



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ηλιακή ξήρανση αγροτικών υπολειμμάτων για την παραγωγή στερεών
καυσίμων»**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΧΡΥΣΟΧΟΪΔΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Δοκιανάκης Σπύρος

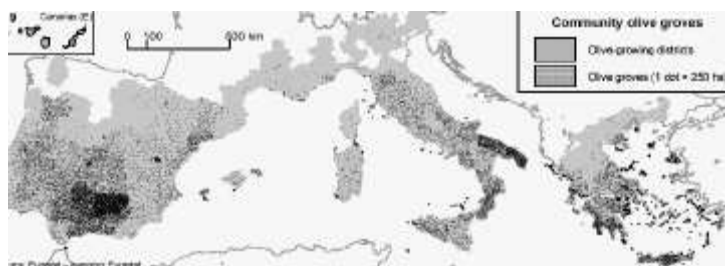
ΗΡΑΚΛΕΙΟ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2010

1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ	3
1.1. Εισαγωγή	3
1.2. Συστήματα εξαγωγής ελαιόλαδου και παραγόμενα απόβλητα.....	5
1.2.1. Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων και μέθοδοι επεξεργασίας τους.....	11
1.2.2. Στερεά απόβλητα ελαιοτριβείων και μέθοδοι επεξεργασίας τους.....	21
2. ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ	26
2.1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και Ε.Ε.Λ.	26
2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ξήρανσης.....	26
2.3. Μέθοδοι Ξήρανσης με ηλιακή ενέργεια	27
2.3.1. Ξήρανση με ηλιακούς συλλέκτες	27
2.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά συλλέκτη	28
2.3.3. Λειτουργία – Τεχνογνωσία.....	28
2.3.4. Ηλιακή ξήρανση με στεγνωτήρα ακτινοβολίας (IST)	29
2.4. Εγκαταστάσεις ξήρανσης.....	30
2.5 Παραδείγματα εφαρμογής της ξήρανσης με ηλιακή ενέργεια.....	32
2.5.1. Μυτιλήνη	32
2.5.2 Χανιά	33
2.5.3 Γαλλία	37
2.5.4. Γερμανία.....	38
2.5.5. Τουρκία	38
2.5.6. Κάτω Χώρες - Ολλανδία	40
2.5.7. Νορβηγία	41
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	42
3.1 Πειραματική διαδικασία	42
3.2 Μέτρηση pH και Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC)	44
3.3 Μέτρηση υγρασίας.....	45
3.4 Μέτρηση θερμοκρασιών.....	45
3.5 Μέτρηση ελαίου.....	46
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	47
4.1 Μεταβολή θερμοκρασίας.....	47
4.2 Μεταβολή pH.....	48
4.3 Μεταβολή Ηλεκτρικής αγωγιμότητας	50
4.4 Μεταβολή Υγρασίας.....	52
4.5 Σύσταση Ελαίου.....	54
4.6 Μέτρηση Κατώτερης Θερμογόνου Δύναμης.....	54
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55

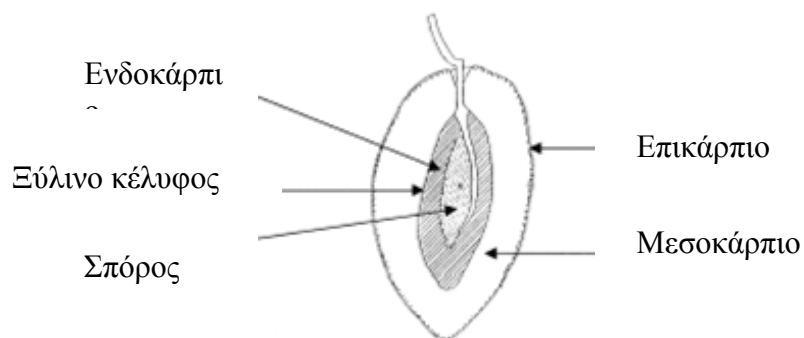
1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

1.1. Εισαγωγή

Η καταγωγή του ελαιόδενδρου χάνεται στα βάθη του χρόνου, στους θρύλους και στις παραδόσεις των λαών γύρω από τη Μεσόγειο. Οι πρώτες καλλιέργειες χρονολογούνται από το 6000 π.Χ. στην περιοχή της Συρίας. Από τον 11ο αιώνα π.Χ. η καλλιέργεια του ελαιόδενδρου είχε διαδοθεί σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου, ενώ εισήχθη στην Ισπανία κατά τη διάρκεια της περιόδου της θαλάσσιας κυριαρχίας των Φοινίκων (1050 π.Χ.). Με την ανακάλυψη της Αμερικής (1492 μ.Χ.), η καλλιέργεια του ελαιόδενδρου διαδόθηκε πέρα από τη Μεσόγειο. Ελαιόδεντρα καλλιεργούνται πλέον στην Καλιφόρνια, στην Αργεντινή, στην Αυστραλία, στη Νότια Αφρική κ.α.. Το ελαιόδενδρο (*Olea europaea* L.) είναι ένα πολύμορφο, αειθαλές, μέσου μεγέθους δένδρο, έχει μικρά, λογχοειδή, πράσινα φύλλα με ομαλές άκρες και έναν μικρό μίσχο και ευδοκίμει στα μεσογειακά κλίματα με θερμά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες (Σχήμα 1.1). Γενικά, η καλλιέργεια των ελαιόδενδρων απαιτεί χρόνο, καθώς η πρώτη μεγάλη συγκομιδή αναμένεται μετά από 8-10 έτη, με εξαίρεση αρκετές ποικιλίες, των οποίων η συγκομιδή των καρπών αναμένεται μετά από 4-6 έτη. Ο καρπός του ελαιόδενδρου είναι σαρκώδης δρύπη και αποτελείται από το περικάρπιο και το ενδοκάρπιο (Σχήμα 1.2). Το περικάρπιο αποτελείται από το επικάρπιο (φλούδα) και το μεσοκάρπιο (σάρκα) και αντιστοιχεί στο 70-80% του συνολικού βάρους του καρπού [Bianchi, 2003]. Το ενδοκάρπιο, που περιέχει το ενδοσπέρμιο, αντιστοιχεί στο 18-22% του συνολικού βάρους του καρπού [Bianchi, 2003]. Η μέση χημική σύσταση του ελαιόκαρπου φαίνεται στον πίνακα 1.1 [Improlive, 2000]. Το ελαιόδενδρο ανθίζει την άνοιξη και η ωρίμανση των καρπών 2 του διαρκεί αρκετούς μήνες, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της καλλιεργήσιμης περιοχής, την ποικιλία, την ηλικία του ελαιόδενδρου, τη διαθεσιμότητα του νερού, τη θερμοκρασία, το φως, τη μέθοδο καλλιέργειας και τη χρήση λιπασμάτων. Το βάρος του καρπού αυξάνεται μέχρι τον Οκτώβριο-Νοέμβριο και στη συνέχεια μειώνεται, λόγω μείωσης της υγρασίας του. Η συσσώρευση του ελαίου ξεκινάει στα τέλη Ιουλίου και μεγιστοποιείται στη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα. Το ελαιόδενδρο εναλλάσσει την παραγωγή των καρπών του, με κύρια χαρακτηριστικά τη μακροζωία και τη διατήρηση της παραγωγικότητας του για πολλά χρόνια.



Σχήμα 1.1. Κοινοτικοί ελαιώνες (1999/2000).



Σχήμα 1.2. Σχηματική απεικόνιση ελαιόκαρπου.

Πίνακας 1.1. Σύσταση ελαιόκαρπου.

Συστατικά	Μεσοκάρπι (%)	Ενδοκάρπι (%)	Ενδοσπέρμιο (%)
Νερό	50-60	9.3	30
Έλαιο	15-30	0.7	27.3
Αζωτούχες ενώσεις	2-5	3.4	10.2
Σάκχαρα	3-7.5	41	26.6
Κυτταρίνη	3-6	38	1.9
Ανόργανη ύλη	1-2	4.1	1.5
Πολυφαινόλες	2-2.25	0.1	0.5-1
Άλλα συστατικά	-	3.4	24.3

1.2. Συστήματα εξαγωγής ελαιόλαδου και παραγόμενα απόβλητα

Η παραγωγή ελαιόλαδου αποτελεί σημαντικό γεωργικό και διατροφικό τομέα στην Ευρώπη. Είναι χαρακτηριστικό ότι, περίπου 95% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιόλαδου παράγεται από μικρές, οικογενειακής μορφής επιχειρήσεις στην περιοχή της Μεσογείου [Aktas *et al.*, 2001]. Εκτιμάται ότι παγκοσμίως υπάρχουν περίπου 25000 ελαιοτριβεία, εκ των οποίων 2200 ελαιοτριβεία βρίσκονται στην Ελλάδα [www.fao.org].

Η Ισπανία κατέχει την πρώτη θέση στην παγκόσμια παραγωγή ελαιόλαδου (42%), ενώ τη δεύτερη θέση κατέχει η Ιταλία (20%). Η Ελλάδα είναι ο τρίτος μεγαλύτερος παραγωγός κατέχοντας το 13% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιόλαδου. Άλλες χώρες που παράγουν σημαντικά ποσά ελαιόλαδου είναι η Συρία, η Τουρκία, η Τυνησία η Λιβύη, το Μαρόκο, η Αργεντινή, οι ΗΠΑ κ.ά.

Η διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου περιλαμβάνει διάφορα στάδια, όπως αποφύλλωση, πλύσιμο και άλεση του ελαιόκαρπου, μάλαξη της ελαιόπαστας και εξαγωγή του ελαιόλαδου από την ελαιόπαστα. Τα στάδια αυτά περιγράφονται συνοπτικά στη συνέχεια.

Αποφύλλωση και πλύσιμο του ελαιόκαρπου

Όταν ο καρπός φτάνει στο ελαιοτριβείο, περιέχει φύλλα και ξένα υλικά (σκόνη, χώμα, πέτρες κ.ά.) που πρέπει να απομακρυνθούν πριν την εξαγωγή του ελαιόλαδου. Αρχικά, λαμβάνει χώρα η αποφύλλωση, η οποία θεωρείται επιβεβλημένη καθώς η παρουσία των φύλλων προσδίδει στο ελαιόλαδο πικρή γεύση (λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σε ελευρωπαΐνη, 90 mg/g ξηρού βάρους). Στη συνέχεια, οι καρποί πλένονται με νερό, προκειμένου να απομακρυνθούν τα ξένα υλικά.

Άλεση του ελαιόκαρπου

Η άλεση του ελαιόκαρπου λαμβάνει χώρα σε σύγχρονους μεταλλικούς σπαστήρες με αντίθετα περιστρεφόμενους δίσκους, οι οποίοι περιστρέφουν τον καρπό με μεγάλη ταχύτητα μέσα σε ένα διάτρητο τύμπανο. Στους παραδοσιακούς πέτρινους ελαιόμυλους, οι καρποί συνθλίβονταν χωρίς υπερβολική μηχανική πίεση και χωρίς τον κίνδυνο υπερθέρμανσης της ελαιόπαστας και επιμόλυνσης της από ίχνη

μετάλλων. Τα πλεονεκτήματα των μεταλλικών σπαστήρων είναι η συνεχής λειτουργία, η μεγάλη απόδοση, το μικρό κόστος και μέγεθος, ενώ η γρήγορη φθορά των εξαρτημάτων άλεσης αποτελεί σοβαρό μειονέκτημά τους.

Η άλεση του ελαιόκαρπου στοχεύει στη διάρρηξη των κυττάρων του μεσοκαρπίου, ώστε να διευκολυνθεί η εξαγωγή του ελαίου και να σχηματιστούν μεγαλύτερες σταγόνες, οι οποίες μπορούν να διαχωριστούν ευκολότερα στα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Ωστόσο, κατά την άλεση του ελαιόκαρπου οι σταγόνες ελαίου που ελευθερώνονται, σχηματίζουν με τις πρωτεΐνες γαλάκτωμα. Επίσης, απαιτείται προσοχή ώστε η θερμοκρασία της ελαιόπαστας να μην αυξηθεί πάρα πολύ και ο θρυμματισμός του καρπού να μην είναι υπερβολικός, γιατί τότε μπορεί να γίνει αιτία για πικρή γεύση στο ελαιόλαδο.

Μάλαξη της ελαιόπαστας

Μετά την άλεση του ελαιόκαρπου ακολουθεί η μάλαξη της ελαιόπαστας, σε ειδικές ημι-κυλινδρικές ή ημι-σφαιρικές δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα με διπλά τοιχώματα, μέσα στα οποία κυκλοφορεί θερμό νερό (30-35°C) για τη θέρμανση της ελαιόπαστας, διευκολύνοντας την εξαγωγή του ελαιόλαδου. Η ανάμειξη επιτυγχάνεται με περιστρεφόμενο έλικα, ο οποίος φέρει μικρό αριθμό πτερυγίων και περιστρέφεται με αργό ρυθμό. Η θέρμανση σε υψηλότερες θερμοκρασίες (άνω των 35°C) μπορεί να οδηγεί στην εξαγωγή μεγαλύτερης ποσότητας ελαιόλαδου, καθώς μειώνεται το ιξώδες της ελαιόπαστας, έχει όμως δυσμενή επίπτωση στην ποιότητα του (απώλεια πτητικών ουσιών, αύξηση οξύτητας, υποβάθμιση χρώματος). Τέλος, ο χρόνος μάλαξης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 20-30 min.

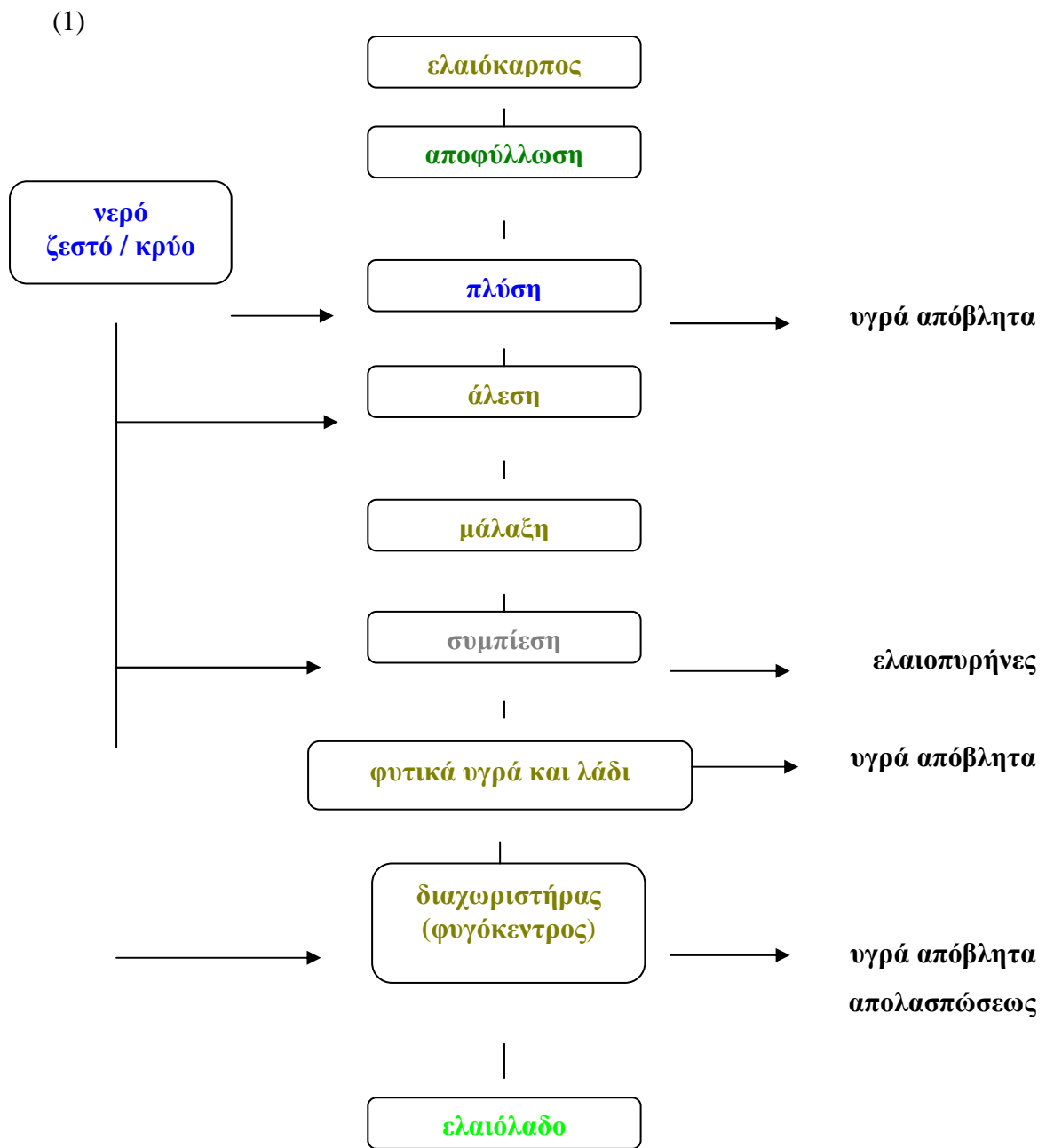
Στόχος του σταδίου μάλαξης είναι η διάσπαση του γαλακτώματος, που σχηματίστηκε κατά την άλεση και η συνένωση των μικρών ελαιοσταγονιδίων σε 5 μεγαλύτερες σταγόνες, ώστε να διευκολυνθεί ο διαχωρισμός τους από τα υπόλοιπα συστατικά της ελαιόπαστας.

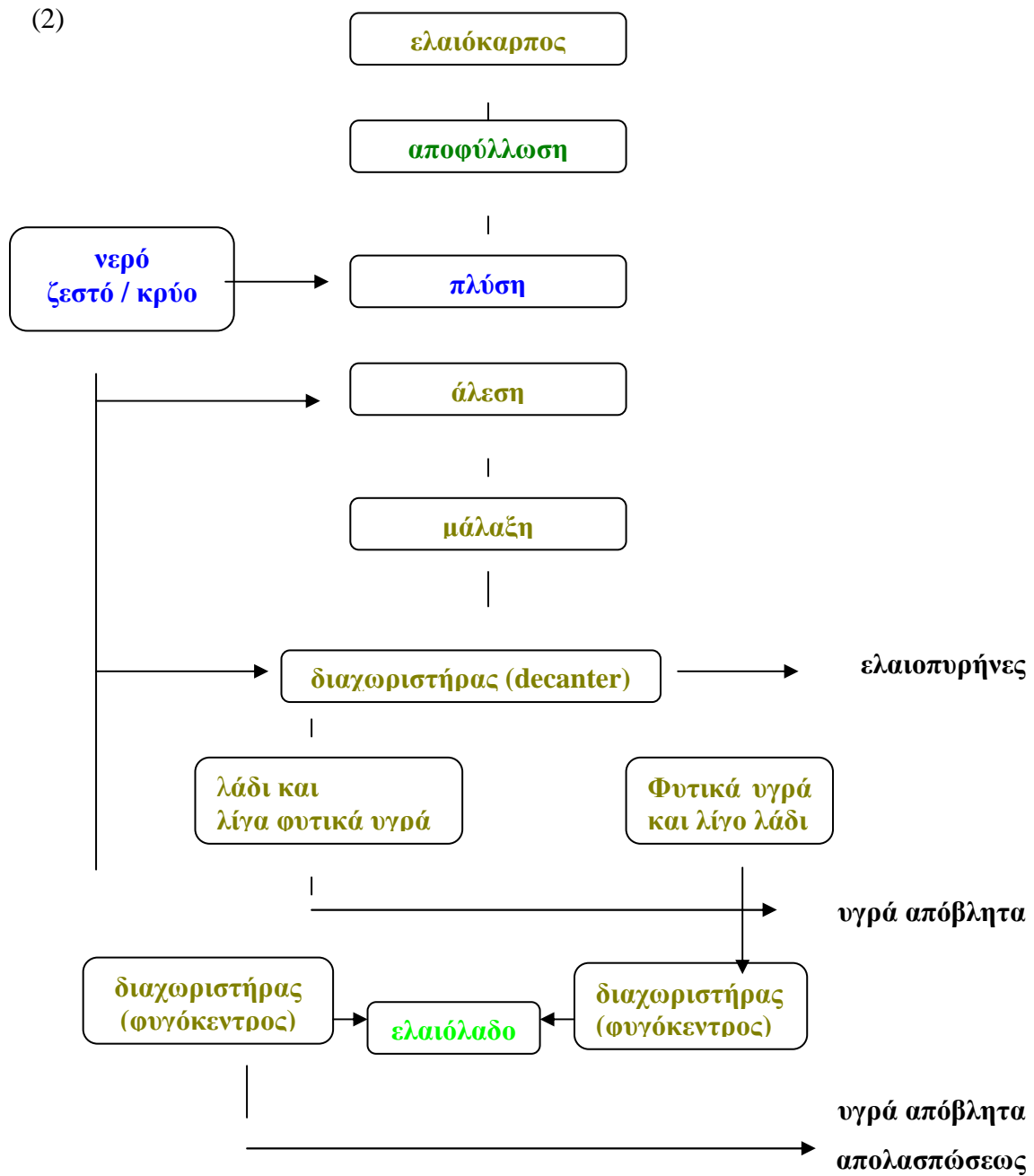
Εξαγωγή ελαιόλαδου

Η εξαγωγή του ελαιόλαδου από την ελαιόπαστα μπορεί να λάβει χώρα είτε με πίεση είτε με φυγοκέντριση της ελαιόπαστας. Τα φυγοκεντρικά συστήματα διακρίνονται σε δύο και τριών φάσεων (Σχήμα 1.3)

Από τα πανάρχαια χρόνια μέχρι πρόσφατα, η πίεση της ελαιόπαστας υπήρξε ο μοναδικός τρόπος για την εξαγωγή του ελαιόλαδου. Στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία η

ελαιόπαστα, μετά τη μάλαξη, τοποθετείται σε ελαιοδιαφράγματα όπου συμπιέζεται και τελικά διαχωρίζεται στη χυμώδη φάση (ελαιόλαδο, φυτικά υγρά και στερεά που διαφεύγουν από τα ελαιοδιαφράγματα) και στη στερεή φάση (ελαιοπυρήνας). Η χρήση παλινδρομικού κόσκινου συγκρατεί τα στερεά που βρίσκονται στη χυμώδη φάση, ενώ ο διαχωρισμός του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά ολοκληρώνεται με τη χρήση κάθετου φυγοκεντρικού ελαιοδιαχωριστήρα. Παρόλο που η παραδοσιακή διαδικασία θεωρείται απαρχαιωμένη, εξακολουθεί να εφαρμόζεται σε αρκετές χώρες, μεταξύ των οποίων είναι και η Ελλάδα





Σχήμα 1.3. Στάδια επεξεργασίας ελαιοκάρπου σε (1) κλασικά και (2) φυγοκεντρικά συστήματα

Η τριφασική φυγοκεντρική διαδικασία, που αντικατέστησε την παραδοσιακή διαδικασία από τη δεκαετία του 1970, χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως για την εξαγωγή του ελαιόλαδου [Roig *et al.*, 2006]. Στα ελαιοτριβεία τριών φάσεων η ελαιόπαστα, αφού αραιωθεί με την απαραίτητη ποσότητα θερμού νερού, οδηγείται σε έναν οριζόντιο φυγοκεντρικό διαχωριστήρα τριών φάσεων, όπου λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός της σε τρία κλάσματα: ένα στερεό κλάσμα (περιεκτικότητα σε υγρασία 40-45%), ένα υγρό κλάσμα που αποτελείται κυρίως από το ελαιόλαδο και μέρος των φυτικών υγρών και ένα δεύτερο υγρό κλάσμα που αποτελείται κυρίως από φυτικά υγρά και μέρος ελαιόλαδου. Στη συνέχεια, ο διαχωρισμός του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά και πιθανότητα από πολύ μικρά τεμαχίδια στερεών λαμβάνει χώρα σε κάθετους φυγοκεντρικούς ελαιοδιαχωριστήρες. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της τριφασικής διαδικασίας παραγωγής ελαιόλαδου είναι η αύξηση των ποσοτήτων των υγρών αποβλήτων που παράγονται, λόγω της αυξημένης κατανάλωσης νερού, συγκριτικά με την παραδοσιακή διαδικασία (1.25-1.75 φορές μεγαλύτερη κατανάλωση νερού).

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 αρκετές εταιρείες προώθησαν νέους τύπους οριζόντιων φυγοκεντρικών διαχωριστήρων, οι οποίοι μπορούν να διαχωρίσουν την ελαιούχο φάση από την ελαιόπαστα χωρίς την προσθήκη νερού, κατά τη διαδικασία εξαγωγής του ελαιόλαδου. Αυτό το σύστημα εξαγωγής ελαιόλαδου χαρακτηρίστηκε ως 'οικολογικό', λόγω της μειωμένης κατανάλωσης νερού και ενέργειας και ως 'δυο φάσεων' καθώς παράγονται δυο κλάσματα: ένα στερεό κλάσμα με αυξημένη υγρασία (55-70%) και ένα υγρό κλάσμα (ελαιόλαδο). Ωστόσο, μία μικρή ποσότητα υγρών αποβλήτων παράγεται από το νερό που προστίθεται στο φυγοκεντρικό ελαιοδιαχωριστήρα για το διαχωρισμό του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά καθώς και από το νερό που χρησιμοποιήθηκε για το πλύσιμο του ελαιόκαρπου.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, στα διφασικά συστήματα οι ποσότητες των υγρών αποβλήτων που παράγονται, έχουν μειωθεί περίπου κατά 75% συγκριτικά με τα τριφασικά συστήματα

Στην Ισπανία το νέο διφασικό σύστημα εξαγωγής ελαιόλαδου αντικατέστησε πάρα πολύ γρήγορα το τριφασικό σύστημα. Αυτό όμως δεν συνέβη και στις άλλες ελαιοπαραγωγικές χώρες, πιθανότατα λόγω αδυναμίας διαχείρισης του νέου ημιστερεού αποβλήτου που παράγεται σε τεράστιες ποσότητες. Στην Ευρώπη, εκτός

από την Ισπανία, μόνο η Κροατία χρησιμοποιεί σε μεγάλο ποσοστό τα διφασικά συστήματα για την εξαγωγή του ελαιόλαδου

Τα διφασικά συστήματα εξαγωγής ελαιόλαδου πλεονεκτούν έναντι των τριφασικών συστημάτων στα εξής σημεία: (α) η ποσότητα του ελαιόλαδου που παράγεται είναι μεγαλύτερη, καθώς δεν προστίθεται νερό για την αραιώση της ελαιόπαστας, οπότε αποφεύγεται ο σχηματισμός γαλακτώματος ελαίου/ύδατος, (β) η ποιότητα του ελαιόλαδου είναι καλύτερη λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης του σε φυσικά αντιοξειδωτικά (πολυφαινόλες), που το καθιστούν σταθερότερο κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του, (γ) η μειωμένη κατανάλωση νερού και η παραγωγή μίας μικρής ποσότητας υγρών αποβλήτων, (δ) το χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας του καθώς και οι μειωμένες απαιτήσεις σε ενέργεια. Το σοβαρότερο μειονέκτημα της διφασικής διαδικασίας είναι ότι ο ελαιοπυρήνας που προκύπτει, έχει αυξημένη υγρασία, υψηλές συγκεντρώσεις σε σάκχαρα και στερεά, οπότε καθίσταται δύσκολος ο χειρισμός, η μεταφορά και η επεξεργασία του. Στον πίνακα 1.2 φαίνονται τα κυριότερα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά για κάθε μια από τις προαναφερθείσες διαδικασίες παραγωγής ελαιόλαδου.

Πίνακας 1.2. Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των διαδικασιών παραγωγής ελαιόλαδου.

Είσοδος		Έξοδος		
Παραδοσιακά ελαιοτριβεία	Ελαιόκαρπος	1000kg	Ελαιόλαδο	~200kg
	Νερό για πλύσιμο	0.1-0.12m ³	Υγρά απόβλητα	~400kg
	Ενέργεια	40-63kWh	Στερεά απόβλητα	0.4-0.6m ³
Τριών φάσεων ελαιοτριβεία	Ελαιόκαρπος	1000kg	Ελαιόλαδο	~200kg
	Νερό για Πλύσιμο	0.1-0.12m ³	Στερεά απόβλητα	1-1.2m ³

	Νερό για φυγοκέντριση	0.5-1m ³	Υγρά απόβλητα	500-600kg
	Ενέργεια	90-117kWh		
Δύο φάσεων ελαιοτριβεία	Ελαιόκαρπος	0.1-0.12m ³	Ελαιόλαδο	~200kg
	Νερό για πλύσιμο	1000kg	Στερεά απόβλητα	800-950kg
	Ενέργεια	<90-117kWh	Υγρά απόβλητα	0.085-0.110m ³

1.2.1. Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων και μέθοδοι επεξεργασίας τους

Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων, λόγω της ιδιότυπης χημικής τους σύστασης, θεωρούνται από τα πλέον βεβαρημένα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα με δυσμενείς επιπτώσεις για το περιβάλλον. Σύμφωνα με τον Aktas και τους συνεργάτες του (2001), το εποχιακό ρυπαντικό φορτίο των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων, αν θεωρηθεί ότι, από 1 ton ελαιόκαρπου παράγονται 0.8 ton υγρών αποβλήτων συγκέντρωσης 80 g COD/L, αντιστοιχεί (ως προς το COD) στο ετήσιο ρυπαντικό φορτίο 22 εκατομμυρίων ατόμων. Τα φυτικά υγρά του ελαιόκαρπου, το νερό που προστίθεται στα διάφορα στάδια επεξεργασίας του, αδιάλυτα οργανικά τεμαχίδια υπό μορφή αιωρήματος καθώς και γαλακτοποιημένα σταγονίδια ελαίου συνθέτουν τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων. Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων (ποσοτικά και ποιοτικά) ποικίλουν και εξαρτώνται άμεσα από την ποικιλία του ελαιόδενδρου, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, το στάδιο ωρίμανσης του ελαιόκαρπου, την εποχή συγκομιδής, το χρόνο παραμονής του ελαιόκαρπου στο ελαιοτριβείο και τη διαδικασία παραλαβής του ελαιόλαδου [Paraskeva & Diamadopoulos, 2006].

Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων χαρακτηρίζονται από σκούρο χρώμα (κόκκινο προς καφέ-μαύρο) είναι όξινα (pH=3-6), θολά, χαρακτηριστικής οσμής, υψηλού οργανικού ρυπαντικού φορτίου, χαμηλής βιοαποδομησιμότητας (λόγος

COD/BOD₅=2.5-5), υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, πλούσια σε οργανικά και ανόργανα συστατικά .

Τα κυριότερα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων από παραδοσιακά και τριών φάσεων ελαιοτριβεία φαίνονται στον Πίνακα 1.3 [Vlyssides *et al.*, 2004]. Είναι προφανές ότι, τα υγρά απόβλητα των παραδοσιακών ελαιοτριβείων χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες τιμές των κυριότερων ποιοτικών παραμέτρων, καθώς δεν λαμβάνει χώρα αραίωση της ελαιόπαστας για την εξαγωγή του ελαιόλαδου. Επίσης, η περιεκτικότητα των αποβλήτων σε άζωτο είναι σχετικά μικρή, ενώ μικρό μόνο ποσοστό του περιεχόμενου αζώτου είναι πρωτεϊνικής φύσεως. Το πιο σημαντικό μέρος του οργανικού κλάσματος των υγρών αποβλήτων καταλαμβάνουν τα σάκχαρα (μέχρι και 60% επί του συνολικού ξηρού βάρους) με κυριότερα, φρουκτόζη, μαννόζη, γλυκόζη, σακχαρόζη και μερικές πεντόζες. Η περιεκτικότητα του ελαιόκαρπου σε σάκχαρα και φαινολικές ενώσεις μειώνεται κατά την ωρίμανση του, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση τους στα υγρά απόβλητα να ακολουθεί την ίδια πορεία μείωσης.

Οι φαινολικές ενώσεις που περιέχονται στα υγρά απόβλητα, στις οποίες οφείλονται κυρίως οι χαρακτηριστικές φυτοτοξικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες τους, μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο ομάδες. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από απλές φαινολικές ενώσεις, ταννίνες (φαινολικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους) και φλαβονοειδή (φαινολικές ενώσεις το πολύ 15 ατόμων άνθρακα). Τα κυριότερα 10 φλαβονοειδή που έχουν ανιχνευθεί στα υγρά απόβλητα είναι η απεγινίνη, η λουτεολίνη και η κερκετίνη [Servili *et al.*, 1999]. Τα κυριότερα φαινολικά οξέα που έχουν ανιχνευθεί είναι το συριγγικό οξύ, *p*-υδροξύφαινυλοξικό οξύ, βανιλλικό οξύ, βερατρικό οξύ, καφεϊκό οξύ, πρωτοκατεχικό οξύ, κουμαρικό οξύ και κινναμικό οξύ. Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από πολυφαινόλες, πολυμερείς ενώσεις καστανόμαυρου χρώματος, οι οποίες έχουν προκύψει από τον πολυμερισμό και την αυτοοξειδωση των φαινολικών ενώσεων της πρώτης ομάδας. Το χρώμα των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από την αναλογία μεταξύ των φαινολικών ενώσεων των δυο ομάδων [Borja *et al.*, 2006].

Τα μη φαινολικά οργανικά οξέα (τρυγικό οξύ, οξαλικό uc2σοξύ, μηλικό οξύ, γαλακτικό οξύ, φουμαρικό οξύ, κιτρικό οξύ κ.ά.) καθώς και τα λιπαρά οξέα μακριάς αλυσίδας (λινελαϊκό οξύ, ελαϊκό οξύ, λινολενικό οξύ κ.ά.) αποτελούν ένα σημαντικό μέρος του οργανικού κλάσματος των υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα από πλευράς φυτοτοξικότητας και αντιμικροβιακής δράσης.

Πίνακας 1.3. Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων.

Παράμετροι	Παραδοσιακά ελαιοτριβεία	Ελαιοτριβεία τριών φάσεων
TS (g/L)	99.70 ± 28.85	63.5 ± 24.4
TSS (g/L)	4.51 ± 3.27	2.8 ± 2.2
TVS (g/L)	87.20 ± 27.57	57.37 ± 21.96
Στάχτη (g/L)	9.69 ± 2.58	6.13 ± 2.44
TOC (g/L)	64.11 ± 10.79	39.82 ± 6.47
Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (g/L)	1.15 ± 0.21	0.76 ± 0.13
Ολικός φωσφόρος ως P2O5 (g/L)	0.87 ±	0.53 ± 0.084
pH	4.50 ± 0.60	4.8 ± 0.8
BOD5 (g/L)	68.71 ± 12.64	45.5 ± 8.2
COD (g/L)	158.18 ± 32.63	92.5 ± 17.5
Πυκνότητα (g/cm ³)	1.05 ± 0.06	1.048 ± 0.033
Αγωγιμότητα (mmhos/cm)	18 ± 5	12 ± 4
Ολικά σάκχαρα (g/L)	25.86 ± 8.3	16.06 ± 5.92
Λίπη και έλαια (g/L)	2.80 ± 1.03	1.64 ± 0.64
Πολυαλκοόλες (g/L)	4.75 ± 1.77	3.19 ± 1.22
Γλυκερόλη (g/L)	0.10 ± 0.04	0.062 ± 0.023
Ολικές πρωτεΐνες (g/L)	28.3 ± 9.95	17.91 ± 6.88
Οργανικά οξέα (g/L)	4.88 ± 2.41	3.21 ± 1.23
Φαινολικές ενώσεις (g/L)	17.15 ± 4.55	10.65 ± 4.08
Φαινολικά οξέα (g/L)	0.48 ± 0.18	0.28 ± 0.1
Ταννίνες (g/L)	6.74 ± 2.94	4.01 ± 1.54
Πηκτίνες (g/L)	3.25 ± 1.42	2.15 ± 0.76

Η περιεκτικότητα των υγρών αποβλήτων σε διάφορα κατιόντα και ανιόντα δίνεται στον πίνακα 1.4 [Arienzo & Capasso, 2000]. Η συγκέντρωση του καλίου είναι αισθητά υψηλότερη ακόμα και από το άθροισμα των συγκεντρώσεων όλων των

άλλων ανόργανων στοιχείων, ενώ σημαντικές είναι και οι συγκεντρώσεις μαγνησίου, ασβεστίου, φωσφόρου, νατρίου (ανόργανα συστατικά υψηλής θρεπτικής αξίας) καθώς και χλωρίου.

Πίνακας 1.4. Περιεκτικότητα υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων σε ανόργανα στοιχεία.

Κατιόντα (g/L)			Ανιόντα (g/L)		
Κατιόντα	Παραδοσιακά ελαιοτριβεία	Ελαιοτριβεία τριών φάσεων	Ανιόντα	Παραδοσιακά ελαιοτριβεία	Ελαιοτριβεία τριών φάσεων
K ⁺	17.10 ± 0.31	9.80 ± 0.12	Cl ⁻	1.63 ± 0.06	1.3 ± 0.02
Mg ²⁺	2.72 ± 0.13	1.65 ± 0.11	H ₂ PO ₄ ⁻	1.07 ± 0.06	0.85 ± 0.04
Ca ²⁺	2.24 ± 0.14	1.35 ± 0.10	F ⁻	0.57 ± 0.01	0.53 ± 0.01
Na ⁺	0.40 ± 0.17	0.162 ± 0.08	SO ⁴⁻	0.53 ± 0.05	0.42 ± 0.02
Fe ²⁺	0.129 ± 0.05	0.033 ± 0.01	NO ³⁻	0.023 ± 0.01	0.011 ± 0.01
Zn ²⁺	0.063 ± 0.001	0.0301±0.001			
Mn ²⁺	0.0147±0.001	0.0091±0.001			
Cu ²⁺	0.0086±0.001	0.0098±0.001			

Κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει ότι τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων είναι ένα υδατικό φυτικό εκχύλισμα υψηλού οργανικού ρυπαντικού φορτίου, η άκριτη διάθεση του οποίου μπορεί να έχει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων μπορεί να θεωρηθεί αποδοτική όταν λαμβάνει χώρα μείωση του οργανικού και ανόργανου περιεχομένου καθώς και του όγκου των αποβλήτων, με ταυτόχρονη οικονομική λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας.

Αρκετές τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί, λόγω της ποικιλομορφίας των συστατικών των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων, για την εξάλειψη ή την ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιδράσεων στο περιβάλλον. Η πιο συνηθισμένη πρακτική που εφαρμόζεται για τα απόβλητα αυτά είναι η ανεξέλεγκτη διάθεση τους στο έδαφος, σε ποτάμια, σε θάλασσες κ.α.. Αυτοί οι τρόποι διάθεσης εκτός από τα προφανή σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, δημιουργούν και προβλήματα στη διαβίωση των κατοίκων των γύρω περιοχών, λόγω των δυσάρεστων οσμών που αναδύονται και των εντόμων που συγκεντρώνονται στις συγκεκριμένες περιοχές.

Πιο συγκεκριμένα, η διάθεση στο έδαφος ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων προκαλεί μεταβολή στις φυσικοχημικές του ιδιότητες, όπως αύξηση της αγωγιμότητας, αύξηση της περιεκτικότητας σε K, Mg, Na, αύξηση του οργανικού άνθρακα και του ολικού αζώτου ενώ το pH παραμένει πρακτικά αμετάβλητο [Paredes *et al.*, 1987]. Επίσης, ασκούν μια επιλεκτική δράση στους μικροοργανισμούς του εδάφους ευνοώντας την ανάπτυξη εκείνων των ειδών ή στελεχών που έχουν την ικανότητα να μεταβολίζουν τα συστατικά του. Ο Paredes και οι συνεργάτες του (1987) παρατήρησαν μείωση στον αριθμό των σποριογόνων βακτηρίων, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στον κύκλο της οργανικής ουσίας στη φύση, λόγω της ικανότητας τους να διασπών σύνθετα οργανικά μόρια. Τέλος, σχετικά με την επίδραση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στα φυτά, λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας τους σε θρεπτικά συστατικά και οργανικά συστατικά αποκτούν υψηλή λιπαντική αξία, ενώ η αυξημένη αλατότητα, ο υψηλός λόγος C/N και η παρουσία συστατικών με φυτοτοξική δράση (πολυφαινόλες, λιπαρά οξέα) έχουν δυσμενή επίπτωση στη βλάστηση των φυτών.

Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις μεθόδους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας

Απλές φυσικές μέθοδοι, όπως η αραίωση, η ιζηματοποίηση, η επίπλευση, η φυγοκέντριση και η διήθηση, έχουν εφαρμοστεί για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων. Όμως, καμία από αυτές τις μεθόδους, εάν εφαρμοστεί μόνη της, δεν είναι ικανή να μειώσει το οργανικό φορτίο και την τοξικότητα των υγρών αποβλήτων σε επίπεδα επιτρεπτά για την ασφαλή διάθεση τους στο περιβάλλον. Σύμφωνα με την Ισπανική νομοθεσία, τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων θα πρέπει να πληρούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά για την ασφαλή

διάθεση τους στο περιβάλλον και συγκεκριμένα για τη διάθεση τους στο έδαφος: (α) pH=6-9, (β) TSS<600 mg/L, (γ) BOD₅<2000 mg/L, (δ) COD<2500 mg/L, (ε) διάθεση στο έδαφος 30 m³/εκτάριο κάθε 7 ημέρες.

Η αραίωση συνήθως εφαρμόζεται, πριν από τις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας, με στόχο την ελάττωση της τοξικότητας των αποβλήτων. Οι υπόλοιπες μέθοδοι έχουν σαν στόχο τη δημιουργία θρόμβων και στη συνέχεια την απομάκρυνση τους από το υγρό κλάσμα, ώστε να μειωθεί το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων. Δυστυχώς, αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί απόλυτα, εξαιτίας της λεπτά κατανεμημένης και μερικώς γαλακτοποιημένης φύσης των σωματιδίων που αιωρούνται. Επίσης, η εφαρμογή τους παρουσιάζει πολλά προβλήματα, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων ιζήματος που παράγονται, το οποίο πρέπει να επεξεργαστεί περαιτέρω για να διατεθεί με ασφάλεια στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, μελέτες έδειξαν ότι η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με φυγοκέντριση οδήγησε σε μείωση του COD μόλις κατά 21% και μείωση του BOD κατά 15% [Al- Malah *et al.*, 2000].

Στην κατηγορία των φυσικών μεθόδων επεξεργασίας ανήκει η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων με μεμβράνες. Η δομή και τα χαρακτηριστικά της μεμβράνης καθορίζουν τη φύση του διαχωρισμού, καθώς η διαπερατότητα εξαρτάται από το μέγεθος των μορίων και των πόρων των μεμβρανών. Ο διαχωρισμός με μεμβράνες διακρίνεται (το μέγεθος των πόρων φθίνει) σε: μικροδιήθηση, υπερδιήθηση, νανοδιήθηση και αντίστροφη ώσμωση. Η τεχνολογία των μεμβρανών χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση, τον καθαρισμό και την κλασματοποίηση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων και είναι αποτελεσματική για την ανάκτηση και την επαναχρησιμοποίηση υποπροϊόντων αξίας (π.χ. πολυφαινόλες) και νερού, ενώ το συμπύκνωμα μπορεί να αποτεφρωθεί. Ωστόσο, ένα στάδιο προφιλτραρίσματος είναι απαραίτητο ώστε να αφαιρεθούν τα μεγάλα αιωρούμενα στερεά σωματίδια, καθώς δημιουργούνται προβλήματα στην ομαλή λειτουργία των μεμβρανών (π.χ. φράξιμο των πόρων).

Σύμφωνα με τον Paraskeva και τους συνεργάτες του (2007), η υπερδιήθηση σε συνδυασμό με τη νανοδιήθηση και/ή την αντίστροφη ώσμωση αποδείχθηκε ως μια ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος επεξεργασίας και κλασματοποίησης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Το τελικό υγρό προϊόν θεωρήθηκε κατάλληλο για άρδευση, λόγω της μικρής περιεκτικότητας του σε οργανικά συστατικά, ιόντα και φαινολικές ενώσεις (μείωση περίπου 95%).

Θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας

Η καύση και η πυρόλυση των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων αποτελούν τις πιο διαδεδομένες θερμικές μεθόδους επεξεργασίας. Τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή τους είναι η μείωση του όγκου των αποβλήτων και η ανάκτηση ενέργειας. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα τους είναι το υψηλό κόστος καθώς και η πιθανή εκπομπή αέριων τοξικών ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Η εξάτμιση και η απόσταξη ανήκουν στις θερμικές μεθόδους επεξεργασίας, οι οποίες συμπυκνώνουν το οργανικό και ανόργανο περιεχόμενο των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων. Η ενέργεια για την εξάτμιση προέρχεται από θερμότητα καύσης ή από φυσική πηγή (π.χ. ήλιος). Τα στερεά υπολείμματα που προκύπτουν έχουν υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο, οπότε χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Ροτoγλου και οι συνεργάτες του (2004) έδειξαν ότι, η εξάτμιση και η απόσταξη των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων με χρήση ηλιακής ακτινοβολίας οδηγεί σε μείωση του COD κατά περίπου 80%.

Οι λίμνες εξάτμισης είναι απλές εφαρμογές, χαμηλού κόστους, αλλά υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εάν η μόνωση της λεκάνης δεν είναι κατάλληλη ή υπάρξει κάποια διαρροή. Κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η έντονη δυσοσμία που αναδύεται από τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων, η οποία γίνεται αντιληπτή σε μεγάλη απόσταση. Μετά την εξάτμιση των υγρών αποβλήτων, τα στερεά που απομένουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα αλλά και να επεξεργαστούν περαιτέρω με κομποστοποίηση.

Φυσικοχημικές μέθοδοι επεξεργασίας

Η κροκίδωση, η προσρόφηση, η οξείδωση, οι προηγμένες τεχνικές οξείδωσης, η υγρή οξείδωση, η οξείδωση Fenton και η ηλεκτροχημική οξείδωση αποτελούν τις βασικότερες φυσικοχημικές μεθόδους που εφαρμόζονται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων.

Η κροκίδωση αφορά στη χημική αποσταθεροποίηση κολλοειδών σωματιδίων εξαιτίας της προσθήκης κατάλληλων ηλεκτρολυτών, οι οποίοι μειώνουν το φορτίο των σωματιδίων, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ηλεκτροστατικές απωστικές δυνάμεις και τα κολλοειδή σωματίδια να σχηματίζουν μεγαλύτερα συσσωματώματα, τα οποία καθιζάνουν. Συχνά η προσθήκη ενός κροκιδωτικού μέσου για να προάγει τη συσσωμάτωση είναι απαραίτητη (π.χ. FeCl_3 , AlCl_3 , FeSO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με 6 g AlCl_3/L οδηγεί σε

μείωση του COD κατά 94% και των φαινολικών ενώσεων κατά 91% [Sarika *et al.*, 2005].

Η προσρόφηση αφορά στη φυσική σύνδεση των διαλυμένων ουσιών των υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια πορωδών στερεών. Συνήθως, ως παράγοντας προσρόφησης χρησιμοποιείται ενεργός άνθρακας. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, αφού έχει προηγηθεί κροκίδωση, οδήγησε σε μείωση του COD των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων κατά 30% [Kestioglou *et al.*, 2005].

Η οξείδωση μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο στη διάσπαση τοξικών ουσιών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων αλλά και στη σχεδόν πλήρη ανοργανοποίησή τους. Το όζον, ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο, αντιδρά με ενώσεις που περιέχουν αρωματικούς δακτυλίους και διπλούς δεσμούς. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η μικρή μείωση του COD (18-20%) που παρατηρήθηκε μετά από 2 h οζονισμού υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων αρχικής συγκέντρωσης 10 g COD/L, ίσως οφείλεται στη διάσπαση των μεγάλων οργανικών ενώσεων σε μικρότερες, ενώ παρατηρήθηκε αποχρωματισμός και σχεδόν ολοκληρωτική απομάκρυνση των φαινολικών ενώσεων.

Οι προηγμένες τεχνικές οξείδωσης περιλαμβάνουν τη δημιουργία και τη δράση ριζών υδροξυλίου, οι οποίες δημιουργούνται από μια πηγή οξυγόνου και μια πηγή ενέργειας, είναι ασταθείς αλλά ιδιαίτερα δραστικές. Η πηγή μοριακού οξυγόνου είναι συνήθως το όζον (O_3) ή το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2), ενώ η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) ή η ηλιακή ακτινοβολία είναι η πηγή ενέργειας. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η επεξεργασία υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με O_3/UV και H_2O_2/UV στις βέλτιστες τιμές του pH (7 και 2, αντίστοιχα) οδήγησε σε μείωση του COD και των φαινολικών ενώσεων κατά 99%, για 5 h οζονισμού με 535 mg O_3/L και 750-1000 mg H_2O_2/L .

Η διεργασία της οξείδωσης στην οποία χρησιμοποιείται οξυγόνο σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης είναι γνωστή ως υγρή οξείδωση. Η υγρή οξείδωση με ή χωρίς τη χρήση καταλύτη μπορεί να προάγει την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων ή να οδηγήσει στη σχεδόν πλήρη ανοργανοποίησή τους. Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων αραιωμένα 1:10 με αστικά απόβλητα σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης (180°C, 7MPa) υφίστανται μείωση του COD κατά 30% και μείωση των φαινολικών ενώσεων κατά 80% [Rivas *et al.*, 2001].

Η οξειδωση Fenton, η οποία συνδυάζει χημική οξειδωση και συσσωμάτωση με χρήση H_2O_2 και προσθήκη $FeSO_4$, αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία.

Παράμετροι όπως η συγκέντρωση των ιόντων δισθενούς ή τρισθενούς σιδήρου, η συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου, το pH και ο χρόνος αντίδρασης έχουν πρωταρχική σημασία για τη διεργασία. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, πλήρη απομάκρυνση φαινολικών ενώσεων και μείωση του COD κατά 40-60% παρατηρήθηκε όταν υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων επεξεργαστήκαν με 2-3 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O/L$ και 3 ml H_2O_2 (60% w/w) για 2 h περίπου. Η ηλεκτροχημική οξειδωση των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων (Ti/Ta/Pt/Ir ως ηλεκτρόδιο ανόδου) οδηγεί στη σχεδόν πλήρη απομάκρυνση των φαινολικών ενώσεων, χωρίς όμως να επιτυγχάνεται υψηλή απομάκρυνση του COD.

Ωστόσο, η ηλεκτροχημική οξειδωση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, με ηλεκτρόδιο ανόδου Ti/Ta/Pt/Ir και βέλτιστη αλατότητα 3 % κ.ο. NaCl, οδήγησε σε μείωση του COD κατά 71% ύστερα από 8 h αντίδρασης [Giannes *et al.*, 2003].

Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας

Οι βιολογικές διεργασίες για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων θεωρούνται φιλικές προς το περιβάλλον, αξιόπιστες και σε αρκετές περιπτώσεις οικονομικά βιώσιμες λύσεις. Ωστόσο, οι βιολογικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή και στον εγκλιματισμό των μικροοργανισμών, λόγω της αντιμικροβιακής δράσης που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα απόβλητα έναντι ορισμένων μικροβιακών ειδών. Στην συνέχεια, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις βιολογικές μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Η υψηλή περιεκτικότητα των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων σε ανόργανα άλατα αλλά κυρίως σε αφομοιώσιμες πηγές άνθρακα τα καθιστούν πρόσφορο υπόστρωμα για την ανάπτυξη ποικίλων αερόβιων μικροοργανισμών, όπως οι μύκητες *Pleurotus Ostreatus*, *Basilus Pumilus* και οι ζύμες *Yarrowia lipolytica* κ.ά.

Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου λαμβάνει χώρα μέσω οξειδωτικών μικροβιακών διεργασιών. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η αερόβια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων σε αντιδραστικές διαλείποντος έργου οδήγησε σε μείωση του COD κατά 58-68% για απόβλητα με 65-98 g COD/L και μείωση του COD κατά 81-84% για απόβλητα με 22 g COD/L, ενώ και στις δυο περιπτώσεις

παρατηρήθηκε μείωση των φαινολικών ενώσεων κατά 90% [Benitez *et al.*, 1997b & 1999].

Η αναερόβια χώνευση είναι μια πολύπλοκη βιοχημική διεργασία, κατά την οποία το οργανικό υλικό αποδομείται κυρίως προς μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, ενώ είναι δυνατή τόσο η αναερόβια παραγωγή υδρογόνου όσο και η φωτοβιολογική παραγωγή υδρογόνου. Η αραίωση του αποβλήτου, η προσθήκη θρεπτικών συστατικών και η ρύθμιση της αλκαλικότητας θεωρούνται ως αναγκαίες δράσεις για την ομαλή λειτουργία ενός αναερόβιου αντιδραστήρα. Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει την επίδραση της αραίωσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων όχι μόνο με νερό αλλά και με άλλα υγρά απόβλητα (όπως απόβλητα από χοιροστάσια, κοπριά, οικιακά υγρά απόβλητα, υγρά απόβλητα από σφαγεία κ.ά.) στην αναερόβια χώνευση [Marques *et al.*, 1998; Angelidaki & Ahning, 1997]. Το επιπρόσθετο υγρό ρεύμα αποβλήτων εξασφαλίζει τα επιθυμητά επίπεδα pH και αλκαλικότητας και σε αρκετές περιπτώσεις τα θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την αναερόβια χώνευση. Σε πολλές περιπτώσεις, έχει δειχθεί ότι, η αναερόβια συγχώνευση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με άλλα υγρά απόβλητα είναι πιο οικονομική και αποτελεσματική από την αναερόβια επεξεργασία κάθε ρεύματος ξεχωριστά. Ωστόσο, πολλές φορές είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων ώστε να μειωθεί το υψηλό οργανικό φορτίο και το κλάσμα των ενώσεων (όπως πολυφαινόλες και λιπαρά οξέα μακριας αλυσίδας) που δρουν παρεμποδιστικά για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί για την προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων είναι η προσθήκη αλάτων ασβεστίου, η διήθηση, η φυγοκέντριση, η ιζηματοποίηση, ο οζονισμός και η αερόβια βιολογική προεπεξεργασία. Ο Filidei και οι συνεργάτες του (2003) μελέτησαν την επίδραση της προσθήκης CaCO₃ στην απομάκρυνση του οργανικού υλικού από υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων. Έδειξαν ότι με διήθηση του προεπεξεργασμένου αποβλήτου απομακρύνεται περίπου το 60% του οργανικού υλικού, ενώ η αναερόβια χώνευση που ακολουθεί οδηγεί σε επιπλέον μείωση κατά 89%. Ο Benitez και οι συνεργάτες του (1997a) έδειξαν ότι, κατά την αναερόβια χώνευση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων προεπεξεργασμένα με αέριο όζον αυξήθηκε σημαντικά το ποσοστό απομάκρυνσης του COD και η απόδοση σε μεθάνιο. Σύμφωνα με τον Borja και τους συνεργάτες του (1995), η αερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με τους μικροοργανισμούς *Geotrichum candidum*, *Azotobacter chroococum* και

Aspergillus terreus οδήγησε σε μείωση του COD κατά 63.3, 74.5, 74% αντίστοιχα και μείωση των φαινολικών ενώσεων κατά 65.6, 90, 94.3% αντίστοιχα, ενώ η μετέπειτα αναερόβια χώνευση του προεπεξεργασμένου αποβλήτου οδήγησε σε αύξηση της απόδοσης σε μεθάνιο.

Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις σε ενέργεια, η μικρή απόδοση σε μικροβιακή μάζα και η συνεχής έκλυση αερίου μίγματος, το οποίο είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμο. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης της μονάδας, ο μεγάλος χρόνος παραμονής του αποβλήτου στον αντιδραστήρα (με τελικά προϊόντα μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα), η πρόκληση δυσάρεστων και ανεπιθύμητων οσμών, η ανάγκη για προεπεξεργασία του αποβλήτου και τέλος η ανάγκη για επιπλέον επεξεργασία του τελικού υγρού προϊόντος.

Κομποστοποίηση είναι η ελεγχόμενη αερόβια βιολογική επεξεργασία στερεών αποβλήτων μέσω ενός θερμόφιλου σταδίου, κατά το οποίο εκλύεται θερμότητα λόγω των εξώθερμων αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα. Με την ολοκλήρωση της θερμόφιλης φάσης και της φάσης ωρίμανσης προκύπτει ένα σταθεροποιημένο οργανοχουμικό προϊόν, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο ρύθμισης της υγρασίας (αντί του νερού) κατά την διάρκεια κομποστοποίησης διαφόρων στερεών οργανικών υπολειμμάτων.

Τέλος, τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων περιέχουν πολύτιμα συστατικά, όπως φαινολικές και αντιοξειδωτικές ενώσεις, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες στη βιομηχανία παραγωγής φαρμάκων και καλλυντικών. Οι πιο σημαντικές και με μεγάλη εμπορική αξία αντιοξειδωτικές ενώσεις είναι η υδροξυ-τυροσόλη, η τυροσόλη και η ελευρωπαΐνη.

1.2.2. Στερεά απόβλητα ελαιοτριβείων και μέθοδοι επεξεργασίας τους

Στερεά απόβλητα παράγονται τόσο κατά την παραδοσιακή όσο και κατά την τριφασική και τη διφασική διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου. Τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων των ελαιοτριβείων φαίνονται στον πίνακα 1.5 [Vlyssides & Iaconidou, 2003].

Συνήθως, το στερεό απόβλητο από τα ελαιοτριβεία τριών φάσεων, μετά από ξήρανση, μπορεί να επεξεργαστεί με οργανικούς διαλύτες για την εξαγωγή

δευτερογενούς ελαιόλαδου. Ωστόσο, η επεξεργασία του ημι-στερεο υπολείμματος των ελαιοτριβείων δυο φάσεων με παρόμοιο τρόπο καθίσταται σχεδόν αδύνατη, καθώς το υλικό παρουσιάζει την τάση να κολλά στην εσωτερική επιφάνεια του κλίβανου, εμποδίζοντας τη ροή του αερίου ρεύματος και αυξάνοντας τον κίνδυνο έκρηξης. Επιπλέον, λόγω της αυξημένης υγρασίας του ημιστερεού αποβλήτου απαιτούνται τεράστια ποσά ενέργειας για την ξήρανση του, με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά το κόστος επεξεργασίας του, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες πιθανότατα μεταβάλλουν τη σύσταση του υλικού υποβαθμίζοντας την ποιότητα του παραγόμενου ελαιόλαδου. Ως εκ τούτου, τον Ιούλιο του 2001, βενζοπυρένια, γνωστές καρκινογόνες ουσίες, ανιχνεύθηκαν σε δευτερογενή ελαιόλαδα (από το ημι-στερεό υπόλειμμα των ελαιοτριβείων δυο φάσεων). Αυτό το γεγονός προκάλεσε μεγάλη ανησυχία στην Ισπανία οπότε το Υπουργείο Υγείας αποφάσισε να αποσύρει προσωρινά από την αγορά το ελαιόλαδο αυτού του τύπου. Τελικά, μια νέα νομοθεσία, η οποία θέσπιζε ως μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση βενζοπυρενίων τα 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ελαιόλαδου, τέθηκε σε ισχύ με αποτέλεσμα την επανακυκλοφορία του δευτερογενούς ελαιόλαδου στην αγορά [BOE, 2001].

Μετά την εξαγωγή του δευτερογενούς ελαιόλαδου, το στερεό απόβλητο που απομένει, χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της καύσης. Αυτή η μέθοδος επεξεργασίας εφαρμόζεται σε πάρα πολλά ελαιοτριβεία, λόγω της υψηλής θερμογόνου δύναμης του στερεού αποβλήτου (400 kcal/kg), παρόλο που το συνολικό ενεργειακό κέρδος είναι χαμηλό, αφού ένα μέρος της παραγόμενης ενέργειας από την καύση χρησιμοποιείται για τη ξήρανση του στερεού αποβλήτου [Azbar *et al.*, 2004; Roig *et al.*, 2006].

Πλέον, το ενδιαφέρον των ερευνητών έχει επικεντρωθεί στην επεξεργασία των στερεών αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία δυο φάσεων, καθώς πρόκειται για απόβλητο που παράγεται σε τεράστιες ποσότητες με υψηλό ρυπαντικό φορτίο (Πίνακας 1.5). Για παράδειγμα, στην Ισπανία, όπου σχεδόν το 90% των ελαιοτριβείων είναι δύο φάσεων, παράγονται κάθε χρόνο περίπου 4000.000 ton στερεών αποβλήτων [IOOC, 2004].

Πίνακας 1.5. Χαρακτηριστικά στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων.

Παράμετροι	Παραδοσιακά ελαιοτριβεία	Ελαιοτριβεία τριών φάσεων	Ελαιοτριβεία δύο φάσεων
Υγρασία (%)	27.2 ± 1.05	50.23 ± 1.94	56.80 ± 2.19
Λίπη και έλαια (%)	8.72 ± 3.25	3.89 ± 1.45	4.65 ± 1.74
Πρωτεΐνες (%)	4.77 ± 0.02	3.43 ± 0.02	2.87 ± 0.01
Ολικά σάκχαρα (%)	1.38 ± 0.02	0.99 ± 0.01	0.83 ± 0.01
Κυτταρίνη (%)	24.1 ± 0.28	17.37 ± 0.20	14.54 ± 0.17
Ημικυτταρίνη (%)	11.0 ± 0.61	7.92 ± 0.44	6.63 ± 0.37
Τέφρα (%)	2.36 ± 0.15	1.70 ± 0.11	1.42 ± 0.09
Λιγνίνη (%)	14.1 ± 0.29	10.21 ± 0.21	8.54 ± 0.18
Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (%)	0.71 ± 0.01	0.51 ± 0.01	0.43 ± 0.01
Ολικός φωσφόρος ως P ₂ O ₅ (%)	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.04 ± 0.01
Φαινολικές ενώσεις (%)	1.14 ± 0.06	0.33 ± 0.04	2.43 ± 0.15
K ως K ₂ O (%)	0.54 ± 0.05	0.39 ± 0.03	0.32 ± 0.03
Ca ως CaO (%)	0.61 ± 0.06	0.44 ± 0.04	0.37 ± 0.04
Ολικός άνθρακας (%)	429 ± 3.42	29.03 ± 2.32	25.37 ± 2.03
C/N	60.7 ± 5.35	57.17 ± 5.03	59.68 ± 5.2
C/P	588.7 ± 51.25	552.9 ± 48.20	577.2 ± 50.31

Στη συνέχεια, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις μεθόδους επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων των ελαιοτριβείων δυο φάσεων.

Το ημι-στερεό υπόλειμμα των διφασικών ελαιοτριβείων, ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό σε παρακείμενα χωράφια, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε K και της χαμηλής φυτοτοξικότητας του, δίνοντας λύση στο πρόβλημα της μεταφοράς και επεξεργασίας του, διαταράσσει τον κύκλο του αζώτου στο έδαφος λόγω του υψηλού λόγου C/N [Thompson & Nogales, 1999]. Η λύση

δόθηκε από τον Ordonez και τους συνεργάτες του (1999), οι οποίοι πρότειναν την προσθήκη λιπασμάτων πλούσιων σε άζωτο, παράλληλα με την χρήση του ημιστερεού υπολείμματος των διφασικών ελαιοτριβείων.

Οι Tekin και Dalgic (2000) μελέτησαν την αναερόβια χώνευση των στερεών αποβλήτων των τριφασικών ελαιοτριβείων με στόχο την παραγωγή βιοαερίου (75-80% μεθάνιο), ενώ ο Borja και οι συνεργάτες του (2003) μελέτησαν την αναερόβια χώνευση του ημιστερεού υπολείμματος των διφασικών ελαιοτριβείων τονίζοντας την παρεμποδιστική δράση της υψηλής συγκέντρωσης των φαινολικών ενώσεων. Επίσης, καθίσταται πλέον δυνατή η αναερόβια παραγωγή υδρογόνου από το ημιστερεό υπόλειμμα των διφασικών ελαιοτριβείων .

Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει την ταυτόχρονη κομποστοποίηση των στερεών αποβλήτων διφασικών ελαιοτριβείων με άλλα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε υγρασία θεωρείται απαραίτητη η προσθήκη, πριν την κομποστοποίηση, διάφορων μέσων που στοχεύουν στη ρύθμιση της υγρασίας, όπως άχυρο, βαμβάκι, πριονίδι κ.ά. [Madejon *et al.*, 1998; Cegarra *et al.*, 2000; Filippi *et al.*, 2002]. Το ημι-στερεό υπόλειμμα των διφασικών ελαιοτριβείων προστίθεται μόνο μια φορά στην αρχή της διεργασίας, σε αντίθεση με τα υγρά απόβλητα των τριφασικών ελαιοτριβείων που προστίθενται συχνά στη διάρκεια της θερμοφιλης φάσης. Το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης, είναι ένα εξαιρετικά σταθεροποιημένο οργανοχουμικό προϊόν, το οποίο διακρίνεται για τη μη φυτοτοξική του δράση και την υψηλή περιεκτικότητά του σε θρεπτικά συστατικά.

Ωστόσο, η κομποστοποίηση των στερεών αποβλήτων των διφασικών ελαιοτριβείων καθίσταται δύσκολη λόγω της δημιουργίας επιλεκτικών διόδων διέλευσης του αέρα, γεγονός που καθιστά πιθανή την κατά τόπους ξήρανση του υλικού.

Το ημι-στερεό υπόλειμμα από τα διφασικά ελαιοτριβεία έχει προταθεί από αρκετούς ερευνητές ως ένα φθινό υπόστρωμα για την παραγωγή πολύτιμων προϊόντων. Για παράδειγμα, έχει προταθεί η εκχύλιση πηκτινών που μέχρι πρόσφατα παράγονταν από το ξηρό υπόλοιπο των μήλων και από τη φλούδα διάφορων εσπεριδοειδών [Cardoso *et al.*, 2003]. Επίσης, φαινολικές ενώσεις με αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές, αντιυπερτασικές και αντικαρκινικές ιδιότητες (όπως υδροξυ-τυροσόλη, τυροσόλη, ελευρωπαΐνη, καφεϊκό οξύ) μπορούν να εκχυλιστούν από το ημι-στερεό υπόλειμμα των ελαιοτριβείων δυο φάσεων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν αρκετές προσπάθειες αξιοποίησης του συγκεκριμένου αποβλήτου, όπως η χρήση του ως προσροφητικό υλικό βαρέων μετάλλων για την επεξεργασία

υδατικών διαλυμάτων, λόγω του μεγάλου αριθμού πιθανών ενεργών θέσεων προσρόφησης καθώς και η εφαρμογή του στο έδαφος για τη ρόφηση φυτοφαρμάκων και εντομοκτόνων, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα [Albarran *et al.*, 2004; Cox *et al.*, 2004].

Επίσης, στην κατηγορία των στερεών αποβλήτων, που παράγονται κατά την παραγωγή του ελαιόλαδου, ανήκουν τα φύλλα και τα κλαδιά που προκύπτουν στο στάδιο της αποφύλλωσης. Τα στερεά αυτά απόβλητα δεν προκαλούν ιδιαίτερα προβλήματα, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφές και ως καύσιμες πρώτες ύλες για την παραγωγή ενέργειας. Ιδιαίτερα, τα φύλλα του ελαιόδενδρου είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικές ενώσεις με διουρητικές και αντιυπερτασικές ιδιότητες.

2. ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ

2.1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και E.E.A.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς πέρα από την κλασική χρήση παραγωγής θέρμανσης. Μία από τις χρήσεις αυτές περιλαμβάνει την ενέργεια που χρειάζεται σε ένα σταθμό βιολογικού καθαρισμού, είτε για τη λειτουργία των μηχανημάτων, είτε για την ξήρανση της λάσπης

Η επιλογή των ηλιακών συλλεκτών κρίνεται συμφέρουσα, ιδίως για μία χώρα όπως η Ελλάδα, όπου η ηλιοφάνεια είναι δεδομένη για τους έξι ή και παραπάνω μήνες του χρόνου.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η χρήση αυτή, εάν αναλογιστεί κανείς πως στη σημερινή εποχή ο άνθρωπος έχει μεν καταφέρει να λύσει το πρόβλημα του καθαρισμού αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, αλλά δεν έχει επιλύσει επαρκώς το πρόβλημα της διάθεσης της λυματολάσπης που παράγεται κατά την επεξεργασία των αποβλήτων.

Η ξήρανση της ιλύος με ηλιακή ενέργεια είναι μια καινούρια και καινοτόμος μέθοδος η οποία παρέχει μια οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον επιλογή. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι ηλιακής ξήρανσης οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα και παρουσιάζονται παρακάτω.

2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ξήρανσης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ξήρανσης της ιλύος είναι πολύ σημαντικοί για την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων και είναι:

- η ταχύτητα του αέρα
- η θερμοκρασία του αέρα
- η υγρασία του αέρα
- η θερμοκρασία της λάσπης
- οι χημικές & φυσικές ιδιότητες του προϊόντος καθώς επίσης και η δομή της επιφάνειας της λάσπης
- η υγρασία της λάσπης

2.3. Μέθοδοι Ξήρανσης με ηλιακή ενέργεια

2.3.1. Ξήρανση με ηλιακούς συλλέκτες

Το τελευταίο χρονικό διάστημα γίνονται πολλές μελέτες προς την εξερεύνηση των πιθανών εφαρμογών ενός σχετικά απλού τρόπου χρήσης της ηλιακής ενέργειας για την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών. Μέχρι τώρα, οι κοίλοι ηλιακοί συλλέκτες θεωρούνται κυρίως ως πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις που σχεδιάζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αλήθεια είναι ότι η αποδοτικότητά τους για αυτή την εφαρμογή δεν είναι πολύ υψηλή.

Παρόλα αυτά πρόσφατα μόνο, με τις νέες αυξήσεις στις τιμές του πετρελαίου, ένα μεγάλο κύμα ενδιαφέροντος έχει ξαναφέρει στο προσκήνιο την έννοια αυτών των κοίλων εγκαταστάσεων. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι επίσης μικρές για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος και έτσι χρησιμοποιούνται ως διπλές γεννήτριες θερμότητας και ψύξης. (Ekechukwua O.V. *et al.*, 1999)

Η πλέον διαδεδομένη συσκευή εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης.

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες εκμεταλλεύονται την ολική ακτινοβολία και η επιφάνεια συλλογής συμπίπτει με την επιφάνεια μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες ανάλογα με το εργαζόμενο μέσο χωρίζονται σε δυο κατηγορίες στους συλλέκτες αέρα και υγρού. Η συντριπτική πλειοψηφία των διαθέσιμων συλλεκτών σήμερα είναι υγρού ενώ οι συλλέκτες αέρα είναι ακόμη σε στάδιο ανάπτυξης.

Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης περιλαμβάνει μια μαύρη, συνήθως επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα (συνήθως από γυαλί ή πλαστικό) που παγιδεύει τη θερμότητα (φαινόμενο θερμοκηπίου). Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει την θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών (κυκλοφορητές), σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης. Το πιο απλό και διαδεδομένο σήμερα ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού είναι ο γνωστός μας ηλιακός θερμοσίφωνας.

2.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά συλλέκτη

• Πλαίσιο και πλάτη του συλλέκτη χωρίς ραφές, από φύλλο αλουμινίου πάχους 0,6mm που

δε μεταβάλλεται με τις καιρικές συνθήκες και συγκρατεί σταθερά το θερμικό στοιχείο και το ημικρύσταλλο (άβαφο ή ηλεκτροστατικά βαμμένο- καφέ χρώμα).

- Συλλέκτης Ø22x0,8mm.
- Ειδικό λάστιχο που περιβάλλει το ημικρύσταλλο για τέλεια στεγανότητα και εφαρμογή καθώς και για προστασία του συστήματος κατά την συστολή και διαστολή (αδιάβροχο περίβλημα).
- Ημικρύσταλλο μικρής περιεκτικότητας σε πυρίτιο, πάχους 3mm για μεγάλη απορροφητικότητα
- Συλλεκτική επιφάνεια από ανοδιωμένο προφίλ αλουμινίου με ειδική χρωματική επεξεργασία για άριστη απορροφητικότητα.
- Θερμομόνωση από υαλοβάμβακα πάχους 5cm, τοποθετημένο και πλευρικά.
- Γαλβανισμένη λαμαρίνα στο πίσω μέρος
- Στεγνωτικός δακτύλιος
- Εξαεριστικά

2.3.3. Λειτουργία – Τεχνογνωσία

Οι εγκαταστάσεις ξήρανσης ιλύος που προέρχονται από τον καθαρισμό λυμάτων περιλαμβάνουν βασικά:

- τον ηλιακό συλλέκτη
- μια διαφανή κατασκευή με διαστάσεις 58 m μήκος και 10 m πλάτος, μορφής θερμοκηπίου
- έναν αεραγωγό εξάτμισης με μια χαμηλότερη και ανώτερη διάμετρο 2 m, που τοποθετείται στο μέσο τμήμα, ενώ οι μπροστινές πλευρές του κτηρίου παραμένουν ανοικτές
- ένα ασφαλτικό δάπεδο, παρόμοιο με τις οδικές κατασκευές και χτισμένο με τον ίδιο τρόπο, άλλα δάπεδα είναι δυνατό να υπάρχουν υπό τον όρο ότι είναι επίσης υδατοστεγή (π.χ. από σκυρόδεμα)

Το κύριο συστατικό μιας εγκατάστασης ξήρανσης της ιλύος είναι μια μονάδα μεταφοράς και αντιστροφής με ράγες και ένας κύλινδρος αντιστροφής με κάθετη διεύθυνση και μεταβλητή περιστροφική και κατευθυντική μετακίνηση. Η μονάδα

είναι εξοπλισμένη με ένα προγραμματισμένο σύστημα ελέγχου (PLC) που επιτρέπει την αυτόματη λειτουργία για μια εβδομάδα.

Η λάσπη αφυδατώνεται μηχανικά με ένα δικτυωτό πλέγμα συμπίεσης σε ποσοστό έως και 20 - 22%. Έπειτα απορρίπτεται από ένα δοχείο στο ανοικτό τέρμα του θαλάμου ξήρανσης (άνοιγμα προσαγωγής) και μεταφέρεται μέσα στη μονάδα αντιστροφής με ένα μικρό τροχοφόρο φορτωτή. Η μονάδα αντιστροφής τη μεταφέρει αργά στην κατεύθυνση του άλλου τέρματος του θαλάμου (άνοιγμα απόσυρσης).

Η συνεχής λειτουργία είναι δυνατή σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις. Με κάθε πέρασμα της μονάδας αντιστροφής, η λάσπη μετακινείται κατά 20 έως 50 cm επιπλέον και υποβάλλεται ταυτόχρονα σε εντατικό αερισμό. Κάτω από καλές καιρικές συνθήκες, η λάσπη αναμιγνύεται καθημερινά περίπου 10 φορές, έτσι ώστε τα υγρά μέρη από το κατώτατο σημείο να μπορούν να φθάσουν στην επιφάνεια.

2.3.4. Ηλιακή ξήρανση με στεγνωτήρα ακτινοβολίας (IST)

Τεχνικά, ο IST ηλιακός αφυγραντής είναι ένας στεγνωτήρας ακτινοβολίας. Η λάσπη απορροφά το φως του ήλιου και θερμαίνεται. Το αποτέλεσμα της ξήρανσης βασίζεται στη διαφορά πίεσης μεταξύ της θερμής λάσπης και του αέρα στο θάλαμο ξήρανσης. Από τη στιγμή που η μερική πίεση υδρατμών του αέρα εξαρτάται μόνο από την απόλυτη υγρασία, αλλά όχι από τη θερμοκρασία του αέρα, τα καλύτερα αποτελέσματα ξήρανσης επιτυγχάνονται με θερμή λάσπη και ξηρό αέρα. Κατά συνέπεια είναι σημαντικό ο υγρός αέρας να μεταφερθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα εκτός της ζώνης ξήρανσης.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η θέρμανση του αέρα δεν οδηγεί σε βελτίωση των άμεσων αποτελεσμάτων ξήρανσης. Εάν ήταν διαθέσιμη οποιαδήποτε απορριφθείσα θερμότητα κοντά στον αφυγραντή, αυτό θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση της κλίνης της λάσπης. Κατόπιν η απαλλαγή από υγρασία θα μπορούσε επίσης να ενισχυθεί αρκετά σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Η μεγαλύτερη ποσότητα αέρα απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα μέσω ενός αεραγωγού εξάτμισης με ύψος περίπου 8 m. Όταν αναμένονται μόνο τα ελάχιστα αποτελέσματα ξήρανσης, όπως νύχτα με νεφελώδη καιρό, ο αέρας στον αγωγό αποχετεύεται μέσω της βαρυτικής κυκλοφορίας. Για να επιταχυνθεί η μεταφορά του αέρα, χρησιμοποιούνται σε περίπτωση ανάγκης ανεμιστήρες ώθησης.

Η ηλεκτρική κίνηση της μονάδας αντιστροφής και οι ανεμιστήρες απαιτούν μια τριφασική σύνδεση ισχύος 400 V με μία μέγιστη εισαγωγή ισχύος περίπου 8kW (ισχύς εκκίνησης) για κάθε θάλαμο. Μετρήσεις που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια αρκετών ετών αποκαλύπτουν ότι η μονάδα έχει μια μέση αρχική ισχύ 800 W. Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τρεις ανεμιστήρες από 600 W ο καθένας, οι οποίοι δεν είναι απαραίτητο να λειτουργούν συνεχώς, λόγω της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα. Εξακριβώθηκε ότι μόνο περίπου 20 - 30 kWh απαιτούνται για κάθε τόνο αφαιρούμενου νερού, σχεδόν αμελητέα ποσότητα.

Το υλικό προς αποξήρανση στις εγκαταστάσεις εξετάζεται συνεχώς και ανάλογα με το ποσοστό και την εποχή ξήρανσης, το μέγεθος των κόκκων της ιλύος ποικίλλει μεταξύ 1 και 20 mm.

Ο χρόνος ξήρανσης εξαρτάται από την αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία και τη φυσική ακτινοβολία. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα της ηλιακής ξήρανσης είναι η εξάρτηση από την ένταση της ακτινοβολίας, η οποία όχι μόνο ποικίλλει με τον καθημερινό κύκλο, αλλά και με την εποχή. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, περίπου 750 kg H₂O / m² μπορούν να αφαιρεθούν από τη λάσπη. Συχνά επιτυγχάνονται υψηλά επίπεδα ξήρανσης ιλύος, περίπου σε ποσοστό 90%.

2.4. Εγκαταστάσεις ξήρανσης

Υπάρχουν δύο ειδών εγκαταστάσεις ξήρανσης της λάσπης: οι καλυμμένες και οι ανοικτές δεξαμενές.

Οι κλειστές εγκαταστάσεις ξήρανσης ιλύος κατασκευάστηκαν ως θερμοκήπιο τύπου σήραγγας με ένα ύψος οροφής συνήθως περί τα 2,5 m. Εσωκλείονται πλήρως από ένα παχύ, διαφανή, διπλό τοίχο, αποτελούμενο από φύλλα πολυανθράκων 10 mm με ελαφρά εκπομπή 80%. Οι εγκαταστάσεις κατασκευάζονται με κύρια αρχή την διαφορά μεταξύ της σχετικής πίεσης ατμού της λάσπης και της εσωτερικής σχετικής πίεσης ατμού, κατά την οποία επιτυγχάνεται αποτελεσματική ξήρανση. Ο εσωτερικός αέρας που συσσωρεύεται στις εγκαταστάσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας κατευθύνεται στο λίθινο υπόστρωμα για την ενεργειακή διατήρηση.

Ο αερισμός της επιφάνειας της λάσπης επιτυγχάνεται με ένα εσωτερικό ανεμιστήρα, που τοποθετείται στην οροφή. Το κορεσμένο στρώμα που αναπτύσσεται στην επιφάνεια της λάσπης αφαιρείται με τον τυρβώδη αέρα που παράγεται από τον ανεμιστήρα. Ο κορεσμένος αέρας που συσσωρεύεται στις εγκαταστάσεις εξάγεται

από δύο ανεμιστήρες που τοποθετούνται επάνω από τις πόρτες της εγκατάστασης, οπότε πραγματοποιείται η ανανέωση αέρα.

Η θέρμανση της λάσπης βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο επιτυγχάνεται στις εγκαταστάσεις και παρέχει αποτελεσματική χρήση της ηλιακής ενέργειας.

Το στεγανό, κατασκευασμένο από σκυρόδεμα δάπεδο των εγκαταστάσεων, επιφάνειας 10 m², θερμαίνεται με θερμούς υδροσωλήνες που συνδέονται με δύο επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Τοποθετείται επίσης μια μονάδα αποθήκευσης θερμότητας με τη μορφή λίθινου υποστρώματος βάθους 50 cm κάτω από το τσιμεντένιο πάτωμα. Το λίθινο υπόστρωμα αποτελείται από πέτρες διαμέτρου 16 - 48 mm. Ο καυτός και κορεσμένος εσωτερικός αέρας ανακυκλώνεται στο λίθινο υπόστρωμα με τέσσερις αξονικούς ανεμιστήρες διαμέτρου 100 mm, παροχής αέρος 90 m³/h και κατανάλωσης ισχύος 12 W. Το δάπεδο και οι πλευρικοί τοίχοι του λίθινου υποστρώματος μονώνονται με ένα στεγανό υλικό επίστρωσης (σκυρόδεμα) και θερμικής μόνωσης.

Η ανανέωση της επιφάνειας της λάσπης πραγματοποιείται με τη χειρωνακτική ανάμιξη που συμβαίνει δύο φορές την ημέρα για λόγους ανανέωσης.

Το κλειστό σύστημα ξήρανσης επιφέρει αρκετά οικονομικά πλεονεκτήματα και μπορεί να εφαρμοστεί στις πόλεις που λαμβάνουν μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας. Παρέχει ρυθμισμένες εσωτερικές συνθήκες για τις εκπομπές, τις οσμές και τα προβλήματα που προκαλούν οι μικροβιοφορείς. Μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν βιο-φίλτρα για τη διαχείριση του εσωτερικού αέρα και των οσμών. Εάν το σύστημα ελέγχεται με προγραμματισμένο ελεγκτή (PLC), σχετικά με τον έλεγχο της εσωτερικής θερμοκρασίας και της υγρασίας μπορούν να επιτευχθούν χαμηλότερες ενεργειακές δαπάνες και υψηλότερη απόδοση ξήρανσης. Παραδείγματος χάριν, εάν ο εσωτερικός αέρας απαλλάσσεται γρηγορότερα στις περιόδους υψηλής υγρασίας ή εάν ένας πρόσθετος ενεργειακός ανεφοδιασμός αέρα χρησιμοποιείται αυτόματα όταν μειώνεται η θερμοκρασία, η απόδοση του συστήματος θα αυξηθεί. Από την άλλη, ο φυσικός εξαερισμός των καλυμμένων εγκαταστάσεων ξήρανσης αυξάνει την απόδοση του συστήματος όταν η ταχύτητα αέρα είναι συνεχής. (Ekechukwua O.V. *et al*, 1999)

Οι ανοικτές εγκαταστάσεις ξήρανσης ιλύος αποτελούνται από ένα στεγανό δάπεδο σκυροδέματος. Ο αερισμός της επιφάνειας παρέχεται με την επίδραση του αέρα και η λάσπη θερμαίνεται από την άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Στην ανανέωση

επιφάνειας για τη λάσπη συμβάλλει η χειρωνακτική ανάμιξη δύο φορές την ημέρα. Σε πολλές περιοχές οι ανοικτές εγκαταστάσεις ξήρανσης χρησιμοποιούνται ευρέως αλλά, κατά τη διάρκεια των ετών, έχουν παρουσιάσει σοβαρά προβλήματα όπως:

- Άσχημες οσμές
- Μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα
- Προβλήματα υγιεινής στο προσωπικό που εργάζεται στις εγκαταστάσεις αυτές.

Αερίζονται φυσικά από τον αέρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα αέρα που φυσά πάνω από την επιφάνεια λάσπης, τόσο γρηγορότερη η ταχύτητα ξήρανσης. Σε περιοχές με κανονικές βροχοπτώσεις, ένα τέτοιο σύστημα αέρα δεν είναι ικανοποιητικό. Για τον λόγο αυτόν στην ύπαιθρο οι ανοικτές εγκαταστάσεις ξήρανσης δεν είναι πλέον σε χρήση. Η ηλιακή ξήρανση γίνεται στα θερμοκήπια που απαιτούν ελεγχόμενα συστήματα εξαερισμού.

Αποτελέσματα μελετών έδειξαν ότι οι κλειστές εγκαταστάσεις ξήρανσης λάσπης είναι πιο συμφέρουσες από τις ανοικτές εγκαταστάσεις ξήρανσης και κατά την περίοδο του καλοκαιριού και του χειμώνα. Ενώ οι ανοικτές εγκαταστάσεις ξήρανσης λάσπης επιτρέπουν την είσοδο της βροχής, η οποία εμποδίζει την ξήρανση, τη μείωση του όγκου της λάσπης και των παθογόνων μικροοργανισμών, οι κλειστές εγκαταστάσεις ξήρανσης χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να ξεράνουν αποτελεσματικά τη λάσπη και επιτρέπουν τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Οι κλειστές εγκαταστάσεις λειτουργούν επίσης ως περιοχή για προσωρινή αποθήκευση της ξηρής λάσπης.

2.5 Παραδείγματα εφαρμογής της ξήρανσης με ηλιακή ενέργεια

2.5.1. Μυτιλήνη

Στο τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου πραγματοποιήθηκε επιστημονική έρευνα σχετικά με την ηλιακή ξήρανση της λάσπης. Χρησιμοποιήθηκε ηλιακός αποστακτήρας για την απομάκρυνση του νερού της ιλύος. Γίνεται χρήση της ηλιακής ενέργειας προκειμένου να εξατμιστεί και να συλλεχθεί το νερό της λάσπης μέσω του ηλιακού αποστακτήρα. Η ακτινοβολία και οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται ελέγχονται, ενώ οι βασικές παράμετροι της λάσπης και του αποστάγματος καθορίζονται στο τέλος κάθε ημέρας. Η παραγόμενη ιλύς τοποθετείται μέσα σε έναν ηλιακό αποστακτήρα για μια περίοδο 5 ημερών προκειμένου να

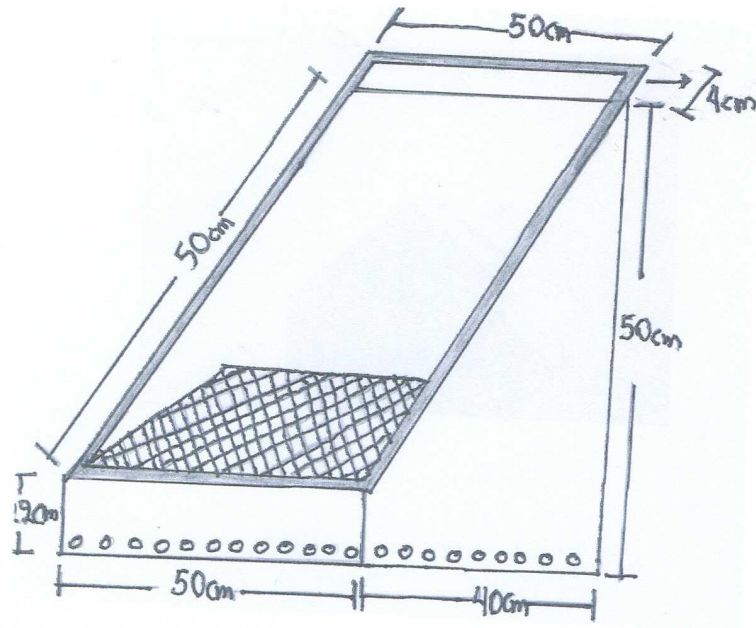
αφαιρεθεί το νερό και να ελεγχθούν ορισμένες παράμετροι κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λάσπη έχασε όλο το νερό της, το οποίο συλλέχθηκε ως απόσταγμα. (D.A. Haralambopoulos *et al.*, 2002)

2.5.2 Χανιά

Η υψηλή ηλιοφάνεια της Κρήτης σε σχέση με άλλες περιοχές της Ελλάδος κάνει ελκυστική την αξιοποίηση της στον τομέα αυτό. Μεταξύ των διαφόρων τύπων ξηραντήριων, τα ξηραντήρια άμεσου και έμμεσου τύπου παρουσιάζουν ποικίλα πλεονεκτήματα. Η πειραματική ξήρανση διάφορων φρούτων και λαχανικών στα Χανιά με τα δύο προαναφερθέντα ξηραντήρια σε μικρή κλίμακα αποδεικνύει ότι οι προοπτικές για την ευρύτερη χρήση της ηλιακής ενέργειας στο τομέα αυτό είναι αρκετά ελκυστικές. Χρησιμοποιήθηκαν δυο τύποι ηλιακών ξηραντήριων: α) το ηλιακό παθητικό ξηραντήριο άμεσου τύπου, β) το ηλιακό παθητικό ξηραντήριο έμμεσου τύπου

Ηλιακό παθητικό ξηραντήριο άμεσου τύπου

Το ξηραντήριο αυτό αποτελείται από ένα θάλαμο κατασκευασμένο από ξύλο βαμμένο μαύρο, του οποίου οι διαστάσεις παρουσιάζονται στο παρατιθέμενο σκαρίφημα. Η ηλιακή ενέργεια εισέρχεται σε αυτό μέσω μιας κεκλιμένης επιφάνειας καλυμμένης με τζάμι. Στο κάτω μέρος του, περιμετρικά υπάρχουν διάφορες μικρές οπές για την είσοδο του αέρα. Τα προς ξήρανση προϊόντα τοποθετούνται πάνω σε μια μεταλλική εσχάρα εντός του ξηραντηρίου. Ο ψυχρός αέρας εισερχόμενος μέσω των οπών στο ξηραντήριο, θερμαίνεται και ανερχόμενος ξηραίνει τα προϊόντα που βρίσκονται πάνω στην εσχάρα. Ο προσανατολισμός του ξηραντηρίου είναι προς το Νότο κατά τη διαδικασία της ξήρανσης. Η κλίση της άνω επιφάνειας καλυμμένης με τζάμι, ως προς το οριζόντιο επίπεδο είναι 37°. Στο ξηραντήριο αυτό άμεσου τύπου η συλλογή της ηλιακής ενέργειας και η ξήρανση των αγροτικών προϊόντων γίνεται στον ίδιο χώρο. Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται σκαρίφημα του ηλιακού ξηραντηρίου άμεσου τύπου.



Σχήμα 2.1. Ηλιακό ξηραντήριο άμεσου τύπου

Ηλιακό παθητικό ξηραντήριο έμμεσου τύπου

Στο παθητικό ηλιακό ξηραντήριο έμμεσου τύπου, η συλλογή της ηλιακής ενέργειας και η θέρμανση του αέρα γίνονται σε διαφορετικό χώρο από το χώρο ξήρανσης των προϊόντων (σχήμα 2.2).

Ο χώρος της συλλογής της ηλιακής ενέργειας αποτελείται από ένα ηλιακό συλλέκτη, κατασκευασμένο από πλαίσιο αλουμινίου, όπου στη πλάτη του από τη μέσα μεριά είναι ενισχυμένος με λεπτό ξύλο τύπου κόντρα πλακέ, βαμμένο με μαύρη μπογιά ώστε να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Η επιφάνεια του πλαισίου έχει καλυφτεί με τζάμι.



Σχήμα 2.2. Ηλιακό ξηραντήριο έμμεσου τύπου

Ο συλλέκτης έχει τοποθετηθεί σε κλίση 35° ως προς το οριζόντιο επίπεδο, και στο άνω και κάτω μέρος του υπάρχει μεταξύ του πλαισίου και του τζαμιού άνοιγμα, για την είσοδο του ψυχρού αέρα και την έξοδο του θερμού αέρα. Ο χώρος ξήρανσης σχήματος παραλληλεπιπέδου συνδέεται με το άνω μέρος του ηλιακού συλλέκτη και είναι υπερυψωμένος κατά 40 εκατ., ενώ στη δεξιά πλευρά του υπάρχει μικρή πόρτα για την τοποθέτηση των προϊόντων που πρόκειται να ξηρανθούν πάνω σε μια μεταλλική σχάρα. Στο επάνω μέρος του χώρου ξήρανσης υπάρχει μικρή κυλινδρική καμινάδα για την έξοδο του αέρα. Κατά τη λειτουργία του ξηραντηρίου, ψυχρός αέρας εισέρχεται στο κάτω μέρος του ηλιακού συλλέκτη και θερμαινόμενος ανέρχεται στο χώρο του ξηραντηρίου όπου έρχεται σε επαφή με τα προς ξήρανση προϊόντα και εξέρχεται από την καμινάδα.

Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων στο ηλιακό ξηραντήριο άμεσου τύπου, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα λαχανικά (ντομάτα, αγγούρι) και φρούτα (πορτοκάλι, βερίκοκο, ακτινίδιο) κομμένα σε φέτες για ξήρανση. Η ξήρανση των διαφόρων προϊόντων διαρκούσε 5- 5,5 ώρες. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο χώρο του ΤΕΙ Κρήτης στα Χανιά κατά τους μήνες Μάιο και Ιούλιο. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων καταγραφόταν:

- α) Η ηλιακή ακτινοβολία
- β) Ο χρόνος
- γ) Η θερμοκρασία εντός του χώρου του ξηραντηρίου
- δ) Η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ε) Η αρχική υγρασία των προϊόντων
- στ) Το βάρος των προϊόντων σε διάφορα χρονικά διαστήματα.

Η αρχική υγρασία του κάθε προϊόντος υπολογιζόταν με τη τοποθέτηση του δείγματος μετά το τέλος των μετρήσεων σε φούρνο ξήρανσης στους 105°C για 24 ώρες και μέτρηση του βάρους του.

Η προκαταρκτική ξήρανση διαφόρων φρούτων και λαχανικών επετεύχθη ικανοποιητικά σε σύντομο χρονικό διάστημα στα δύο προαναφερθέντα ξηραντήρια. Δεδομένου ότι τα φρούτα και τα λαχανικά ξηραίνοντο αφού προηγουμένως αυτά κοβόταν σε φέτες και όχι ολόκληρα, η ξήρασή τους επιτυγχάνετο ταχύτερα. Μεταξύ των δύο εξετασθέντων ξηραντηρίων, το ξηραντήριο άμεσου τύπου είναι απλούστερο και πιο οικονομικό στη κατασκευή από αυτό του έμμεσου τύπου. Ταυτόχρονα η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ θαλάμου ξήρανσης και περιβάλλοντος ήταν μεγαλύτερη στο ξηραντήριο άμεσου τύπου. Βέβαια τα προαναφερθέντα πειράματα έγιναν σε ημέρες με ικανοποιητική ηλιοφάνεια στα Χανιά. Όσον αφορά το ποσοστό μείωσης της υγρασίας στα φρούτα και λαχανικά, στο ξηραντήριο άμεσου τύπου, αυτό κυμαίνεται μεταξύ 98,55% για τη ντομάτα και 37,93% για το βερύκοκο (για χρόνο ξήρανσης 5 ωρών).

Για το ξηραντήριο έμμεσου τύπου, η εκατοστιαία απώλεια βάρους για το λεμόνι ήταν 71,68%, για την πατάτα 48,28% και για τη ντομάτα 40,87% (για τον ίδιο χρόνο ξήρανσης των 5 ωρών).

Συγκρίνοντας τα δύο αυτά ξηραντήρια, η δυνατότητα ξήρανσης προϊόντων στο ξηραντήριο άμεσου τύπου ήταν καλύτερη, όσον αφορά τις επιτυγχανόμενες θερμοκρασίες και τον επιτυγχανόμενο βαθμό ξήρανσης σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Βέβαια, οι μέγιστες επιτυγχανόμενες θερμοκρασίες στο θάλαμο ξήρανσης στο ξηραντήριο έμμεσου τύπου ήταν χαμηλότερες από εκείνες του άμεσου τύπου, που το κάνει καταλληλότερο για ξήρανση προϊόντων ευαίσθητων σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες

ικανοποιητικής ηλιοφάνειας και δεν διερευνήθηκε η συμπεριφορά των ξηραντηρίων σε συνθήκες χαμηλότερης ηλιοφάνειας. Τα προαναφερθέντα ξηραντήρια είναι παθητικού τύπου, χαμηλού κόστους και προσφέρουν προστασία για την ξήρανση φρούτων και λαχανικών από πουλιά, έντομα, σκόνη κ.τ.λ., έναντι της ηλιακής ξήρανσης τους σε ανοικτό χώρο με την απευθείας επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέγιστη θερμοκρασία που επετεύχθη εντός του ξηραντηρίου άμεσου τύπου (τους μήνες Μάιο και Ιούλιο στα Χανιά) ήταν περίπου 65 °C, ενώ πολύ ικανοποιητική ξήρανση επιτυγχάνετο και για θερμοκρασία 57 °C (ντομάτα).

Για το ξηραντήριο έμμεσου τύπου η μέγιστη θερμοκρασία που επετεύχθη ήταν περίπου 54 °C, ενώ ικανοποιητική ξήρανση ορισμένων προϊόντων (λεμόνι) επετεύχθη και σε χαμηλότερη θερμοκρασία 45 °C.

2.5.3 Γαλλία

Δύο πρόσφατες εγκαταστάσεις στη Γαλλία ηλιακής ξήρανσης ιλύος εγκαταστάθηκαν, μια στο Ensisheim στην περιοχή Haut - Rhin και η άλλη στο Reignier στην περιοχή Haute - Savoie. (M. Valensi *et al.*, 2004)

Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι σχεδιασμένες για μέσου μεγέθους εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (5.000-50.000 κατοίκων), είναι απλές εγκαταστάσεις, με διαδικασίες χαμηλής τεχνολογίας που ξηραίνει τη λάσπη και έπειτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να διοχετευτεί σε οποιοσδήποτε από τις σημερινές εγκαταστάσεις επανεπεξεργασίας ή διάθεσης. Οι εγκαταστάσεις αυτές στηρίζονται κυρίως στην ηλιακή ενέργεια και απαιτούν μόνο 30 kWh για να εξατμίσει έναν τόνο νερού, έναντι 800-1000 kWh για έναν θερμικό στεγνωτήρα. Η ιλύς κατατίθεται σε ένα προστατευτικό θερμοκήπιο που παρέχει ένα περιβάλλον που είναι συμβάλλον στην εξάτμιση ύδατος. Μια πλήρως αυτόματη μηχανή κινητοποιεί και αερίζει τη λάσπη με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτραπεί η ζύμωση και να βελτιστοποιηθεί η ξήρανση. Οι υπόλοιποι κόκκοι αποτελούν μόνο 20 - 25% του αρχικού όγκου λάσπης. (M. Valensi *et al.*, 2004)

2.5.4. Γερμανία

Το πανεπιστήμιο Hohenheim της Γερμανίας σε συνεργασία με μία επιχείρηση έχουν αναπτύξει μία πλήρως αυτόματη ηλιακή εγκατάσταση ξήρανσης ιλύος χαμηλής θερμοκρασίας επιτρέποντας την περαιτέρω σταθεροποίηση και τη μείωση όγκου της ιλύος των Ε.Ε.Λ. με τη συνεχή μίξη και τον αερισμό. Για να εξετάσει τη δυνατότητα της τεχνολογίας, η διαδικασία ξήρανσης ερευνήθηκε σε ένα εμπορικά εκμεταλλευμένο δημοτικό εργοστάσιο επεξεργασίας λυμάτων με την αεροβια αποσύνθεση λάσπης. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, οι αλλαγές της ξηράς συγκέντρωσης στερεών και των πτητικών στερεών, οι κλιματολογικές συνθήκες και η κατανάλωση ενέργειας μετρήθηκαν συνεχώς και καταγράφηκαν. Βρέθηκε, ότι 3,93% w/w όγκος λάσπης θα μπορούσε να ξηρανθεί σε 64 ή 83 ημέρες. Συγχρόνως, η πτητική περιεκτικότητα σε στερεά μειώθηκε από 65 σε 34% w/w, αντίστοιχα. Η ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας ήταν μόνο 22 με 28kWh ανά τόνο του εξατμισμένου ύδατος, έναντι 70 σε 110kWh που απαιτήθηκε για τις συμβατικές διαδικασίες ξήρανσης. Η θερμική ενέργεια για την εξάτμιση καλύφθηκε πλήρως από την ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ξήρανση της ιλύος των Ε.Ε.Λ. έχει διάφορα πλεονεκτήματα έναντι άλλων διαδικασιών επεξεργασίας λάσπης όπως τη μηχανική απομάκρυνση νερού ή τη θερμική ξήρανση ειδικά για τις μικρομεσαίες μεγέθους εγκαταστάσεις λυμάτων. Η μείωση μεγάλης ποσότητας ιλύος μέσω ξήρανσης μέχρι 97% οδηγεί σε σημαντική μείωση των δαπανών. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής και των νομοθεσιών τους, η υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά και η μειωμένη συνολική πτητική συγκέντρωση του τελικού προϊόντος ανοίγουν πρόσθετες διαβάσεις της διάθεσης όπως η αποτέφρωση ή η επιχωμάτωση.

Στη Γερμανία, γίνεται χρήση της μεθόδου Wendewolf για την ηλιακή ξήρανση της ιλύος που χρησιμοποιείται επιτυχώς στο ευρωπαϊκό κλίμα, με μια ετήσια εξάτμιση 800 – 900 κλ/m²year. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται όπως φαίνεται και στο χάρτη 1, από πολλές χώρες της Ευρώπης αλλά έχει αρχίσει να εγκαθίσταται επίσης στην Αυστραλία. (Nathan S. *et al*, 2000)

2.5.5. Τουρκία

Στην Τουρκία έχει ήδη αρχίσει επιστημονική έρευνα που προσανατολίζεται στην κατεύθυνση των ηλιακών συλλεκτών ως μέσα ξήρανσης της ιλύος. Είναι σημαντικό γεγονός για τους εξής λόγους: πρώτον, η γεωγραφική θέση της Τουρκίας είναι δίπλα στην Ελλάδα, γεγονός που συνεπάγεται ίδιο γεωγραφικό πλάτος και κατ' επέκταση παρόμοιες κλιματολογικές συνθήκες, ηλιοφάνεια και άλλα. Δεύτερον, εάν μία τέτοια τεχνολογία μπορεί να εφαρμοσθεί σε μία τόσο μεγάλη χώρα, τότε θα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η εφαρμογή της σε μία μικρή χώρα όπως η Ελλάδα.

Η ιλύς αποτελεί αναπόφευκτο προϊόν από τη διαδικασία επεξεργασίας των αποβλήτων και η διάθεσή της είναι αναπόσπαστο μέρος της διαχείρισής τους.

Λόγω της μεγάλης παραγωγής, η λάσπη θεωρείται οικονομικά και περιβαλλοντικά ως ανεπιθύμητο φορτίο. Τα τελευταία χρόνια, η διαχείριση λάσπης έχει γίνει ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στη διαχείριση αποβλήτων εξαιτίας της αύξησης παραγωγής της λόγω έντονης αστικοποίησης και ακόμη εξαιτίας της ενίσχυσης των κανονισμών σχετικά με τη διάθεσή της.

Δύο κύριες εγκαταστάσεις επεξεργασίας απόβλητων στην πόλη Bursa της Τουρκίας θα αρχίσουν να λειτουργούν και να παράγουν τουλάχιστον 27.000t ξηρών στερεών ετησίως μέχρι το τέλος του 2006. Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να ερευνηθεί μια οικονομική λύση στο πρόβλημα της λάσπης που αντιμετώπιζε η πόλη Bursa. Οι ανοικτές και καλυμμένες κλίνες ηλιακής ξήρανσης της λάσπης κατασκευάστηκαν σε πειραματική κλίμακα.

Διαπιστώθηκε ότι, εάν η περιορισμένη ασβέστωση και η ηλιακή μέθοδος ξήρανσης εφαρμόζονταν μετά από τη μηχανική απομάκρυνση νερού αντί της εφαρμογής μόνο της μεθόδου με ασβέστωση, το συνολικό ποσό της λάσπης που διατίθεται θα μειωνόταν περίπου κατά 40%.

Διαπιστώθηκε ότι η ηλιακή ξήρανση στις καλυμμένες κλίνες οδήγησε σε μια ιδιαίτερη αύξηση στο περιεχόμενο αιωρούμενο φορτίο της λάσπης. Τα αποτελέσματα αυτής μελέτης έδειξαν ότι, η περιορισμένη ασβέστωση και η ηλιακή ξήρανση στις κλειστές κλίνες θα μπορούσαν να είναι μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση για περαιτέρω απομάκρυνση νερού και ξήρανση στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας απόβλητων.

Η μηχανική απομάκρυνση νερού μπορεί να αφαιρέσει το νερό μέσα από τη λάσπη μόνο μέχρι ένα σημείο, ενώ δε μειώνει τα παθογόνα. Παρά το γεγονός ότι η θερμική ξήρανση παρέχει μια αποδοτικότερη ξήρανση από τη μηχανική απομάκρυνση νερού, ωστόσο απαιτεί τις υψηλές δαπάνες λειτουργίας σε ενέργεια. Ως εκ τούτου η

χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας εμφανίζεται ως πιο οικονομική, αποδοτική, και λιγότερο σύνθετη επιλογή από τα υπόλοιπα συστήματα απομάκρυνσης του νερού.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι καλυμμένες κλίνες ξήρανσης ήταν περισσότερο συμφέρουσες από τις ανοικτές κλίνες τόσο στις περιόδους καλοκαιριού όσο και χειμώνα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ανοικτές κλίνες συγκρατούσαν το νερό της βροχής, το οποίο εμπόδιζε την ξήρανση λάσπης και τη μείωση των παθογόνων. Οι καλυμμένες κλίνες χρησιμοποίησαν την ηλιακή ενέργεια για την αποτελεσματική ξήρανση της λάσπης και επέτρεψαν τη μείωση παθογόνων λειτουργώντας επίσης και ως μια περιοχή προσωρινής αποθήκευσης της ξηρής λάσπης.

Η μελέτη έδειξε ότι με την εφαρμογή της μεθόδου, καλυμμένες κλίνες ηλιακής ξήρανσης θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην εξοικονόμηση 13*10⁶ € σε επτά χρόνια.

2.5.6. Κάτω Χώρες - Ολλανδία

Στις Κάτω Χώρες, η επεξεργασία της λάσπης από τις εργασίες λυμάτων καταλαμβάνει σημαντικές δαπάνες, σε σχέση με το κρατικό προϋπολογισμό των κρατών αυτών. Οι συγκεντρώσεις μετάλλων στην ιλύ, που επιτρέπουν οι Ολλανδικοί Κανονισμοί είναι κατά πλείστο μικρότερες από αυτές των Γερμανικών Κανονισμών πράγμα που δικαιολογεί την πρόβλεψη (Webers and Visser, 1990) ότι η διάθεση της ιλύος στη γεωργία θα περιοριστεί στη χώρα αυτή και ότι μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα η ηλιακή ξήρανση και η καύση θα εφαρμόζονται σε μεγάλη κλίμακα.

Μέχρι πρόσφατα, η περισσότερη λάσπη των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων χρησιμοποιήθηκε άμεσα ως λίπασμα στο γεωργικό τομέα. Σήμερα, σχεδόν όλη η λάσπη πηγαίνει σε περαιτέρω επεξεργασία για να την ξεράνει ή να την αποτέφρωσει. Το προϊόν αυτής της περαιτέρω επεξεργασίας συνήθως χρησιμοποιείται ως υλικό για την κατασκευή δρόμων, αν και γίνονται σημαντικές προσπάθειες να βρεθεί κάποια νέα εφαρμογή για την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της. Για αυτόν τον λόγο, πολλή προσοχή έχει δοθεί πρόσφατα στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας απομάκρυνσης του νερού της λάσπης.

2.5.7. Νορβηγία

Οι εγκαταστάσεις HIAS στο Hamar της Νορβηγίας, χρησιμοποιούν τη διαδικασία Cambi και έχουν λειτουργήσει επιτυχώς για πάνω από τρία έτη χωρίς πρόκληση οποιασδήποτε μορφής διάβρωσης και με τις μυρωδιές να αντιμετωπίζονται μέσα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λάσπης.

Πρόγραμμα για την ηλιακή ξήρανση της λάσπης άρχισε να χρησιμοποιείται και σε άλλες χώρες εκτός της Νορβηγίας, μετά από έρευνα που ολοκληρώθηκε από UK, χωρίς όμως να παρατίθενται περαιτέρω στοιχεία.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

3.1 Πειραματική διαδικασία

Για τη διαδικασία του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν :

14 λεκάνες σχήματος τραπεζίου από τις οποίες οι 7 ήταν χωρητικότητας 13 lt και οι οι άλλες 7 χωρητικότητας 30 lt.

Λάσπη διφασικού ελαιοτριβείου από την Μελαμπιανάκης ΑΕ στην Πλώρα Ηρακλείου Κρήτης.

Φύλλα ελιάς από το ελαιοτριβείο του γεωργικού συνεταιρισμού της Εμπάρου και τεμαχισμένα κλαδοκάθαρα από το εργαστήριο κομποστοποίησης του ΤΕΙ Ηρακλείου.

Τέλος χρησιμοποιήθηκαν μια μικρή τσουγκράνα και ένα κομμάτι νάιλον για την ανάδευση των υλικών

Τα υλικά αυτά κατανεμήθηκαν ως εξής:

Πίνακας 6.6 Ποσότητες και αναλογίες ανάμιξης των υλικών σε λεκάνη 13 lt

Επεμβάσεις	Ποσότητες υλικών			
	Φύλλα ελιάς (lt)	Λάσπη (lt)	Κλαδοκάθαρα (lt)	Αναλογία (v/v)
1	-	13	-	
2	6,5	6,5	-	1:1
3	4.3	8.7	-	1:2
4	8.7	4.3	-	2:1
5	-	6.5	6.5	1:1
6	-	4.3	8.7	1:2
7	-	8.7	4.3	2:1

Πίνακας 6.7 Ποσότητες και αναλογίες ανάμιξης των υλικών σε λεκάνη 30 lt

Επεμβάσεις	Ποσότητες υλικών				
	Φύλλα (lt)	ελιάς	Λάσπη (lt)	Κλαδοκάθαρα (lt)	Αναλογία (v/v)
1	-		30	-	
2	15		15	-	1:1
3	10		20	-	1:2
4	20		10	-	2:1
5	-		15	15	1:1
6	-		10	20	1:2
7	-		20	10	2:1

7λεκάνες → 13lt (10 cm) όπου θα περιέχουν: Σκέτη λάσπη

Φύλλα ελιάς : λάσπη 1:1 v/v

Φύλλα ελιάς : λάσπη 1:2 v/v

Φύλλα ελιάς : λάσπη 2:1v/v

Κλαδοκάθαρα : λάσπη 1:1 v/v

Κλαδοκάθαρα : λάσπη 1:2 v/v

Κλαδοκάθαρα : λάσπη 2:1 v/v

7λεκάνες → 30lt (20 cm) όπου θα περιέχουν : Σκέτη λάσπη

Φύλλα ελιάς : λάσπη 1:1 v/v

Φύλλα ελιάς : λάσπη 1:2 v/v

Φύλλα ελιάς : λάσπη 2:1v/v

Κλαδοκάθαρα : λάσπη 1:1 v/v

Κλαδοκάθαρα : λάσπη 1:2 v/v

Κλαδοκάθαρα : λάσπη 2:1 v/v

3.2 Μέτρηση pH και Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC)

Είναι γνωστό ότι με το pH εκφράζουμε τη συγκέντρωση ιόντων H^+ και OH^- . Με την E.C. εκφράζουμε τη συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο οργανικό υλικό. Για τη μέτρηση των pH και EC τη μέθοδο pf 1,5 με αναλογία νερού 1/1,5 (v/v).

Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Κύλινδρος εσωτερικής διαμέτρου 42mm και ύψους 58mm, με χωρητικότητα 80cm^3
2. Βαρίδιο για την συμπίεση των δειγμάτων μέσα στον κύλινδρο βάρους 1385 ($0,1\text{ Kg/cm}^2$).
3. Ογκομετρικό κύλινδρο 100ml.
4. Πλαστική λεκάνη, 2 πλαστικά ποτήρια, υδροβολέας με απιονισμένο νερό.
5. Σπάτουλα, γυάλινη ράβδος.
6. Χωνί Buchner (πορσελάνης), διηθητικό χαρτί.
7. pH-μετρο: Crison PH-meter GLP 2I.
8. Αγωγιμόμετρο: Crison conductimeter 525.

Διαδικασία

1. Βάζουμε στην πλαστική λεκάνη 200gr περίπου δείγματος και το διαβρέχουμε σταδιακά ανακατεύοντας.
2. Όταν το υλικό αποκτήσει υαλώδη μορφή και σε κάθετη τομή συγκεντρώνεται νερό που διαφεύγει, τότε το υλικό έχει φτάσει στην υγρασιακή κατάσταση pf 1,5. 3. Τοποθετούμε το υλικό στους πλαστικούς δακτύλιους και τοποθετούμε σιγά-σιγά το βαρίδι από επάνω.
3. Μετά την πάροδο 60 sec. Αφαιρούμε το βαρίδι και κόβουμε με το μαχαίρι ανάμεσα στους δακτύλιους.
4. Την ποσότητα του κάτω δακτύλιου 80 cm^3 την αδειάζουμε στο ποτήρι όπου και συμπληρώνουμε 120ml απιονισμένου νερού, και ανακατεύουμε με τη γυάλινη ράβδο. 6. Μετά από δυο ώρες αδειάζουμε το υλικό με το νερό στο χωνί Μπουχνέρ με το διηθητικό χαρτί, και το αφήνουμε 24 ώρες να στραγγίσει στο δεύτερο ποτήρι.

Μετρήσεις:

1. Την επόμενη ημέρα γίνονται οι μετρήσεις με το pH-μέτρο και το αγωγιμόμετρο
2. Κάθε δείγμα πραγματοποιείται παράλληλα σε διπλή επανάληψη. -

3.3 Μέτρηση υγρασίας

Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για μέτρηση της υγρασίας είναι:

1. Φούρνος Ξήρανσης ρυθμισμένος στους 105 °C : MEMMERT.
2. Πυρίμαχες κάψες
3. Ζυγαριά ακριβείας

Διαδικασία

1. Ζυγίζουμε τις κάψες άδειες, στεγνές και καθαρές (τιμή Α).
2. Τοποθετούμε μικρή ποσότητα δείγματος (περίπου 10 gr) στην κάθε κάψα στην οποία και σημειώνουμε με κάποιο κωδικό το υλικό που μετράμε.
3. Επαναζυγίζουμε τις κάψες (τιμή Β).
4. Τοποθετούμε την κάψα στο φούρνο στους 105 °C για 24 ώρες.
5. Βγάζουμε τις κάψες από το φούρνο και τις αφήνουμε σε ξηραντήρα για όση ώρα χρειαστεί ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.
6. Ζυγίζουμε τις κάψες (τιμή Γ).

Υπολογισμοί

Η υγρασία υπολογίζεται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$Y(\%) = (G - A / B - A) \times 100. .$$

Σημείωση: Η παραπάνω διαδικασία για τον υπολογισμό της υγρασίας πραγματοποιείται με δύο επαναλήψεις.

3.4 Μέτρηση θερμοκρασιών

Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιούνταν καθημερινά. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό θερμόμετρο: DTM Ni-Cr. Το θερμόμετρο

αυτό αποτελείται από δύο μέρη, τον μεταλλικό άξονα με χειρολαβή μήκους 1,2m ο οποίος φέρει στην άκρη διμεταλλική ακίδα Νικελίου-Χρωμίου, και από το ψηφιακό όργανο το οποίο αναγράφει τις ενδείξεις σε οθόνη LCD. Η μέτρηση πραγματοποιείται, βυθίζοντας το μεταλλικό σώμα του θερμομέτρου στο δείγμα. Κατόπιν περιμένουμε έως ότου σταθεροποιηθεί η ένδειξη στην οθόνη και καταγράφουμε τη θερμοκρασία. Επειδή όμως η εσωτερική θερμοκρασία του δείγματος επηρεάζεται από την περιβαλλοντική, πραγματοποιούνταν και μέτρηση της εξωτερικής θερμοκρασίας προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητοι συσχετισμοί. Η μέτρηση αυτή γινόταν κρατώντας το μεταλλικό σώμα του θερμομέτρου στον αέρα και υπό σκιά μέχρις ότου σταθεροποιηθεί η ένδειξη.

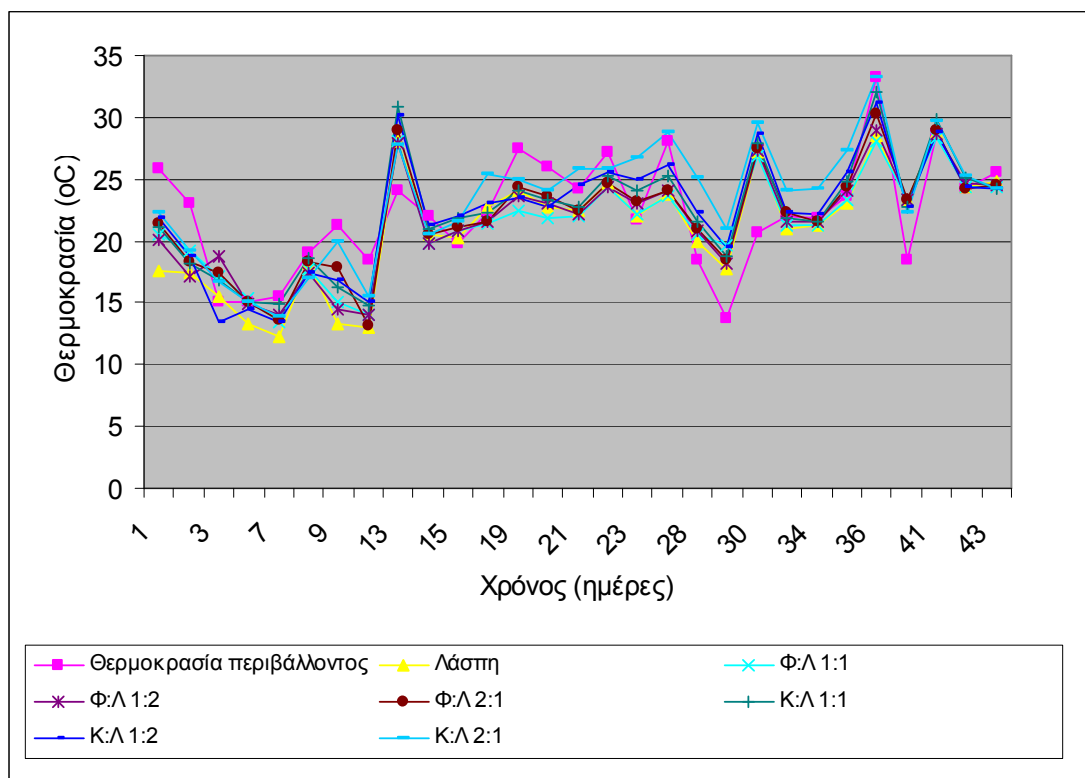
3.5 Μέτρηση ελαίου

Το δείγμα ξηραίνονταν στους 70 °C για μια ημέρα και στη συνέχεια ομογενοποιούνταν σε μύλο άλεσης περνώντας από ένα κόσκινο διαμέτρου 20mesh (Pulverisette 14, Fritsch). Ακολούθως 2 g από το ομογενοποιημένο δείγμα τοποθετούνταν σε φίλτρο εκχύλισης (extraction thimble). Τα λίπη και τα έλαια εκχυλίζονταν σε συσκευή Soxhlet χρησιμοποιώντας διχλωρομεθάνιο με ρυθμό 12 κύκλους/ώρα για 8 ώρες. Το εκχύλισμα εξατμιζόταν και η περιεκτικότητα σε έλαια υπολογιζόταν ζυγίζοντας το ξηρό υπόλειμμα μετά την εξάτμιση του διαλύτη.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

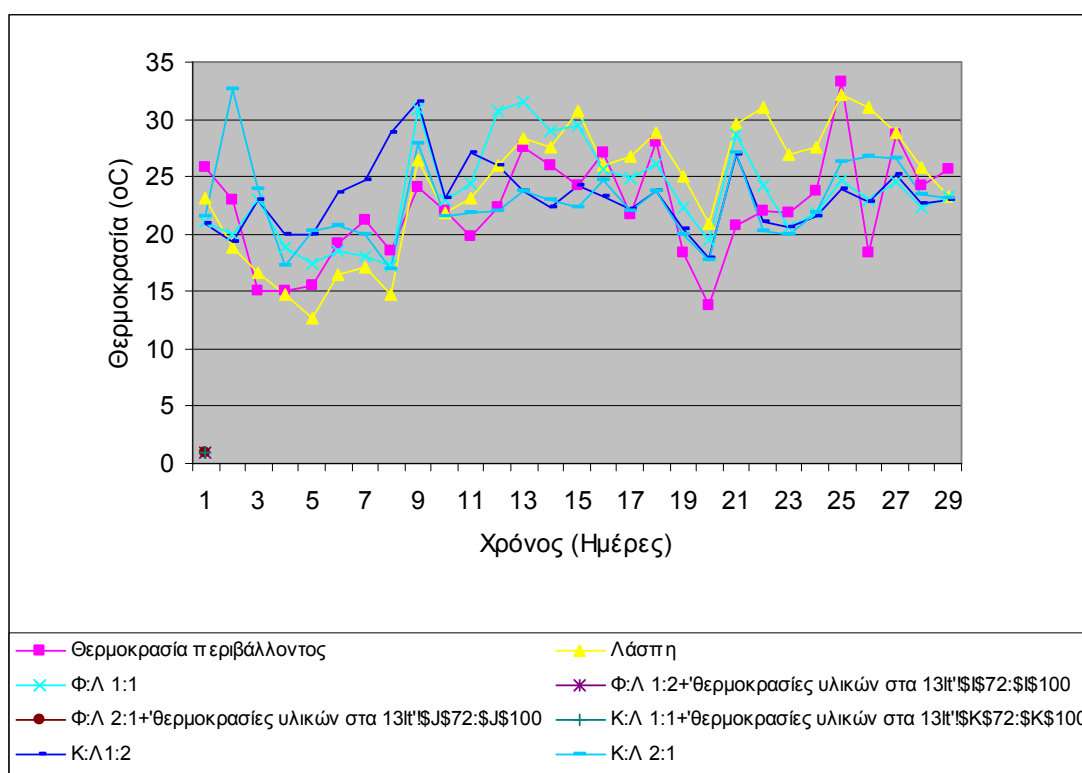
4.1 Μεταβολή θερμοκρασίας

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας στα δοχεία που είχαν πάχος 10cm. Η θερμοκρασία του υλικού ήταν σχεδόν όμοια με του περιβάλλοντος στο χώρο του θερμοκηπίου και κυμάνθηκε από 12 °C έως 33 °C. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας ήταν 22.3 ± 4.6 για το περιβάλλον του θερμοκηπίου, 21.1 ± 4.7 για την λάσπη, 21.4 ± 4.0 για το μίγμα Φ:Λ 1:1, 21.5 ± 4.2 για το μίγμα Φ:Λ 1:2, 21.9 ± 4.3 για το μίγμα Φ:Λ 2:1, 22.3 ± 4.5 για το μίγμα Κ:Λ 1:1, 22.3 ± 4.7 για το μίγμα Κ:Λ 1:2, 23.3 ± 4.8 για το μίγμα Κ:Λ 2:1.



Διάγραμμα 1. Μεταβολή της θερμοκρασίας στα δείγματα με πάχος 10cm

Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας στα δοχεία που είχαν πάχος 10cm. Η θερμοκρασία του υλικού ήταν σχεδόν όμοια με του περιβάλλοντος στο χώρο του θερμοκηπίου και κυμάνθηκε από 12 °C έως 34 °C. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας ήταν 22.3 ± 4.6 για το περιβάλλον του θερμοκηπίου, 24.2 ± 5.6 για την λάσπη, 23.6 ± 4.2 για το μίγμα Φ:Λ 1:1, 23.7 ± 3.9 για το μίγμα Φ:Λ 1:2, 21.4 ± 2.6 για το μίγμα Φ:Λ 2:1, 22.6 ± 2.9 για το μίγμα Κ:Λ 1:1, 23.2 ± 2.9 για το μίγμα Κ:Λ 1:2, 22.7 ± 3.4 για το μίγμα Κ:Λ 2:1.

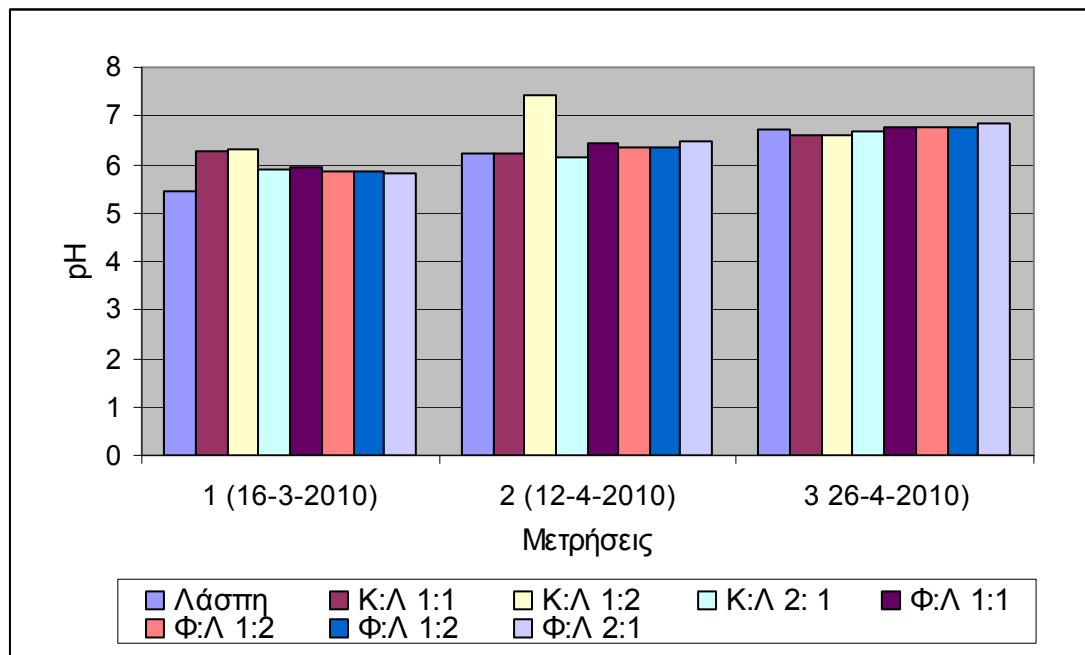


Διάγραμμα 2. Μεταβολή της θερμοκρασίας στα δείγματα με πάχος 20cm

4.2 Μεταβολή pH

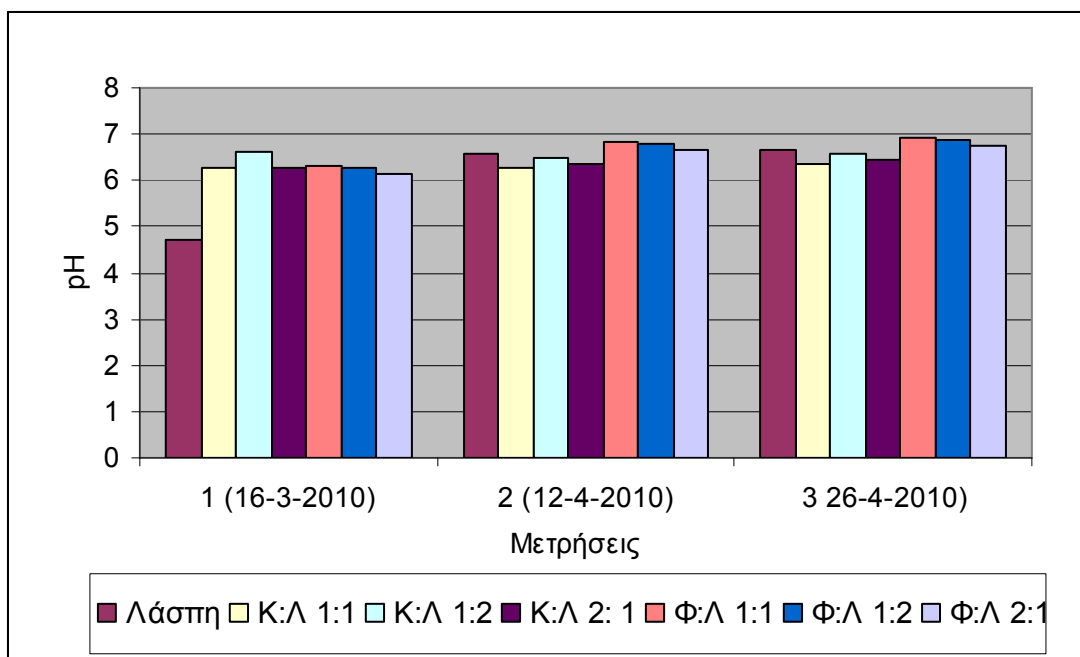
Κατά την διάρκεια του πειράματος στα δοχεία των 10cm παρατηρήθηκε μικρή αύξηση του pH όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3. Η τιμή του pH αυξήθηκε από 5.43 σε 6.71 στη λάσπη, από 6,25 σε 6,58 για το μίγμα Κ:Λ 1:1, από 6,3 σε 6,58 για το μίγμα Κ:Λ 1:2, από 5,9 σε 6,7 για το μίγμα Κ:Λ 2:1, από 5,95 σε 6,76 για το μίγμα

Φ:Λ 1:1, από 5,84 σε 6,75 για το μίγμα Φ:Λ 1:2, από 5,81 σε 6,85 για το μίγμα Φ:Λ 2:1



Διάγραμμα 3. Μεταβολή του pH στα δείγματα με πάχος 10cm

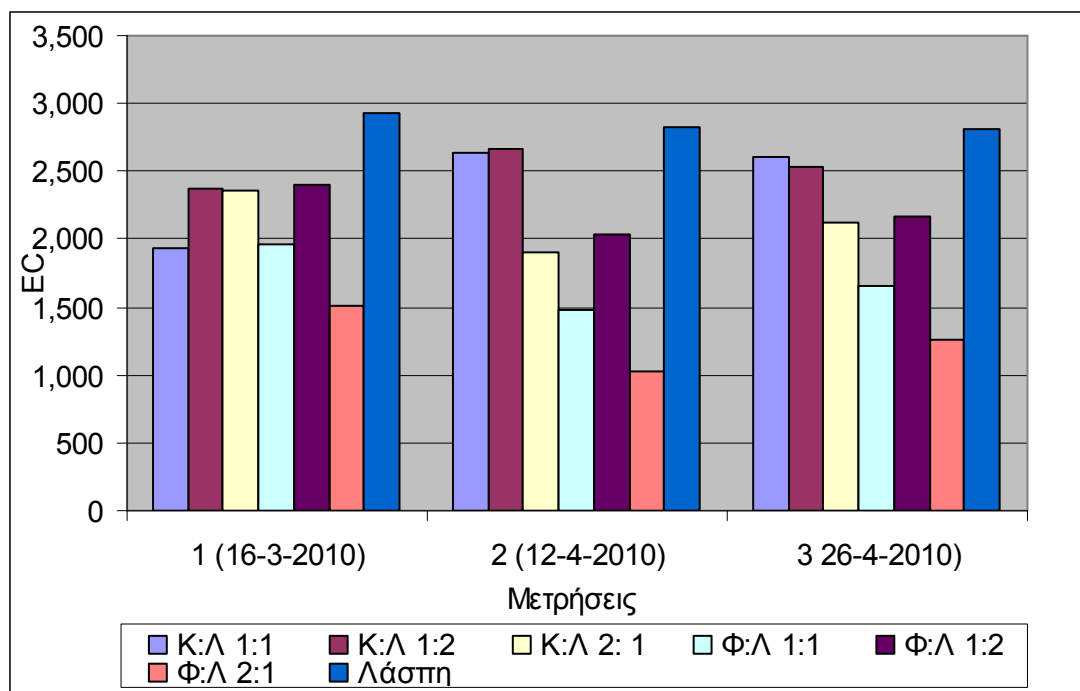
Στα δοχεία των 20cm παρατηρήθηκε επίσης μικρή αύξηση του pH όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4. Η τιμή του pH αυξήθηκε από 4.72 σε 6.64 στη λάσπη, από 6,26 σε 6,37 για το μίγμα Κ:Λ 1:1, από 6,63 σε 6,57 για το μίγμα Κ:Λ 1:2, από 6,27 σε 6,44 για το μίγμα Κ:Λ 2:1, από 6,31 σε 6,32 για το μίγμα Φ:Λ 1:1, από 6,26 σε 6,86 για το μίγμα Φ:Λ 1:2, από 6,12 σε 6,76 για το μίγμα Φ:Λ 2:1



Διάγραμμα 4. Μεταβολή του pH στα δείγματα με πάχος 20cm

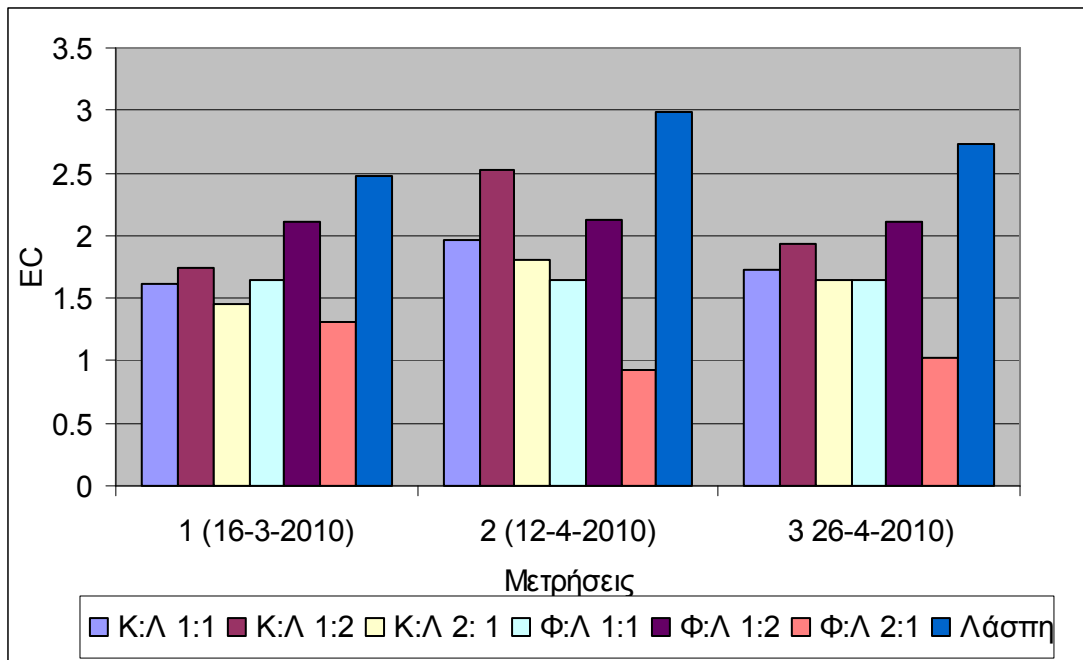
4.3 Μεταβολή Ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 5 και 6, δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφοροποίηση στην τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η μέση τιμή στα δοχεία των 10 cm ήταν 2.86 ± 0.07 mS/cm. για την λάσπη, $2,39 \pm 0,40$ mS/cm για το μίγμα Κ:Λ 1:1, $5,23 \pm 0,14$ mS/cm για το μίγμα Κ:Λ 1:2, $2,13 \pm 0,23$ mS/cm για το μίγμα Κ:Λ 2:1, $1,70 \pm 0,25$ mS/cm για το μίγμα Φ:Λ 1:1, $2,20 \pm 0,18$ mS/cm για το μίγμα Φ:Λ 1:2, $1,27 \pm 0,24$ mS/cm για το μίγμα Φ:Λ 2:1



Διάγραμμα 5. Μεταβολή της EC στα δείγματα με πάχος 10cm

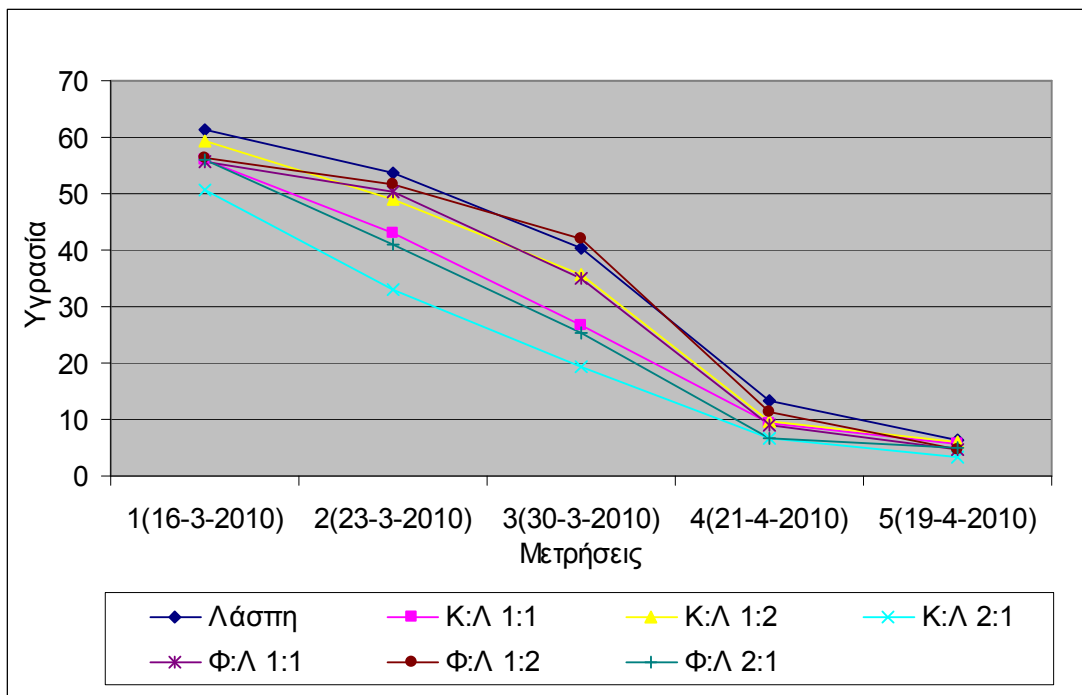
Αντίστοιχα, η μέση τιμή στα δοχεία των 20 cm ήταν 2.74 ± 0.25 mS/cm. για την λάσπη, 1.77 ± 0.18 mS/cm για το μίγμα Κ:Λ 1:1, 2.07 ± 0.41 mS/cm για το μίγμα Κ:Λ 1:2, 1.63 ± 0.17 mS/cm για το μίγμα Κ:Λ 2:1, 1.65 ± 0.00 mS/cm για το μίγμα Φ:Λ 1:1, 2.12 ± 0.01 mS/cm για το μίγμα Φ:Λ 1:2, 1.08 ± 2.20 mS/cm για το μίγμα Φ:Λ 2:1



Διάγραμμα 6. Μεταβολή της EC στα δείγματα με πάχος 20cm

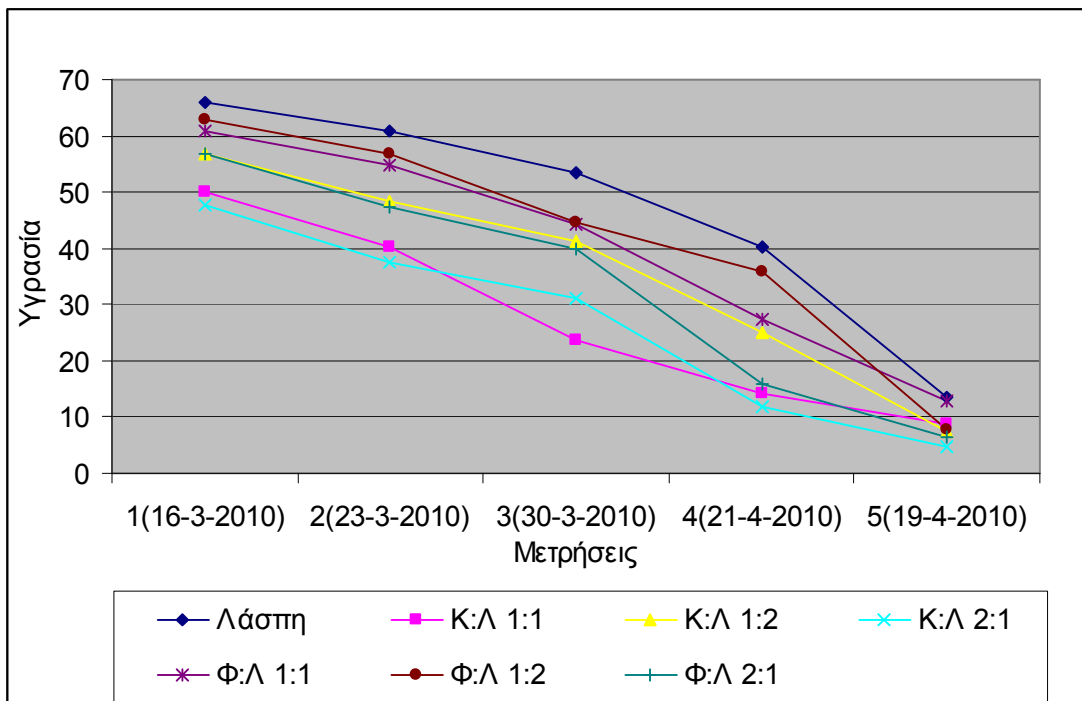
4.4 Μεταβολή Υγρασίας

Στο διάγραμμα 8 παρουσιάζεται η μείωση της υγρασίας στα υλικά για τα δοχεία των 10 cm. Η % υγρασία μειώθηκε από 61.35% σε 6.21% στην λάσπη, από 56.02% σε 5,6% στο μίγμα Κ:Λ 1:1, από 59,36% σε 5,89% στο μίγμα Κ:Λ 1:2, από 50,77% σε 3,32% στο μίγμα Κ:Λ 2:1, από 55,53% σε 4,59% στο μίγμα Φ:Λ 1:1, από 56,24 %σε 4,56% στο μίγμα Φ:Λ 1:2, από 56,16% σε 4,88 %στο μίγμα Φ:Λ 2:1.



Διάγραμμα 7 Μεταβολή της υγρασίας στα δείγματα με πάχος 10cm

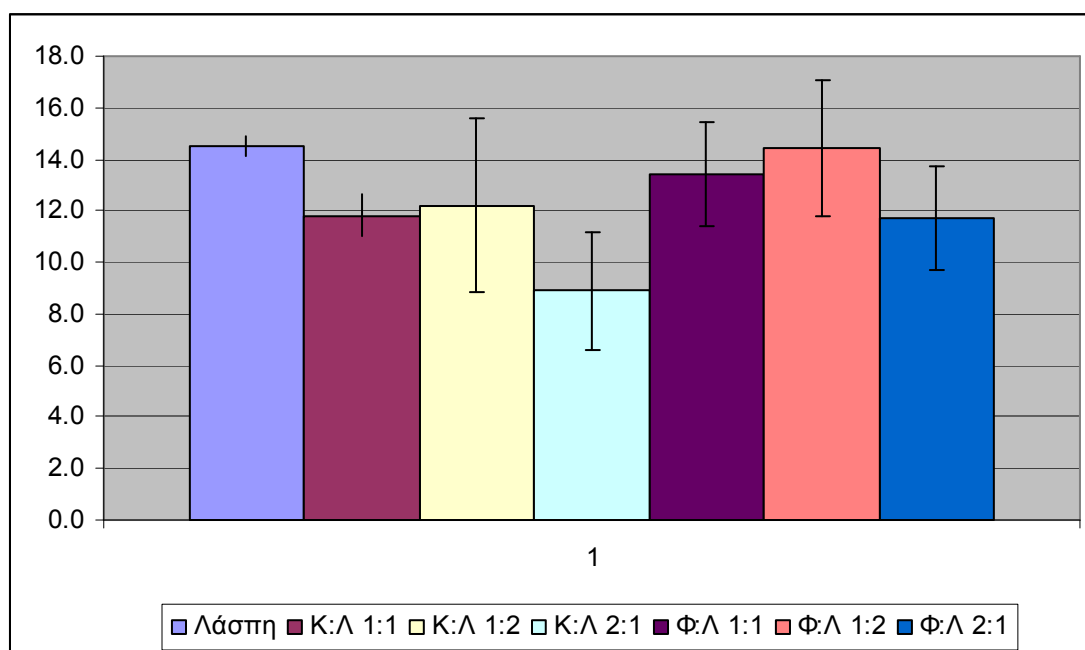
Στο διάγραμμα 9 παρουσιάζεται η μείωση της υγρασίας στα υλικά για τα δοχεία των 20 cm. Η % υγρασία μειώθηκε από 66,01% σε 13,63 στην λάσπη, από 50,07% σε 8,88 στο μίγμα Κ:Λ 1:1, από 56,77% σε 7,59% στο μίγμα Κ:Λ 1:2, από 47,8% σε 4,65% στο μίγμα Κ:Λ 2:1, από 60,74% σε 12,82% στο μίγμα Φ:Λ 1:1, από 62,9% σε 7,61% στο μίγμα Φ:Λ 1:2, από 56,94% σε 6,45% στο μίγμα Φ:Λ 2:1



Διάγραμμα 8 Μεταβολή της υγρασίας στα δείγματα με πάχος 20cm

4.5 Σύσταση Ελαίου

Η σύσταση σε λάδι στα υλικά κατά την εγκατάσταση του πειράματος ήταν 14.5 ± 0.4 % στη λάσπη, $11,8 \pm 0,8$ στο μίγμα Κ:Λ 1:1, $12,2 \pm 3,4$ στο μίγμα Κ:Λ 1:2, $8,9 \pm 2,3$ στο μίγμα Κ:Λ 2:1, $13,4 \pm 2,0$ στο μίγμα Φ:Λ 1:1, $14,4 \pm 2,6$ στο μίγμα Φ:Λ 1:2, $11,7 \pm 2,0$ στο μίγμα Φ:Λ 2:1



Διάγραμμα 9. περιεκτικότητα (%) των δειγμάτων σε έλαια

4.6 Μέτρηση Κατώτερης Θερμογόνου Δύναμης

Πραγματοποιήθηκε μέτρηση της κατώτερης θερμογόνου δύναμης στο δείγμα της λάσπης των 10 cm . Η τιμή βρέθηκε να είναι 4.59 kcal / kg. Όπως βλέπουμε και από τον πίνακα το υλικό έχει αρκετά ικανοποιητική απόδοση.

Πίνακας. Τιμές κατώτερης θερμογόνου δύναμης από βιομάζα

	Υγρασία	kWh / kg	kcal / kg	kg = 1liter fuel
Φλοιός από έλατο	50%	2,14	1,84	4,65
Μίσχανθος	10%	4,4	3,78	2,26
Ελαιοκράμβη	9%	6,83	5,87	1,46
Πριονίδι	6%	4,2	3,629	2,36
Ηλίανθος	9%	5,56	4,78	1,79
Σιτάρι	15%	4,17	3,58	2,4
Ξύλο	20%	4,22	3,629	2,36
Κάρβουνο	10%	7	6,02	1,36
Υγραέριο		11,8	11,2	0,84

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ινστιτούτο Τεχνολογίας Γεωργικών Προϊόντων (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε).

Οικονόμου Δ. 1994. Επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείου με τη χρήση μεμβρανών.

Τσώνης Σ. 1988. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστημίου Πατρών.

Aktas E.S., Imre S., Ersoy L., 2001. Characterization and lime treatment of olive mill wastewater. *Water Research* 35 (9), 2336-2340

Albarran A., Celis R., Hermosin M.C., Lopez-Pineiro A., Cornejo J., 2004. Behaviour of simazine in soil amended with the final residue of the olive oil extraction process. *Chemosphere* 54, 717-724.

Al-Malah K., Azzam M.O.J., Abulai N.I., 2000. Olive mills effluent (OME) wastewater post-treatment using activated clay. *Separ. Purif. Technol.* 20, 225-234.

Arienzo M., Capasso R., 2000. Analysis of Metal Cations and Inorganic Anions in Olive Oil Mill Waste Waters by Atomic Absorption Spectroscopy and Ion Chromatography. Detection of Metals Bound Mainly to the Organic Polymeric Fraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1405-1410.

Benitez F.J., Beltran-Heredia J., Torregrosa J., Acero J.L., 1997b. Aerobic degradation of olive mill wastewaters. *Applied Microbiology and Biotechnology* 47, 185-188.

Bianchi, G. (2003) Lipids and phenols in table olives, *European Journal of Lipid Science and Technology*. 105, 229-242

BOE, 2001. Orden de 25 de Julio de 2001 por la que se establecen limites de determinacion de hidrocarburos aromaticos policiclicos en aceite de orujo de oliva.

Borja R., Rincon B., Raposo F., 2006. Anaerobic biodegradation of two-phase olive mill solid wastes and liquid effluents: kinetic studies and process performance. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 81, 1450-1462.

Cardoso S.M., Coimbra M.A., Lopes da Silva J.A., 2003. Calcium-mediated gelation of an olive pomace pectic extract. *Carbohydrate polymers* 52, 125-133.

Cegarra J., Amor J.B., Gonzalez J., Bernal M.P., Roig A., 2000. Characteristics of a new solid olive-mill-by-product (alperujo) and its suitability for composting.

Cox L., Hermosin M.C., Cornejo J., 2004. Influence of organic amendments on sorption and dissipation of imidacloprid in soil. *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry* 84, 95-102.

Ekechukwua O.V., B. Norton: "Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology", *Energy Conversion & Management* 40 (1999) 615-655

Giannes A., Diamadopoulos E., Ninolakis M., 2003. Electrochemical treatment of olive oil mill wastewater using a Ti/Ta/Pt/Ir electrode. *Proc 3rd Int Conf on Oxidation technologies for Water and Wastewater treatment* 527-530.

Haralambopoulos D.A., G. Biskos, C. Halvadakis, T.D. Lekkas: "Dewatering of wastewater sludge through a solar still", *Renewable Energy* 26 (2002) 247–256. IOOC, International Olive Oil Council, 2004.

Kestioglou K., Yonar T., Azbar N., 2005. Feasibility of physiochemical treatment and advanced oxidation processes (AOPs) as a means of pre-treatment of olive mill effluent (OME). *Process Biochemistry* 40, 2409-2416.

Madejon E., Galli E., Tomati U., 1998. Composting of wastes produced by low water consuming olive mill technology. *Agrochimica* 42, 135-146.

Marion Valensi and the SUEZ Environnement technical communication team (2004): "Research, Development and Innovation, to answer today's and tomorrow's major challenges".

Marques I.P., Teixeira A., Rodrigues L., 1998. Anaerobic treatment of olive mill wastewater with digested piggery effluent. *Water Environ Res* 70, 1056-1061.

Nathan S and Clarke B. (2000): "'SolarMix' - Innovation in Drying Technology".

Paraskeva P., Diamantopolos E., 2006. Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 81, 1475-1485.

Paredes M.J., Moreno E., Ramos-Cormenzana A., Martinez J., 1987. Characteristics of soil after pollution with wastewaters from olive oil extraction plants. *Chemosphere* 16 (7), 1557-1564.

Review of Waste Management Options in Olive Oil Production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 34, 209-247.

Rivas J.F., Beltran F.J., Gimeno O., Acedo B., 2001. Wet air oxidation of wastewater from olive oil mills. *Chem. Eng. Technol* 24, 415-421.

Roig A., Cayuela M.L., Sanchez-Monedero M.A., 2006. An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management* 26, 960-969.

Sarika R., Kalogerakis N., Mantzavinos D., 2005. Treatment of olive mill effluents, Part II: Complete removal of solids by direct flocculation with polyelectrolytes. *Environ Int* 31, 297-304.

Servili M., Baldioli M., Selvaggini R., Miniati E., Machioni A., Montedoro G., 1999. High performance liquid chromatography evaluation of phenols in olive fruit, virgin oil, vegetation waters and pomace in 1D and 2D nuclear resonance characterization. *J Am Oil Chem Soc* 76, 873-882.

Thompson R.B., Nogales R., 1999. Nitrogen and carbon mineralization in soil of vermi-composted and unprocessed dry olive cake (orujo seco) produced from two stage centrifugation for olive oil extraction. *Journal of Environmental Science and Health B* 34, 917-928.

Vlyssides A.G., Iaconidou K., 2003. Olive oil production in Greece. Cordoba, Spain: EU IMPEL Olive Oil Workshop.

Vlyssides A.G., Loizides M., Karlis P.K., 2004. Integrated strategic approach for reusing olive oil extraction by-products. *Journal of Cleaner Production* 12, 603- 611.

Warman P.R., Taylor B.R. (Eds.), Proceedings of the International Composting Symposium ICS_99, 1.CBA Press Inc., pp. 124–140.

Webers and Visser: “Strategic studies on sludge Proceedings of a symposium on treatment and use of sewage sludge and liquid agricultural wastes”, 1-4 October 1990, Athens (Greece).