιώντας το φασματοφωτόμετρο DR3900, για το χρώμα του αποβλήτου, συμπεραίνουμε ότι η αρχική συγκέντρωση του αποβλήτου χωρίς τον παλυγορσκήτη κυμαίνονταν στη τιμή 2010mg/l. Η καλύτερη προσρόφηση συμβαίνει όταν η τιμή του ρΗ ισούται με 2 με 77,9% αφαίρεση.



Σχήμα 4.1 : Πειραματική καμπύλη μεταβολής του ρΗ συναρτήσει τις % Αφαίρεσης.



Εικόνα 4.1 : Τιμές ρΗ και θερμοκρασίας στα ποτήρια ζέσεως.

#### 4.3 ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΡΑΙΩΣΗΣ ΠΑΛΥΓΟΡΣΚΙΤΗ ΜΕ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ

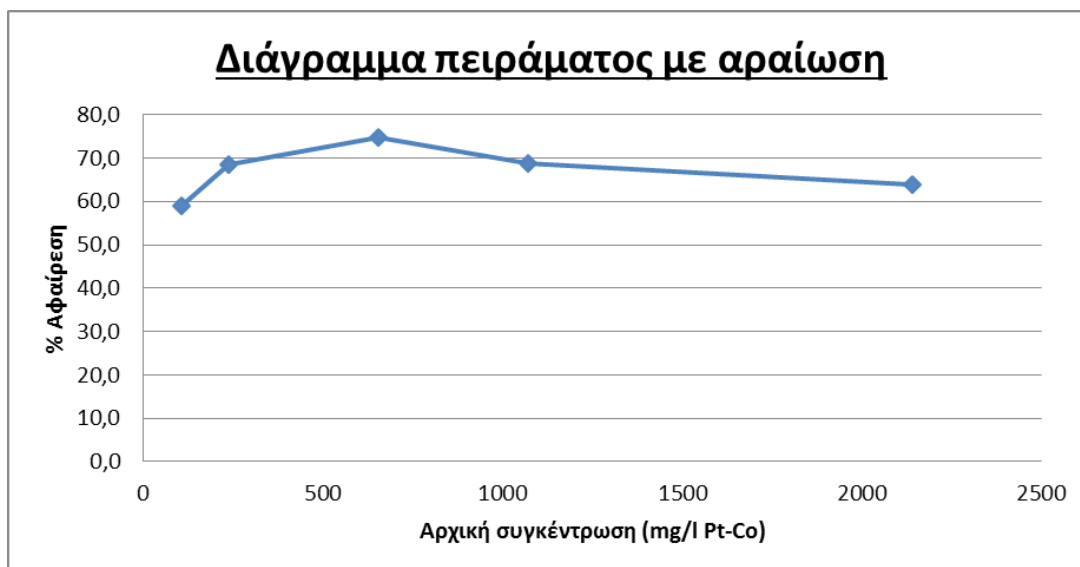
Σε αυτή τη πειραματική διαδικασία απόβλητο διαχωριστήρα αραιώθηκε σε 5 ποτήρια ζέσεως με τις εξής αναλογίες :

- το **πρώτο** ποτήρι περιείχε **μόνο 150ml** απόβλητο
- το **δεύτερο** 75ml απόβλητο και 75ml H<sub>2</sub>O
- το **τρίτο** 50ml απόβλητο και 100ml H<sub>2</sub>O
- το **τέταρτο** 25ml απόβλητο και 125ml H<sub>2</sub>O
- και το **πέμπτο** 10ml απόβλητο και 140ml H<sub>2</sub>O

Τη στιγμή που η θερμοκρασία έφτασε στους 25°C σε όλα τα διαλύματα ,πάνω στους θερμαινόμενους αναδευτήρες, το pH ρυθμίστηκε στην επιθυμητή τιμή 2 ( pH=2 ) για όλα τα διαλύματα υδροχλωρικού οξέος. Αφαιρέθηκαν 50ml από κάθε ποτήρι με τη βοήθεια ενός σιφωνίου και στα 100ml που απέμειναν σε κάθε ποτήρι ρίξαμε 4gr παλυγορσκήτη οπού αναδεύτηκε για 30 λεπτά. Για να φύγει η περίσσεια ποσότητα παλυγορσκήτη φυγοκεντρίσαμε και διηθήσαμε τα διαλύματα. Έπειτα με μια πιπέτα πάρθηκαν 10ml από το κάθε διάλυμα τα οποία τοποθετήθηκαν σε ειδικές κυψελίδες του φασματοφωτόμετρου .

Αρχική συγκέντρωση (mg/L Pt-Co)	Τελική συγκέντρωση (mg/L Pt-Co)	% αφαίρεση
2140	774	63,8
1070	333	68,9
656	166	74,7
239	75	68,6
107	44	58,9

Πίνακας 4.2 : Τελικές μετρήσεις απόβλητου.



Σχήμα 4.2 : Απεικόνιση καμπύλης Αρχικής συγκεντρώσεως επί % Αφαίρεσης.

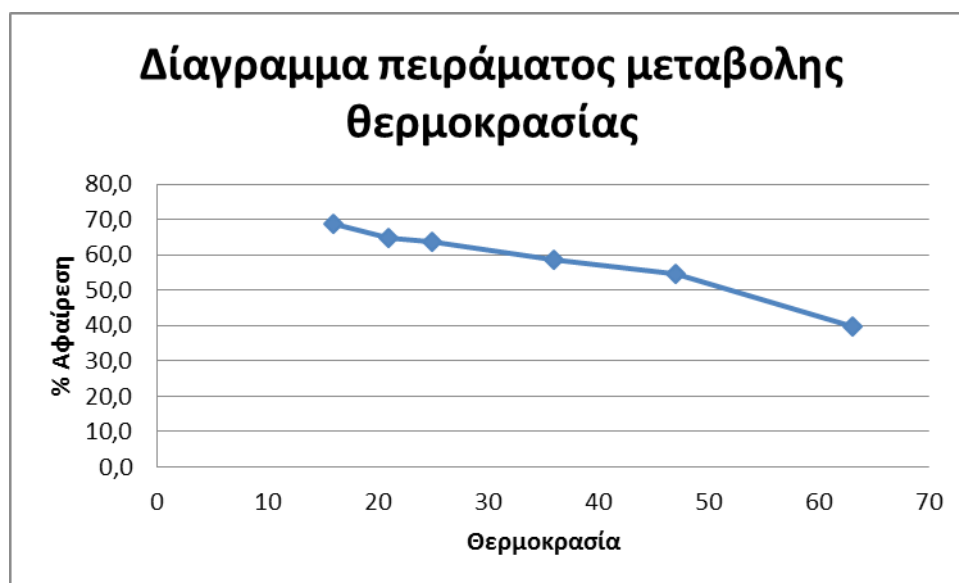
#### 4.4 ΠΕΙΡΑΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Σε αυτό το πείραμα οι τιμές των θερμοκρασιών κυμαίνονται από  $16^{\circ}\text{C}$ ,  $21^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $36^{\circ}\text{C}$ ,  $47^{\circ}\text{C}$  και  $63^{\circ}\text{C}$  για το κάθε ποτήρι ζέσεως περιεκτικότητας  $200\text{ml}$  με τη τιμή του απόβλητου να ισούται με  $100\text{ml}$  και το pH να ισούται με 2. Σε κάθε ποτήρι ζέσεως προσθέτονται  $4\text{gr}$  παλυγορσκήτη στο καθένα και τα αφήνουμε να αναδεύτουν για  $30$  λεπτά. Τέλος, αφού πέρασαν τα απαιτούμενα λεπτά, τα φυγοκεντρήσαμε και διηθήσαμε για να μην έχουν μείνει

καθόλου κόκκοι αργίλου μέσα στα διαλύματα όπου στη συνέχεια βάλαμε το καθαρό πια διάλυμα στις κυψελίδες του φασματοφωτόμετρου Hach DR 3900.

Θερμοκρασία (°C)	Αρχική συγκέντρωση (mg/l Pt-Co)	Τελική συγκέντρωση (mg/l Pt-Co)	% αφαίρεση
16	2140	668	68,8
21,0	2140	752	64,9
25	2140	774	63,8
36	2140	882	58,8
47,0	2140	972	54,6
63,0	2140	1292	39,6

Πίνακας 4.3 : Τελικές μετρήσεις απόβλητου.



Σχήμα 4.3 : Απεικόνιση καμπύλης μεταβολής Θερμοκρασίας επί % Αφαίρεσης.



Εικόνα 4.2 : Ζύγισμα απόβλητου με θερμοκρασία στους 56°C.

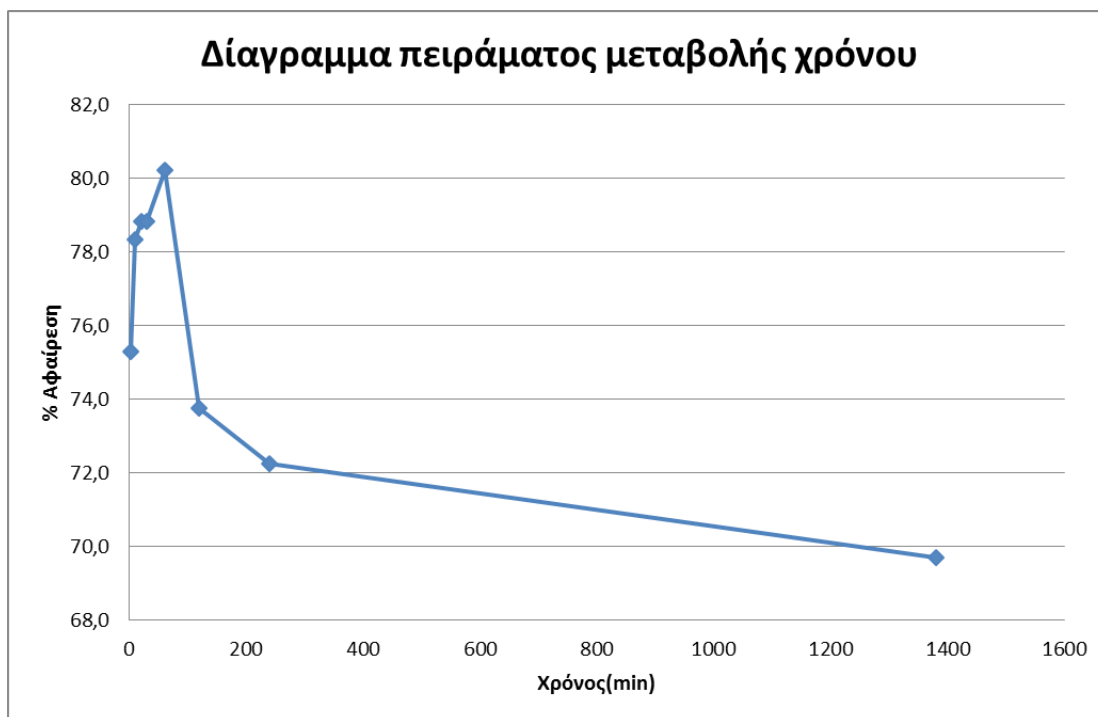


#### 4.5 ΠΕΙΡΑΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Σκοπός αυτού του πειράματος είναι ο προσδιορισμός του χρόνου όπου πραγματοποιείται η μεγαλύτερη προσρόφηση. Σε κάθε ποτήρι ζέσεως με ποσότητα απόβλητου 100ml ρυθμίζεται η τιμή του pH σε όλα τα ποτήρια, ώστε να έχει τη τιμή 2, τη στιγμή που η θερμοκρασία έφτασε στους 25°C στους θερμαινόμενους αναδευτήρες. Οι τιμές χρόνου που δοκιμάστηκαν είναι 2 λεπτά, 10 λεπτά, 20 λεπτά, 30 λεπτά, 60 λεπτά, 120 λεπτά, 240 λεπτά και 1380 λεπτά. Για αυτούς τους χρόνους ρίχνεται σε κάθε ποτήρι, για να αναδευτεί μαζί με το απόβλητο, 4gr παλυγορσκήτη. Έπειτα, όπως πραγματοποιήθηκε και στις προηγούμενες πειραματικές διαδικασίες όταν τελείωσε ο χρόνος ανάδευσης, φυγοκεντρήσαμε και διηθήσαμε το κάθε διάλυμα ώστε να πάρουμε το καθαρό απόβλητο και να μετρήσουμε το χρώμα στο φασματοφωτόμετρο.

Χρόνος (min)	Αρχική συγκέντρωση (mg/L Pt-Co)	Τελική συγκέντρωση (mg/L Pt-Co)	% αφαίρεση
2	2010	497	75,3
10,0	2010	436	78,3
20,0	2010	425	78,8
30,0	2010	425	78,8
60,0	2010	398	80,2
120,0	2010	527	73,8
240,0	2010	558	72,2
1380,0	2010	609	69,7

Πίνακας 4.3 : Τελικές μετρήσεις απόβλητου.



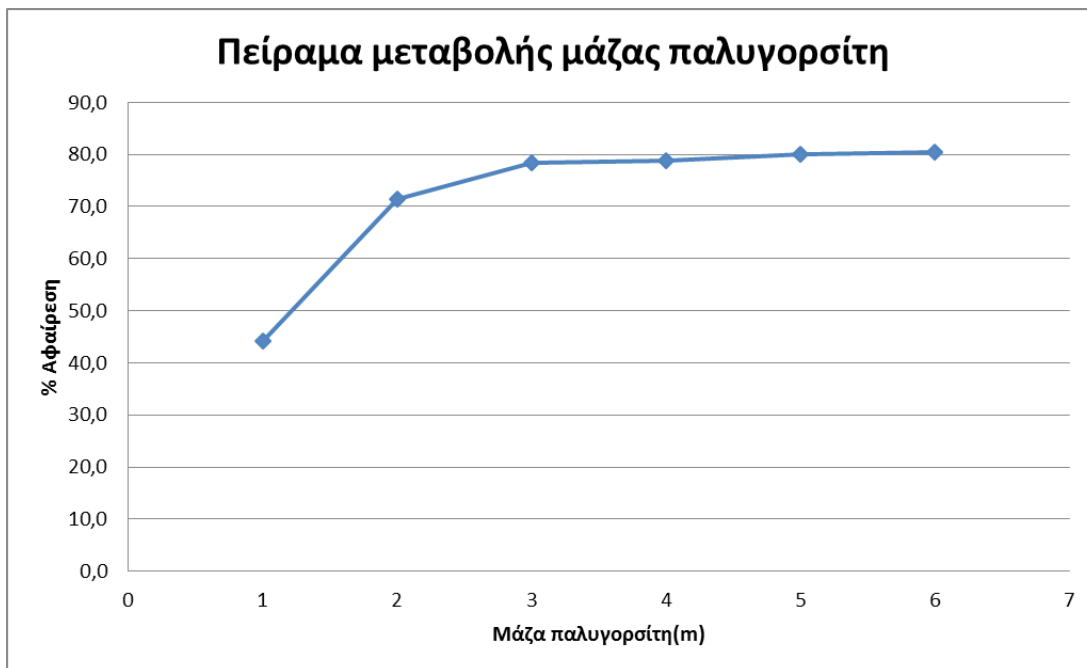
Σχήμα 4.3 : Απεικόνιση μεταβολής Χρόνου επί % Αφαίρεσης.

#### 4.6 ΠΕΙΡΑΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΠΑΛΥΓΟΡΣΚΙΤΗ

Με σκοπό να βρεθεί η ιδανικότερη τιμή συγκέντρωσης παλυγορσκήτη όπου έχουμε τη μέγιστη προσρόφηση δοκιμάσαμε διάφορες τιμές στην ίδια τιμή όγκου. Με ίδια διαδικασία όπως στα προηγούμενα πειράματα ρίξαμε *0,5gr, 1gr, 2gr, 4gr, 8gr* και *16gr* σε *50ml* αποβλήτου με τιμή *ph 2* και θερμοκρασία *25°C*. Όλες οι περιπτώσεις αναδεύτηκαν *30 λεπτά* και έπειτα φυγοκεντρήσαμε και διηθήσαμε το κάθε διάλυμα ώστε να πάρουμε το καθαρό απόβλητο και να μετρήσουμε το χρώμα στο φασματοφωτόμετρο.

Συγκέντρωση παλυγορσκήτη (m)	Αρχική συγκέντρωση (mg/L Pt-Co)	Τελική συγκέντρωση (mg/L Pt-Co)	% Αφαίρεση
<b>0,5</b>	2010	1120	<b>44,3</b>
<b>1</b>	2010	574	<b>71,4</b>
<b>2</b>	2010	433	<b>78,5</b>
<b>4</b>	2010	424	<b>78,9</b>
<b>8</b>	2010	402	<b>80,0</b>
<b>16</b>	2010	392	<b>80,5</b>

Πίνακας 4.3 : Τελικές μετρήσεις απόβλητου.



Σχήμα 4.3 : Απεικόνιση μεταβολής της Μάζας πολυγορσικήτη επί % Αφαίρεσης.



Εικόνα 4.3 : Ζύγισμα πολυγορσικήτη.



## 4.7 ΤΕΛΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Αφού τελειώσαν οι πειραματικές διαδικασίες και βρέθηκαν τις βέλτιστες τιμές που πρέπει να υπάρχουν σε κάθε περίπτωση δημιουργήθηκε ένα ανάλογο διάλυμα με τιμή pH 2, συγκέντρωση παλυγορσκήτη 4gr, η θερμοκρασία στους 19°C και χρόνο ανάδευσης 60 λεπτά.

### 4.7.1 Πείραμα Φαινόλων

Σε φιάλες των 200ml ρίχνεται με τη πιπέτα 2ml απόβλητο **χωρίς** παλυγορσική στη μία και 2ml με παλυγορσική, δηλαδή το τελικό μας διάλυμα, στην άλλη. Ρίξαμε 5ml Hardness buffer στο καθένα και ανακινήσαμε κάθε φιάλη και έπειτα ρίξαμε Phenol reagent powder, ανακινήσαμε πάλι και ρίξαμε 30ml χλωροφόρμιο στη κάθε φιάλη και ανακινήσαμε καλά για 30 δεύτερα. Έπειτα βάλαμε βαμβάκι στο κάτω μέρος της φιάλης για να σταματήσουμε τη ροή καθώς θέλαμε πρώτα να περάσει ο απαραίτητος χρόνος ώστε να έχουμε διαχωρισμό στρωμάτων των δύο μειγμάτων. Τέλος πήραμε 10ml από κάθε φιάλη και μετρήσαμε το δείγμα στο φωτόμετρο.



Εικόνα 4.4 : Διαφοροποίηση των υγρών.

### 4.5.2 Πείραμα COD

Με το προσδιορισμό του COD μαθαίνουμε αν περιέχεται μεγάλη ποσότητα τοξικών ουσιών στο απόβλητο γιατί έτσι σκοτώνονται οι μικροοργανισμοί και δεν μπορούμε να βρούμε το BOD. Στο πείραμα, λοιπόν, για το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο τοποθετήσαμε στα αντιδραστήρια 0,2 ml απόβλητο και ισχυρό οξειδωτικό μέσο (διχρωμικό κάλιο) με τη παρουσία παλυγορσκήτη πρώτα και χωρίς.

### 4.5.3 Πείραμα BOD

Το BOD είναι η παράμετρος που μας επιτρέπει να βρούμε το φορτίο των βιοδιασπώμενων ουσιών δηλαδή να εκτιμήσουμε τις επιπτώσεις που θα έχει το απόβλητο

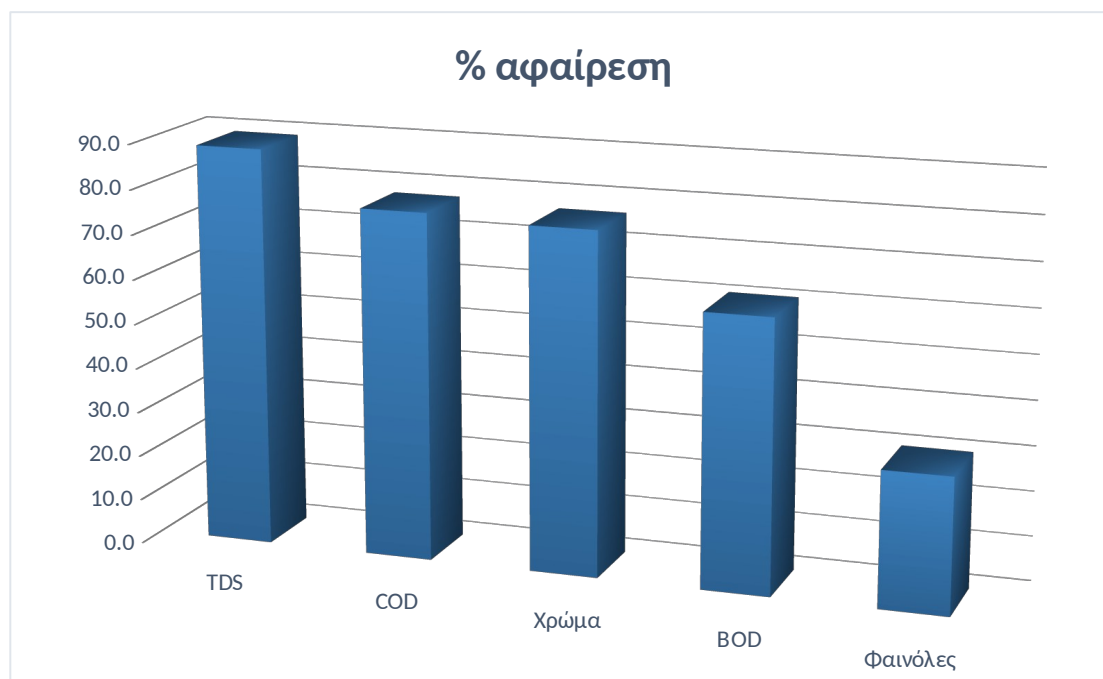
στον υδάτινο αποδέκτη. Βάλαμε το απόβλητο στο μπουκάλι της συσκευής του BOD το οποίο έμεινε σε σταθερή θερμοκρασία στους 20°C για 5 ημέρες όπου πήραμε τη τιμή η οποία μετρείται αυτόματα σύμφωνα με τον ιδανικό νόμο αερίων σε συνθήκες κλειστού χώρου.

#### 4.5.4 Πείραμα Ολικών Στερεών

Θερμαίνουμε μια κεραμική κάψα σε πυριαντήριο στους 550°C για 20 λεπτά και την ζυγίζουμε μετά από 30 λεπτά για να γίνει εξισορρόπηση της θερμοκρασίας. Έπειτα βάλαμε στη κάψα 5ml αποβλήτου και το τοποθετήσαμε στο φούρνο για 2 ώρες στους 98°C ώστε να εξατμιστεί το νερό. Αφού το αφήσαμε για άλλη μία ώρα στους 105°C, ζυγίσαμε τη κάψα.

Παράμετρος	Μονάδα	Χωρίς Παλυγορσκήτη	Με παλυγορσκήτη	% αφαίρεση
TDS	mg/L	13750	1520	88,9
COD	g/L O <sub>2</sub>	26,2	5,91	77,4
Χρώμα	mg/L Pt/Co	2050	485	76,3
BOD	g/L O <sub>3</sub>	9,4	3,7	60,6
Φαινόλες	mg/L	10,6	7,4	30,2
Mg	mg/L	27,8	161,1	-479,5
Na	mg/L	47	36,5	22,3
K	mg/L	300	290	3,3
NH <sub>4</sub> -N	mg/L	7,48	2,13	71,5
Ca	mg/L	222,7	222,7	0,0
NO <sub>3</sub>	mg/L	0	0	
NO <sub>2</sub>	mg/L	0	0	

Πίνακας 4.5 : Τελικές μετρήσεις απόβλητων.



Διάγραμμα 4.1 : Ποσοτικοποίηση των τελικών αποτελεσμάτων.

## ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν ανόργανες και οργανικές ενώσεις οι οποίες είναι συχνά τοξικές για το περιβάλλον και με τη χρήση του παλυγορσκήτη όπως προαναφέρθηκε, προσπαθήσαμε να υπάρξει προσρόφηση αυτών των ουσιών που τα καθιστούν επιβλαβή για το περιβάλλον. Τη μεγαλύτερη προσρόφηση την έχουμε σε  $pH=2$  και παρατηρούμε ότι όσο αυξανόταν η τιμή του  $pH$  τόσο μειωνόταν η αφαίρεση των ιόντων. Οι αλλαγές αραίωσης όγκου με υδατικό διάλυμα δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα το αποτέλεσμα καθώς σε όλες τις μετρήσεις είχαμε στο περίπου 70% προσρόφηση. Η ιδανικότερη θερμοκρασία σύμφωνα με τις μετρήσεις αποδείχθηκαν ότι είναι οι  $16^{\circ}C$  με 68,8% αφαίρεση των ρύπων ενώ στους  $63^{\circ}C$  η αφαίρεση είναι 39,6% δηλαδή σχεδόν η μισή. Ο χρόνος φυγοκέντρησης με τη μέγιστη προσρόφηση είναι η 1 ώρα με όχι τόσο διαφορά στη μισή ώρα ή τα 20 λεπτά. Στη μεταβολή της μάζας προέκυψε το λογικό αποτέλεσμα ότι όσο πιο μεγάλη ποσότητα παλυγορσκήτη εισάγουμε τόσο μεγαλύτερη προσρόφηση έχουμε με 16gr και 80% αφαίρεσης σχεδόν ολικής απομάκρυνσης της ουσίας.

Στα ολικά στερεά έχουμε τη μεγαλύτερη αφαίρεση στη τιμή 88,9% και έπειτα το COD και BOD σε πολύ καλά επίπεδα 77,4% και 60,6% αντίστοιχα. Αυτά τα ποσοστά καθιστούν το απόβλητο μας ασφαλές για το περιβάλλον και παρατηρούμε ότι η χρήση παλυγορσκήτη είναι μια πολύ καλή πρόταση και οικονομική λύση καθώς δεν υπέστη καμία επεξεργασία ως υλικό.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ :

- Awad M., Fengting L., Wang H., APPLICATION OF NATURAL CLAYS AND POLY ALUMINIUM CHLORIDE (PAC) FOR WASTEWATER TREATMENT, *International Journal of Recent Research and Applied Studies*, Vol.15, pp. 287-291, 2013,
- Aytar P., Gedikli S., Sam M., Farizoglu B. and Cabuk A., Sequential treatment of olive oil mill wastewater with adsorption and biological and photo-Fenton oxidation, *Environmental science and pollution research international*, Vol. 20, pp. 3060–3067, 2012,
- Arvanitoyannis IS., Kassaveti A. and Stefanatos S., Olive oil waste treatment: a comparative and critical presentation of methods, advantages and disadvantages, *Critical reviews in food science and nutrition*, Vol. 47, pp. 187–229, 2007,
- Azbar N., Bayram A., Filibeli A., Muezzinoglu A., Sengul F. and Ozer A., A review of waste management options in olive oil production, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 34, pp. 209–247, 2004,
- Annab H., Fiol N., Villaescusa I., Essamri A., A proposal for the sustainable treatment and valorisation of olive mill wastes, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 7, No. 1, pp. 10, 2019,
- Ayoub S., Al-Absi K., Al-Shdiefat S., Al-Majali D. and Hijazean D., Effect of olive mill wastewater land-spreading on soil properties, olive tree performance and oil quality, *Scientia Horticulturae*, Vol. 175, pp. 160-166, 2014,
- Aliakbarian B., Dehghani F., Perego P., The effect of citric acid on the phenolic contents of olive oil, *Food Chemistry*, Vol. 116, No. 3, pp. 617-623, 2009,
- Agapiou A., Papadopoulos N. and Sarris A., Monitoring olive mills waste disposal areas in Crete using very high resolution satellite data, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, Vol.19, No. 2, pp. 285-295, 2016,
- Al-Malah K., Azzam M., Abu-Lail N., Olive mills effluent (OME) wastewater post-treatment using activated clay, *Separation and Purification Technology*, Vol. 20, pp. 225–234, 2000,
- Azzam M., Olive mills wastewater treatment using mixed adsorbents of volcanic tuff, natural clay and charcoal, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 6, No. 2, pp. 2126-2136, 2018,
- Ali I., Asim M., Khan T., Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater, *Journal of Environmental Management*, Vol. 113, pp. 170-183, 2012,
- Azzam M., Al-Gharabli S. and Al-Harahsheh M., Olive mills wastewater treatment using local natural Jordanian clay, *Desalination and Water Treatment*, Vol. 53, No. 3, pp. 627-636, 2015,
- Awad A., Salman H., Hung Y., Olive Oil Waste Treatment, *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*, 2nd Edition, pp. 119-136, 2006,
- Al-Malah K., Azzam M., Abu-Lail N., Olive mills effluent (OME) wastewater post-treatment using activated clay, *Separation and Purification Technology*, Vol. 20, pp. 225-234, 2000,
- Bakhtyar K., Fuad H., Using Natural Clays and Spent Bleaching Clay as Cheap Adsorbent for the Removal of Phenol in Aqueous Media, *International Journal of Basic & Applied Sciences*, Vol. 13, No. 02, 2013,



- Belaqziz M., El-Abbassi A., Khadir Lakhali E., Agrafioti E., Galanakis C., Agronomic application of olive mill wastewater: Effects on maize production and soil properties, *Journal of Environmental Management*, Vol. 171, pp. 158-165, 2016,
- Borja R., Raposo F. and Rincón B., Treatment technologies of liquid and solid wastes from two-phase olive oil mills, *GRASAS Y ACEITES*, Vol. 57, No. 1, pp. 32-46, 2006,
- Boskou D., Olive Oil, Chemistry and Technology, 2nd Edition, pp. 282, 2006,
- Chiavola A., Farabegoli G. and Rolle E., Combined biological and chemical-physical process for olive mill wastewater treatment, *Desalination Water Treat*, Vol. 23, pp. 135–140, 2010,
- Cataldo S., Gianguzza A., Pettignano A., Villaescusa I., Mercury(II) removal from aqueous solution by sorption onto alginate, pectate and polygalacturonate calcium gel beads. A kinetic and speciation based equilibrium study, *Reactive & Functional Polymers*, Vol. 73, pp. 207-217, 2013,
- Clodoveo M., Malaxation: Influence on virgin olive oil quality. Past, present and future e An overview, *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 25, No. 1, pp. 13-23, 2012,
- Caputo A., Scacchia F. and Pelagagge P., Disposal of by-products in olive oil industry: waste-to-energy solutions, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, pp. 197–214, 2003,
- Dutournié P., Jeguirim M., Khiari B., Goddard M-L, Jellali S., Olive Mill Wastewater: From a Pollutant to Green Fuels, Agricultural Water Source, and Bio-Fertilizer. Part 2: Water Recovery, *Water*, Vol. 11, No. 4, pp. 768, 2019,
- Dermeche S., Nadour M., Larroche C., Moulti-Mati F., Michaud P., Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies, *Process Biochemistry*, Vol. 48, pp. 1532-1552, 2013,
- Di Bene C., Pellegrino E., Debolini M., Silvestri N. and Bonari E., Short- and long-term effects of olive mill wastewater land spreading on soil chemical and biological properties, *Soil Biology & Biochemistry*, Vol. 56, pp. 21-30, 2013,
- Davies L., Vilhena A., Novais J and Martins-Dias S., Olive mill wastewater characteristics: modelling and statistical analysis, *Grasas y Aceites*, Vol. 55, pp. 233-241, 2004,
- Djebbar M., Djafri F., Bouchekara M., Djafri A., Adsorption of phenol on natural clay, *Applied Water Science*, Vol. 2, pp. 77-86, 2012,
- El-Maghrabi H., Mikhail S., Removal of Heavy Metals via Adsorption using Natural Clay Material, *Journal of Environment and Earth Science*, Vol.4, No.19, pp. 38-46, 2014,
- Eroglu E., Eroglu I., Gunduz U., Yucel M., Effect of clay pretreatment on photofermentative hydrogen production from olive mill wastewater, *Bioresource Technology*, Vol. 99, pp. 6799–6808, 2008,
- Fiorentino A., Gentili A., Isidori M., Lavorgna M., Parrella A. and Temussi F., Olive oil mill wastewater treatment using a chemical and biological approach, *J Agric Food Chem*, Vol. 52, No. 16, pp.5151–5154, 2004,
- Gomez-de la Cruz F., Gomez-de la Cruz J., Hernandez-Escobedo Q., Cruz-Peragon F., Determination of the drying rate and effective diffusivity coefficients during convective drying of two-phase olive mill waste at rotary dryers drying conditions for their application, *Renewable Energy*, Vol. 153, pp. 900-910, 2020, Elsevier,



- Grafias P., Xekoukoulotakis N., Mantzavinos D. and Diamadopoulos E., Pilot treatment of olive pomace leachate by vertical-flow constructed wetland and electrochemical oxidation: An efficient hybrid process, *Water Research*, Vol. 44, pp. 2773–2780, 2010,
- Gharaibeh S., Rababah A. and Nishino H., Low Cost Treatment and Disposal of Olive Mill Wastewater, *Pollution Solutions*, 2008,
- Gholamzadeh N., Peyravi M., Jahanshahi M., Study on Olive Oil Wastewater Treatment: Nanotechnology Impact, *J. Water Environ. Nanotechnol.*, Vol. 1, pp. 145-161, 2016,
- Heba El-M., Sobolev M., Removal of Heavy Metals via Adsorption using Natural Clay Material, *Journal of Environment and Earth Science*, Vol. 4, No.19, pp. 2224-3216 , 2014,
- Hachicha S., Sellami F., Medhioub K., Achica R., Ammar E., Quality assessment of composts prepared with olive mill wastewater and agricultural wastes , *Waste Manage* , 2007,
- Johnson AC, Martinez-Garcia G. and Edyvean RGJ, Chemical precipitation of aerobically treated olive mill wastewater, *Desalination Water Treat*, Vol. 16, pp. 39–44, 2010,
- Jarboui R., Sellami F., Kharroubi A., Gharsallah N., Ammar E., Olive mill wastewater stabilization in open-air ponds: Impact on clay–sandy soil , *Bioresource Technology* , Vol. 99, pp. 7699–7708 , 2008,
- Jeguirim M., Dutournié P., Zorpas A., Limousy L., Olive Mill Wastewater: From a Pollutant to Green Fuels, Agricultural Water Source and Bio-Fertilizer—Part 1. The Drying Kinetics, *Energies*, Vol. 10, No. 9, pp. 1423, 2017,
- Jeguirim M., Goddard M., Tamosiunas A., Berrich-Betouche M., Azzaz A., Praspaliauskas M., Jellali S., Olive mill wastewater: From a pollutant to green fuels, agricultural water source and bio-fertilizer. *Biofuel Production, Renewable Energy*, Vol. 149, pp. 716-724, 2020,
- Kapellakis J.E., Tsagarakis K.P., Avramaki C., Angelakis A.N., Olive mill wastewater management in river basins: a case study in Greece , *Agric. Water Manage* , Vol.82, pp. 354-370, 2006,
- Karaouzas I., Skoulikidis N., Giannakou U. and Albanis T., Spatial and temporal effects of olive mill wastewaters to stream macroinvertebrates and aquatic ecosystems status, *Water Research*, Vol. 45, No. 19, pp. 6334-6346, 2011,
- Khdair A., Abu-Rumman G., Khdair S., Pollution estimation from olive mills wastewater in Jordan, *Heliyon*, Vol. 5, e02386, 2019,
- Karpouzas D., Rousidou C., Papadopoulou K., Bekris F., Zervakis G., Singh B., Ehaliotis C., Effect of continuous olive mill wastewater applications, in the presence and absence of nitrogen fertilization, on the structure of rhizosphere-soil fungal communities, *FEMS Microbiology Ecology*, Vol. 70, No.3, pp. 388-401, 2009,
- Kurtz M., Peikert B., Brühl C., Dag A., Zipori I., Shoqeir J. and Schaumann G., Effects of Olive Mill Wastewater on Soil Microarthropods and Soil Chemistry in Two Different Cultivation Scenarios in Israel and Palestinian Territories, *Agriculture*, Vol. 5, pp. 857-878, 2015,
- Kumar A., Objective: To learn about processes used in wastewater treatment plant, *Wastewater Treatment Processes*, pp. 51, 2016,
- Kapellakis I., Paranychianakis N., Tsagarakis K. and Angelakis A., Treatment of Olive Mill Wastewater with Constructed Wetlands, *Water*, Vol. 4, pp. 260-271, 2012,



- Liébanes M., Aragón J., Palancar M., Arévalo, G., Jiménez D., Fluidized Bed Drying of 2-Phase Olive Oil Mill By-Products, *Drying Technology*, Vol. 24, pp. 1609-1618, 2006,
- Lozano-García B., Parras-Alcántara L., Toro Carrillo de Albornoz M., Effects of oil mill wastes on surface soil properties, runoff and soil losses in traditional olive groves in southern Spain, *Catena*, Vol. 85, No. 3, pp. 187-193, 2011,
- Laf W., Shannak B., Al-Shannag M., Al-Anber Z., Al-Hasan M., Treatment of olive mill wastewater by combined advanced oxidation and biodegradation, *Separation and Purification Technology*, Vol. 70, pp. 141-146, 2009,
- Mnasri-Ghnimi S., Frini-Srasra N., Removal of heavy metals from aqueous solutions by adsorption using single and mixed pillared clays, *Applied Clay Science*, Vol. 179, 105151, 2019,
- Moraetis D., Stamati F., Nikolaidis N., Kalogerakis N., Olive mill wastewater irrigation of maize: Impacts on soil and groundwater, *Agricultural Water Management*, Vol. 98, No. 7, pp. 1125-1132, 2011,
- Mekki A., Dhouib A., Sayadi S., Changes in microbial and soil properties following amendment with treated and untreated olive mill wastewater, *Microbiological Research*, Vol. 161, pp. 93-101, 2006,
- Marcos von Sperling, *Basic Principles of Wastewater Treatment*, Biological Wastewater Treatment Series, Vol. 2, pp. 125-186, 2007,
- Mousavi S., Alemzadeh I., Vossoughi M., USE OF MODIFIED BENTONITE FOR PHENOLIC ADSORPTION IN TREATMENT OF OLIVE OIL MILL WASTEWATER, *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, Vol. 30, No. B5, pp. 614-619, 2006,
- Ochando Pulido J., Frago R., Macedo A., Duarte E and Martínez Ferez A., A Brief Review on Recent Processes for the Treatment of Olive Mill Effluents, *Products from Olive Tree*, pp. 284- 295, 2016,
- Pelendridou K., Michailides M., Zagklis D., Tekerlekopoulou A., Christakis A. and Vayenas D., Treatment of olive mill wastewater using a coagulation–flocculation process either as a single step or as post-treatment after aerobic biological treatment, *J Chem Technol Biotechnol*, Vol.89, No. 12, pp. 1866-1874, 2014,
- Paraskeva P. and Diamantopoulos E, Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review, *J Chem Technol Biotechnol*, Vol. 81, No. 9, pp.1475–1485, 2006,
- Pavlidou A., Anastasopoulou E., Dassenakis M., Hatzianestis I., Paraskevopoulou V., Simboura N., Rouselaki E and Drakopoulou P., Effects of olive oil wastes on river basins and an oligotrophic coastal marine ecosystem: A case study in Greece, *Science of the Total Environment*, Vol. 497-498, pp. 38-49, 2014,
- Quach-Cu J., Herrera-Lynch B., Marciniak C., Adams S., Simmerman A. and Reinke R., The Effect of Primary, Secondary, and Tertiary Wastewater Treatment Processes on Antibiotic Resistance Gene (ARG) Concentrations in Solid and Dissolved Wastewater Fractions, *Water*, Vol. 10, pp. 37, 2018,
- Rajhi H., Mnif I., Abichou M., Rhouma A., Assessment and valorization of treated and non-treated olive mill wastewater (OMW) in the dry region, *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, Vol. 7, pp. 199-210, 2018,



Sygouni V., Pantziaros A., Iakovides I., Sfetsa E., Bogdou P., Christoforou E., Paraskeva C., Treatment of two-phase olive mill wastewater and recovery of phenolic compounds, *Membranes*, Vol. 2, pp. 27, 2019,  
Tsagaraki E., Lazarides H. and Petrotos K., Olive Mill Wastewater Treatment, Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry, pp. 133-157, 2006,  
Tzathas K., Chrysagi E., Lyberatos G., Vlyssides A., Vlysidis A., Pretreatment of olive mill wastes for the extraction of residual oil and high added value compounds, *Waste Biomass Valoris*, Vol. 11, pp. 4025-4034, 2020,  
Yalcuk A., Pakdil N., Turan S., Performance evaluation on the treatment of olive mill waste water in vertical subsurface flow constructed wetlands, *Desalination*, Vol. 262, No. 1-3, pp. 209-214, 2010,  
Zbakh H., El Abbassi A., Potential use of olive mill wastewater in the preparation of functional beverages: A review, *JOURNAL OF FUNCTIONAL FOODS*, Vol. 4, pp. 53-65, 2012

#### ΕΛΛΗΝΙΚΗ :

Βλυσίδης Α., ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ & ΝΕΡΩΝ, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Σχολή Χημικών Μηχανικών, 2007, Διαλέξεις,  
Γιαννιώτης Σ., Ενότητα 5: Διαχωρισμός με Μεμβράνες, 2ΔΩ, Βασικές Διεργασίες Μηχανικής Τροφίμων, Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής Του Ανθρώπου, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Διαλέξεις,  
Δήμου Χ., Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων- Μέρος Β, Διαχείριση και Αξιοποίηση Υποπροϊόντων Βιομηχανιών Τροφίμων, 4-5 η Διάλεξη, Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής, Πανεπιστήμιο Αιγαίου,  
Κωνσταντινίδης Κ., Μαντούσης Ι. , Ανάπτυξη μήτρας περιβαλλοντικών επιπτώσεων λειτουργίας ελαιοτριβείων, σελ. 103, 2013,  
ΚΡΟΜΜΥΔΑΣ Δ., ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΑΠΟ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΜΕ ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, 2005,  
Μπούρνια Α., ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΑΠΟ ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ, Διδακτορική Διατριβή, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2013,  
Παρανυχιανάκης Ν., Κοτσελίδου Ο., Βαρδάκου Ε., Αγγελάκης Α., ΟΔΗΓΙΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΕΚΡΟΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΔΗΜΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ ΕΝΩΣΗ ΔΗΜΟΤΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ, 2009,  
Περδικάτης Β., Μανούσογλου Ε., Σπάρταλη Ν., Μωραΐτης Δ. και Πεντάρη Δ., BEARING REACTION OF OLIVE OIL MILL WASTEWATER IN VARIOUS LITHOLOGY ROCKS. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Vol. 36, pp. 236-245, 2004,  
Σαρηγιάννης Δ., Διαχείριση υγρών αποβλήτων – ενεργή ιλύς, Κεφάλαιο 7, Περιβαλλοντική μηχανική, 2015, Διαλέξεις,





Φωτεινόπουλος Ι., Νταρακάς Ε., ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ-Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ, ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΑ, 27, σελ. 15-28, 2018, Φουντουκίδης Ε., Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD), Περιβαλλοντική Χημεία, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα, Χατζηπαυλίδης Ι., ΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ ΕΙΝΑΙ ΑΠΟΒΛΗΤΑ; , ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ, ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, Διαλέξεις.

#### ΔΙΑΔΥΚΤΙΑΚΗ :

Πηγή 1 : <https://greenagenda.gr/%CE%AD%CF%81%CF%87%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CE%BA%CF%85%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B2%CE%BB%CE%AE/>

Πηγή 2 : <http://www.agroenergy.gr/content/%CE%B1%CE%BE%CE%B9%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%AF%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CE%BC%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B4%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B7%CF%82>

Πηγή 3 : <https://perivallonkaienergeia.wordpress.com/2018/05/11/%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%AC-%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B2%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%B1-%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B5%CE%AF%CF%89%CE%BD-2/>

Πηγή 4 : <https://tserkezidisrecycle.gr/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7-%CE%BB%CF%85%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B5%CE%AF%CE%BF%CF%85/>

Πηγή 5 : <https://www.enve-lab.eu/index.php/classes/water-resource-and-wastewater-management/>

Πηγή 6 : <https://www.samcotech.com/anaerobic-wastewater-treatment-how-it-works/>

Πηγή 7 : <https://synderfiltration.com/learning-center/articles/introduction-to-membranes/pressure-driven-membrane-filtration-processes/>



Πηγή 8 : [https://en.wikipedia.org/wiki/Dissolved\\_air\\_flotation](https://en.wikipedia.org/wiki/Dissolved_air_flotation)

Πηγή 9 : [https://en.wikipedia.org/wiki/Microfiltration#Water\\_treatment](https://en.wikipedia.org/wiki/Microfiltration#Water_treatment)

Πηγή 10 : <https://www.wwdmag.com/sludge-treatment/evaporation-wastewater-treatment-alternative>

Πηγή 11 : <https://agroil.gr/%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%BF-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CF%83%CE%B9%CE%B3%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%83/>

Πηγή 12 : <https://slideplayer.gr/slide/2307551/>