

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α**

**Μέθοδοι επεξεργασίας και αξιοποίησης αποβλήτων  
ελαιοτριβείων.**



**Γ ι α ν ν ό π ο υ λ ο ς Ι ω ά ν ν η ς**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ**

**ΣΑΚΚΑΣ ΝΙΚΟΣ**

**Η Ρ Α Κ Λ Ε Ι Ο 2 0 1 6**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της Μεσογείου, λόγω της άκριτης διάθεσης τους. Είναι χαρακτηριστικό ότι, περίπου το 95% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιόλαδου παράγεται από μικρές, οικογενειακές επιχειρήσεις Μεσογειακών χωρών. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η βιβλιογραφική μελέτη και ανασκόπηση της βιοτεχνολογικής αξιοποίησης και των μεθόδων επεξεργασίας των αποβλήτων των ελαιοτριβείων.

Κατά την κατεργασία του ελαιοκάρπου στα ελαιουργεία, παράλληλα με το ελαιόλαδο παράγεται και μία σειρά παραπροϊόντων. Αυτά είναι ο ελαιοπυρήνας, που αποτελείται από τα αλεσμένα στερεά συστατικά του καρπού (κυρίως του κουκουτσιού), τα ελαιόφυλλα που έχουν μεταφερθεί με τον ελαιοκαρπο και μια σημαντική σε όγκο και οργανικό φορτίο ποσότητα υγρών αποβλήτων, που είναι γνωστά ως "λιοζούμι", "κατσίγαρος" ή "μούργα".

Ο κατσίγαρος συνίσταται από το υδατικό κλάσμα του χυμού του ελαιοκάρπου και από το νερό που χρησιμοποιείται στις διάφορες φάσεις παραγωγής του λαδιού στο ελαιουργείο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα υδατικό φυτικό εκχύλισμα, που περιέχει μία σειρά από ουσίες όπως σάκχαρα, αζωτούχες ενώσεις, οργανικά οξέα, πολυαλκοόλες, πολυφαινόλες και υπολείμματα ελαίου. Η άμεση επίπτωση του κατσίγαρου στο περιβάλλον είναι η αισθητική υποβάθμιση που προκαλεί και η οποία οφείλεται στην έντονη οσμή του και στο σκούρο χρώμα του. Παράλληλα, εξαιτίας του υψηλού οργανικού φορτίου που περιέχει, είναι πιθανόν να δημιουργήσει ευτροφικά φαινόμενα σε περιπτώσεις που καταλήγει σε αποδέκτες με μικρή ανακυκλοφορία νερών (κλειστούς θαλάσσιους κόλπους, λίμνες κ.τ.λ). Από τα συστατικά που

περιέχονται στον κασίγαρο, οι πολυφαινόλες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι από τη μία πλευρά προσδίδουν στα απόβλητα τοξικές ιδιότητες έναντι των φυτών και αποδομούνται με βραδύ σχετικά ρυθμό από εξειδικευμένες ομάδες μικροοργανισμών, ενώ από την άλλη είναι υπεύθυνες για τη συντήρηση της ποιότητας του λαδιού στο χρόνο (χαμηλή οξύτητα) ως φυσικό συντηρητικό. Επειδή η παραγωγή του ελαιολάδου είναι μία φυσική διαδικασία, πρέπει να σημειωθεί ότι ο κασίγαρος δεν περιέχει άλλες ουσίες που είναι ιδιαίτερα τοξικές, όπως τα βαρέα μέταλλα και οι συνθετικές οργανικές ενώσεις.

Το υψηλό οργανικό φορτίο του κασίγαρου σε συνάρτηση με την παρουσία των πολυφαινολών δεν επιτρέπει την απευθείας διάθεση του στο περιβάλλον, αλλά καθιστά αναγκαία την πρότερη επεξεργασία του. Για την επεξεργασία και διάθεση του κασίγαρου έχουν δοκιμαστεί διάφορες μέθοδοι σε εργαστηριακή και πραγματική κλίμακα. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί μία ολοκληρωμένη λύση, αλλά έχουν εφαρμοστεί διάφορες τεχνικές κατά περίπτωση που παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα τεχνικής ή οικονομικής φύσεως και δεν έχουν επιλύσει ικανοποιητικά το πρόβλημα.

Συγκεκριμένα, έχει εφαρμοστεί η διάθεση του κασίγαρου σε λίμνες εξάτμισης (Κρήτη), σε λάκκους (Χίος) ή στο έδαφος (Κύπρος), μέθοδοι που απαιτούν μεγάλες εκτάσεις για τη διάθεση των αποβλήτων και συχνά δημιουργούν αισθητικά προβλήματα εξαιτίας της -πολλές φορές- κακής διαστασιολόγησης και κατασκευής των συστημάτων αυτών. Έχει εφαρμοστεί η μετατροπή των ελαιουργείων από τριφασικά σε διφασικά (Ισπανία), διαδικασία που μειώνει σημαντικά τον όγκο του απαιτούμενου νερού στο ελαιουργείο και κατά συνέπεια τον όγκο των παραγόμενων υγρών αποβλήτων, αλλά μεταθέτει την αντιμετώπιση του προβλήματος σε ένα μίγμα πυρήνα-κασίγαρου. Παράλληλα, σε πιλοτική κλίμακα έχει δοκιμαστεί η παραγωγή

υγρού εδαφοβελτιωτικού (Καλαμάτα) ή κομπόστας από τον κατσίγαρο (Κρήτη, Καλαμάτα), διαδικασία που προϋποθέτει την ύπαρξη επαρκούς αγοράς για τη διάθεση του παραγόμενου υλικού. Έχουν εφαρμοστεί η χημική οξείδωση (Κρήτη) και η αναερόβια χώνευση του κατσίγαρου (Κρήτη), τεχνικές με υψηλό λειτουργικό και κατασκευαστικό κόστος, αντίστοιχα. Έχει δοκιμαστεί επίσης, η συνεπεξεργασία του κατσίγαρου με αστικά λύματα σε τεχνητούς υγρότοπους ή σε μονάδες ενεργού ιλύος (Κρήτη), τεχνική που προαπαιτεί σημαντική αραίωση του κατσίγαρου. Τέλος, έχει δοκιμαστεί ο διαχωρισμός του κατσίγαρου σε κλάσματα με τη βοήθεια φυσικής καθίζησης (Σάμος), τεχνική που απαιτεί τον συνδυασμό της με κάποια από τις προαναφερθείσες μεθόδους για να δώσει ικανοποιητικό βαθμό καθαρισμού των αποβλήτων.

Τα τελευταία χρόνια έχει επιτευχθεί σε εργαστηριακή κλίμακα η ανάκτηση των πολυφαινολών από τον κατσίγαρο με χρήση μεμβρανών, ώστε να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία αρωμάτων και φαρμάκων. Η εκμετάλλευση των αποβλήτων με την παραπάνω μέθοδο φαίνεται ότι είναι τεχνικά δυνατή, αλλά είναι νωρίς για να είναι εφικτή η εφαρμογή της σε μεγάλη κλίμακα.

## Contents

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Η ΕΛΙΑ ΚΑΙ Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ .....	6
1.1. Παραγωγή Ελιάς .....	6
1.2. Επεξεργασία Ελιάς .....	11
1.2.1 Σύγχρονα Φυγοκεντρικά συστήματα .....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΑ.....	23
2.1 Απόβλητα Ελαιοτριβείων.....	23
2.2 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων (ΥΑΕ).....	30
2.3 Μέθοδοι Διαχείρισης των Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείων.....	31
2.3.1 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....	33
2.3.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....	39
2.3.3 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	41
2.4 Καθορισμός δεικτών για την αξιολόγηση τεχνολογιών επεξεργασίας ΥΑΕ.....	44
Βιβλιογραφία.....	51

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Η ΕΛΙΑ ΚΑΙ Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ

## 1.1. Παραγωγή Ελιάς

Η ιστορία της ελιάς είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ιστορία της ανθρωπότητας, ενώ η καλλιέργεια της ελιάς στη λεκάνη της Μεσογείου ανάγεται στους αρχαίους χρόνους. Σύμφωνα με την ελληνική μυθολογία, προστάτης των ιερών ελαιοδέντρων («Μορίες ελαίες») ήταν αρχικά ο ίδιος ο Δίας, ο «Μόριος Ζεύς». Η θεά Αθηνά πρόσφερε στην πόλη της Αθήνας ως δώρο τη φύτευση του πρώτου δένδρου ελιάς στην Ακρόπολη. Η ίδια θεά δίδαξε στους ανθρώπους την καλλιέργεια του δέντρου και την επεξεργασία του καρπού, και έγινε προστάτης της ελαιοκαλλιέργειας (Loumou & Giourga, 2003).

Πρόσφατα αρχαιολογικά ευρήματα στη βόρεια ακτή του Ισραήλ παρείχαν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την γνώση και την παραγωγή του ελαιόλαδου από τους αρχαίους κατοίκους της Μεσογείου. Σύμφωνα με την έρευνα οι νεολιθικοί κάτοικοι της περιοχής αυτής ξεκίνησαν τη χρήση της ελιάς πριν από 7.000 έως 8.000 χρόνια (Azbar et al. 2004).

Υπάρχουν επίσης, στοιχεία για καλλιέργεια ελιάς στην Ελλάδα που χρονολογούνται πριν από 3.500 χρόνια. Τα στοιχεία δείχνουν επίσης, ότι οι Έλληνες χρησιμοποιούσαν το ελαιόλαδο ως μέσο συναλλαγής κατά τη διάρκεια της Μινωικής Εποχής. Η καλλιέργεια της ελιάς εξαπλώθηκε γρήγορα σε ολόκληρο τον ελληνικό κόσμο, καθώς και σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου. Οι εκτάσεις που καλλιεργούνταν με ελιές αυξήθηκαν σταθερά στην Ελλάδα και, με την υποστήριξη των Ρωμαίων, σε ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου. Με την πάροδο του χρόνου, οι απαιτήσεις της αγοράς και η

σημασία της ιδιοκτησίας γης έκαναν την ελιά κυρίαρχη καλλιέργεια στην περιοχή της Μεσογείου (Loumou & Giourga, 2003).

Το δέντρο της ελιάς (*Olea europaea*) είναι ένα αειθαλές δέντρο που φτάνει κατά μέσο όρο 3 έως 5 μέτρα σε ύψος. Σε γενικές γραμμές, η καλλιέργεια της ελιάς απαιτεί χρόνο, καθώς η πρώτη σημαντική συγκομιδή αναμένεται μετά από 8 έως 10 έτη από την φύτευση των δενδρυλλίων. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες ποικιλίες που δίνουν εξαιρετική παραγωγή ελιάς σε 4 με 6 χρόνια. Το δέντρο φέρει μικρά λευκά λουλούδια τον Μάιο και έχει χαρακτηριστικά μικρά φύλλα με ανοιχτό πράσινο χρώμα στο πάνω μέρος τους και ασημί στο κάτω. Ο καρπός της ελιάς ξεκινά την ωρίμανση τον Οκτώβριο, οπότε και μπορεί να συλλεχθεί για βρώσιμη ελιά. Στη συνέχεια το χρώμα του καρπού της ελιάς σκουραίνει μέχρι το Δεκέμβριο και συλλέγεται για παραγωγή λαδιού (Azbar et al. 2004).

Η απόδοση της ελιάς επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από έναν διετή κύκλο: ένα χρόνο φύεται και τον επόμενο δίνει περισσότερους καρπούς. Ως εκ τούτου, μεγαλύτερη ποσότητα ελαιόλαδου παράγεται κάθε δύο χρόνια. Αυτή η παρατυπία της συγκομιδής της ελιάς οφείλεται κυρίως σε βιολογικούς παράγοντες, και σε μικρότερο βαθμό στις κλιματολογικές συνθήκες, ειδικά στις μεσογειακές χώρες (Azbar et al. 2004).

Σήμερα υπάρχουν στη λεκάνη της Μεσογείου πολλές ποικιλίες της ελιάς και η περιοχή αυτή από μόνη της παράγει το 95% και καταναλώνει το 87% των ελαιόλαδων του κόσμου. Συγκεκριμένα, οι μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παράγουν και καταναλώνουν το 70% των ελαιόλαδων του κόσμου (Loumou & Giourga, 2003).

Οι κυριότερες περιοχές παραγωγής ελαιόλαδου στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι η Ισπανία (2,4 εκατομμύρια εκτάρια), ακολουθούμενη από την Ιταλία (1,4 εκατομμύρια εκτάρια), την Ελλάδα (1 εκατομμύριο εκτάρια) και την Πορτογαλία (0,5 εκατομμύριο

εκτάρια). Η Γαλλία είναι μια πολύ μικρότερη ελαιοπαραγωγός χώρα, με 40.000 εκτάρια (Beaufoy, 2001).

Ωστόσο, οι στατιστικές για την ελαιοπαραγωγή ποικίλλουν σημαντικά, ανάλογα με την πηγή και τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα τα δεδομένα από τις κύριες χώρες παραγωγής να είναι συχνά αντιφατικά. Τα στοιχεία του Πίνακα 1.1 σχετικά με την έκταση των ελαιώνων και τον αριθμό των παραγωγών, προέρχονται από μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση μετά την προσωρινή μεταρρύθμιση του καθεστώτος για την ελιά το 1998. Η έρευνα αυτή δείχνει μια σημαντικά μεγαλύτερη ελαιοκομική έκταση και αριθμό παραγωγών στα τέσσερα κυριότερα κράτη μέλη παραγωγής από ό,τι προηγούμενες στατιστικές έρευνες (Beaufoy, 2001).



Χώρα	Έκταση ελαιώνων (ha)	Παραγωγή λαδιού (tn)	Παραγωγοί	Ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής ελαιόλαδου
<b>Ισπανία</b>	2.423.841	535.000	396.899	28%
<b>Ιταλία</b>	1.430.589	467.000	998.219	24%
<b>Ελλάδα</b>	1.025.748	307.000	780.609	16%
<b>Πορτογαλία</b>	529.436	35.000	117.000	2%
<b>Γαλλία</b>	39.421	2.000	19.271	<0.1%
Ευρωπαϊκή Ένωση	<b>5.449.035</b>	<b>1.346.000</b>	<b>2.311.998</b>	<b>70%</b>

**Πίνακας 1.1** Γενικά στοιχεία για την έκταση των ελαιώνων και την παραγωγή ελιάς στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Πηγή: Beaufoy, 2001).

Οι περισσότεροι από τους νέους ελαιώνες χρησιμοποιούν νέες μεθόδους καλλιέργειας της ελιάς σε αρδευόμενες εκτάσεις και το παραδοσιακό αγροτικό σύστημα έχει αλλάξει σε ημιεντατικό και εντατικό σύστημα (Loumou & Giourga, 2003).

Τα κυριότερα συστήματα καλλιέργειας της ελιάς που χρησιμοποιούνται λιγότερο ή περισσότερο σήμερα, είναι τα εξής (Βέμμος, 2009):

*Παραδοσιακοί ελαιώνες:* η πυκνότητα φύτευσης είναι 5 – 12 δένδρα/στρέμμα, χαρακτηρίζονται από την απουσία συστηματικής καλλιέργειας και οι αποδόσεις είναι πολύ χαμηλές (20 – 150 kγαρπών/στρέμμα).

*Εντατικοί παραδοσιακοί ελαιώνες:* η πυκνότητα φύτευσης είναι 8 – 25 δένδρα/στρέμμα, χαρακτηρίζονται από τη χρήση των ανόργανων χημικών λιπασμάτων και της μερικής άρδευσης ενώ οι αποδόσεις κυμαίνονται στα 150 – 400 kg καρπών/στρέμμα.

*Σύγχρονοι εντατικοί ελαιώνες ή ελαιώνες πυκνής φύτευσης:* η πυκνότητα φύτευσης είναι 20 – 50 δένδρα/στρέμμα με αποστάσεις φύτευσης 3x6, 4x5, 5x7, 6x6, 6x7, 6x8 μέτρα. Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από τα σύγχρονα σχήματα μόρφωσης των δένδρων (παλμέττα, θαμνώδες, χαμηλό κύπελλο, πυραμιδοειδές ή κωνικό) και τη δυνατότητα χρήσης δονητών για τη διευκόλυνση της συλλογής των καρπών. Επίσης γίνεται αυξημένη χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και δίνουν πολύ υψηλές αποδόσεις 400 – 1200 kg καρπών/στρέμμα.

*Σύστημα υπερπυκνής φύτευσης ή υπερεντατικών ελαιώνων:* το σύστημα αυτό προστέθηκε τα τελευταία 20 χρόνια περίπου. Οι αποστάσεις φύτευσης είναι 1-1,5 x 3-5 μέτρα που επιτρέπουν τη φύτευση 140 – 250 δένδρων/στρέμμα και οι αποδόσεις φθάνουν τα 800 – 1300 kg καρπών/στρέμμα.

Η διαμόρφωση της κόμης γίνεται κύρια σε κωνικά ή ατρακτοειδή σχήματα (κυπαρισσάκι) ή σε παλμέττα. Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητα μηχανικής συγκομιδής και εκμηχάνισης του κλαδέματος.

## 1.2. Επεξεργασία Ελιάς

Μετά τη συγκομιδή, ο καρπός μεταφέρεται στο ελαιοτριβείο όπου ξεκινούν τα στάδια επεξεργασίας, που αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι συνθήκες καθαριότητας του ελαιοτριβείου, καθώς και οι θερμοκρασίες που είναι καθοριστικές για την ποιότητα και την διατήρηση των θρεπτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του ελαιολάδου. Παράλληλα, οι δεξαμενές πρέπει να είναι ανοξείδωτες και να είναι εγκατεστημένες σε σκιερό χώρο, προκειμένου το ελαιόλαδο να μπορεί να φυλάσσεται ασφαλώς για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να εκτραπεί ποιοτικά.

Το πρώτο στάδιο μετά την συλλογή των ελιών είναι το πλύσιμο και στη συνέχεια οι ελιές συνθλίβονται, συνήθως μαζί με τον πυρήνα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει και με την χρήση τροχού λείανσης – κάτι που παλαιότερα γινόταν με την βοήθεια ζώων και σήμερα γίνεται μηχανικά. Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις, η διαδικασία αυτή γίνεται με σφυρόμυλους, που καθοδηγούνται από έναν ισχυρό κινητήρα. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που επιλέγεται, μετά από αυτό το στάδιο παραλαμβάνεται μια πάστα, η οποία στη συνέχεια ζυμώνεται (μάλαξη). Αυτό το στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας γίνεται «εν ψυχρώ», δηλαδή σε θερμοκρασίες που δεν υπερβαίνουν τους 28 °C, ή με ελαφρά θέρμανση, αλλά και πάλι η θερμοκρασία δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 30 °C. Στη συνέχεια, ακολουθεί το καθ'αυτό στάδιο της παραλαβής, η οποία συνίσταται σε διαχωρισμό του λαδιού από το νερό και τα στερεά κατάλοιπα. Σήμερα δύο διαφορετικές διαδικασίες εξαγωγής ελαιόλαδου χρησιμοποιούνται ευρέως οι οποίες βασίζονται στη φυγοκέντρωση. Τα φυγοκεντρικά συστήματα, διακρίνονται σε τριών και δύο φάσεων, ανάλογα με τα προϊόντα που δίνουν στο τέλος της επεξεργασίας. Επίσης υπάρχει το σύστημα Sinolea ενώ εφαρμόζεται και η

«παραδοσιακή διαδικασία», κατά την οποία το ελαιόλαδο εξάγεται με πίεση σε υδραυλικό πιεστήριο. Τα συστήματα αυτά, διαφέρουν σημαντικά ως προς το ποσό των υγρών αποβλήτων και των άλλων παραπροϊόντων που παράγουν.

Πιο συγκεκριμένα, η επεξεργασία του ελαιολάδου περιλαμβάνει σήμερα τα εξής βασικά στάδια:

1. **Παραλαβή του καρπού:** Μετά τη συγκομιδή οι ελιές παραδίδονται στις μεταποιητικές μονάδες για επεξεργασία το ταχύτερο δυνατόν. Η μεταφορά τους γίνεται σε πλαστικά τελάρα (κλούβες) με οπές αερισμού ή πλαστικούς σάκους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μεταφορά με πλαστικά τελάρα (κλούβες) είναι η καλύτερη, γιατί ο καρπός μπορεί και «αναπνέει και δεν ανάβει». Στην μεταποιητική μονάδα, δηλαδή στο ελαιουργείο, πρέπει να κατεργάζεται αμέσως. Σε περίπτωση που χρειάζεται να αποθηκευτεί ο καρπός θα πρέπει να είναι για πολύ μικρό χρονικό διάστημα σε χώρο ξηρό και με καλό αερισμό.
2. **Πλύσιμο:** Οι ελιές τοποθετούνται αρχικά σε χοάνη παραλαβής ελαιοκάρπου και στη συνέχεια με μεταφορική ταινία οδηγούνται στο αποφυλλωτήριο, όπου απομακρύνονται τα φύλλα και άλλα ξένα υλικά. Ακολουθεί πλύσιμο για την απομάκρυνση ξένων υλών (σκόνη, χώμα, κ.λ.π.). Το νερό μπορεί να ανακυκλωθεί μετά από κατακρήμνιση ή διήθηση των στερεών συστατικών του. Απαιτούνται περίπου 100-120 lt νερού για την πλύση 1000 kg ελαιοκάρπου. Μετά το πλύσιμο ακολουθεί η άλεση του καρπού σε ελαιόμυλο ή σπαστήρα.
3. **Σπάσιμο-άλεση ελαιοκάρπου:** Στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία η άλεση του καρπού γίνεται με κυλινδρικές μυλόπετρες. Στις σύγχρονες μονάδες χρησιμοποιούνται

μεταλλικοί μύλοι, σφυρόμυλοι και σπαστήρες με οδοντωτούς δίσκους. Εάν οι ελιές που υποβάλλονται σε επεξεργασία είναι παγωμένες ή πολύ ξηρές, προστίθεται μια μικρή ποσότητα νερού (100-150 lt ανά 1000 kg καρπού).

4. **Μάλαξη:** Μετά την άλεση, η ελαιοζύμη αναμιγνύεται στο μαλακτήρα μετά την προσθήκη ζεστού νερού. Η μάλαξη αποτελεί βασικό στάδιο της επεξεργασίας και συντελεί στην συνένωση των μικρών ελαιοσταγονιδίων με μεγαλύτερες σταγόνες λαδιού. Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας η ελαιοζύμη θερμαίνεται στους 28-30°C. Στο μαλακτήρα προστίθεται νερό μέχρι και 100 % της ποσότητας της ελαιοζύμης, πριν την εξαγωγή του ελαιόλαδου σε διφασικό ή τριφασικό φυγοκεντρικό σύστημα.

5. **Παραλαβή του ελαιόλαδου:** Η παραδοσιακή μέθοδος της πίεσης και η διαδικασία των τριών φάσεων παράγουν το παρθένο ελαιόλαδο και δύο τύπους αποβλήτων: τα υγρά απόβλητα (κατσίγαρος) και τα στερεά απόβλητα (ελαιοπυρήνας).

A. **Παραδοσιακή Μέθοδος Πίεσης:** Η παραδοσιακή μέθοδος είναι μια ασυνεχής διαδικασία (batch type process) που διαφοροποιείται σε δύο φάσεις με την πίεση των αλεσμένων καρπών. Η υγρή φάση (μίγμα νερού/λαδιού) διαχωρίζεται αργότερα προκειμένου να ληφθεί το ελαιόλαδο. Υπολογίζεται ότι από 1.000 kg καρπού παράγονται περίπου 350 kg ελαιοπυρήνα (περιεκτικότητα σε υγρασία 25 %) και περίπου 450 kg υγρά απόβλητα (απόνερα). Εντούτοις, αν και είναι πιο οικολογική, η τεχνική αυτή είναι ασυνεχής, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα για τη σύγχρονη βιομηχανία.

- B. *Χρήση Υδραυλικής Πρέσσας:* Κατά την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένα υδραυλικό σύστημα, το οποίο λειτουργεί με ασυνεχή διαδικασία. Η ζύμη της ελιάς που έχει προκύψει από την μάλαξη, τοποθετείται σε στρώμα πάχους περίπου 2 cm σε δίσκους με συνθετικές ίνες που στοιβάζονται γύρω από έναν κεντρικό άξονα και οι οποίοι είναι τοποθετημένα σε ένα μικρό τρόλεϊ. Όλη αυτή η κατασκευή, τοποθετείται στο έμβολο της πρέσσας, που εξασκεί πίεση στον πολτό της ελιάς, της τάξης των 100 kg/cm<sup>2</sup>. Η υγρή φάση ρέει σε μια δεξαμενή. Τα υπολείμματα (ή στερεά απόβλητα) παραμένουν στους δίσκους.
- C. *Φυγοκεντρικά Συστήματα:* Κατά την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται Φυγοκεντρικό σύστημα που λειτουργεί με συνεχή διαδικασία. Η ζύμη τοποθετείται σε μια δεξαμενή, μέσα στην οποία περιστρέφεται ελικοειδής άξονας ή ένας ατέρμονας κοχλίας. Η ζύμη, στη συνέχεια προωθείται με μια αντλία σε μια φυγόκεντρο μηχανή.
- i. **ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ (ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗ) ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.** Είναι μια συνεχής διαδικασία (continuous process) που έχει αντικαταστήσει την παραδοσιακή μέθοδο. Χρονολογείται από τη δεκαετία του 1970-1980. Οι αλεσμένες ελιές τοποθετούνται σε ένα τριφασικό φυγοκεντρικό διαχωριστήρα (decanter) όπου τα διαφορετικά μέρη (ελαιόλαδο, απόνερα, ελαιοπυρήνας) διαχωρίζονται με την επίδραση της φυγοκέντρου δυνάμεως. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι οι μεγάλες ποσότητες ύδατος που απαιτούνται και συνεπώς η παραγωγή σημαντικού όγκου υγρών αποβλήτων που προκαλούν ρύπανση. Υπολογίζεται ότι από 1.000 kg καρπό, παράγονται 500 kg ελαιοπυρήνα (περιεκτικότητα σε υγρασία 50 %) και 1.200 kg υγρά απόβλητα.

ii. ΔΙΦΑΣΙΚΗ (ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗ) ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ Πριν μερικά χρόνια εμφανίστηκε στην αγορά το διφασικό σύστημα (αποκαλούμενο και «οικολογικό σύστημα»). Σε αυτή τη διαδικασία, τα τελικά προϊόντα είναι το ελαιόλαδο και ο ελαιοπυρήνας στον οποίο ενσωματώνονται τα απόβρα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του συστήματος είναι η μειωμένη κατανάλωση νερού και η έλλειψη υγρών αποβλήτων. Υπολογίζεται ότι κατά την επεξεργασία 1.000 kg καρπού παράγονται 800 kg περίπου υγρής ελαιοπυρήνας. Σοβαρό, όμως, μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η ελαιοπυρήνα που προκύπτει έχει αυξημένη υγρασία και είναι δύσκολη στο χειρισμό, στη μεταφορά και την επεξεργασία. Επιπλέον, ξηραίνεται με αργό ρυθμό και έχει υψηλό ρυπαντικό φορτίο.

D. *SINOLEA*. Η μέθοδος παραλαβής ελαιολάδου, με Σινολέα (*Sinolea*) είναι επίσης μια συνεχής διαδικασία, αλλά η τεχνική, που ακολουθείται είναι διαφορετική από αυτή των φυγοκεντρικών συστημάτων. Η ζύμη της ελιάς, τοποθετείται σε ένα δοχείο που περιέχει τη συσκευή εκχύλισης (απορρόφησης). Η τελευταία, αποτελείται από μια σειρά από λεπίδες ή δίσκους χάλυβα που βυθίζονται στην πούλπα με παλινδρομική συνεχή κίνηση. Καμιά μηχανική πίεση δεν ασκείται στη ζύμη της ελιάς, Το ελαιόλαδο συλλέγεται από τις λεπίδες και στην συνέχεια παραλαμβάνεται με αποστράγγιση. Αυτή η μέθοδος μπορεί να εξάγει περίπου το 50% του ελαίου, το οποίο ονομάζεται «άνθος του ελαιολάδου». Ωστόσο, η υπόλοιπη ζύμη της ελιάς, μπορεί στη συνέχεια να υποβληθεί σε μια δεύτερη διαδικασία εκχύλισης, αλλά το λάδι που παραλαμβάνεται θεωρείται κατώτερης ποιότητας σε σχέση με την πρώτη παραλαβή από την αποστράγγιση. Το ελαιόλαδο που παραλαμβάνεται με την μέθοδο της Σινολέα δεν απαιτεί άλλο στάδιο επεξεργασίας.

Το διφασικό σύστημα δημιουργεί μεγαλύτερο όγκο στερεού υπολείμματος, παράγει όμως μικρότερα ποσά υγρών αποβλήτων και χαμηλότερες τιμές του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου πέντε ημερών (BAO5). Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι η περιεκτικότητα του ελαιόλαδου σε πολυφαινόλες είναι μικρότερη στο τριφασικό σύστημα λόγω των υψηλών ποσών προστιθέμενου νερού. Επιπλέον στα φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία έχουμε μειωμένη περιεκτικότητα των αποβλήτων σε στερεά σε σχέση με τα κλασικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι η διαδικασία της φυγοκέντρωσης απαιτεί εκτός από την προσθήκη νερού στους κατακόρυφους διαχωριστήρες, οι οποίοι υπάρχουν κατά κανόνα τόσο στα κλασικά όσο και στα φυγοκεντρικά τύπου ελαιουργεία, και συνεχή προσθήκη μίας επιπλέον ποσότητας νερού ίσης προς το 30-50 % του επεξεργάσιμου καρπού. Η προσθήκη αυτή αφ' ενός προκαλεί μία φυσιολογική αραίωση των περιεχόμενων συστατικών, αφ' ετέρου όμως αυξάνει την τελικά παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων ανά μονάδα επεξεργαζόμενου καρπού. Τέλος το ελαιόλαδο που προκύπτει από τη διφασική επεξεργασία είναι υψηλής ποιότητας και σταθερό στην οξείδωση.

Όλα τα συστήματα παραλαβής Ελαιολάδου, έχουν τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματά τους. Κανένα από αυτά δεν παρέχει συγχρόνως εξαιρετικό ελαιόλαδο, με οικονομικό τρόπο, με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και νερού, και με ελάχιστη ρύπανση του περιβάλλοντος.

6. **Καθαρισμός του ελαιόλαδου:** Τα στερεά σωματίδια (τεμαχία σάρκας, φλοιού, θρύμματα πυρηνόξυλου, κλπ.) που βρίσκονται διαλυμένα στην υγρή φάση απομακρύνονται με τη χρήση παλινδρομικά κινούμενων κοσκίνων (κόσκινα απολάσπωσης). Σημειώνεται ότι το βάρος των στερεών σωματιδίων υπολογίζεται σε ποσοστό 0.5-1 % επί του συνολικού βάρους της υγρής φάσης

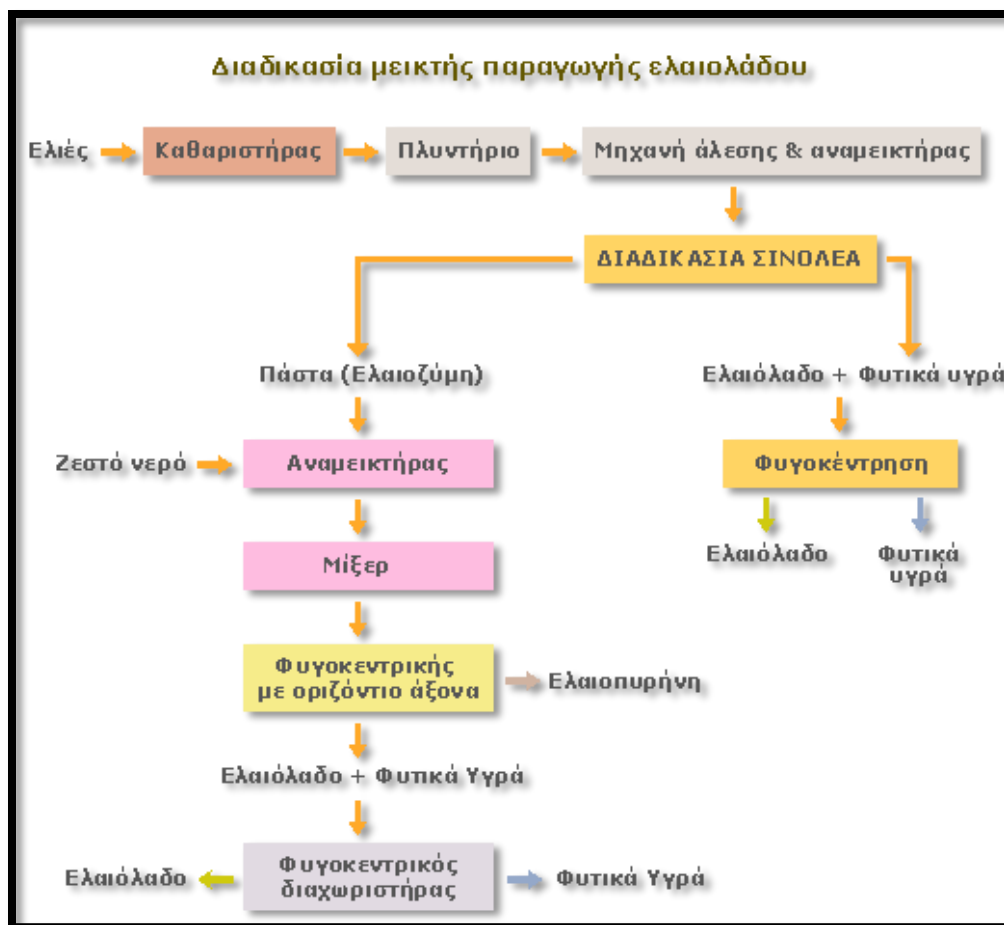


**7. Τελικός διαχωρισμός:** Ο τελικός διαχωρισμός του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά γίνεται με τη χρήση φυγοκεντρικών ελαιοδιαχωριστήρων.

Οι μέθοδοι εξαγωγής του ελαιόλαδου διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα και την περιοχή. Στην Ισπανία και ειδικότερα στις νότιες περιοχές όπου η παραγωγή προέρχεται αποκλειστικά από μεσαίου και μεγάλου μεγέθους συνεταιρισμούς, η διφασική μέθοδος εξαγωγής ελαιόλαδου χρησιμοποιείται σε ποσοστό 95%. Στην Ιταλία χρησιμοποιείται ευρύτατα το τριφασικό σύστημα.

Η πλειονότητα των ελαιουργείων που λειτουργούν στην Ελλάδα είναι φυγοκεντρικά τριών φάσεων. Διατηρούνται επίσης μερικά πιεστικά παλαιού τύπου. Τα ελαιουργεία δύο φάσεων δεν έχουν διαδοθεί πολύ στη χώρα μας κυρίως λόγω του ημιστερεού αποβλήτου που παράγουν, το οποίο δεν είναι επεξεργάσιμο στα πυρηνελαιουργεία. Εν τούτοις, την τελευταία πενταετία γίνεται μία προσπάθεια εξάπλωσης αυτών, κυρίως σε περιοχές της νότιας Πελοποννήσου.

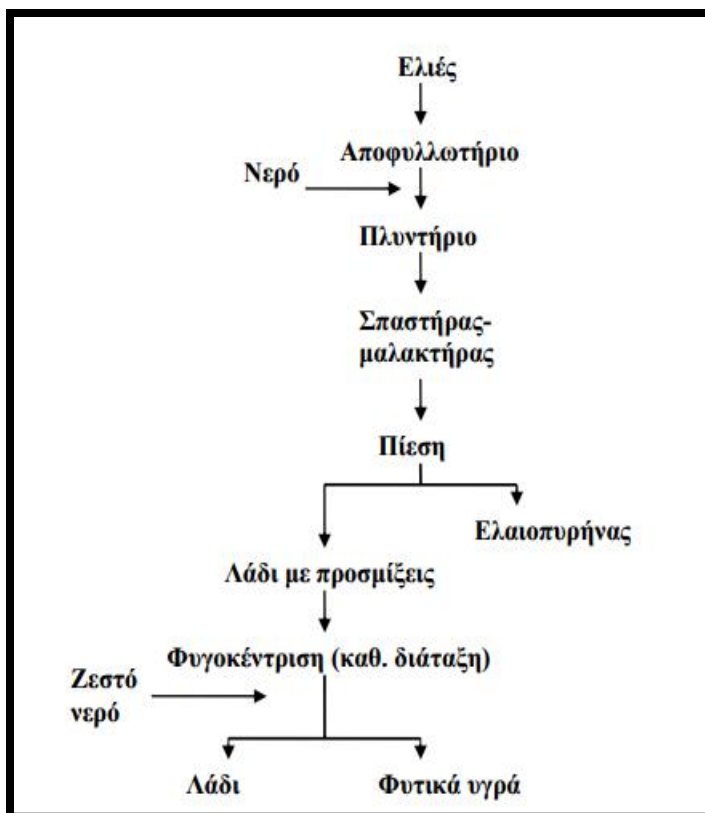
Η κύρια περιβαλλοντική παράμετρος που συνδέεται με τη λειτουργία των ελαιουργείων στην Ελλάδα, είναι τα παραγόμενα υγρά απόβλητα (κατσίγαρος). Ο κατσίγαρος παράγεται από ελαιουργεία που χρησιμοποιούν φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες τριών φάσεων, τα οποία είναι και τα πολυπληθέστερα στον ελλαδικό χώρο. Το στερεό υπόλειμμα (πυρηνόξυλο) της συγκεκριμένης παραγωγικής διαδικασίας μπορεί να εκληφθεί ως χρήσιμο παραπροϊόν αφού αποτελεί την πρώτη ύλη των πυρηνελαιουργείων.



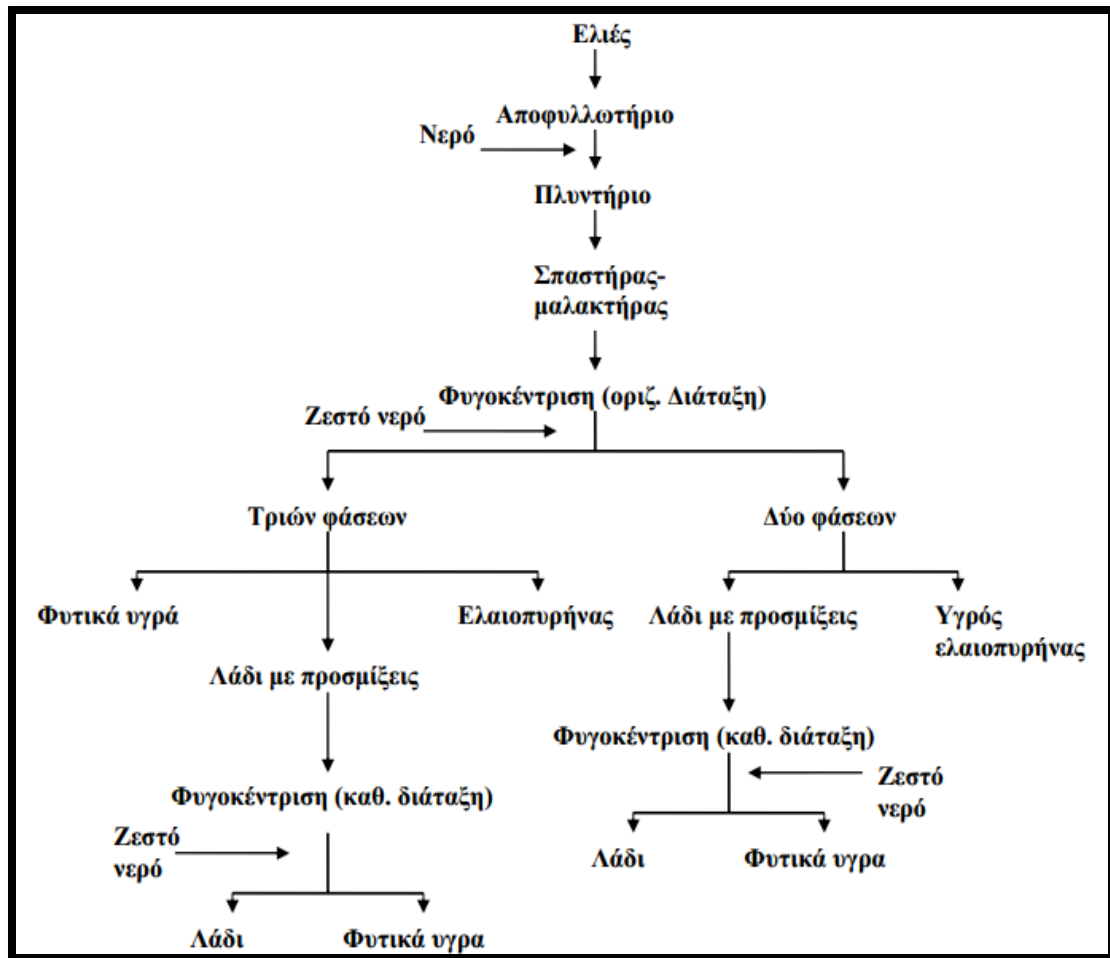
**Εικόνα 1.1** Σχηματικά, η διαδικασία μεικτής παραγωγής ελαιολάδου.

Η διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία έκθλιψης. Αυτή μπορεί να γίνει είτε με την χρήση υδραυλικών πιεστηρίων (παραδοσιακή μέθοδος) ή με τη βοήθεια τεχνολογιών συνεχούς λειτουργίας με τη χρήση φυγοκεντρικών διαχωριστών, που αποτελεί και την επικρατούσα τεχνολογία σήμερα. Η παραδοσιακή μέθοδος (υδραυλικά πιεστήρια) πλεονεκτεί, ως προς την καλύτερη ποιότητα του παραγόμενου ελαιόλαδου αλλά μειονεκτεί ως προς, την απόδοση σε ελαιόλαδο, το κόστος παραγωγής και τη διασφάλιση των απαιτούμενων προδιαγραφών ποιότητας και ασφαλείας του προϊόντος (Βιοτεχνικό Επιμελητήριο Αθηνών, 2012).

Συνοπτικά, στην Εικόνα 1.2 παρουσιάζεται γραφικά απλοποιημένη η παραδοσιακή διαδικασία επεξεργασίας ελιάς για την παραγωγή ελαιόλαδου, ενώ στην Εικόνα 1.3 παρουσιάζεται η διαδικασία δύο φάσεων και η διαδικασία τριών φάσεων. Σήμερα οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο είναι η μέθοδος δύο φάσεων και η μέθοδος τριών φάσεων (Morillo et al. 2009).



**Εικόνα 1.2** Απλοποιημένη σχηματική παράσταση της παραδοσιακής διαδικασίας για ελαιοπαραγωγή (Πηγή: προσαρμογή και μετάφραση από: Morillo et al. 2009).



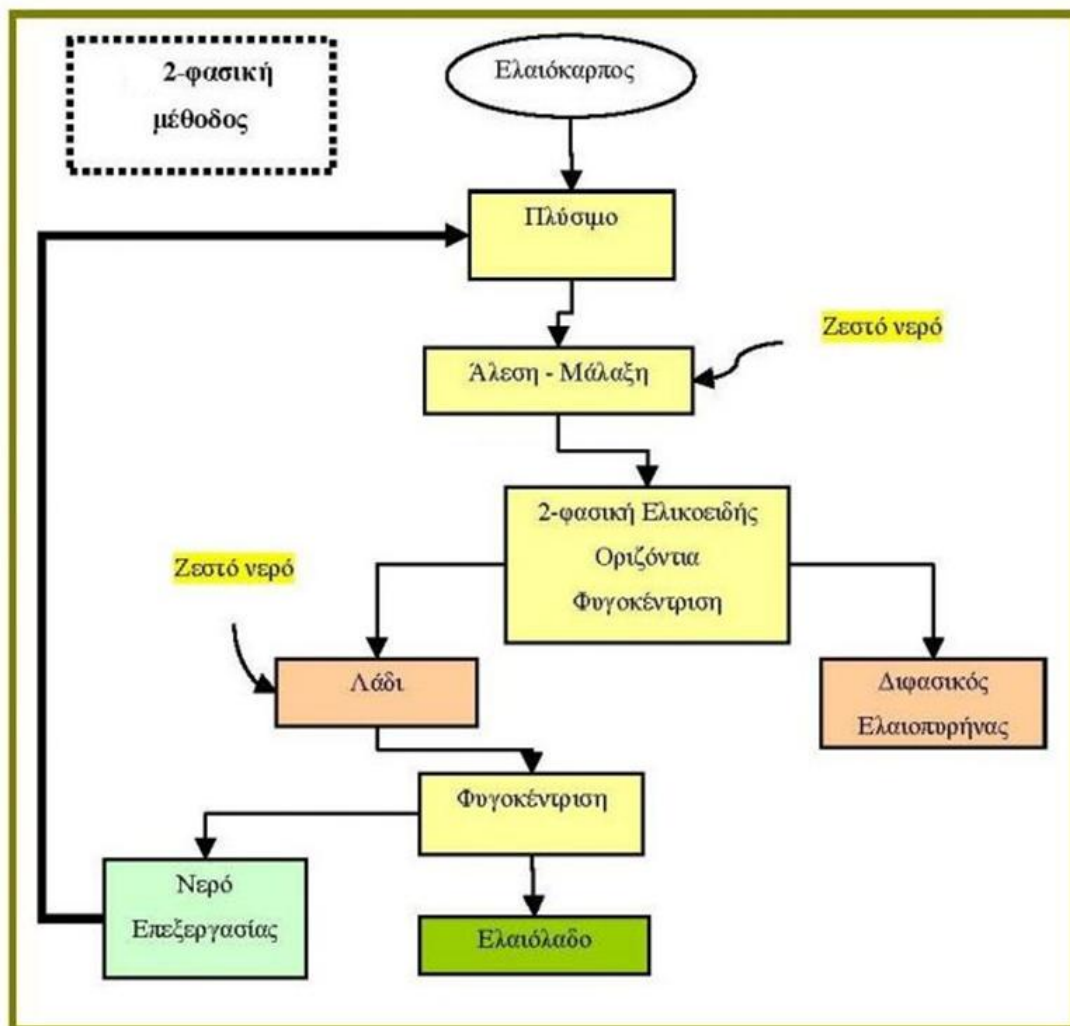
**Εικόνα 1.3** Απλοποιημένη σχηματική παράσταση της διαδικασίας δύο φάσεων και της διαδικασίας τριών φάσεων για ελαιοπαραγωγή (Πηγή: προσαρμογή και μετάφραση από: Morillo et al. 2009).

### 1.2.1 Σύγχρονα Φυγοκεντρικά συστήματα

Από την αρχαιότητα η εξαγωγή του ελαιολάδου από την ελαιόπαστα γίνονταν με την πίεση της ελαιόπαστας. Στην δεκαετία του 1970 η παραδοσιακή αυτή μέθοδος αντικαταστάθηκε με την φυγοκεντρική διαδικασία 3-φάσεων. Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται την διαφορά βάρους του νερού με του ελαιολάδου.

Στα ελαιοτριβεία 3-φάσεων η ελαιόπαστα αφού αραιωθεί με θερμό νερό οδηγείται σε έναν οριζόντιο φυγοκεντρικό διαχωριστήρα ο οποίος την χωρίζει σε τρεις φάσεις, το ελαιόλαδο, την ελαιοπυρήνα και τα φυτικά υγρά και νερά.

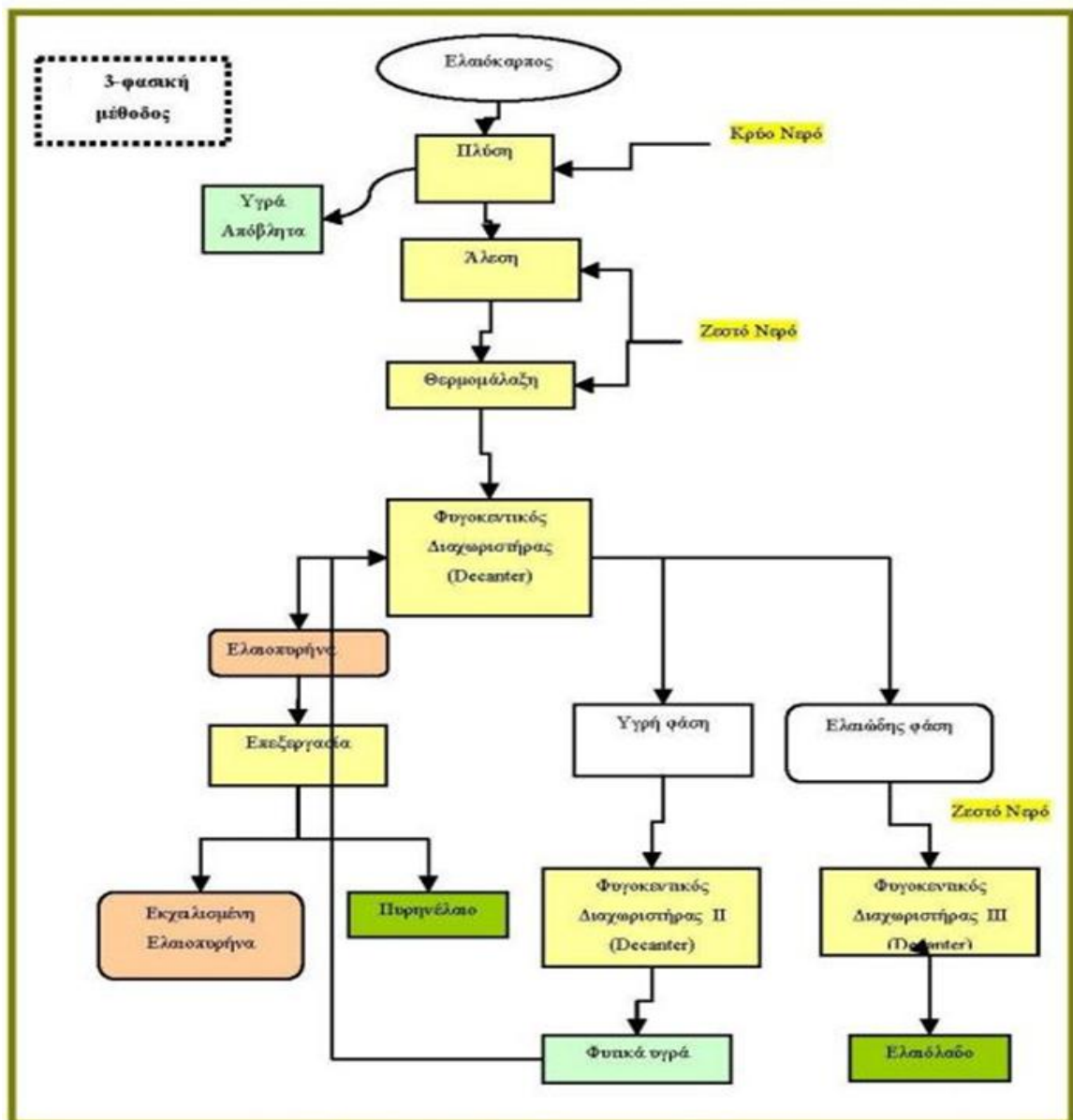
Το σημαντικότερο μειονέκτημα της παραγωγικής μεθόδου 3-φάσεων είναι η αυξημένη παραγωγή υγρών αποβλήτων σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο, εξαιτίας της αυξημένης κατανάλωσης νερού.



**Εικόνα 1.2.1** Σχηματική απεικόνιση παραγωγικής διαδικασίας 2-φάσεων

Την δεκαετία του 1990 αρκετές εταιρίες προώθησαν νέους τύπους φυγοκεντρικών διαχωριστήρων. Οι νέοι αυτοί διαχωριστήρες χώριζαν το ελαιόλαδο από την ελαιόπαστα χωρίς την προσθήκη νερού κατά την παραγωγική διαδικασία του

ελαιολάδου. Η μέθοδος αυτή ονομάστηκε 2-φάσεων αφού παράγεται ένα στερεό κλάσμα με αυξημένη υγρασία (55-70 %) και ένα υγρό κλάσμα ,το ελαιόλαδο. Στα συστήματα 2-φάσεων έχουμε μειωμένη κατανάλωση νερού και έλλειψη υγρών αποβλήτων και η ποιότητα του ελαιολάδου είναι ανώτερη από τα 3-φασικά συστήματα παραγωγής. Τα κυριότερα προϊόντα του κλάδου της ελαιοπαραγωγής είναι η βρώσιμη (ή επιτραπέζια) ελιά, το ελαιόλαδο και το πυρηνέλαιο.



**Εικόνα 1.2.2** Σχηματική απεικόνιση παραγωγικής διαδικασίας 3-φάσεων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΑ

### 2.1 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

Τα απόβλητα ελαιοτριβείων και η διάθεση αυτών είναι ένα δυσεπίλυτο πρόβλημα το οποίο επιφέρει περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις στις ελαιοπαραγωγικές περιοχές. Τα απόβλητα αυτά αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα ρύπανσης καθώς ανήκουν στην κατηγορία των επικίνδυνων αποβλήτων και για το λόγο αυτό η διαχείρισή τους έχει βρεθεί στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος των επιστημόνων, των τοπικών και κρατικών αρχών αλλά και των τοπικών κοινωνιών. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των αποβλήτων των ελαιοτριβείων είναι το ιδιαίτερα υψηλό οργανικό φορτίο τους το οποίο δεν βιοαποδομείται εύκολα και η υψηλή περιεκτικότητά τους σε πολυφαινολικές ενώσεις οι οποίες προκαλούν την εμφάνιση βιοτοξικών και φυτοτοξικών φαινομένων. Η ανεξέλεγκτη διάθεσή τους σε φυσικούς αποδέκτες προκαλεί υποβάθμιση των φυσικών συστημάτων και επιβάρυνσή τους με μεγάλες συγκεντρώσεις οργανικών και ανόργανων ενώσεων.

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αυτές καθορίζονται κυρίως από τον τρόπο διάθεσής τους στο περιβάλλον και τις επιπτώσεις που επιφέρει στους αποδέκτες και τις βιοκοινωνίες τους, αποδέκτες οι οποίοι συνήθως είναι το έδαφος και τα επιφανειακά υδατικά συστήματα.

Οι κοινωνικές επιπτώσεις αφορούν κυρίως στις εντάσεις που δημιουργούνται μεταξύ των μελών των τοπικών κοινωνιών και αφορούν στον τρόπο διάθεσης των αποβλήτων και τους πιθανούς κινδύνους για την υγεία και το περιβάλλον, αλλά και εξαιτίας της γενικότερης υποβάθμισης των περιοχών όπου συμβαίνει ανεξέλεγκτη διάθεση (υποβάθμιση τοπίου, οσμές, κ.α).

Η οικονομικές επιπτώσεις αφορούν τις συνέπειες από τη γενικότερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος και περιλαμβάνουν για παράδειγμα, παρεμπόδιση αξιοποίησης φυσικών πόρων, μείωση παραγωγικών και εμπορικών δραστηριοτήτων εξαρτώμενων από τους άμεσους και έμμεσους αποδέκτες των αποβλήτων, επιπτώσεις στην τουριστική δραστηριότητα, απαξίωση της γης, κ.α.

Τα απόβλητα αυτά διακρίνονται γενικά σε **στερεά, υγρά και αέρια**.

Στη σχετική νομοθεσία, η οποία αφορά την ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών εγκαταστάσεων, την περιβαλλοντική αδειοδότηση, την ατμοσφαιρική ρύπανση, τα υγρά απόβλητα, τα στερεά και επικίνδυνα απόβλητα, τα καύσιμα κ.λ.π. δίνονται οι ορισμοί των αστικών λυμάτων, των βιομηχανικών αποβλήτων και οδηγίες για τις μεθόδους επεξεργασίας και διαχείρισής τους.

**Αστικά λύματα** είναι τα υγρά απόβλητα που προέρχονται κυρίως από χώρους υγιεινής, κουζίνες, πλυντήρια και γενικά από διαδικασίες καθαριότητας κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων κ.λ.π.

**Υγρά βιομηχανικά απόβλητα** ονομάζονται τα απόβλητα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα (οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991). Είναι δηλαδή τα υγρά απόβλητα των βιομηχανικών ή βιοτεχνικών εγκαταστάσεων, που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία και μπορεί να περιέχουν υπολείμματα των υλών που χρησιμοποιούνται.

Τα βιομηχανικά απόβλητα προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία (κατανάλωση νερού σε πολυάριθμες υγρές διεργασίες) όπως π.χ. από βιομηχανίες μετάλλου, χημικών προϊόντων, συνθετικών υλών, κονσερβοποιείων, βαφείων, γαλακτοβιομηχανιών κ.λ.π. τα οποία περιέχουν υπολείμματα υλών οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία ή παράγονται από τη βιοτεχνία ή



τη βιομηχανία. Η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων είναι διαφορετική για κάθε βιομηχανία, ακόμα και ανάμεσα σε ομοειδείς βιομηχανίες. Αυτό είναι συνάρτηση της δυναμικότητας του εργοστασίου και οφείλεται στον τρόπο παραγωγικής διαδικασίας, στην ποιότητα της πρώτης ύλης και στο είδος του τελικού προϊόντος.

Η παραγωγή των αποβλήτων μπορεί να είναι συνεχής ή διακεκομμένη κατά το χρόνο λειτουργίας του εργοστασίου, επίσης μπορεί να περιορίζεται μόνο σε συγκεκριμένες εποχές του χρόνου (π.χ. κονσερβοποίηση φρούτων). Για τα βιομηχανικά απόβλητα δεν είναι δυνατόν να δοθούν συγκεκριμένες τιμές ποσότητας, σε αντίθεση με τα αστικά λύματα, όπου η διακύμανση είναι σχετικά μικρή. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται ενδεικτικές τιμές με μεγάλες διακυμάνσεις.

**Σύσταση βιομηχανικών αποβλήτων.** Οι ρυπαντικές ουσίες που υπάρχουν στα βιομηχανικά απόβλητα αλλοιώνουν τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού. Οι ουσίες αυτές ανάλογα με τις ιδιότητες, τη συμπεριφορά και την επίδρασή τους διακρίνονται σε φυσικούς και χημικούς ρυπαντές. Οι ουσιαστικές γνώσεις των ρυπαντικών ουσιών, φυσικών (αδιάλυτες, διαλυτές, κολλοειδείς), ή χημικών (ανόργανες, οργανικές, ραδιενεργά και τοξικά στοιχεία) είναι βασική προϋπόθεση για τον έλεγχο της λειτουργίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων. Ακόμα, ο σωστός εξοπλισμός και η καλή οργάνωση του εργαστηρίου καθώς επίσης και η τήρηση των γενικών κανόνων δειγματοληψίας και ανάλυσης αποτελούν βασική προϋπόθεση για τον έλεγχο της λειτουργίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων.

**Φυσικοί ρυπαντές βιομηχανικών αποβλήτων.** Οι φυσικοί ρυπαντές προσδίδουν στα απόβλητα χρώμα, οσμή και θολότητα. Εκτός από την θερμοκρασία σ' αυτούς ανήκουν:

- αδιάλυτες ουσίες, (επιπλέουσες, αιωρούμενες, καθιζάνουσες)
- διαλυτές ουσίες (ζάχαρη, άλλες γλυκαντικές ύλες, αλάτι, διάφορα άλατα κ.λ.π.)
- κολλοειδείς ουσίες σε λεπτό καταμερισμό (ουσίες που κυρίως προσδίδουν θολότητα).

**Χημικοί ρυπαντές βιομηχανικών αποβλήτων.** Στους χημικούς ρυπαντές των αποβλήτων ανήκουν:

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

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου χαρακτηρίζονται από:

- Έντονα ιώδες-σκούρο καφέ έως μαύρο χρώμα
- Πολύ έντονη μυρωδιά ελαιολάδου
- Πολύ μεγάλο οργανικό φορτίο (τιμές COD μέχρι και 220g/l)
- Τιμές pH μεταξύ 3 και 6
- Υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Μεγάλη συγκέντρωση πολυφαινολικών ενώσεων (από 0,5 έως 24g/l)
- Μεγάλη περιεκτικότητα σε στερεή ουσία

Η ποσότητα των αποβλήτων που παράγεται από τα ελαιοτριβεία εξαρτάται ιδιαίτερα από τη διαδικασία παραγωγής. Ο Πίνακας 1.3 παρουσιάζει μια σύγκριση της ποσότητας των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου και της υγρασίας στον πυρήνα ανάμεσα στις διάφορες μεθόδους παραγωγής, ανά 1.000 κιλά ελαιόκαρπου.

<b>Παράμετρος</b>	<b>Εύρος τιμών</b>
<b>pH</b>	4.5-6
<b>Ξηρά στερεά (g/L)</b>	100-150
<b>Πτητικά στερεά (g/L)</b>	90-135
<b>BOD(g/L)</b>	35-100
<b>COD(g/L)</b>	40-175
<b>Λίπη &amp; Έλαια (g/L)</b>	0.3-23
<b>N(g/L)</b>	5-15
<b>P(g/L)</b>	0.3-1.1

**Πίνακας 1.2** Μέση Σύσταση υγρών αποβλήτων ελαιουργείων.

<b>Μέθοδος</b>	<b>Νερό αραιώσης (kg)</b>	<b>Απόβλητα (kg)</b>	<b>Νερό (kg) στον πυρήνα</b>	<b>Νερό (%) στον πυρήνα</b>
<b>Ψυχρή Συμπύεση</b>	0	200 – 250	~ 250 – 300	45 – 50
<b>Decanter 2 φάσεων</b>	0	0	~ 500 – 560	62 – 65
<b>Decanter 3 φάσεων (παλαιού τύπου)</b>	500	700	~ 300	50
<b>Decanter 3 φάσεων (νέας γενιάς)</b>	0 – 100	175 – 275	~ 325	52

**Πίνακας 1.3** Σύγκριση ποσότητας υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου και υγρασίας του πυρήνα ανά 1.000 κιλά ελαιόκαρπου (Πηγή: Καλογεράκης, Ν. & Νικολαΐδης 2008).

Από τα στοιχεία του Πίνακα 1.3 βλέπουμε ότι στην περίπτωση των ελαιοτριβείων που χρησιμοποιούν τη μέθοδο δύο φάσεων δεν παράγεται ξεχωριστή φάση με υγρά απόβλητα. Στην περίπτωση αυτή τα υγρά απόβλητα περιλαμβάνονται στον πυρήνα υψηλής υγρασίας. Σημαντικό όμως, πρόβλημα στο σημείο αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι πολλά πυρηνελαιουργεία αρνούνται να παραλάβουν τον πυρήνα υψηλής υγρασίας, καθώς δεν διαθέτουν τα ειδικά συστήματα προεπεξεργασίας που απαιτούνται.

Αντίθετα, στην περίπτωση των ελαιοτριβείων που χρησιμοποιούν τη μέθοδο τριών φάσεων παλαιού τύπου τα υγρά απόβλητα που παράγονται βλέπουμε ότι φτάνουν τα

700 kg /1.000 kg ελαιόκαρπου, ενώ με τη μέθοδο τριών φάσεων νέου τύπου κυμαίνονται από 175 – 275 kg. Τέλος, η παραδοσιακή μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή 200 – 250 kg αποβλήτων.

Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων ελαιοτριβείων είναι επίσης, μεταβλητά, και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως η μέθοδος παραγωγής, το είδος και η ωριμότητα των ελιών, η περιοχή προέλευσης, οι κλιματικές συνθήκες και οι μέθοδοι καλλιέργειας / επεξεργασίας (Paraskeva & Diamadopoulos, 2006).

Εκτός από το υψηλό οργανικό φορτίο, τα απόβλητα των ελαιοτριβείων περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ανθεκτικών ενώσεων όπως λιγνίτες και τανίνες που δίνουν το χαρακτηριστικό σκούρο χρώμα, αλλά, και το πιο σημαντικό, περιέχουν μακράς αλυσίδας λιπαρά οξέα και φαινολικές ενώσεις οι οποίες είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς και τα φυτά (Paraskeva & Diamadopoulos, 2006).

Η φύση των αποβλήτων όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, εξαρτάται ιδιαίτερα από το σύστημα παραγωγής που χρησιμοποιείται (Morillo et al. 2009). Τα συστήματα παραγωγής, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, είναι τρία: η παραδοσιακή διαδικασία, η διαδικασία δύο φάσεων και η διαδικασία τριών φάσεων.

Τα στερεά απόβλητα από την διαδικασία τριών φάσεων (Three – phase olive mill solid waste – 3POMSW) παράγονται σε αναλογία 500 kg ανά τόνο ελιές και αποτελούνται κυρίως από ξηρό πολτό και κουκούτσια.(Rincon, et al. 2012). Τα υγρά απόβλητα από την διαδικασία τριών φάσεων (Three – phase olive mill wastewater – 3POMWW) εκτιμάται ότι παράγονται στις χώρες ελαιοκαλλιέργειας της Μεσογείου σε ποσότητες από 7 έως 30 εκατομμύρια m<sup>3</sup>. Η χημική σύνθεση των 3POMWW είναι πολύπλοκη λόγω του νερού από τις αλεσμένες ελιές και των μαλακών ιστών από τον καρπό της ελιάς (Rincon, et al. 2012). Στην περίπτωση της διαδικασίας δύο φάσεων, η παραγωγή υγρών αποβλήτων (Two – phase olive mill wastewater – 2POMWW) είναι

μικρότερη σε σχέση με τη διαδικασία τριών φάσεων. Τα 2POMWW έχουν επίσης, όπως και στην περίπτωση των 3POMWW πολύπλοκη χημική σύνθεση λόγω του νερού από τις αλεσμένες ελιές (Rincon, et al. 2012). Ωστόσο, τα στερεά απόβλητα της διαδικασίας δύο φάσεων (Two – phase olive mill solid waste – 2POMSW), παράγονται σε αναλογία 800 kg ανά τόνο ελιές. Τα 2POMSW έχουν 60% - 70 % περιεκτικότητα σε υγρασία, 13% - 15% λιγνίνη, 18% - 20% κυτταρίνη και ημικυτταρίνη και 2,5% - 3% έλαιο (Rincon, et al. 2012).

## 2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ (ΥΑΕ)

Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές επεξεργασίας των ΥΑΕ όπως φυσικές, φυσικοχημικές, βιολογικές, θερμικές και συνδυασμός τους καθώς και νέες τεχνικές με στόχο την βελτίωση της αποδοτικότητας απομάκρυνσης των ρύπων (Zaharaki and Komnitsas, 2009). Πιο αναλυτικά:

- i. **Φυσικές**, οι οποίες περιλαμβάνουν διαχωρισμό φάσεων μέσω μηχανικών μέσων. Όταν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα δεν έχουν την ικανότητα να μειώσουν το οργανικό φορτίο και την τοξικότητα των αποβλήτων σε αποδεκτά όρια.
- ii. **Φυσικοχημικές**, οι οποίες περιλαμβάνουν χρήση πρόσθετων χημικών ενώσεων ώστε να ακολουθήσει στη συνέχεια εξουδετέρωση, κροκίδωση, καθίζηση, προσρόφηση, χημική οξείδωση και ιοντοεναλλαγή.
- iii. **Βιολογικές**, οι οποίες περιλαμβάνουν χρήση μικροοργανισμών για τη διάσπαση βιοαποικοδομήσιμων χημικών συστατικών. Οι τεχνικές αυτές θεωρούνται περιβαλλοντικά φιλικές και χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος. Το είδος των μικροοργανισμών που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες, π.χ. αερόβιες ή αναερόβιες.

- iv. **Θερμικές**, οι οποίες προκαλούν συμπύκνωση των ΥΑΕ μειώνοντας την περιεκτικότητα σε νερό και τον συνολικό όγκο. Στην κατηγορία αυτή, οι τεχνικές διαχωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες:
- i. φυσικο-θερμικές (εξάτμιση-απόσταξη των ΥΑΕ και ξήρανση της ελαιόπαστας)
  - ii. μη αντιστρεπτές θερμο-χημικές (καύση και πυρόλυση), οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε υψηλού κόστους εγκαταστάσεις, ενώ παράλληλα υπάρχει κίνδυνος έκλυσης τοξικών αερίων στην ατμόσφαιρα, και
- v. **Υβριδικές**, οι οποίες περιλαμβάνουν προ-επεξεργασία των ΥΑΕ με στόχο την αποδοτική διαχείρισή τους που δεν μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση μιας μόνο τεχνικής.
- vi. **Άλλες νέες τεχνικές**, οι οποίες στοχεύουν σε πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης της επεξεργασίας των ΥΑΕ. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι τεχνικές επεξεργασίας των ΥΑΕ με αμμόφιλτρα (Achak et al., 2009), κομποστοποίηση του ελαιοπολφού με ζωικά απορρίμματα ή φλοιούς σουσαμιού (Hachicha et al., 2009a; 2009b) ή ανάμιξή τους με ασβεστούχα εδάφη και επώαση υπό αερόβιες συνθήκες (De la Fuente et al., 2008).

### 2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ

Για την εύρεση αποδοτικών, και από άποψη κόστους, εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης, διάφορες μέθοδοι, αλλά και συνδυασμοί αυτών, έχουν εφαρμοστεί, συμπεριλαμβανομένων χημικών, μηχανικών, φυσικών, βιολογικών και θερμικών μεθόδων.

Η πιο κοινή μέθοδος διαχείρισης των υγρών αποβλήτων, με εφαρμογή όμως κυρίως στην Κρήτη, είναι η διάθεση σε εξαμισοδεξαμενές. Τα απόβλητα αποθηκεύονται σε δεξαμενές, οι οποίες θα πρέπει να είναι στεγανοποιημένες, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ελαιοτριβείου, η οποία διαρκεί περίπου 3 μήνες. Κατά την παραμονή των αποβλήτων στις δεξαμενές, το υγρό κλάσμα εξατμίζεται στη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου.

Ως μειονεκτήματα αυτής της επιλογής είναι η απαίτηση μεγάλων εκτάσεων, η δυσοσμία, η παρουσία εντόμων, το γεγονός ότι οι δεξαμενές σχεδόν ποτέ δεν πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις προστασίας του περιβάλλοντος καθώς και ότι σπάνια έχουν τις απαιτούμενες διαστάσεις με αποτέλεσμα αυτές συχνά να υπερχειλίζουν εξαιτίας βροχοπτώσεων ή μεγάλης παραγωγής ελαιολάδου.

Τα κυριότερα προβλήματα διαχείρισης των ΥΑΕ, που εμφανίζονται συγκεκριμένα στην Ελλάδα οφείλονται:

- στη θεαματική αύξηση παραγωγής ελαιολάδου, και συνεπώς υγρών αποβλήτων, όπως και σε όλες τις Μεσογειακές ελαιοπαραγωγικές χώρες. Στην Ελλάδα η ετήσια παραγωγή ελαιολάδου τετραπλασιάστηκε τα τελευταία 40 χρόνια. Η αύξηση αυτή στην παραγωγή οδήγησε, όπως ήταν φυσικό, και στην αντίστοιχη αύξηση των παραγόμενων αποβλήτων, και
- στην ανεπάρκεια εγκαταστάσεων διαχείρισης.

Η οξύτητα του προβλήματος διάθεσης των ΥΑΕ, ώθησε πολύ την έρευνα στην εξεύρεση λύσεων, αρχικά σε εργαστηριακό επίπεδο και στην συνέχεια σε διάφορες πιλοτικές εγκαταστάσεις.



Η αποτυχία εύρεσης λύσης, άμεσα εφαρμόσιμης και οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμης, αποδίδεται στους ακόλουθους τρεις λόγους:

- στην υψηλή συγκέντρωση οργανικών συστατικών με αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλες ποσότητες οξυγόνου για την αποδόμησή τους,
- στην αργή αποδόμηση των υδατοδιαλυτών, κατά βάση φαινολικών ενώσεων, που μεταφέρονται στα υγρά απόβλητα κατά την επεξεργασία του ελαιοκάρπου, και
- στην εποχικότητα παραγωγής των αποβλήτων, που αντιστοιχεί σε περίπου 3-4 μήνες ετησίως, η οποία σε συνδυασμό με τις μεγάλες ποσότητες των παραγόμενων υγρών αποβλήτων, αυξάνουν και δυσχεραίνουν το κόστος αποθήκευσης, μεταφοράς και επεξεργασίας τους.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου, θα δούμε αναλυτικά την κάθε μία κατηγορία, και θα εξετάσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της ξεχωριστά.

### 2.3.1 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Αποτελούν μεθόδους που χρησιμοποιούν την βιολογική επεξεργασία αποκλειστικά ή συνδυαστικά με άλλες φυσικοχημικές μεθόδους. Σκοπός των βιολογικών μεθόδων είναι η βιομετατροπή των αποβλήτων με τη βοήθεια μικροοργανισμών με στόχο τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου και το σχηματισμό προϊόντων με εμπορική αξία, που θα μπορούσαν να καλύψουν μέρος της δαπάνης διαχείρισης τους. Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων λόγω των εξειδικευμένων χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν (pH 4-5.5, υψηλή σχέση C:N ίση με 50-60:1, αυξημένη παρουσία απλών σακχάρων, υψηλή συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων) αποτελούν εκλεκτικό υπόστρωμα ανάπτυξης μικροοργανισμών, παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη άλλων.

## I. *Αερόβια βιολογική επεξεργασία*

- a. *Ανάπτυξη ζυμών*: Πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά στην Ισπανία, όταν παρατηρήθηκε η ικανότητα παραγωγής μονοκυτταρικών πρωτεϊνών από τα υγρά απόβλητα με τη βοήθεια της ζύμης *Candida utilis*. Ο μικροοργανισμός μετατρέπει τα σάκχαρα των αποβλήτων κατά 50% σε πρωτεΐνες αδιάλυτες, οι οποίες είναι κατάλληλες για διατροφή ζώων, και λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε απαραίτητα αμινοξέα, αλλά και σε βιταμίνες του συμπλέγματος Β, μπορούν να ανταγωνιστούν το αλεύρι της σόγιας. Μειονέκτημα της τεχνικής αποτελεί το υψηλό κόστος, καθώς και η ταχεία αποδόμηση των σακχάρων, κατά την διάρκεια της αποθήκευσης του ελαιοκάρπου. Στην Ισπανία, έχουν γίνει μελέτες, οι οποίες αφορούν τη χρησιμοποίηση των απόνερων ως υπόστρωμα ανάπτυξης της ζύμης *Torulopsis Utilis* για τη χρησιμοποίησή της στη βιομηχανία τροφίμων. Για το σκοπό αυτό, προστίθεται θειούχο αμμώνιο στο νερό καθότι τα υπόλοιπα μεταλλικά άλατα, περιέχονται σε σημαντικές ποσότητες στα υγρά απόβλητα και δεν απαιτείται η προσθήκη κανενός άλλου αντιδραστηρίου.
- b. *Αερόβιος βιολογικός καθαρισμός*: Χρησιμοποιήθηκαν οξειδωτικοί οργανισμοί με σκοπό τη διάσπαση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων. Η μέθοδος απέτυχε λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των αποβλήτων σε οργανική ουσία και στο υψηλό κόστος της απαιτούμενης ενέργειας για τη διάσπαση της. Αναλυτικότερα, για την αερόβια διάσπαση 1 kg BOD5 απαιτείται κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 1 kWh. Ένα κλασσικό ελαιοτριβείο με δυναμικότητα 1 tn

ελαιοκάρπου ανά ώρα και παραγωγή 0.65 m<sup>3</sup>/h (με μέση BOD<sub>5</sub> 95kg/m<sup>3</sup>) απαιτεί περίπου 617 kW ανά 10ωρο. Ενώ ένα φυγοκεντρικό με δυναμικότητα 2 tn ανά ώρα και παραγωγή 2m<sup>3</sup> ανά ώρα απαιτεί (με μέση BOD 42 Kg/m<sup>3</sup>) περίπου 840 kWh ανά 10ωρο.

- c. *Βιολιπασματοποίηση*: Σκοπός της βιολιπασματοποίησης είναι η παραγωγή λιπάσματος και βελτιωτικού εδάφους από τα υγρά απόβλητα έχοντας υπόψη την ανάγκη που υπάρχει για βελτίωση και εμπλουτισμό των εδαφών της χώρας μας σε οργανική ουσία, τις απαιτήσεις των φυτών σε θρεπτικά συστατικά και τις δυνατότητες των μικροοργανισμών του εδάφους. Η έρευνα απέδειξε ότι τα απόβλητα των ελαιοτριβείων υπό αερόβιες συνθήκες εμπλουτισμού ευνοούσαν την εκλεκτική επικράτηση αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων του γένους *Azotobacter*. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει δυο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, τα απόβλητα υποβάλλονται σε κατεργασία εξουδετέρωσης της οξύτητας τους με υδροξείδιο του ασβεστίου, CaO. Στο δεύτερο στάδιο στο επεξεργασμένο ρευστό παρέχεται το κατάλληλο στέλεχος *Azotobacter* και με σύγχρονο αερισμό για 3-5 ημέρες. Μετά την επεξεργασία τα απόβλητα μετατρέπονται σε ένα παχύρρευστο, καστανοκίτρινο υγρό με pH 7.5-8.0, πλούσιο σε αζωτοδεσμευτικούς πληθυσμούς κατάλληλο για την βελτίωση του εδάφους. Δοκιμές λίπανσης σε καλλιέργειες αμπελιού, ελιάς και πατάτας με το βιολίπασμα - προϊόν της επεξεργασίας των αποβλήτων με στέλεχος του αζωτοδεσμευτικού βακτηρίου *Azotobacter*, έδωσαν ενθαρρυντικά προκαταρκτικά αποτελέσματα.

- d. *Χρησιμοποίηση των αποβλήτων για παραγωγή compost:* Ο όρος κομποστοποίηση (composting) αναφέρεται στη βιολογική οξειδωτική διαδικασία αποδομήσεως και σταθεροποίησης οργανικών υλικών υπό συνθήκες που οδηγούν στην ανάπτυξη θερμοκρασιών άνω των 45°C. Το τελικό προϊόν πρέπει να είναι αρκετά σταθερό για αποθήκευση και τελική εφαρμογή στο έδαφος χωρίς να έχει ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η δυνατότητα παραγωγής compost έχει δοκιμαστεί με την ανάμιξη των αποβλήτων με άλλα αγροτικά, δασικά, ανθρώπινα υπολείμματα/απόβλητα ή και με εκχυλισμένο ελαιοπυρήνα. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται η ανάγκη συνεχούς ελέγχου των συνθηκών που επηρεάζουν την διαδικασία όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η αναλογία O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, που αυξάνουν το κόστος της εφαρμογής.
- e. *Χρησιμοποίηση των ΥΑΕ σε καλλιέργεια εδώδιμων μανιταριών:* Έχει επιτευχθεί η βιοαποδόμηση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με τη χρήση βασιδιομυκήτων λευκής σήψης του γένους *Pleurotus*, με αποτέλεσμα τον αποχρωματισμό τους, τη μείωση της φυτοτοξικής τους δράσης, και με ταυτόχρονη παραγωγή βιομάζας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή ή στην καλλιέργεια εδώδιμων μανιταριών. Σαν υπόστρωμα καλλιέργειας των μανιταριών χρησιμοποιήθηκε ελαιοπυρήνας, στον οποίο για την αύξηση της υγρασίας και των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών, προστίθενται υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων.

## ***II. Αναερόβια επεξεργασία***

Αναερόβια ζύμωση αποβλήτων ελαιοτριβείων για την παραγωγή βιοαερίου (βιομεθανοποίηση): Με την μέθοδο αυτή επιδιώκεται υπό αναερόβιες συνθήκες ο καθαρισμός των αποβλήτων και παράλληλα η ανάκτηση ενέργειας με τη μετατροπή των οργανικών υλικών σε μεθάνιο. Η αναερόβια επεξεργασία θεωρείται μέθοδος κατάλληλη για την επεξεργασία αποβλήτων με υψηλό ρυπαντικό φορτίο (COD 5000-40.000 mg/l) ενώ αντίθετα η αερόβια επεξεργασία συνήθως είναι αποδοτικότερη σε απόβλητα με μικρότερη συγκέντρωση από 5000ppm COD. Οι διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης λαμβάνουν μέρος σε βιοαντιδραστήρες. Τα βακτήρια που λαμβάνουν μέρος είναι κυρίως οξεογόνα και μεθανογόνα, τα οποία αναπτύσσονται στη μεσόφιλη και θερμόφιλη φάση και σε pH 6-9.

Στην Ελλάδα προσπάθεια παραγωγής βιοαερίου με αναερόβια ζύμωση έχουν πραγματοποιηθεί σε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση το σύνολο των αποβλήτων του ελαιουργείου υποβάλλονται σε αναερόβια ζύμωση με αντιδραστήρες αναρροής, χωρίς κατεργασία με ασβέστη για τη ρύθμιση του pH και την αφαίρεση της ελαιώδους φάσεως. Διαπιστώθηκε αποικοδόμηση του αρχικού ρυπαντικού φορτίου κατά 75-80% και παραγωγή 895 m<sup>3</sup> μεθανίου από 50 tn υγρών αποβλήτων ημερησίως.

Στην δεύτερη περίπτωση μελετήθηκε η λειτουργία και απόδοση δυο τύπων αναερόβιων χωνευτήρων στη μεσόφιλη περιοχή των 35oC με παράλληλη παραγωγή βιοαερίου. Το παραγόμενο βιοαέριο θα μπορούσε να καλύψει ανάγκες θέρμανσης θερμοκηπίων. Αντίστοιχα στοιχεία από την Ισπανία αναφέρουν τη δυνατότητα μείωσης κατά 80% του οργανικού φορτίου (εκφρασμένο σε BOD<sub>5</sub>) παράγοντας παράλληλα 0,855 m<sup>3</sup> βιοαερίου (80% CH<sub>4</sub> και 20% CO<sub>2</sub>) ανά kg περιοριζόμενου BOD<sub>5</sub>. Η παραγόμενη ενέργεια θεωρητικά υπερκαλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του ελαιουργείου και της εγκατάστασης βιομεθανοποίησης.

Τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων είναι κατάλληλα για αναερόβια επεξεργασία, καθώς το ρυπαντικό φορτίο τους αποτελείται από οργανικές και διαλυτές ενώσεις, όπως σάκχαρα, πηκτίνη, κ.λ.π. Όμως, η παραγωγή μεθανίου (methanogenesis) συχνά παρεμποδίζεται στη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιολιτριβείων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις COD και BOD<sub>5</sub> (πάνω από 7 g/L), η έλλειψη αζώτου και φωσφόρου, η παρουσία πολυφαινόλων και λιπαρών οξέων στα υγρά απόβλητα προκαλούν αστάθεια στο μεταβολισμό των μικροοργανισμών και συμβάλλουν στη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων.

Στα μειονεκτήματα των διάφορων μεθόδων παραγωγής βιοαερίου συγκαταλέγονται, η ανάγκη χρησιμοποίησης εξοπλισμού και εγκαταστάσεων υψηλού κόστους επένδυσης, η απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού για την συνεχή ρύθμιση των καταλλήλων συνθηκών ομαλής λειτουργίας της αναερόβιας ζύμωσης (ρύθμιση pH στην περιοχή δράσης των βακτηρίων, θερμοκρασίας μεταξύ 30-38°C, κ.ά.).

Πρόσφατα, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων τα οποία έχουν υποστεί προεπεξεργασία με φυσικές, χημικές ή βιολογικές μεθόδους ή μετά από αραίωση και χημική ρύθμιση (διόρθωση του pH και προσθήκη θρεπτικών). Η συν-χώνευση με άλλα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα έχει επίσης μελετηθεί. Προκαταρκτικές μελέτες εργαστηριακής και πιλοτικής κλίμακας όπου χρησιμοποιήθηκαν αραιωμένα απόβλητα ελαιολιτριβείων, με οργανικό φορτίο (COD) μικρότερο από 4 kg m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>, έδειξαν ότι η αναερόβια διεργασία επαφής μπορεί να δώσει υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 80 και 85% στους 35°C. Για συμπυκνωμένα απόβλητα όμως, η διεργασία αποδείχθηκε ασταθής εξαιτίας των παρεμποδιστικών φαινομένων από συστατικά όπως, οι πολυφαινόλες και το κάλιο.

### 2.3.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

#### **I. Κατεργασία με οξείδιο ή υδροξείδιο του ασβεστίου (CaO ή Ca(OH)<sub>2</sub>)**

Η μέθοδος που συνίσταται μέχρι σήμερα για τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων των ελαιοτριβείων περιλαμβάνει εξουδετέρωση της οξύτητας σε συνδυασμό με κροκίδωση και στη συνέχεια καθίζηση. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται καθαρισμός των αποβλήτων σε ποσοστό 60-70%. Η εξουδετέρωση και η κροκίδωση μπορούν να γίνουν με προσθήκη ασβέστη (lime slurry) σε σηπτική δεξαμενή συγκρατήσεως 30'– 60', εφοδιασμένη με μηχανική ανάδευση. Η προσθήκη του ασβέστη εξουδετερώνει τα οξέα και αυξάνει την τιμή pH των αποβλήτων.

Κατά την κατακρήμιση των αλάτων αυτά συμπαρασύρουν ποσοστό των διαλυμένων ή σε αραιώση οργανικών ουσιών και τελικά επιτυγχάνεται η μείωση του ρυπαντικού φορτίου και μερικός αποχρωματισμός του αποβλήτου. Το απόβλητο στη συνέχεια μεταφέρεται σε δεξαμενή καθίζησης και αφήνεται σε ηρεμία για 2 ώρες τουλάχιστον, με σκοπό την καθίζηση των αιωρούμενων συστατικών. Η λάσπη αφαιρείται συνεχώς και διατίθεται στους αγρούς. Η απαιτούμενη ποσότητα ασβέστη υπολογίζεται σε 5 kg CaO/tn ελαιοκάρπου ή 2 % ανά μονάδα όγκου αποβλήτου.

#### **II. Χρήση εξατμισοδεξαμενών**

Οι εξατμισοδεξαμενές αποτελούν μία από τις παλαιότερες μεθόδους για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Η μέθοδος της φυσικής εξάτμισης σε δεξαμενές έχει επικρατήσει στην Κρήτη. Η εξέλιξη αυτή υπήρξε απόρροια της συνεχώς αυξανόμενης πίεσης για περιορισμό της ρύπανσης ιδίως σε τουριστικές περιοχές και της βραδύτητας που παρουσίασε η έρευνα στην ανάπτυξη και εφαρμογή, οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμης τεχνολογίας διαχείρισης των αποβλήτων αυτών.

Το κύριο μειονέκτημα των δεξαμενών εξάτμισης είναι οι μεγάλες επιφάνειες που απαιτούνται και η μεγάλη περίοδος επεξεργασίας που διαρκεί περισσότερο από 60 ημέρες. Σήμερα οι δεξαμενές εξάτμισης χρησιμοποιούνται για αποθήκευση και εξάτμιση του ύδατος, ενώ παράλληλα έχουμε και διαχωρισμό των στερεών από την υγρή φάση με φυσική καθίζηση. Το μέγιστο ποσοστό εξάτμισης μπορεί να φθάσει σε τιμές 1m<sup>3</sup> ανά 1m<sup>2</sup> κατά τη διάρκεια ενός μήνα. Μετά την εξάτμιση των υγρών αποβλήτων, τα στερεά που απομένουν χρησιμοποιούνται ως λίπασμα.

Οι εξατμισοδεξαμενές είναι απλές εφαρμογές, χαμηλού κόστους, αλλά υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εάν η μόνωσή τους δεν είναι σωστή ή εάν υπάρξει κάποια διαρροή. Κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η έντονη δυσοσμία που αναδύεται από τα υγρά απόβλητα, η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή σε μεγάλη απόσταση. Ο ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από το κλίμα και μπορεί να διαρκέσει μερικές εβδομάδες. Στο τέλος της διαδικασίας παραμένει μια ελαιώδης και υγρή λάσπη.

Τα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν οι εξατμισοδεξαμενές είναι:

- η ευκολία κατασκευής και συντήρησης,
- το σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής,
- το χαμηλό κόστος λειτουργίας,
- η σχετικά υψηλή αποτελεσματικότητά τους

Τα μειονεκτήματα που εμφανίζουν, οφείλονται στο ότι:

- απαιτούν ειδικά αδιαπέραστα πετρώματα ή χρήση υλικών στεγανοποιήσεως
- δημιουργούν όχληση σε αστικά κέντρα λόγω δυσοσμίας
- απαιτούν σωστή διαχείριση
- απαιτούν υπολογίσιμη έκταση
- απαιτούν σωστή μελέτη και κατασκευή



### 2.3.3 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Πραγματοποιείται εξάτμιση των αποβλήτων σε συγκρότημα πολυβάθμιων συμπυκνωτών, όπου τελικά περιορίζει τον όγκο τους κατά 75 %. Παράλληλα επιτυγχάνεται η επαναχρησιμοποίηση του εξατμισμένου συμπυκνωμένου νερού στο ίδιο ελαιοτριβείο και επανάκτηση ελαιολάδου που περιέχεται στα απόβλητα σε ποσοστό 0.1-0.3%. Η μέθοδος της θερμικής συμπύκνωσης δεν ξεπέρασε το πειραματικό στάδιο λόγω τεχνικών δυσκολιών και υψηλού λειτουργικού κόστους.

Η ευρεία χρήση (φυσικοχημικών ή βιολογικών) μεθόδων διαχείρισης των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με δυνατότητα διάθεσης τους σε υδάτινους αποδέκτες παρεμποδίζεται από το υψηλό τους κόστος, από την απαίτηση πολύπλοκου και πολυδάπανου εξοπλισμού και από την αδυναμία μείωσης του αρχικού ρυπαντικού φορτίου σε επίπεδα επιτρεπτά από την Κοινοτική Περιβαλλοντική Νομοθεσία.

Η μέθοδος που προτείνει την χρήση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων για την άρδευση δένδρων κυρίως καλλιεργειών (φερτάρδευση ή υδρολίπανση - fertirrigation) έχει αρκετά μελετηθεί με πολύ θετικά αποτελέσματα. Η διάθεση των αποβλήτων στο έδαφος γίνεται με ή χωρίς προ-επεξεργασία, με χρήση απλής τεχνολογίας, χαμηλό κόστος και εκμεταλλεύεται τρία βασικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων:

- τη φυτική τους προέλευση και την φυσική επεξεργασία χωρίς προσθήκη συνθετικών χημικών ουσιών
- την υψηλή συγκέντρωσή τους σε λιπαντικές ουσίες
- την αυξημένη συγκέντρωση σε οργανικά συστατικά και ανόργανα θρεπτικά συστατικά (κάλιο, φώσφορο, ιχνοστοιχεία)

Το έδαφος ενεργεί:

- ως φίλτρο και κατακρατά τις ουσίες που περιέχονται στα απόβλητα,
- δεσμεύει και συνεπώς αδρανοποιεί διάφορα ιόντα,
- αποδομεί γρήγορα μέσω της βιολογικής διαδικασίας και με την δράση της μικροχλωρίδας του, πολλές οργανικές ουσίες κάτω από κατάλληλες συνθήκες.

Η άρδευση ελαιώνων με απόβλητα ελαιοτριβείων σε ξηροθερμικές περιοχές είναι διαδεδομένη στην Ισπανία, όπου υπάρχει έλλειψη αρδευτικού νερού, αφού πρώτα έχει προηγηθεί εξουδετέρωση με ασβέστη. Αμέσως μετά την προσθήκη των αποβλήτων στο έδαφος, το pH μειώνεται, ενώ γενικά επανέρχεται σε φυσιολογικές τιμές σχετικά γρήγορα. Επιπλέον καμία σημαντική μεταβολή δεν παρατηρείται στις τιμές pH σε βάθος έως και 40cm.

Γενικά, η διάθεση των αποβλήτων στο έδαφος προκαλεί αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας, εκφρασμένη ως αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας (C-CO<sub>2</sub>) ή την αύξηση των μικροβιακών αποικιών ανά γραμμάριο εδάφους. Από εδάφη στα οποία έχουν προστεθεί υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων υπό αερόβιες συνθήκες απομονώθηκαν ελεύθερα διαβιούντα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια του γένους *Azotobacter*. Η δραστηριότητα αυτών των μικροοργανισμών είναι ευεργετική για το έδαφος, υπό την παρουσία πρόσφορων θρεπτικών πηγών, όπου μέσω του συστήματος της νιτρογενάσης δεσμεύουν μοριακό άζωτο και παράγουν μεγάλες ποσότητες πολυμερών ουσιών που συμβάλουν στη δημιουργία σταθερών εδαφικών συσσωματωμάτων. Πειραματισμοί της επίδρασης των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων σε καλλιέργειες καλαμποκιού και αμπελιού έδειξαν ότι η προσθήκη των αποβλήτων δε μείωσε την παραγωγικότητα, αλλά αντιθέτως την αύξησε (προσθέτοντας ποσότητες 10-50L/m<sup>2</sup>/yr).

Παράλληλα με την ευεργετική επίδραση των αποβλήτων στα παραγωγικά αποτελέσματα διαφόρων καλλιεργειών, υπάρχουν αρκετές αναφορές σχετικές με την συμβολή τους στην αύξηση της ικανότητας του εδάφους (Soil suppressiveness) έναντι φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών, όπως μύκητες του γένους *Pythium*, *Phytophthora* και *Rhizoctonia solani*.

Η διάθεση των ΥΑΕ στις ελληνικές συνθήκες έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. μεγάλο μέρος των αγροτικών εκτάσεων είναι ελλειμματικές σε οργανική ουσία,
2. τα ελαιοτριβεία είναι μικρής δυναμικότητας, διασκορπισμένα ανάμεσα στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και πλησίον στους επιθυμητούς εδαφικούς αποδέκτες (ελαιοπερίβολα), και
3. αδυναμία, λόγω κόστους, του εκσυγχρονισμού των ελαιοτριβείων με φυγοκεντρικά δύο φάσεων και αντίστοιχης μείωσης του όγκου των παραγόμενων υγρών αποβλήτων.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου διάθεσης των αποβλήτων στο έδαφος σχετίζονται:

1. με το μεγάλο ύψος βροχής σε πολλές ελαιοπαραγωγικές περιοχές (Δυτική Ελλάδα), οι οποίες δυσχεραίνουν το διασκορπισμό των αποβλήτων στο έδαφος και δημιουργούν προβλήματα επιφανειακών απορροών,
2. της επακόλουθης δημιουργίας ανεπιθύμητων συνθηκών στους εδαφικούς αποδέκτες,

3. στην ύπαρξη, σε πολλές περιπτώσεις, αγρών με υπέδαφος αποτελούμενο από ασβεστολιθικά πετρώματα, διαπερατό σε ρυπαντικά συστατικά, κάτω από ευνοϊκές συνθήκες, στους υδροφόρους ορίζοντες, και
4. στην εκτεταμένη ημιορεινή μορφολογία του εδάφους στις κύριες ελαιοπαραγωγικές ζώνες, γεγονός που δυσχεραίνει τη μεταφορά των αποβλήτων και τη διασπορά τους (κίνδυνος απορροών)

## 2.4 Καθορισμός δεικτών για την αξιολόγηση τεχνολογιών επεξεργασίας ΥΑΕ

Σύμφωνα με την EPA (1996), οι δείκτες χρησιμοποιούνται ώστε να παρουσιάζουν πληροφορίες, να καθορίζουν τους στρεσογόνους παράγοντες που υποβαθμίζουν την ποιότητα του περιβάλλοντος και να εκτιμούν την ανταπόκριση της κοινωνίας στις βελτιωμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για τη διαχείριση πληροφοριών με απλό και κατανοητό τρόπο ώστε να καθοριστούν μελλοντικές δραστηριότητες, όπως εκείνες που σχετίζονται με τη διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση των ΥΑΕ, και να διαχυθούν στους ενδιαφερόμενους και στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Μετά την επιλογή των κατάλληλων δεικτών, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων έχουν τη δυνατότητα να αξιολογήσουν την αποδοτικότητα μιας τεχνολογίας επεξεργασίας ΥΑΕ (Azaragic et al., 2003; Arendse and Godfrey, 2010; Hak et al., 2012).

Σε κάθε περίπτωση, οι κατάλληλοι δείκτες θα πρέπει να συμμορφώνονται με τα ακόλουθα γενικά κριτήρια (OECD, 2001):

- Να είναι απλοί, να επεξηγούνται με ευκολία και ικανοί να υποδεικνύουν τάσεις με την πάροδο του χρόνου.
- Να προσαρμόζονται σε αλλαγές στο περιβάλλον και διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Να παρέχουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα των περιβαλλοντικών – τεχνικών - οικονομικών συνθηκών.
- Να παρέχουν τη δυνατότητα συγκρίσεων σε διεθνή βάση.
- Να είναι θεωρητικά καλά δομημένοι από τεχνικής και επιστημονικής άποψης
- Να βασίζονται σε διεθνή πρότυπα.
- Να παρέχουν οριακές τιμές ή τιμές αναφοράς ώστε οι χρήστες να μπορούν να αξιολογήσουν τη σημαντικότητά τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο κύριος στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη και ανάδειξη των μεθόδων επεξεργασίας και αξιοποίησης των αποβλήτων από την παραγωγή του ελαιολάδου και κατ' επέκταση για την επεξεργασία του συνόλου των παραγόμενων υγρών και στερεών αποβλήτων των ελαιοτριβείων.

Ειδικότερα, εξετάστηκαν διεξοδικά:

1. Η διαδικασία παραγωγής του ελαιολάδου και συγκεκριμένα των δύο και τριών φάσεων φυγοκέντρησης και τα αντιστοιχα απόβλητα που παράγουν.
2. Μεθόδοι και διαχειριστικές πρακτικές επεξεργασίας ή/και αξιοποίησης των υγρών αποβλήτων των τριφασικών ελαιοτριβείων, αλλά και των αποβλήτων των διφασικών ελαιοτριβείων, με στοιχεία της πλέον πρόσφατης βιβλιογραφίας.
3. Βιολογικές και Φυσικοχημικές μέθοδοι διαχείρισης των ΥΑΕ.

Η αποτελεσματική διαχείριση και η περιβαλλοντικά συμβατή επεξεργασία και τελική διάθεση του κατσίγαρου των τριφασικών ελαιοτριβείων, αποτελεί το σημαντικότερο περιβαλλοντικό και οικονομικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κλάδος της ελαιοκαλλιέργειας. Το πρόβλημα αυτό έχει ενταθεί τα τελευταία χρόνια, παίρνοντας διαστάσεις κρίσεως, αφενός λόγω της ογκούμενης αντίδρασης των τοπικών αρχών και των κατοίκων στη συνεχιζόμενη ανεξέλεγκτη απόρριψη των ΥΑΕ αποβλήτων με υψηλό ρυπαντικό φορτίο οργανικής προέλευσης, είτε σε παρακείμενους υδάτινους αποδέκτες, είτε

σε πρόχειρες εξατμισοδεξαμενές, όπου και στις δύο περιπτώσεις προκαλείται σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα. Αφετέρου, εντείνεται ασφυκτικά και η πίεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία με σειρά ήδη υφιστάμενων, αλλά και επερχόμενων θεσμικών ρυθμίσεων, απαιτεί πλέον πλήρη οικολογική διαχείριση ολόκληρου του κύκλου ζωής του ελαιοκάρπου.

Από την άλλη, τα διφασικά ελαιοτριβεία, ή οικολογικά, έχουν υψηλό βαθμό διεύθυνσης τα τελευταία έτη, καθώς εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως:

- η παραγωγή ελαιολάδου είναι ελαφρά υψηλότερη, έναντι των τριφασικών
- εξοικονομούνται σημαντικές ποσότητες νερού, με αποτέλεσμα χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις (μείωση λειτουργικού κόστους), και
- το παραγόμενο ελαιόλαδο είναι καλύτερης ποιότητας, καθώς έχει υψηλότερη σταθερότητα στην οξείδωση και καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Από την άλλη, ως μειονεκτήματα των διφασικών ελαιοτριβείων αναφέρονται:

- η παραγωγή ενός νέου υποπροϊόντος, της διφασικής ελαιοπυρήνας, που απαιτεί μία αξιόπιστη, τεχνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά, μέθοδο τελικής διάθεσής του, και
- στην δυσκολία επεξεργασίας της διφασικής ελαιοπυρήνας στα συμβατικά πυρηνελαιουργεία, όχι μόνο λόγω των αυξημένων ενεργειακών αναγκών που απαιτούνται για την εξάτμισή του, αλλά και τις τεχνικές δυσκολίες που υπεισέρχονται κατά την ξήρανση, λόγω της καραμελοποίησης που υφίστανται τα σάκχαρα.

Αντίστοιχα, το κύριο πρόβλημα των τριφασικών ελαιοτριβείων είναι η ρύπανση, που προκαλείται από την ανεξέλεγκτη διάθεση του κατσίγαρου. Το υψηλό ρυπαντικό δυναμικό αποδεικνύεται δύσκολο να απομακρυνθεί με τις κλασικές μεθόδους καθαρισμού, αφού καμία από αυτές, φυσικοχημική, βιολογική ή μηχανική, που δοκιμάστηκαν στο παρελθόν, δεν έχει αποδειχθεί οικονομικά ή περιβαλλοντικά βιώσιμη, και ως εκ τούτου το πρόβλημα παραμένει άλυτο.

Η εκτεταμένη ανάλυση και παρουσίαση των τεχνολογικών λύσεων και των στοιχείων οικονομικής βιωσιμότητας των διαχειριστικών σχημάτων που εξετάστηκαν, αναφορικά με τη λειτουργία κεντρικών μονάδων διαχείρισης της 3-φασικής και 2-φασικής ελαιοπυρήνας, κατέδειξε ότι, η εφαρμογή της κεντρικής διαχείρισης των αποβλήτων των 2-φασικών ελαιοτριβείων αποτελεί την πλέον εναλλακτική αποδεκτή λύση:

- από τεχνολογικής άποψης, εφαρμόζεται στην Ευρώπη τα τελευταία 15 χρόνια,
- από οικονομικής άποψης, διότι οδηγεί σε θετικά οικονομικά αποτελέσματα, και τέλος,
- από περιβαλλοντικής άποψης, καθώς εξοικονομούνται σημαντικές ποσότητες νερού και τα ελαιοτριβεία απαλλάσσονται πλήρως από την διαχείριση των ιδιαίτερα ρυπογόνων ΥΑΕ.

Παραλληλα, μια κρίσιμη παράμετρος στο θέμα της επεξεργασίας λυμάτων των ελαιουργείων είναι η εκτίμηση της βέλτιστης μεθόδου επεξεργασίας των ΥΑΕ. Το θέμα αυτό αποτελεί ένα αρκετά πολυσύνθετο πρόβλημα, σύμφωνα με το οποίο θα πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που παίζουν σημαντικό ρόλο ως προς την επεξεργασία των ΥΑΕ.



Οι παράγοντες που υπάρχουν ήδη στη βιβλιογραφία και λαμβάνονται υπόψη για τον σκοπό αυτό, είναι οι εξής:

- Το ποσοστό μείωσης του COD που επιτυγχάνεται σε κάθε μέθοδο επεξεργασίας των ΥΑΕ
- Το επενδυτικό κόστος της κάθε μεθόδου επεξεργασίας των ΥΑΕ .
- Το λειτουργικό κόστος ( π.χ. το κόστος κατανάλωσης ενέργειας, νερού, χημικών ουσιών, το κόστος πληρωμής του προσωπικού κ.τ.λ) για την κάθε μέθοδο επεξεργασίας των ΥΑΕ.
- Η ποσότητα της ιλύος που παράγεται στην κάθε μέθοδο επεξεργασίας των ΥΑΕ και εάν μπορούμε να τη διαθέσουμε προς τους φυσικούς αποδέκτες ή απαιτείται επιπλέον επεξεργασία της ιλύος.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κάθε μεθόδου επεξεργασίας των ΥΑΕ
- Η δυνατότητα που παρουσιάζει κάθε μέθοδος επεξεργασίας των ΥΑΕ για την ανάκτηση πολύτιμων συστατικών που περιέχουν τα ΥΑΕ.
- Οι λειτουργικές δυσχέρειες που εμφανίζονται σε κάθε μέθοδο επεξεργασίας των ΥΑΕ.
- Ο χρόνος που απαιτείται σε κάθε μέθοδο για ικανοποιητική απορρύπανση των ΥΑΕ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, εξαιτίας, της μεγάλης διακύμανσης στα χαρακτηριστικά των ελαιουργείων (γεωγραφική θέση, δυναμικότητα, τοποθεσία, χρήση νερού και άλλα), αλλά και στην ποιότητα και ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων δεν φαίνεται να υπάρχει μία λύση που να είναι άμεσα εφαρμόσιμη σε όλα τα ελαιουργεία της Περιφέρειας.

Εν κατακλείδι, μπορεί να λεχθεί ότι τα απόβλητα των ελαιοτριβείων είναι το υδατικό εκχύλισμα του ελαιοκάρπου, το οποίο εκ προελεύσεως είναι πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία, έχει αυξημένο οργανικό φορτίο και φυτοτοξικές ιδιότητες. Επομένως, η αλόγιστη διάθεση τους εγκυμονεί κινδύνους για το περιβάλλον. Θα πρέπει όμως να τονιστεί και το γεγονός ότι τα απόβλητα αυτά είναι κατά κανόνα ελεύθερα ενώσεων υψηλού περιβαλλοντικού κινδύνου και δεν περιέχουν, όπως άλλοι τύποι βιομηχανικών αποβλήτων, βαρέα μέταλλα, αμίαντο ή μη βιοαποδομήσιμες σύνθετες οργανικές ουσίες.

## Βιβλιογραφία

1. Achak M., L. Mandi and N. Ouazzani (2009). Removal of organic pollutants and nutrients from olive mill wastewater by a sand filter, *J Environ Manage* 90, 2771–2779.
2. Arendse L. and L. Godfrey (2010). Waste management indicators for national state of environment reporting, United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics. Available from: <http://www.unep.or.jp/ietc/kms/data/2010.pdf>.
3. Azapagic A., A. Emsley and L. Hamerton (2003). *Polymers, the Environment and Sustainable Development*, Print ISBN 9780471877400, Online ISBN 9780470865170, DOI 10.1002-0470865172, John Wiley & Sons, Ltd.
4. Caputo A. C., F. Scacchia, P.M. Pelagagge (2003). Disposal of by-products in olive oil industry: waste-to-energy solutions, *Appl Therm Eng* 23, 197-214.
5. Crittenden J., R.R. Trussell, D.W. Hand, K.J. Howe and G Tsobanoglous (2005). *Water Treatment: Principles and Design*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN: 978-0-471-11018-7.
6. El-Abbassi A., A. Hafidi, M.C. Garcia-Payo, M. Khayet (2009). Concentration of olive mill wastewater by membrane distillation for polyphenol recovery, *Desalination* 246, 297-301.
7. Hachicha S., J. Cegarra, F. Sellami, R. Hachicha, N. Drira, K. Medhioub and E. Ammar (2009a). Elimination of polyphenols toxicity from olive mill

- wastewater sludge by its co-composting with sesame bark, *J Hazard Mater* 161, 1131–1139.
8. Hachicha S., F. Sellami, J. Cegarra, R. Hachicha, N. Drira, K. Medhioub and E. Ammar (2009b). Biological activity during co-composting of sludge issued from the OMW evaporation ponds with poultry manure Physico-chemical characterization of the processed organic matter, *J Hazard Mater* 162, 402–409.
  9. Hak T., J. Kovanda and J. Weinzettel (2012). A method to assess the relevance of sustainability indicators: Application to the indicator set of the Czech Republic's Sustainable Development Strategy, *Ecol Indic* 17, 46-57.
  10. LIFE Wastereuse. <http://www.wastereuse.eu>
  11. López-Piñeiro A., S. Murillo, C. Barreto, A. Muñoz, J.M. Rato, A. Albarrán and A. García (2007). Changes in organic matter and residual effect of amendment with two-phase olive-mill waste on degraded agricultural soils, *Sci Total Environ* 378, 84–89.
  12. Morillo, J. A., Antizar-Ladislao, B., Monteoliva-Sánchez, M., Ramos-Cormenzana, A. & Russell, N. J. (2009). Bioremediation and biovalorisation of olive-mill çastes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82:25-39
  13. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) *Environmental Indicators - Towards Sustainable Development* (2001). OECD publications, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16, printed in France (97 2001 09 1 P) ISBN 92-64-18718-9 – No. 52079 2001.

14. Saadi I., Y. Laor, M. Raviv and S. Medina (2007). Land spreading of olive mill wastewater: Effects on soil microbial activity and potential phytotoxicity, *Chemosphere* 66, 75–83.
15. Saviozzi A., R. Levi-Minzi, R. Cardelli, A. Biasci and R. Riffaldi (2001). Suitability of moist olive pomace as soil amendment, *Water Air Soil Pollut* 128, 13–22.
16. Zaharaki D. and K. Komnitsas (2009). Existing and emerging technologies for the treatment of olive oil mill wastewaters, *Proceedings of International Conference AMIREG 2009 “Towards sustainable development: Assessing the footprint of resource utilization and hazardous waste management”*, in CD-ROM, Athens, 7-9 September.