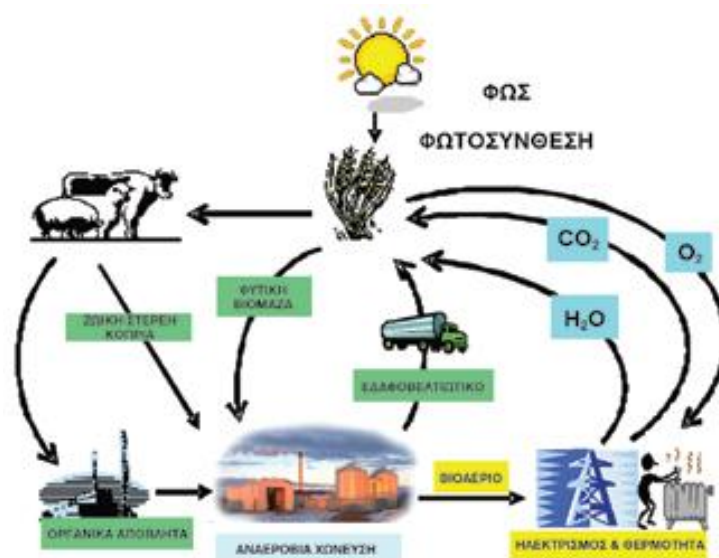


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΚΑΠΕΡΩΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

A.M. 200901008

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΚΟΜΝΙΤΣΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου που μου έμαθαν ότι όλα στη ζωή κερδίζονται με κόπο και ότι η χαρά της προσωπικής δημιουργίας δεν μπορεί να αντικατασταθεί από οτιδήποτε άλλο. Χωρίς τη συνδρομή, την υπομονή και την αγάπη τους δεν θα ήμουν ο άνθρωπος που είμαι σήμερα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ επίσης στον καθηγητή μου, τον κ. Κομνίτσα, χωρίς την πολύτιμη βοήθεια του οποίου δεν θα μπορούσα να έχω τελειώσει αυτήν τη διπλωματική. Οι συμβουλές και οι υποδείξεις του στάθηκαν πολύτιμοι βοηθοί στη συγγραφή της.

Ευχαριστώ τέλος τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για τις παρατηρήσεις και τα σχόλιά τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	σελ.
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΙΑ ΤΑ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΑ	
1.1. Ο ελαιοπαραγωγικός κλάδος παγκοσμίως και ειδικά στη Μεσόγειο	15
1.2. Ο ελαιοπαραγωγικός κλάδος στην Ελλάδα	19
1.3. Αδυναμίες του ελαιοπαραγωγικού κλάδου στην Ελλάδα και μελλοντικές προοπτικές	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ	
2.1. Παραλαβή ελαιοκάρπου και ζύγισμα	29
2.2. Αποφύλλωση και πλύσιμο ελαιοκάρπου	29
2.3. Σπάσιμο και άλεση ελαιοκάρπου	30
2.4. Μάλαξη	31
2.5. Παραλαβή ελαιολάδου από την ελαιοζύμη	32
2.5.1. Παραδοσιακό ελαιουργικό συγκρότημα	34
2.5.2. Συνεχές σύστημα τριών φάσεων	39
2.5.3. Συνεχές σύστημα δύο φάσεων	39
2.6. Καθαρισμός και τελικός διαχωρισμός του ελαιολάδου	42
2.7. Σύγκριση μεθόδων παραγωγής ελαιολάδου	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΠΟΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΛΑΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	
3.1. Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων	46
3.2. Στερεά απόβλητα ελαιοτριβείων	47
3.3. Μέθοδοι διαχείρισης υγρών απόβλητων ελαιουργείων (ΥΑΕ)	59
3.3.1. Διαδικασίες αποτοξίνωσης ΥΑΕ	51
3.3.1.1. Βιολογικές μέθοδοι	52
3.3.1.2. Φυσικοχημικές μέθοδοι επεξεργασίας ΥΑΕ	52
3.3.1.3. Θερμικές διαδικασίες	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ	
4.1. Εισαγωγή και ορισμός	63
4.2. Εφαρμογές	64
4.2.1. Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας	64
4.2.2. Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)	65
4.2.3. Αναβάθμιση του βιοαερίου (παραγωγή βιομεθανίου)	72
4.2.4. Παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου	73
4.3 Πλεονεκτήματα	73
4.3.1. Οφέλη για την κοινωνία	74
4.3.2. Οφέλη για τους γεωργούς	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΕΛΑΙΟΠΟΛΤΟΥ	
5.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση	81
5.2. Συστήματα αναερόβιας χώνευσης	85

5.3. Μονάδα παραγωγής βιοαερίου με αναερόβια χώνευση αποβλήτων ελαιοτριβείων	91
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	102
ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	109

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή ελαιολάδου αποτελεί μία σημαντική οικονομική δραστηριότητα, ειδικά για τις χώρες της Μεσογείου. Ηγέτης στην παγκόσμια αγορά ελαιολάδου είναι η Ισπανία ακολουθούμενη από την Ιταλία, ενώ η Ελλάδα βρίσκεται στην τρίτη θέση. Η διαδικασία παραγωγής του ελαιολάδου από τη στιγμή που θα φτάσει στο ελαιοτριβείο ο ελαιόκαρπος περιλαμβάνει τον καθαρισμό (αποφύλλωση και πλύσιμο), σπάσιμο και άλεση ελαιοκάρπου, μάλαξη, παραλαβή του ελαιολάδου από την ελαιοζύμη και τέλος τον καθαρισμό και τελικό διαχωρισμό του ελαιολάδου. Για την παραλαβή του ελαιολάδου από την ελαιοζύμη χρησιμοποιούνται κυρίως τα φυγοκεντρικά συστήματα τριών και δύο φάσεων. Τα υποπροϊόντα της ελαιουργίας περιλαμβάνουν τόσο υγρά όσο και στερεά απόβλητα. Τα υγρά απόβλητα έχουν πολύ υψηλό οργανικό φορτίο και είναι πλούσια σε όλους σχεδόν τους μολυσματικούς παράγοντες κάτι που καθιστά δύσκολη αλλά επιβεβλημένη τη διαχείρισή τους. Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι πιο εύκολη καθώς αφού εξαχθεί το ελαιόλαδο που περιέχουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμη ύλη, ως ζωοτροφή ή εδαφοβελτιωτικό. Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων γίνεται με βιολογικές, φυσικοχημικές και θερμικές μεθόδους. Μπορούν, όμως, να χρησιμοποιηθούν και για την παραγωγή βιοαερίου το οποίο με τη σειρά του μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού αλλά και ως καύσιμο αν αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο. Στα πολλά οφέλη για την κοινωνία και τους αγρότες από την παραγωγή βιομεθανίου περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων το γεγονός ότι αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, συντελεί στη μείωση των αποβλήτων και των οσμών από αυτά ενώ αποτελεί και πρόσθετη πηγή εσόδων. Το βιοαέριο παράγεται με αναερόβια χώνευση του ελαιοπολτού, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το pH, την παρουσία ή δημιουργία τοξικών ενώσεων στην πρώτη ύλη κ.α. Οι χωνευτήρες αναερόβιας χώνευσης είναι συμβατικοί, ταχύρρυθμοι ή υβριδικοί.

Στο κεφάλαιο 1 της εργασίας παρουσιάζεται ο ελαιοπαραγωγικός κλάδος παγκοσμίως και στη Μεσόγειο και οι αδυναμίες του στην Ελλάδα καθώς και οι μελλοντικές του προοπτικές. Στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται τα στάδια

παραγωγής του ελαιολάδου, ενώ στο κεφάλαιο 3 γίνεται ανάλυση των υποπροϊόντων της ελαιουργίας και των μεθόδων διαχείρισης των αποβλήτων. Το κεφάλαιο 4 αναφέρεται στο βιοαέριο ενώ το κεφάλαιο 5 αναφέρεται στην παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση ελαιοπολτού.

ABSTRACT

Oil production is a major economic activity, especially for Mediterranean countries. The leader in the global oil market is Spain, followed by Italy, while Greece is in third place. The production process of olive oil from the moment it arrives at the mill is the following. First of all the process demands the olives cleaning (defoliation and washing), breaking and grinding the olives, kneading, reception of oil from paste, cleaning and final separation of the oil. To obtain the oil from the paste centrifugal systems are mainly used involving two or three phases. The oil products include both liquid and solid waste. Liquid effluents have very high organic load, contain several contaminants, thus their management is imperative. The solid waste management is easier while the extracted oil they contain can be used as fuel, food or fertilizer. The wastewater management is done by biological, chemical and thermal methods. These methods may, however, be used to produce biogas, which in turn can be used to produce heat, electricity and fuel. There are many benefits to society and farmers from producing biomethane include among others the fact that it is a renewable source of energy, which helps to reduce waste and odors and constitute an additional source of income. The biogas produced by the anaerobic digestion of the olive paste, depends on the temperature, pH, the presence or generation of toxic compounds in the feedstock, etc. Digesters for anaerobic digestion are conventional, accelerated or hybrid.

Chapter 1 of this thesis presents the olive oil producing sector worldwide and in the Mediterranean. It also presents the weaknesses of the sector in Greece and its future prospects. Chapter 2 lists the stages of production of olive oil, while Chapter 3 analyzes the by-products of oil and waste management methods. Chapter 4 refers to biogas and Chapter 5 refers to the production of biogas from anaerobic digestion of olive paste.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Όπως είναι γνωστό το ελαιόλαδο προέρχεται από την έκθλιψη του καρπού της ελιάς. Μαζί με το φοινικέλαιο αποτελούν τα μοναδικά φυτικά έλαια που δεν προέρχονται από τον πυρήνα (κουκούτσι) του καρπού αλλά από το καρπικό σάρκωμα. Το ελαιόλαδο είναι γνωστό στον άνθρωπο από την προϊστορική εποχή. Η χρήση του στην Ελλάδα είναι επιβεβαιωμένη από την πρωτομινωική εποχή (πριν το 3.000 π.Χ.) τουλάχιστον, ενώ πλήθος γραπτών αναφορών (ομηρικά έπη, μύθοι, ιστορικά κείμενα κ.α.) επιβεβαιώνουν την εκτεταμένη και ποικίλη χρήση του (Βίγκλας, 2007).

Σε όλη τη χώρα έχουν βρεθεί πίθοι συλλογής και αποθήκευσής του, λυχνάρια αλλά και αναπαραστάσεις και ερείπια αρχέγονων ελαιοτριβείων. Το αρχαιότερο ελαιοτριβείο στον ελληνικό χώρο χρονολογείται στην 4^η χιλιετηρίδα π.Χ. και βρέθηκε στο οροπέδιο των Μεθάνων (Βίγκλας, 2007). Από τη Μινωική Κρήτη έχουν σωθεί ελαιοπιεστήρια από την Πρώιμη Νεοανακτορική περίοδο (Φίλοι του Τεχνολογικού Μουσείου Θεσσαλονίκης – Φίλοι ΤΜΘ, 2011).

Ο υλικοτεχνικός εξοπλισμός ελαιοπαραγωγής περιελάμβανε αρχικά τον *ληνό* (εικόνα 1), κατόπιν τον κυλινδρικό *σπαστήρα* και τον περιστροφικό μύλο, που ονομαζόταν *τραπητής*. Ο ληνός ήταν μία λίθινη σκάφη με κλίση σε κάποιο σημείο της που επικοινωνούσε με έναν πίθο στον οποίο συγκεντρωνόταν το λάδι (Φίλοι ΤΜΘ, 2011).



Εικόνα 1.: Αρχαίος ληνός για την εξαγωγή ελαιολάδου (Φίλοι του ΤΜΘ., 2011)

Η πρώτη τεχνολογική εφαρμογή που εισήχθη στο πεδίο της ελαιοπαραγωγής ήταν η εφαρμογή του κυλινδρικού σπαστήρα (εικόνα 2), ο οποίος εισήχθη τον

7^ο αιώνα π.Χ. Αυτός ο κυλινδρικός λίθος ήταν συνήθως ένας σπόνδυλος κίονα ο οποίος κυλιόταν οριζοντίως με τη βοήθεια της *κώπης* πάνω στον καρπό που είχε απλωθεί επάνω σε σκληρή επιφάνεια.



Εικόνα 2.: Αρχαίος κυλινδρικός σπαστήρας

Η «επανάσταση», όμως, στις τεχνικές για το σπάσιμο του καρπού έγινε με την εισαγωγή του περιστροφικού μύλου (εικόνα 3), που έτριβε μόνο το σαρκώδες μέρος της ελιάς. Από τον Πλίνιο αναφέρεται ως καθαρά ελληνική επινόηση και η ασφαλέστερη μαρτυρία για τη χρήση του προέρχεται από την Όλυνθο. Εκεί βρέθηκαν πέντε μυλόπετρες ενσωματωμένες σε τοιχοδομές σε συνδυασμό με κυκλική λεκάνη ελαιόμυλου. Ο μύλος αυτός χρονολογείται στον 4^ο αιώνα π.Χ.



Εικόνα 3.: Αρχαίος περιστροφικός ελαιόμυλος

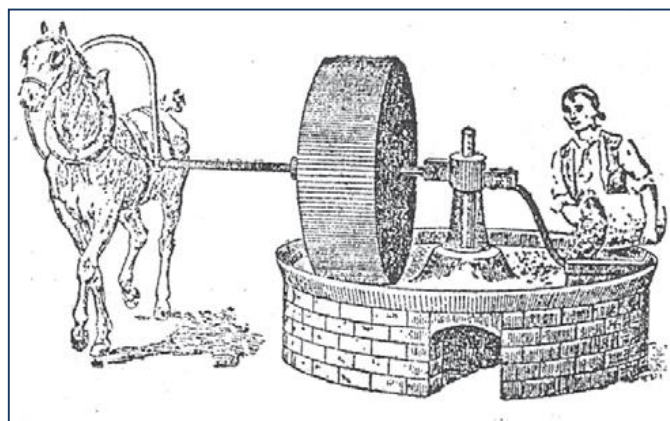
Το μεγάλο πλεονέκτημα που προσέφερε ο περιστροφικός μύλος ήταν η μονόδρομη κίνηση που έδινε τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για πρώτη φορά στην ιστορία της παραγωγής του ελαιολάδου η ζωική δύναμη (Φίλοι ΤΜΘ, 2011).

Αργότερα επήλθε μία ακόμα σημαντική καινοτομία: η εισαγωγή της κάθετης μυλόπετρας. Αυτό ήταν πολύ σημαντικό γιατί προϋπέθετε για πρώτη φορά τη χρήση της περιστροφικής κίνησης μέσω μηχανισμού μετατροπής (εικόνες 4-5).

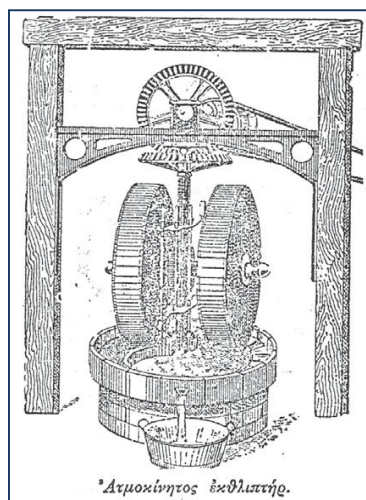


Εικόνες 4-5.: Ερείπια από υδροκίνητο ελαιοτριβείο, όπου φαίνεται η φτερωτή (αριστερά) και λεπτομέρεια του μηχανισμού που μετέτρεπε την κίνηση από τον οριζόντιο στον κάθετο άξονα (δεξιά)

Η κίνηση των μυλόπετρων για τη σύνθλιψη του ελαιοκάρπου γινόταν αρχικά με το χέρι, κατόπιν με τα ζώα (συνήθως άλογα), κατόπιν με το νερό και τον ατμό και τέλος με τον ηλεκτρισμό (εικόνες 6 – 9) (Βίγκλας, 2007).



Εικόνα 6.: Ζωοκίνητος ελαιόμυλος με μία μυλόπετρα



Εικόνες 7 και 8.: Εγκατάσταση παλαιού υδροκίνητου ελαιοτριβείου (αριστερά) και ατμοκίνητος σπαστήρας ελαιοτριβείου (δεξιά)



Εικόνα 9.: Σύγχρονος ηλεκτροκίνητος ελαιόμυλος με τέσσερις μυλόπετρες

Όσον αφορά την εξαγωγή του ελαιολάδου από την ελαιοζύμη, τα πιεστήρια διαδέχτηκαν την πίεση με ποδοπάτημα που ήταν η αρχική μέθοδος. Τα πιεστήρια ήταν πολύ απλά αν και η προσθήκη μοχλού στο δεύτερο στάδιο της διαδικασίας σύνθλιψης αποτέλεσε σημαντική τεχνική βελτίωση. Ήταν τόσο η σημασία του μοχλού που θα παραμείνει σε χρήση μέχρι και τον 20^ο αιώνα (Φίλοι ΤΜΘ, 2011).

Από το μοχλό και έπειτα η σημαντικότερη εξέλιξη που έγινε ήταν η χρήση του κοχλίου. Συνδυασμένος ο μοχλός με τον κοχλίο επέτρεπαν την εφαρμογή πολύ μεγαλύτερης δύναμης ενώ πλέον τα ελαιοτριβεία μπορούσαν να λειτουργούν και σε εσωτερικούς χώρους καθώς δεν απαιτούνταν κάποιος μηχανισμός για να ανυψώσει το μοχλό.

Πολλοί μηχανισμοί ελαιοτριβής έχουν περιγραφεί από τον Έρωνα τον Αλεξανδρέα. Ο σημαντικότερος εξ αυτών, τον οποίο ο Πλίνιος χαρακτηρίζει ως μεγάλη ελληνική εφεύρεση, ήταν ο μηχανισμός που χρησιμοποιεί ατέρμονα κοχλίοι. Οι μηχανισμοί πρέσας που περιγράφει ο Έρων είναι τέσσερις: ένας με μοχλό και εργάτη, ένας με μοχλό και κοχλίο και δύο είδη άμεσων πρεσών με κοχλίο. Τη ρωμαϊκή εποχή τέλος εμφανίστηκαν τα πιεστήρια με βαρούλκο (Φίλοι ΤΜΘ, 2011).

Αυτές οι πρέσες «μεταλλάχτηκαν» στα μεγάλα ξύλινα και μεταλλικά πιεστήρια, που στην αρχή ήταν χειροκίνητα (εικόνα 10) αλλά από το 1860 και μετά έγιναν υδραυλικά (εικόνα 11) (Βίγκλας, 2007).



Εικόνες 10 και 11.: Χειροκίνητο (αριστερά) και υδραυλικό (δεξιά) πιεστήριο

Ο διαχωρισμός του ελαιολάδου από τα υγρά γινόταν με μια ποικιλία μεθόδων που βασιζόταν στην αρχή της βαρύτητας, επειδή το λάδι έχει την ιδιότητα να επιπλέει αφού είναι ελαφρύτερο από το νερό. Η πιο απλή μέθοδος περισυλλογής του λαδιού που επιπλέει σε ανοιχτό αγγείο περιελάμβανε τη χρήση οστράκων και περιγράφεται από τον Κάτωνα, ενώ ο Columella πρότεινε τη χρήση σιδερένιου οστράκου, δηλαδή κουτάλας (Φίλοι ΤΜΘ, 2011).

Μία δεύτερη μέθοδος περιελάμβανε τη χρήση αγγείων – διαχωριστήρων (εικόνα 12) που έφεραν στο κάτω μέρος, κοντά στη βάση, μία προχοή για την διαδοχική απελευθέρωση των υγρών. Πρώτα έρεαν τα φυτικά υγρά και κατόπιν το λάδι που συλλεγόταν σε αγγεία ή δεξαμενές για περαιτέρω καθαρισμό.



Εικόνα 12.: Αγγείο – διαχωριστήρας από το αρχαίο Κίτιο

Τέλος, μία τρίτη μέθοδος περιελάμβανε τη χρήση δεξαμενών που βρίσκονταν δίπλα – δίπλα. Το λάδι που επέπλεε μέσα σε μία δεξαμενή συλλογής διοχετευόταν μέσω μιας λαξευτής διεξόδου στο ύψος του χείλους σε μία άλλη πλαϊνή δεξαμενή. Τη ρωμαϊκή εποχή χρησιμοποιούνταν και δεξαμενές που επικοινωνούν στο χείλος.

Οι σύγχρονες μέθοδοι περιλαμβάνουν τη φυγοκέντρωση με μηχανές τριών ή δύο φάσεων (εικόνες 13-14).

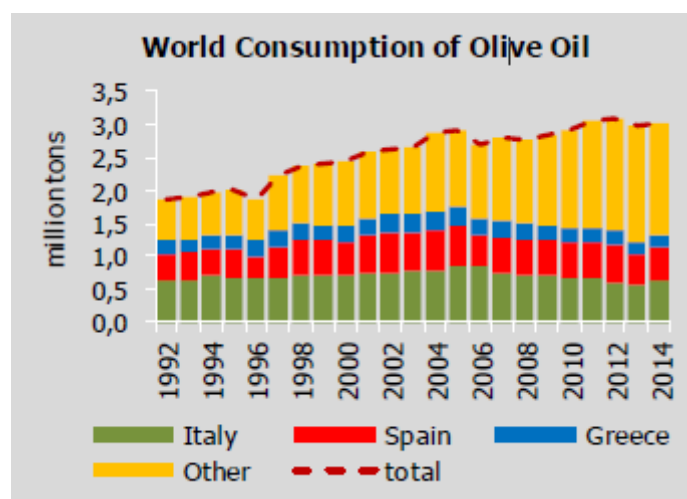


Εικόνες 13-14: Διάφοροι τύποι μηχανών φυγοκέντρωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΙΑ ΤΑ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΑ

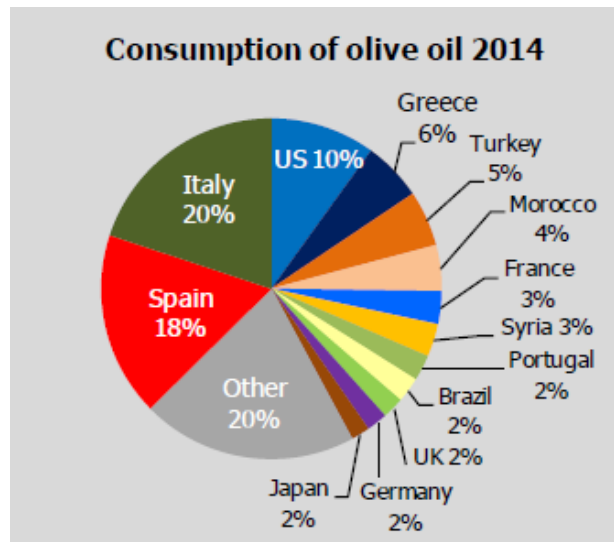
1.1. Ο ελαιοπαραγωγικός κλάδος παγκοσμίως και ειδικά στη Μεσόγειο

Ο ελαιοπαραγωγικός κλάδος αποτελεί παραδοσιακά έναν σημαντικό κλάδο για την οικονομία των ελαιοπαραγωγών χωρών, αλλά και έναν από τους ταχύτατα αναπτυσσόμενους αγροτο-διατροφικούς κλάδους, καθώς το ελαιόλαδο γίνεται μέρος της καθημερινής διατροφής σε ολόένα και περισσότερες Ευρωπαϊκές, και όχι μόνο, χώρες. Η ζήτησή του και η κατανάλωσή του (διάγραμμα 1.1) έχει σχεδόν διπλασιαστεί τα τελευταία είκοσι χρόνια (Ντόλια, 2006).



Διάγραμμα 1.1.: παγκόσμια κατανάλωση ελαιολάδου με έμφαση στις 3 κύριες ελαιοπαραγωγές χώρες για την περίοδο 1992-2014 (Mylonas, 2015)

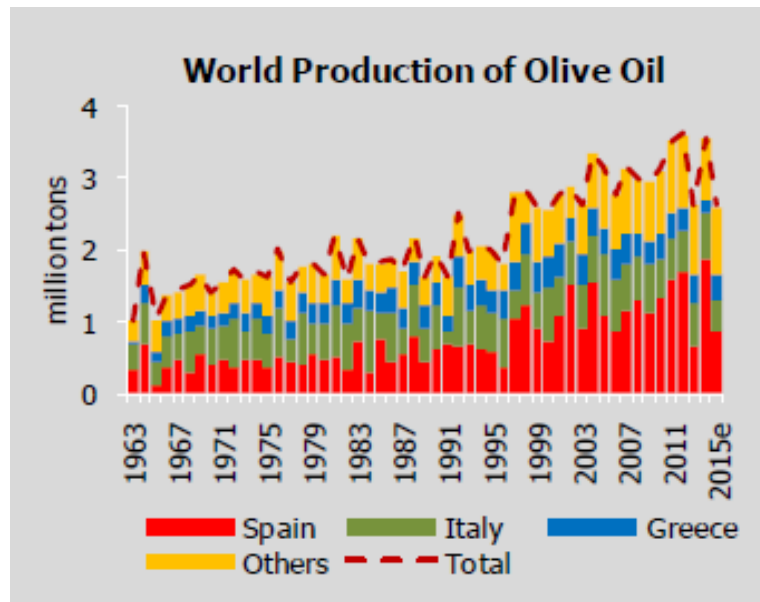
Η παγκόσμια κατανάλωση μόνο για το 2014 φαίνεται στο διάγραμμα 1.2



Διάγραμμα 1.2.: Παγκόσμια κατανάλωση ελαιολάδου το έτος 2014

Ο αριθμός των ελαιόδεντρων που καλλιεργείται παγκοσμίως ανερχόταν το 2012 σε 810 εκατομμύρια περίπου καλύπτοντας μία έκταση επτά εκατομμυρίων εκταρίων. Ένα ελαιόδεντρο παράγει από 15 έως 40 κιλά ελαιοκάρπου το χρόνο. Η απόδοση του ελαιολάδου από το ελαιόδεντρα αυτά εξαρτάται από την ποιότητα, το έτος και το σύστημα επεξεργασίας. Η μέση απόδοση πάντως από 100 κιλά ελιές ανέρχεται σε 15-25 κιλά λάδι. Αυτό σημαίνει ότι ο μέσος όρος ελαιολάδου ανά δέντρο είναι περίπου 2-4 κιλά (EC BIC OF ATTICA, 2012).

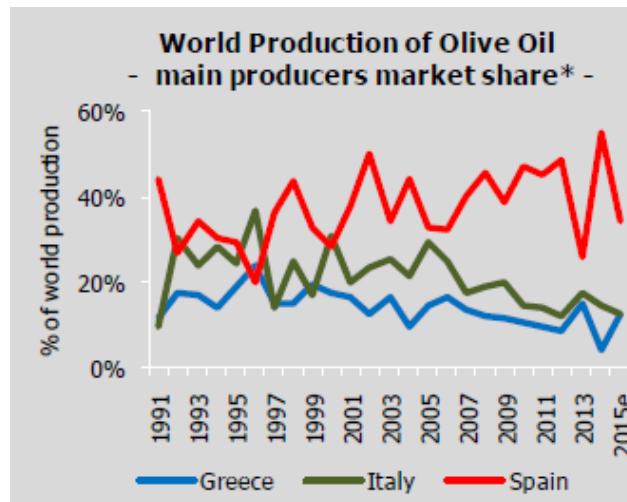
Η παγκόσμια παραγωγή ελαιολάδου αυξήθηκε κατά 90% τα τελευταία 25 χρόνια φτάνοντας το 2014 τους 2,8 εκατομμύρια τόνους, από τους 1,8 εκατομμύρια τόνους το 1990. Η μεγαλύτερη παραγωγή στην Ευρώπη αλλά και παγκοσμίως συγκεντρώνεται σε χώρες της λεκάνης της Μεσογείου. Πρώτη θέση καταλαμβάνει η Ισπανία (με 40% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής) ακολουθούμενη από την Ιταλία και την Ελλάδα. Στις 3 αυτές χώρες παράγονται τα 2/3 περίπου της παγκόσμιας παραγωγής ελαιολάδου (διάγραμμα 1.3) (Mylonas, 2015).



Διάγραμμα 1.3.: Παγκόσμια παραγωγή ελαιολάδου σε εκατομμύρια τόνους

Η χώρα που οδηγεί τον ελαιοπαραγωγικό κλάδο, όπως προαναφέρθηκε είναι η Ισπανία, στην οποία το 2010 καλλιεργούνταν περισσότερα από 300 εκατομμύρια ελαιόδεντρα σε μία έκταση 3.000.000 εκταρίων (Alcázar Román et al, 2014). Όπως είναι λογικό λοιπόν, η Ισπανία είναι αυτή που οδηγεί σε μεγάλο βαθμό τις εξελίξεις τόσο στην ΕΕ όσο και παγκοσμίως. Εισάγοντας καινούριες τεχνικές στην ελαιοκαλλιέργεια η Ισπανία κατάφερε να διπλασιάσει την παραγωγή ελαιολάδου από τους 0,6 εκατομμύρια τόνους το 1990 σε 1,2 εκατομμύρια τόνους το 2014. Μία αύξηση που αντιστοιχεί στο μισό της παγκόσμιας αύξησης της παραγωγής για το ίδιο διάστημα (Mylonas, 2015).

Αντίθετα τόσο η Ιταλία όσο και η Ελλάδα μείωσαν ποσοστιαία την παραγωγή τους κατά τη διάρκεια των τελευταίων 5 ετών σε σύγκριση με την προηγούμενη δεκαετία. Η μείωση για την Ελλάδα ανέρχεται στο 17% ενώ για την Ιταλία στο 37%. Το αποτέλεσμα ήταν φυσικά να χάσουν και ένα μέρος από το μερίδιο αγοράς στην παγκόσμια παραγωγή. Η απώλεια για την Ελλάδα ανέρχεται σε 3% (από 14% σε 11%), ενώ για την Ιταλία ανέρχεται σε 9% (από 23% σε 14%) (Mylonas, 2015). Οι τάσεις αυτές αποτυπώνονται στο διάγραμμα 1.4.



Διάγραμμα 1.4.: Παγκόσμια παραγωγή ελαιολάδου 1991-2015 και μερίδιο αγοράς για τις τρεις μεγαλύτερες ελαιοπαραγωγές χώρες

* στο μερίδιο αγοράς συμπεριλαμβάνεται τόσο το συσκευασμένο όσο και το χύμα ελαιόλαδο

Παράλληλα οι άλλες ελαιοπαραγωγές χώρες, όπως η Τυνησία, το Μαρόκο, η Συρία και η Τουρκία διπλασίασαν σχεδόν την παραγωγή τους μεταξύ 1990-2014 φτάνοντας το μερίδιο αγοράς τους στην παγκόσμια παραγωγή στο 35% από το 25% που ήταν το 1990.

Εκτός από τις τάσεις αυτές, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί, ότι οι παγκόσμια παραγωγή παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα ανά εποχή συγκομιδής κυρίως λόγω καιρικών συνθηκών. Το 2013 ο όγκος του ελαιολάδου που εξήχθηκε παγκοσμίως παρουσίασε σημαντική μείωση (ανερχόμενη σε 28%) εξαιτίας μίας σημαντικής μείωσης της παραγωγής στη νότια Ισπανία τον προηγούμενο χρόνο.

Επιπλέον, οι εξαγωγές του ελληνικού ελαιολάδου μειώθηκαν σημαντικά κάτω από το μέσο όρο των 25 ετών το 2014 (0,13 εκατομμύρια τόνοι σε σύγκριση με 0,35 εκατομμύρια τόνους κατά την περίοδο 1990-2013), λόγω των ακραίων καιρικών συνθηκών στην Ελλάδα το προηγούμενο έτος.

Το 2015 (με βάση τη συγκομιδή στο τέλος του 2014) αναμένεται να μειωθούν οι παγκόσμιες εξαγωγές κατά 25% περίπου κυρίως λόγω της μείωσης των εξαγωγών από την Ισπανία. Αντίθετα, οι ελληνικές εξαγωγές αναμένεται να φτάσουν σε 0,3 εκατομμύρια τόνους, δηλαδή υψηλότερες κατά 7% περίπου από τον μέσο όρο των 5 ετών (Mylonas, 2015).

Η αιτία της παγκόσμιας μείωσης παραγωγής ελαιολάδου εντοπίζεται κατά κύριο λόγο στην Ισπανία, η οποία μεταξύ Σεπτεμβρίου 2013 και Μαΐου 2014 υπέφερε από τη χειρότερη ξηρασία των τελευταίων 100 ετών. Παράλληλα, τα δέντρα είχαν εξαντληθεί από την παραγωγή – ρεκόρ της προηγούμενης χρονιάς (Ruitenber, 2014).

Η παραγωγή της Συρίας, αναμένεται, επίσης, να υποχωρήσει σημαντικά (από τους 135.000 τόνους τη σεζόν 2013-2014 στους 50.000 τη σεζόν 2014-2015) λόγω του εμφυλίου πολέμου αλλά και της ξηρασίας που την πλήττει. Αντίθετα, η παραγωγή της Ιταλίας αναμένεται ότι τη σεζόν 2014-2015 δεν θα παρουσιάσει ιδιαίτερη μεταβολή ανερχόμενη στους 455.000 τόνους από 450.000 τη σεζόν 2013-2014.

Εκτός της Ελλάδας, η χώρα που αναμένεται να έχει αύξηση στην παραγωγή της τη σεζόν 2014-2015 είναι η Τυνησία, καθώς οι προβλέψεις κάνουν λόγο για παραγωγή 260.000 τόνων σε σύγκριση με τους 80.000 τόνους την προηγούμενη χρονιά.

Αυτή η πτώση της παγκόσμιας παραγωγής θα διατηρήσει υψηλές τις τιμές για το άμεσο μέλλον. Ήδη από το τέλος του 2014 η τιμή των συμβολαίων ελαιολάδου που διαπραγματεύονται χρηματιστηριακά παρουσίασε αύξηση κατά 27% από την προηγούμενη χρονιά (Ruitenber, 2014).

1.2. Ο ελαιοπαραγωγικός κλάδος στην Ελλάδα

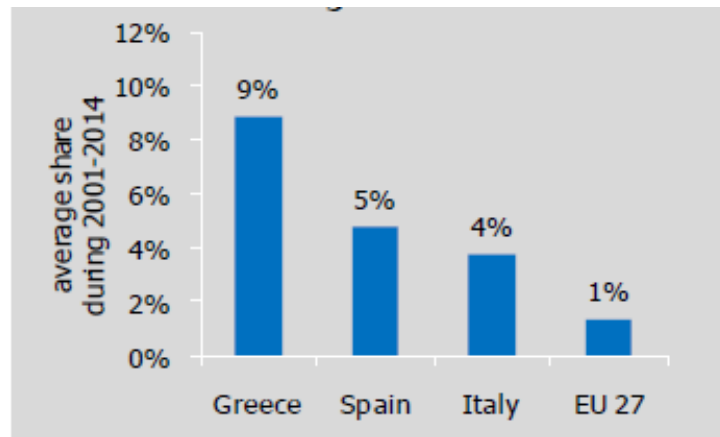
Όπως αναφέρθηκε, η Ελλάδα είναι η τρίτη ελαιοπαραγωγός χώρα στην Ευρώπη μετά την Ισπανία και την Ιταλία. Οι εκτάσεις των ελαιοδέντρων στην Ελλάδα εκτιμούνται σήμερα σε 7,56 εκατομμύρια στρέμματα. Πιο συγκεκριμένα το μεγαλύτερο ποσοστό των εκτάσεων ελαιοδέντρων (31%) καλλιεργούνται στην Πελοπόννησο, ενώ ακολουθεί η Κρήτη με περίπου 24% (EC BIC OF ATTICA, 2012). Ο Πίνακας 1.1 παρουσιάζει αναλυτικά την γεωγραφική κατανομή των καλλιεργούμενων εκτάσεων ελαιοδέντρων στη χώρα.

Πίνακας 1.3. Γεωγραφική κατανομή καλλιεργούμενων εκτάσεων ελαιόδεντρων στην Ελλάδα

Περιοχή – Γεωγραφικό Διαμέρισμα	Στρέμματα	Ποσοστό %
Αττική	244.724	3,2
Λοιπή Στερεά Ελλάδα και Εύβοια	1.159.267	15,3
Πελοπόννησος	2.377.804	31,4
Ιόνια Νησιά	354.175	4,7
Ήπειρος	244.476	3,2
Θεσσαλία	338.330	4,5
Μακεδονία	548.200	7,2
Θράκη	37.676	0,5
Δωδεκάνησα, νησιά Ανατολικού Αιγαίου, Κυκλάδες	806.981	10,7
Κρήτη	1.789.107	23,7
ΣΥΝΟΛΟ	7.562.410	100,00

Η παραγωγή του ελαιολάδου είναι πολύ σημαντική για την ελληνική οικονομία καθώς προσφέρει πολλαπλά οφέλη. Πιο συγκεκριμένα, συνεισφέρει στη μείωση της ανεργίας καθώς κατά μέσο όρο στην ελαιοκομία δραστηριοποιούνται περισσότερες από 450 χιλιάδες αγροτικές οικογένειες. Η απασχόληση αυτή είναι είτε κύρια είτε συμπληρωματική ενώ λαμβάνει χώρα κατά κύριο λόγο σε μειονεκτικές περιοχές.

Από τη χρησιμοποιούμενη αγροτική έκταση της χώρας, η ελαιοκαλλιέργεια καλύπτει το 20% περίπου, ενώ το μερίδιο της ελαιουργίας στη γεωργία ανέρχεται στο 9%. Είναι δηλαδή υψηλότερο από κάθε άλλη χώρα της ΕΕ (διάγραμμα 1.5) (EC BIC OF ATTICA, 2012 · Mylonas, 2015).



Διάγραμμα 1.5.: Μερίδιο της ελαιουργίας στη γεωργία στις 3 μεγάλες ελαιοπαραγωγές χώρες και στην ΕΕ

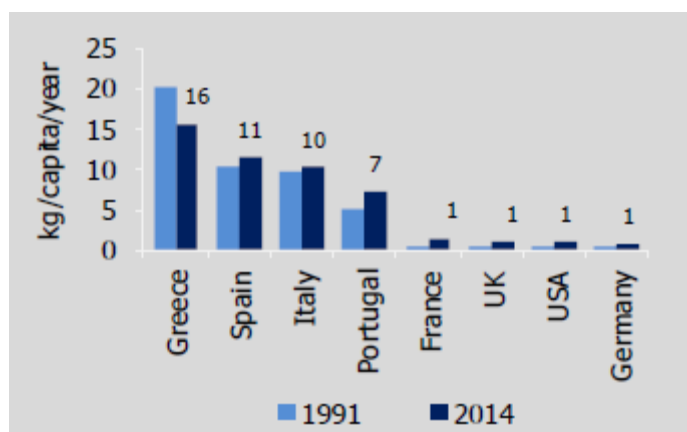
Η συμμετοχή του ελαιολάδου στο αγροτικό ΑΕΠ κυμαίνεται από 7,5% έως 10% ετησίως. Η διακύμανση αυτή οφείλεται στις διαφορές απόδοσης κάθε ελαιοκομικής χρονιάς (EC BIC OF ATTICA, 2012). Η συμμετοχή της ελαιουργίας στο ΑΕΠ της χώρας ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 0,4% περίπου (ή σε 750 εκατομμύρια ευρώ ετησίως) κατά τη διάρκεια των τελευταίων 5 ετών. Από τα έτη αυτά εξαιρείται το 2014 (σοδειά του 2013) καθώς η παραγωγή μειώθηκε πάρα πολύ λόγω αντίξωων καιρικών συνθηκών (Mylonas, 2015).

Είναι σημαντικό ότι μόλις λίγα χρόνια πριν η συμμετοχή της ελαιουργίας στο ΑΕΠ της χώρας ανερχόταν στο 0,3% εμφανίζοντας την τελευταία πενταετία μία αύξηση. Αντίθετα, η συνεισφορά της ελαιουργίας στο ΑΕΠ της Ιταλίας έμεινε η ίδια (0,1%) ενώ της Ισπανίας από 0,2% σε 0,3% (EC BIC OF ATTICA, 2012 ; Mylonas, 2015).

Αν και σε διεθνές επίπεδο η ζήτηση για ελαιόλαδο τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει αυξητικές τάσεις, στην Ελλάδα η ελαιοπαραγωγή έμεινε σε χαμηλά επίπεδα ενώ ακολουθεί αρνητική πορεία τα τελευταία 5 χρόνια. Αυτή η πτωτική τάση είναι υπεύθυνη για την προαναφερόμενη μείωση του μεριδίου της στην παγκόσμια παραγωγή από 19% το 1990 σε 11% το 2014.

Παράλληλα με τη μείωση της παραγωγής υπήρχε και μείωση της εγχώριας κατανάλωσης, η οποία μάλιστα ήταν μεγαλύτερη από τη μείωση της παραγωγής. Έτσι αν και η παραγωγή μειωνόταν οι εξαγωγές αυξανόταν. Η

μείωση της παραγωγής όμως συνεχίστηκε και έτσι, το μερίδιο αγοράς της Ελλάδας στις εξαγωγές μειώθηκε ενώ η διεθνής αγορά παραμένει δυναμική. Πιο συγκεκριμένα, αν και η Ελλάδα εξακολουθεί να έχει τα υψηλότερα επίπεδα κατά κεφαλή κατανάλωσης ελαιολάδου, η κατανάλωση μειώνεται συνεχώς σε αντίθεση με την Ισπανία και την Ιταλία που η κατανάλωση αυξάνεται (διάγραμμα 1.6). Έτσι από τα 20 κιλά που ήταν η κατά κεφαλήν κατανάλωση το 1990 στην Ελλάδα έφτασε το 2014 στα 16 κιλά (Mylonas, 2015).



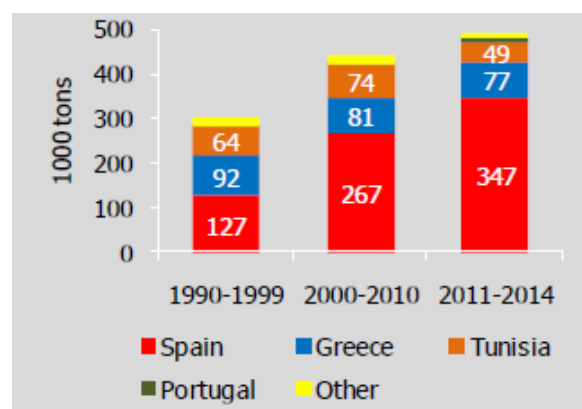
Διάγραμμα 1.6.: Κατά κεφαλήν κατανάλωση ελαιολάδου παγκοσμίως για το 1991 και το 2014

* Η κατανάλωση περιλαμβάνει μόνο αυτή που γίνεται στο φαγητό και όχι άλλου είδους (π.χ. κατασκευή σαπουνιού), η οποία κυμαίνεται από 30 έως 90 εκατομμύρια τόνους ετησίως στις 3 κύριες ελαιοπαραγωγές χώρες

Η μείωση στην κατανάλωση αποδίδεται και στην υποκατάσταση του ελαιολάδου από άλλα φθηνότερα φυτικά έλαια τα οποία ενώ το 1980 αποτελούσαν μόνο το 10% της κατανάλωσης ελαίου στη χώρα, έφτασαν το 2014 να αποτελούν το 55%.

Η ελληνικός κλάδος παραγωγής ελαιόλαδου τις προηγούμενες 2 ½ δεκαετίες προσανατολίστηκε κυρίως στις εξαγωγές επιδεικνύοντας σημαντική αύξηση σε αυτόν τον τομέα. Για την ακρίβεια τη δεκαετία του 1990 οι εξαγωγές κάλυπταν το 35% της παραγωγής ενώ τα τελευταία 5 χρόνια καλύπτουν το 42%. Παρόλα αυτά, όμως, χάθηκε σημαντικό μερίδιο της αγοράς σε δύο, κυρίως, τομείς (Mylonas, 2015):

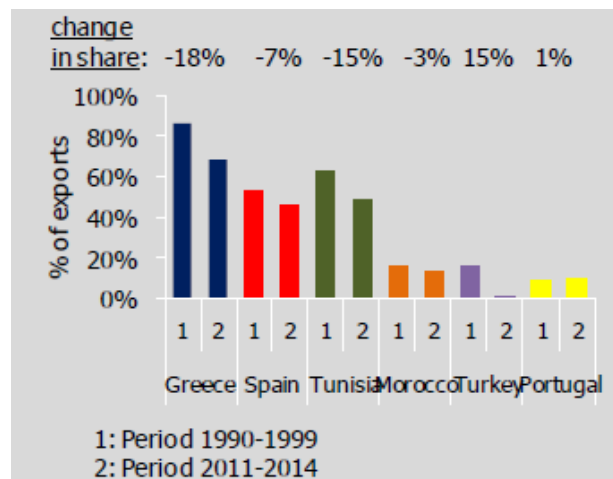
- i. Στην Ιταλική αγορά, στην οποία περιλαμβάνονταν η εξαγωγή χύμα ελαιολάδου. Τη δεκαετία του 1990 το 33% των εισαγωγών της Ιταλίας ήταν ελληνικό ελαιολάδο ενώ την περίοδο 2011-2014 το ποσοστό αυτό έπεσε στο 17% (διάγραμμα 1.7).
- ii. Στη διεθνή αγορά στον τομέα του επώνυμου ελαιολάδου (στην οποία το ποσοστό του μεριδίου της αγοράς έπεσε στο 4% ενώ τη δεκαετία του 1990 ανερχόταν σε 6%), που κυριαρχείται πλέον από την Ισπανία και την Ιταλία ενώ σταδιακά εισέρχονται και νέοι παίκτες, όπως η Τυνησία και η Πορτογαλία.



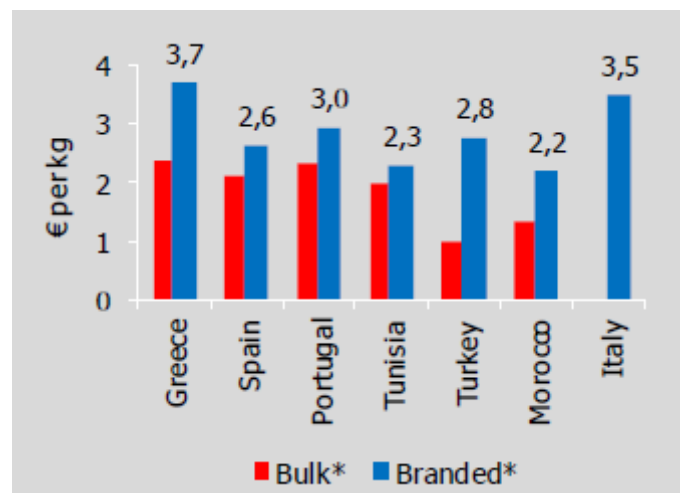
Διάγραμμα 1.7.: Ιταλικές εισαγωγές παρθένου ελαιολάδου την περίοδο 1990-2014 (Mylonas, 2015)

Επίσης, σημαντικό είναι και το γεγονός ότι στην Ελλάδα τυποποιείται πολύ μικρό ποσοστό του παραγόμενου ελαιολάδου ενώ το κύριο μέρος αυτής διακινείται «χύμα» είτε μέσα στη χώρα είτε στο εξωτερικό. Οι εξαγωγές του ελληνικού ελαιολάδου σε μη τυποποιημένη μορφή ανέρχονται σε ποσοστό 90% των συνολικών εξαγωγών ελαιολάδου της χώρας με το μεγαλύτερο μέρος αυτού να κατευθύνεται στην Ιταλία (διάγραμμα 1.8).

Αυτό έχει ως συνέπεια να χάνονται σημαντικά εισοδήματα καθώς η τιμή για το τυποποιημένο ελαιολάδο είναι κατά πολύ υψηλότερη (διάγραμμα 1.9) (Νάνος, 2015 ; Mylonas, 2015).



Διάγραμμα 1.8.: Εξαγωγές μη τυποποιημένου ελαιολάδου διαφόρων χωρών προς την Ιταλία για τις χρονικές περιόδους 1990-1999 και 2011-2014



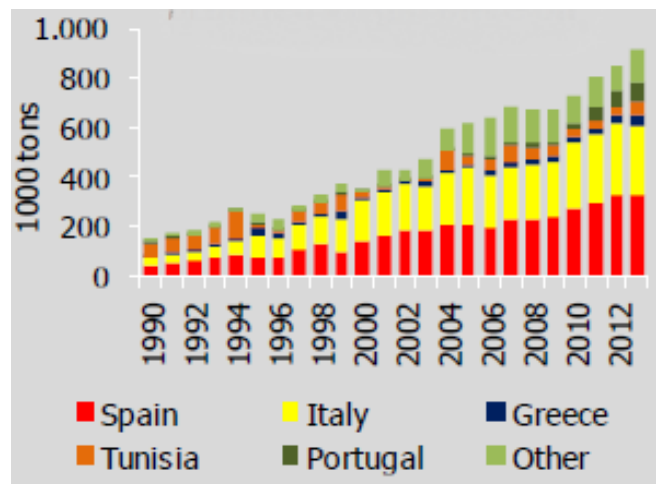
Διάγραμμα 1.9.: Τιμές εξαγωγής του παρθένου ελαιολάδου

* Οι εξαγωγές χύμα ελαιολάδου υπολογίζονται ως εξαγωγές στην Ιταλία (και στην Ισπανία για την Ελλάδα)

** Μέσες τιμές για την περίοδο 2010-2013

Η μεγαλύτερη ποσότητα τυποποιημένου παρθένου ελαιολάδου εξάγεται από την Ισπανία και την Ιταλία, οι οποίες διατηρούν ένα σχετικά σταθερό μερίδιο τα τελευταία 20 χρόνια που αντιστοιχεί σε 35% περίπου της παγκόσμιας αγοράς για την κάθε μία (Mylonas, 2015).

Στο διάγραμμα 1.10 φαίνεται ανάγλυφα πόσο μικρή είναι η εξαγόμενη ποσότητα τυποποιημένου παρθένου ελαιολάδου από την Ελλάδα σε σύγκριση με τις άλλες χώρες.



Διάγραμμα 1.10.: Διεθνείς εξαγωγές τυποποιημένου παρθένου ελαιολάδου διαφόρων χωρών για το χρονικό διάστημα 1990-2012 (Mylonas, 2015)

Από τις τιμές εξαγωγής του τυποποιημένου ελαιολάδου τα τελευταία 5 χρόνια φαίνεται ότι η Ιταλία και σε μικρότερο βαθμό η Ελλάδα έχουν στόχο την κατηγορία premium της διεθνούς αγοράς προσφέροντας ελαιόλαδο υψηλής ποιότητας σε τιμή άνω των 3,5 ευρώ το κιλό. Η Ισπανία, από την άλλη, στοχεύει πιο κοντά στον μέσο καταναλωτή προσφέροντας μέτριο επίπεδο ποιότητας και τιμής (2,6 ευρώ το κιλό). Τέλος, οι μικρότεροι παραγωγοί, όπως η Τυνησία, το Μαρόκο και η Τουρκία συνήθως στοχεύουν σε καταναλωτές που αναζητούν χαμηλές τιμές, αντί για το υψηλής ποιότητας ελαιόλαδο της Ιταλίας και της Ελλάδας. Έτσι οι τιμές εξαγωγής τους είναι κατά 30% περίπου χαμηλότερες από αυτές των τριών κύριων παραγωγών.

Αυτό πιθανόν οφείλεται και στο γεγονός ότι η φυσική διαμόρφωση της Ελλάδας αλλά και της Ιταλίας με τα βουνά και τις ημιορεινές περιοχές καθώς και τη χαμηλή υγρασία οδηγούν σε παραγωγή ανώτερης ποιότητας ελαιολάδου με χαμηλή οξύτητα και καλύτερη ποιότητα γεύσης (Mylonas, 2015). Πάντως, η Ελλάδα βρίσκεται πρώτη στην κατάταξη όσον αφορά την ποιότητα, καθώς το 82% της ελληνικής παραγωγής ελαιόλαδου είναι κατηγορίας «εξαιρετικά παρθένο», έναντι 45% - 65% της ιταλικής και 25% - 30% της ισπανικής (Νάνος, 2015 · Mylonas, 2015).

Είναι πάντως γεγονός ότι το πρώτο τρίμηνο του 2015 η αξία των εξαγωγών ελαιολάδου στην Ελλάδα σημείωσαν εκρηκτική αύξηση της τάξης του 250%

ξεπερνώντας τα 243 εκατομμύρια ευρώ. Πιθανότατα αυτό οφείλεται στην προαναφερόμενη μείωση της ισπανικής παραγωγής λόγω της ξηρασίας που έπληξε τη χώρα από το τέλος του 2013 μέχρι και το Μάιο του 2014. Συγκριτικά αναφέρεται ότι το αντίστοιχο διάστημα το 2014 οι εξαγωγές δεν ξεπέρασαν τα 70 εκατομμύρια ευρώ. Το Μάρτιο του 2015 οι εξαγωγές εμφάνισαν αύξηση 177,6% καθώς διαμορφώθηκαν στα 68 εκατομμύρια ευρώ από 24,5 εκατομμύρια ευρώ το Μάρτιο του 2014.

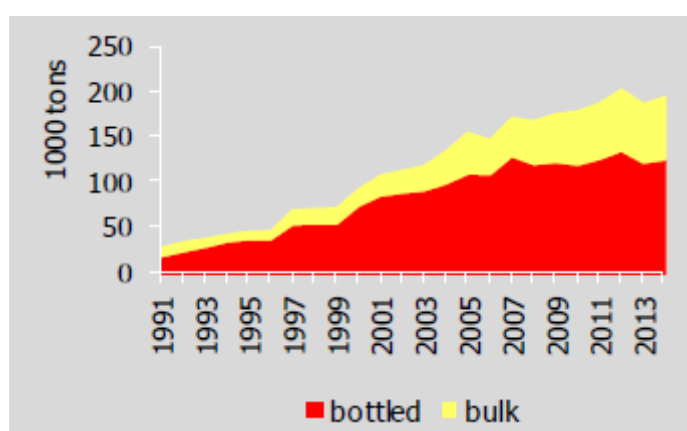
Μέχρι και τις αρχές Μαΐου 2015 οι τιμές στις δύο βασικές ελαιοπαραγωγικές περιοχές της χώρας, δηλαδή την Κρήτη και την Πελοπόννησο, κινούνταν ανοδικά, έχοντας ξεπεράσει το «φράγμα» των 3 ευρώ το κιλό. Στις τελευταίες δημοπρασίες στις αρχές Μαΐου το ελαιόλαδο στην Κρήτη άγγιξε τα 3,35 ευρώ το κιλό ενώ στην Πελοπόννησο τα 3,60 ευρώ το κιλό (Νάνος, 2015).

1.3. Αδυναμίες του ελαιοπαραγωγικού κλάδου στην Ελλάδα και μελλοντικές προοπτικές

Στην Ελλάδα, όπως έχει προαναφερθεί, παράγεται υψηλής ποιότητας ελαιόλαδο, το οποίο, όμως, διακινείται κατά κύριο λόγο στην Ιταλία χωρίς να είναι τυποποιημένο. Εκτός από τη χαμηλότερη τιμή που έχει το ελαιόλαδο όταν είναι μη τυποποιημένο πρέπει να ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι οι αγορές ελαιόλαδου της Ιταλίας που το διακινούν σταδιακά κυριαρχούνται από την Ισπανία σε ποσοστό 86% το 2014, εμφανίζοντας σημαντική αύξηση από το 1994 που το ποσοστό αυτό ανερχόταν σε 38%. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η διαπραγματευτική δύναμη των Ελλήνων παραγωγών.

Όλες οι άλλες ελαιοπαραγωγές χώρες μειώνουν την εξάρτησή τους από τους Ιταλούς μεσάζοντες στη διαδικασία εξαγωγής του ελαιολάδου τους. Η Ελλάδα, όμως, παραμένει ακόμα αρκετά εξαρτώμενη αν και η εξάρτηση αυτή έχει μειωθεί τα τελευταία 5 χρόνια καθώς στην Ιταλία εξάγεται το 69% των συνολικών εξαγωγών ελαιολάδου ενώ τη δεκαετία του 1990 το ποσοστό αυτό ανερχόταν στο 87%.

Εφόσον οι Έλληνες παραγωγοί επιμένουν στην εξαγωγή ελαιολάδου που δεν είναι τυποποιημένο και όχι στην εξαγωγή του τυποποιημένου (που αποφέρει περισσότερα κέρδη) καλό θα ήταν να αναζητήσουν και νέες αγορές εκτός Ιταλίας καθώς η διεθνής αγορά του ελαιολάδου ωριμάζει. Ένα καλό παράδειγμα είναι η αγορά των ΗΠΑ η οποία αύξησε σημαντικά τις εισαγωγές μη τυποποιημένου ελαιολάδου κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών (διάγραμμα 1.11). Η εισαγωγή μη τυποποιημένου ελαιολάδου από τις ΗΠΑ ανήλθε στο 35% των συνολικών εισαγωγών της το 2014 από το 17% που ήταν το 1994 (Mylonas, 2014).

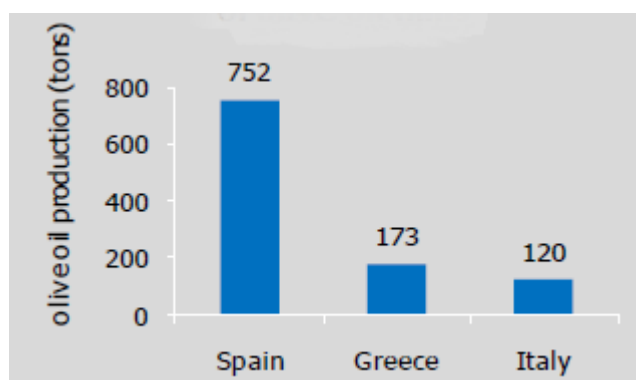


Διάγραμμα 1.11.: Εισαγωγές χύμα και τυποποιημένου ελαιολάδου από τις ΗΠΑ για το χρονικό διάστημα 1991-2013 (Mylonas, 2015)

Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα της ελληνικής παραγωγής ελαιολάδου είναι το γεγονός ότι έχει δυσανάλογα πολλά ελαιοτριβεία σε σχέση με την ποσότητα ελαιολάδου που παράγει. Η Ισπανία που έχει σχεδόν εξαπλάσια παραγωγή από την Ελλάδα διαθέτει τα μισά ελαιοτριβεία. Το αποτέλεσμα βέβαια είναι να δημιουργούνται σοβαρά οικονομικά προβλήματα, ειδικά σε κακές χρονιές (Γεωργιοπούλου, 2014).

Από την άλλη, είναι γεγονός ότι τα ελαιοτριβεία στην Ελλάδα είναι οργανωμένα σε συνεταιρισμούς που ελέγχονται από ιδιοκτήτες γεωργικών εκμεταλλεύσεων (οι οποίο καλύπτουν το 50% περίπου της παραγωγής ελαιολάδου). Αυτή η οργανωτική δομή επιτρέπει στους μικρούς ιδιοκτήτες να επωφελούνται από οικονομίες κλίμακας και να αυξάνουν τη διαπραγματευτική τους δύναμη έναντι των μεγάλων εταιρειών και των λιανοπωλητών.

Παρά την οργάνωσή τους, όμως, σε συνεταιρισμούς τα ελληνικά ελαιοτριβεία παραμένουν σχετικά μικρά, και πολυάριθμα όπως προαναφέρθηκε. Η μέση ετήσια παραγωγική τους ικανότητα ανέρχεται σε 170 τόνους ελαιολάδου, ενώ της Ισπανίας και της Ιταλίας έχουν μέση ετήσια παραγωγική ικανότητα 750 και 120 τόνους αντίστοιχα (διάγραμμα 1.12) (Wiesman, 2009 ; Mylonas, 2015).



Διάγραμμα 1.12.: Μέση ετήσια παραγωγικότητα ελαιοτριβείων σε Ελλάδα, Ιταλία και Ισπανία (Mylonas, 2015)

Το πιο σημαντικό, όμως, είναι το γεγονός ότι η λειτουργία τους συχνά είναι περιορισμένη στην κατανομή των επιδοτήσεων παραγωγής προς τους ιδιοκτήτες γεωργικών εκμεταλλεύσεων και σε άλλες διοικητικές δραστηριότητες, αντί να ενεργούν ως μία οργανωμένη επιχείρηση με σαφή επιχειρηματική στρατηγική.

Προκειμένου να αλλάξει το Ελληνικό Μοντέλο προς την προώθηση του υψηλής ποιότητας επωνύμου ελαιολάδου θα πρέπει μία από τις βασικές προτεραιότητες να είναι η αναδιάρθρωση του τομέα. Η αναδιάρθρωση αυτή, μεταξύ των άλλων, θα πρέπει να περιλαμβάνει περισσότερο κάθετα ολοκληρωμένη παραγωγή, τόσο ως προς τα στάδια παραγωγής της ελιάς όσο και στα τελικά στάδια της παραγωγής επώνυμων προϊόντων. Επιπλέον, οι ελληνικές επιχειρήσεις χρειάζονται μεγαλύτερες οικονομίες κλίμακας (Mylonas, 2015).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ

2.1. Παραλαβή ελαιοκάρπου και ζύγισμα

Σε πρώτη φάση γίνεται την συγκομιδή των καρπών από τα δέντρα. Στην συνέχεια γίνεται η παράδοση από τον παραγωγό στο ελαιοτριβείο όπου και αποθηκεύονται προσωρινά (εικόνα 2.1). Η μεταφορά του ελαιοκάρπου γίνεται συνήθως σε πλαστικά τελάρα με οπές αερισμού ή σε σάκους. Ακολουθεί η διαδικασία του ζυγίσματος (Μπλίκας, 2009)



Εικόνα 2.1.: Προσωρινή αποθήκευση ελαιοκάρπου στο ελαιοτριβείο

2.2. Αποφύλλωση και πλύσιμο ελαιοκάρπου

Ο ελαιοκάρπος στην αρχή τοποθετείται σε χοάνη παραλαβής ελαιοκάρπου και κατόπιν μεταφέρεται στο αποφυλλωτήριο όπου καθαρίζεται από τα φύλλα και άλλα περιττά υλικά, όπως πέτρες, κλαδιά και ξύλα. Κατόπιν οδηγείται στο πλυντήριο. Εκεί γίνεται το πλύσιμό του προκειμένου να απομακρυνθούν οι ξένες ύλες, όπως η σκόνη και το χώμα (εικόνα 2.2). Η απαιτούμενη ποσότητα νερού για το πλύσιμο 1000 κιλών ελαιοκάρπου ανέρχεται σε 100-120 l.

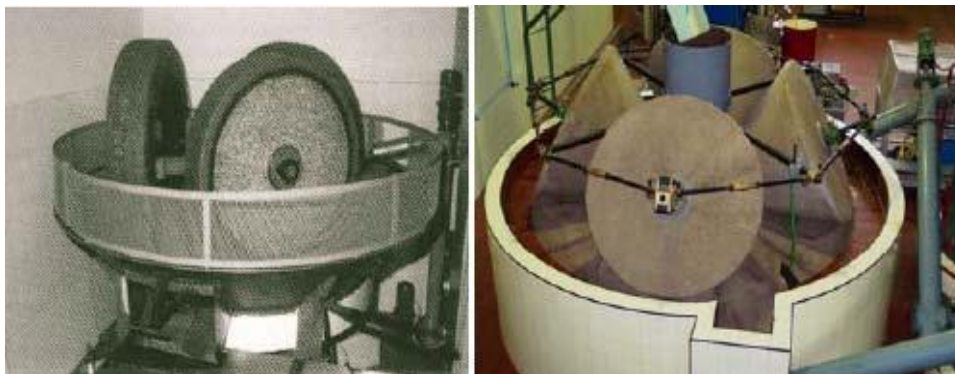


Εικόνα 2.2. (πάνω αριστερά): Χοάνη παραλαβής ελαιοκάρπου
(πάνω δεξιά): Αποφυλλωτήριο ελαιοκάρπου
(κάτω): Πλύσιμο ελαιοκάρπου

2. 3. Σπάσιμο και άλεση ελαιοκάρπου

Στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία η άλεση του καρπού γίνεται με 2 ή 3 κυλινδρικές μολόπετρες κατασκευασμένες από γρανίτη (εικόνα 2.3). Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται 4 μολόπετρες κωνικού σχήματος, οι οποίες κινούνται με ταχύτητα 12-15 στροφές ανά λεπτό (εικόνα 2.6). Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις η άλεση γίνεται σε μεταλλικούς μύλους, σφυρόμυλους και σπαστήρες με αντίθετα περιστρεφόμενους οδοντωτούς δίσκους ή κυλινδροσπαστήρες (εικόνα 2.4), οι οποίοι ουσιαστικά πολτοποιούν τον ελαιοκάρπο (ελαιοζύμη) μέχρι το σημείο θραύσης των ελαιοφόρων κυττάρων τους (Κάλφας, 2007).

Σε αυτή τη φάση αλλά και στις επόμενες έχει μεγάλη σημασία η θερμοκρασία στην οποία θα βρίσκεται το μίγμα έτσι ώστε να μην «καεί» το λάδι οπότε ουσιαστικά καταστρέφεται. Εάν οι ελιές που επεξεργάζονται είναι παγωμένες ή πολύ ξηρές, προστίθεται μια μικρή ποσότητα νερού, περίπου 10-15 λίτρα ανά 100 κιλά καρπού (Κάλφας, 2007).



Εικόνα 2.3.: Κυλινδρικές, γρανιτένιες μυλόπετρες (αριστερά) και μυλόπετρες κωνικού σχήματος (δεξιά) στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία



Εικόνα 2.4.: Διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την σύνθλιψη του ελαιοκάρπου στα σύγχρονα τριφασικά και διφασικά ελαιουργεία

2.4. Μάλαξη

Μετά την άλεση, η ελαιοζύμη αναμειγνύεται στον μαλακτήρα μαζί με την προσθήκη ζεστού νερού (εικόνα 2.5). Η μάλαξη αποτελεί βασικό στάδιο της επεξεργασίας και συντελεί στη συνένωση των μικρών ελαιοσταγονιδίων με μεγαλύτερες σταγόνες λαδιού. Η συνένωση αυτή είναι απαραίτητη προϋπόθεση για το διαχωρισμό του λαδιού από τα φυτικά υγρά (Κάλφας, 2007)



Εικόνα 2.5: Κυλινδρικός μαλακτήρας σε παραδοσιακό ελαιοτριβείο (αριστερά) και εσωτερικό μαλακτήρα στα σύγχρονα τριφασικά και διφασικά ελαιουργεία (δεξιά) (Κάλφας, 2007)

Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας η ελαιοζύμη θερμαίνεται στους 28-30 °C, ενώ στον μαλακτήρα προστίθεται νερό μέχρι και 10 % της ποσότητας της ελαιοζύμης. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται μέσω της κυκλοφορίας νερού, υψηλής θερμοκρασίας, μεταξύ των διπλών τοιχωμάτων του θερμομαλακτήρα. Αξίζει να αναφερθεί ότι όσο περισσότερο χρόνο διαρκεί αυτό το στάδιο, τόσο μειώνεται η συγκέντρωση των φαινολικών ουσιών στο παραγόμενο ελαιόλαδο (Gionacchio, 1996).

2.5. Παραλαβή ελαιολάδου από την ελαιοζύμη

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται σήμερα για την εξαγωγή του ελαιολάδου από τον ελαιόκαρπο περιλαμβάνουν τις μεθόδους πίεσης και φυγοκέντρισης. Η πιο διαδεδομένη από αυτές τις μεθόδους είναι η μέθοδος της φυγοκέντρισης και τα ελαιουργεία που την εφαρμόζουν ονομάζονται «φυγοκεντρικά» ή «συνεχή». Τα ελαιουργεία που εφαρμόζουν τη μέθοδο της πίεσης είναι πολύ λίγα και ονομάζονται «κλασικά» ή «παραδοσιακά».

Τα ελαιουργεία που χρησιμοποιούν τη φυγοκέντρωση διακρίνονται περαιτέρω σε «φυγοκεντρικά δύο φάσεων» και σε «φυγοκεντρικά τριών φάσεων». Στην Ελλάδα, λοιπόν, υπάρχουν τριών ειδών ελαιουργεία (Ναζιρίδης, 2007; Mylonas, 2015):

- I. Κλασικά ή παραδοσιακά, τα οποία εξάγουν το ελαιόλαδο με τη χρήση υδραυλικών πιεστηρίων.

- II. Φυγοκεντρικά τριών φάσεων, τα οποία εφαρμόζουν μεθόδους φυγοκέντρισης του ελαιοπολτού προσθέτοντας ταυτόχρονα ζεστό νερό. Οι διαχωριστήρες που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό της ελαιοζύμης είναι φυγοκεντρικοί και τριών φάσεων. Με τη βοήθειά τους η ελαιοζύμη διαχωρίζεται σε ελαιόλαδο – ελαιοπυρήνα και νερά κατεργασίας (κατσίγαροι).
- III. Φυγοκεντρικά δύο φάσεων, τα οποία χρησιμοποιούν φυγοκεντρικό διαχωριστήρα δύο φάσεων. Αυτός στην υγρή φάση δίνει μόνο ελαιόλαδο ενώ στη στερεά ελαιοπυρήνα με τα υγρά του καρπού.

Η εξαγωγή ελαιολάδου με «ψυχρή πίεση» θεωρείται ξεπερασμένη καθώς οι σύγχρονες τεχνολογίες δεν χρησιμοποιούν πλέον την παραδοσιακή διαδικασία της πίεσης που ακολουθείται από το ανακάτεμα του ελαιοπολτού με ατμό ή ζεστό νερό και έναν επακόλουθο δεύτερο κύκλο πίεσεως προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η εξαγωγή του ελαιόλαδου. Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνταν σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, οπότε εξατμιζόταν μέρος των πτητικών επηρεάζοντας το άρωμα του ελαιολάδου και υποβαθμίζοντας την ποιότητά του (Wiesman, 2009).

Η φυγοκεντρική μέθοδος (είτε δύο είτε τριών φάσεων) χρησιμοποιείται πλέον κατά κύριο λόγο από όλες τις ελαιοπαραγωγές χώρες. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται από το 96% - 98% των ελαιοτριβείων στην Ισπανία, από το 80% ή και περισσότερο των ελαιοτριβείων της Ελλάδας, από το 60% - 70% των ελαιοτριβείων της Ιταλίας και σε παρόμοια ποσοστά από τα ελαιοτριβεία άλλων Μεσογειακών χωρών, όπως η Τυνησία, η Συρία, το Μαρόκο και η Τουρκία (Gionacchino, 2013).

Τα ελαιοτριβεία της Ελλάδας και της Ιταλίας χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο το φυγοκεντρικό σύστημα τριών φάσεων ενώ αυτό των δύο φάσεων χρησιμοποιείται σε ποσοστό μικρότερο του 2%. Στον αντίποδα βρίσκεται η Ισπανία, στην οποία χρησιμοποιείται (το πιο εξελιγμένο τεχνολογικά σύστημα των δύο φάσεων) σε ποσοστό που υπερβαίνει το 87% (Mylonas, 2015).

Με τη χρήση των συστημάτων αυτών ο ελαιοπολτός ζεσταίνεται σχεδόν πάντα σε θερμοκρασία δωματίου κατά τη διάρκεια της μάλαξης. Αυτή η

περιορισμένη θέρμανση είναι απαραίτητη καθώς η συγκομιδή του καρπού γίνεται το χειμώνα. Η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται είναι κάτω από τη θερμοκρασία εξάτμισης των περισσότερων πτητικών του ελαιόλαδου (Wiesman, 2009).

Το γεγονός ότι τα περισσότερα ελαιοτριβεία είναι μικρού έως μεσαίου μεγέθους και εξαιρετικά διασκορπισμένες επιχειρήσεις έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να αντέξουν το κόστος κάποιας εξελιγμένης *in situ* διαχείρισης των αποβλήτων τους αλλά μόνο των πιο απλών και ανέξοδων από αυτές (Paraskeva et al, 2006 ; Markou et al, 2010).

2.5.1. Παραδοσιακό ελαιουργικό συγκρότημα

Όλες οι ελαιοπαραγωγές χώρες χρησιμοποίησαν από αρχαιοτάτων χρόνων τα συγκεκριμένα συστήματα προκειμένου να εξάγουν το ελαιόλαδο. Όπως είναι βέβαια φυσικό, ο τρόπος χρήσης τους αλλά και ο εξοπλισμός τους βελτιωνόταν με την πάροδο του χρόνου, αν και η βασική, ασυνεχής διαδικασία παραγωγής του ελαιολάδου με πίεση παραμένει η ίδια.

Σήμερα ένα παραδοσιακό συγκρότημα αποτελείται από χοάνη συλλογής ελαιοκάρπου, μεταφορικό ιμάντα ελαιοκάρπου, αποφυλλωτήριο ελαιοκάρπου, πλυντήριο ελαιοκάρπου, συγκρότημα άλεσης με πέτρες, διάταξη μαλακτήρα με δοσομετρητή, κατακόρυφο ελαιοδιαχωριστήρα και λέβητα με καυστήρα πυρηνόξυλου. Ο ελαιοπυρήνας που προκύπτει μετά το πέρας της διαδικασίας οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία σε πυρηνελαιουργεία (Νέσσερης, 2008).

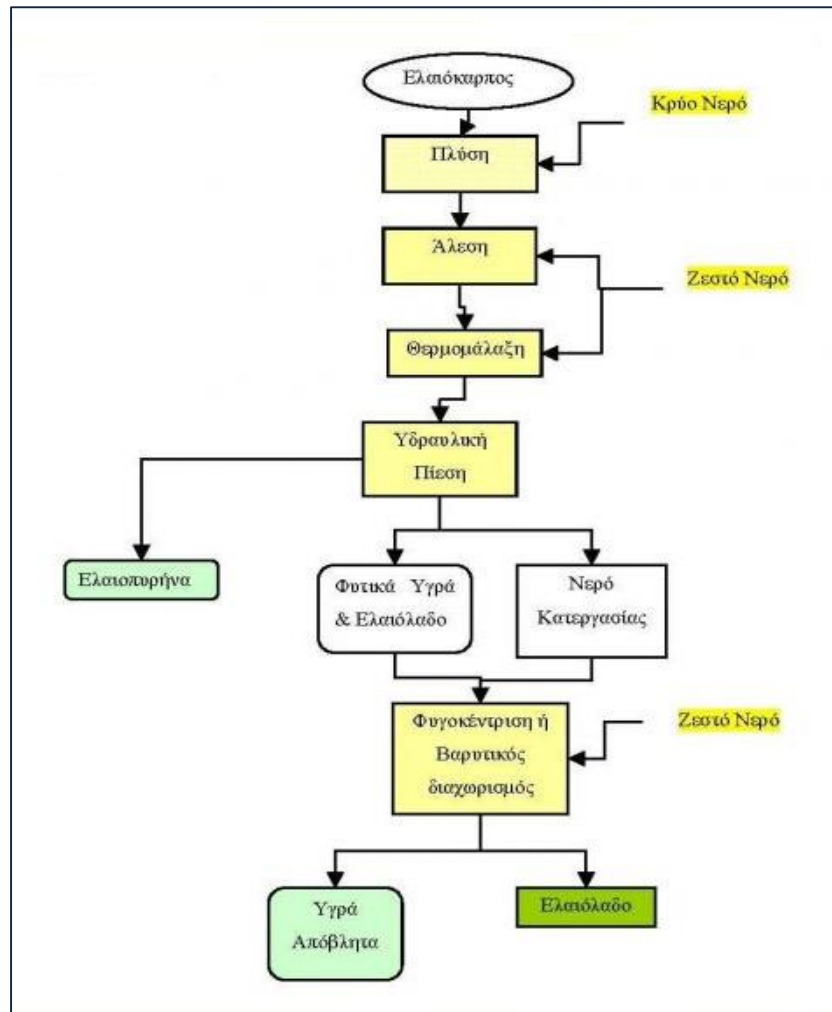
Παραδοσιακά ελαιουργεία υπάρχουν στην Ελλάδα σε ποσοστό περίπου ~12% ενώ τα υπόλοιπα χρησιμοποιούν φυγοκεντρικό σύστημα τριών και δύο φάσεων (σε ποσοστό ~80% και ~2% αντίστοιχα). Μεγάλος αριθμός παραδοσιακών ελαιουργείων λειτουργεί ακόμα στην Ιταλία, όπου αποτελούν το 37% των ελαιουργείων της χώρας (Mylonas, 2015).

Η παραδοσιακή μέθοδος είναι μια ασυνεχής διαδικασία (batch type process) κατά την οποία εφαρμόζεται για 1-1.5 ώρα υδραυλική πίεση στον πολτό της ελιάς ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που καρπού, όπως η ωριμότητά του και το είδος του. Κατά την διάρκεια της συμπίεσης, ο πολτός διαχωρίζεται σε δύο φάσεις, την υγρή και το στερεό υπόλειμμα (εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6..: Εσωτερικός χώρος παραδοσιακού ελαιοτριβείου. Διακρίνονται οι διατάξεις πρέσας (κάτω και πάνω αριστερά) και τα ειδικά καροτσάκια (πάνω δεξιά) στα οποία τοποθετείται η ελαιοζύμη

Η υγρή φάση που αποτελείται από μίγμα νερού και ελαιολάδου, διαχωρίζεται αργότερα προκειμένου να ληφθεί το ελαιόλαδο. Υπολογίζεται ότι από 100 κιλά ελαιοκάρπου παράγονται περίπου 20 με 22 κιλά ελαιόλαδο, 35 κιλά ελαιοπυρήνας και περίπου 65 κιλά υγρά απόβλητα (απόνερα ή κατσίγαρος), όπως φαίνεται και στα σχήματα 2.1 και 2.2 (Κάλφας, 2007).



Σχήμα 2.1.: Συνοπτικό διάγραμμα ροής της διαδικασίας παραγωγής ελαιολάδου με την παραδοσιακή μέθοδο

Αν και πιο «οικολογική», η τεχνική αυτή είναι ασυνεχής, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα για τη σύγχρονη βιομηχανία, για αυτό και στις μέρες μας έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί, με εξαίρεση κάποιες απομακρυσμένες περιοχές, κυρίως στην επαρχία.

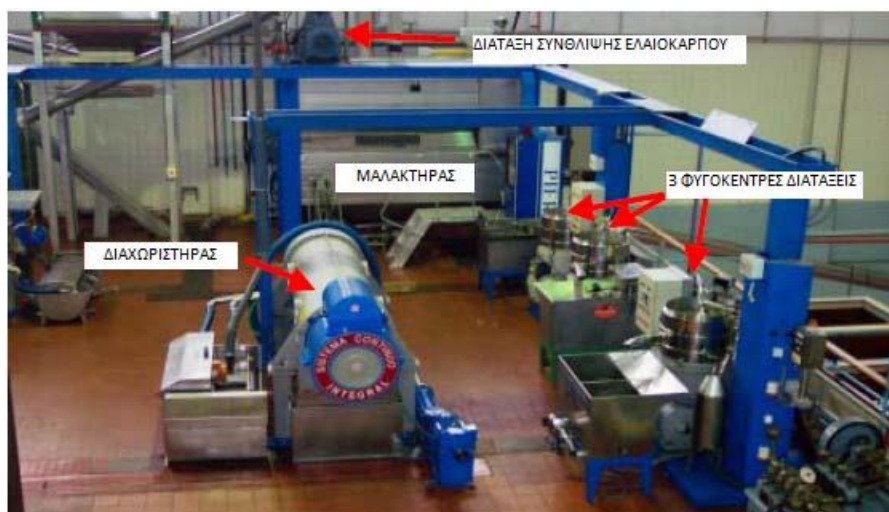
2.5.2. Συνεχές σύστημα τριών φάσεων

Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε με την εντατικοποίηση της παραγωγής καθώς τα ελαιουργεία που το χρησιμοποιούν είναι πιο αποδοτικά και έχουν μεγαλύτερη παραγωγική ικανότητα (Ouzounidou et al, 2010). Η ανάπτυξή του απαντούσε στην ανάγκη για την παραγωγή όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας λαδιού από τον ελαιόκαρπο, τη μείωση των χρόνων επεξεργασίας

στον ελάχιστο δυνατό και τη συνεχή διαδικασία παραγωγής χωρίς νεκρούς χρόνους (Νέσσερης, 2008).

Εισήχθηκε τη δεκαετία του 1970 προκειμένου να αυξήσει την απόδοση του ελαιοκάρπου σε ελαιόλαδο και σύντομα έγινε ο κυρίαρχος τύπος ελαιοτριβείου στην Ελλάδα. Παράγει ελαιόλαδο (περίπου 20-25 κιλά από 100 κιλά ελαιοκάρπου), ελαιοπυρήνα (περίπου 30-35 κιλά), ο οποίος συνήθως υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία προκειμένου να εξαχθεί το υπολειπόμενο ελαιόλαδο και η ελαιόπαστα, και τέλος υγρά απόβλητα (Ouzounidou et al, 2010 ; Markou et al, 2010).

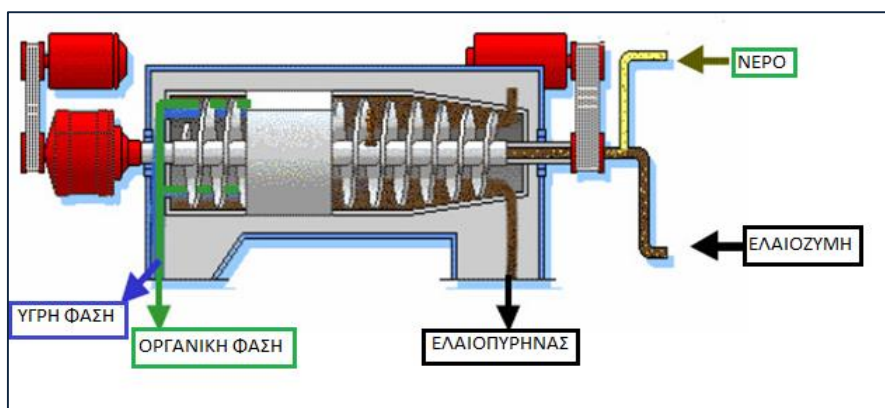
Ένα ελαιοτριβείο με συνεχές σύστημα τριών φάσεων έχει την παρακάτω μορφή (εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7.: Εσωτερικός χώρος τριφασικού ελαιοτριβείου

Δεδομένου ότι στα στερεά απόβλητα υπάρχει μία μικρή αλλά σημαντική ποσότητα ελαιολάδου (που κυμαίνεται από 4,5% έως και 9%) μεταφέρονται στις εγκαταστάσεις των πυρηνελαιουργείων και υφίστανται συνήθως ξήρανση και χημική επεξεργασία με εξάνιο προκειμένου να εξαχθεί και το υπολειπόμενο ελαιόλαδο. Μετά την εξαγωγή του ελαιολάδου ο αποελαιωμένος πυρήνας του ελαιοκάρπου αποτελείται πλέον από πρωτογενή λιγνίνη και κυτταρίνη και πωλείται είτε ως επίστρωμα για τα ελαιόδεντρα είτε ως στερεό καύσιμο για την παραγωγή θερμότητας.

Τα συγκεκριμένα ελαιουργεία ακολουθούν την εξής διαδικασία παραγωγής: παραλαβή ελαιοκάρπου, τροφοδοσία, αποφύλλωση και πλύσιμο, σπάσιμο – άλεση ελαιοκάρπου και μάλαξη. Η ελαιοζύμη οδηγείται κατόπιν σε τριφασικό φυγοκεντρικό διαχωριστήρα (decanter) (εικόνα 2.8) με τον οποίο γίνεται η εξαγωγή του ελαιόλαδου, καθώς με την επίδραση της φυγοκέντρου διαχωρίζονται τα συστατικά της ελαιοζύμης σε ελαιόλαδο, απόνερα και ελαιοπυρήνα (Κάλφας, 2007 ; Νέσσερης, 2008 ; Βολικάκη, 2008).

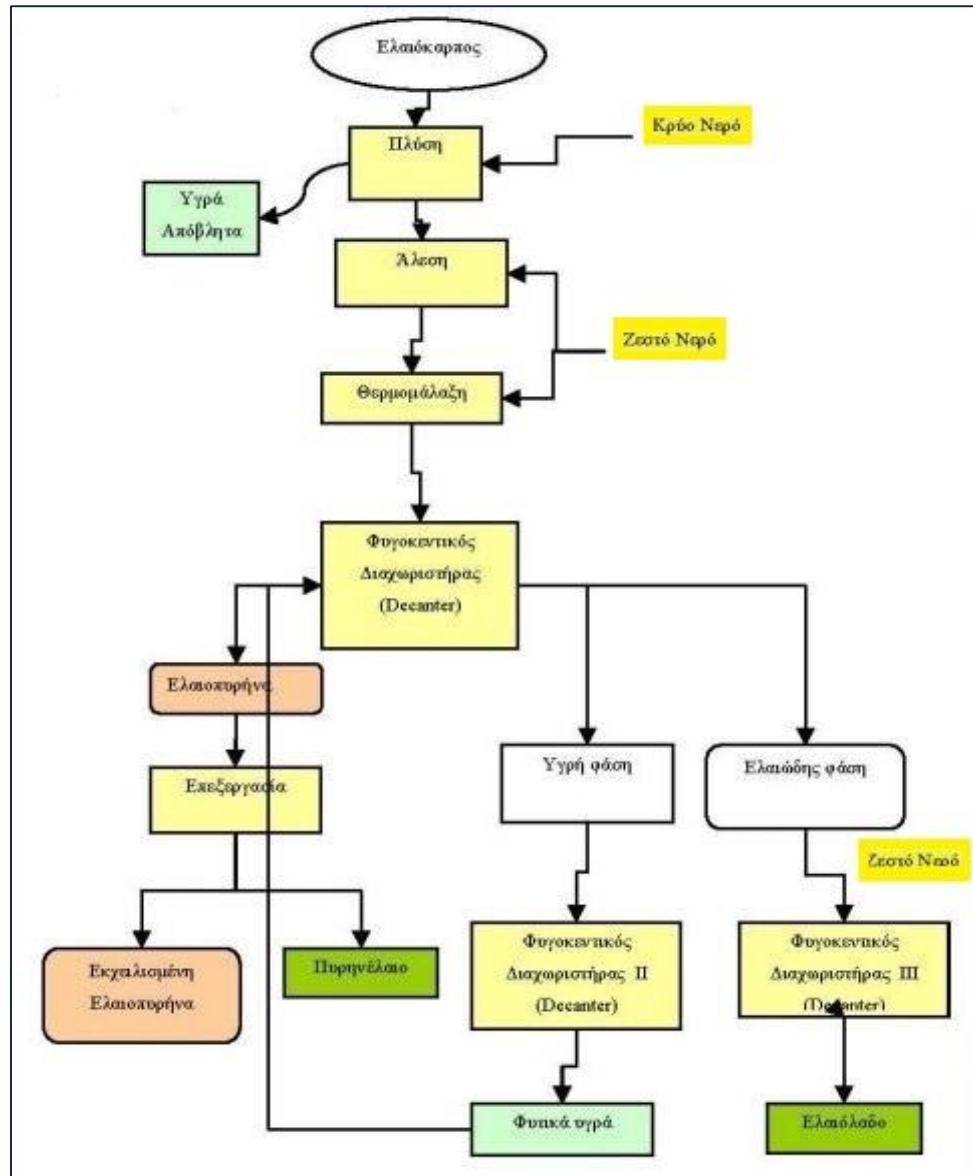


Εικόνα 2.8.: Τριφασικός διαχωριστήρας

Τα υγρά απόβλητα των ελαιотριβείων που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο σύστημα περιέχουν: το υδάτινο κλάσμα του χυμού του ελαιοκάρπου, το νερό έκπλυσης του ελαιοκάρπου αλλά και του εξοπλισμού, το νερό που προστίθεται κατά τη μάλαξη της ελαιομάζας και το νερό που προστίθεται στο διαχωριστήρα του λαδιού.

Η μέθοδος έχει ένα σημαντικό μειονέκτημα, που οφείλεται στις μεγάλες ποσότητες ύδατος που απαιτεί και συνεπώς προκαλεί παραγωγή σημαντικού όγκου υγρών αποβλήτων (Κάλφας, 2007 ; Νέσσερης, 2008 ; Βολικάκη, 2008). Αυτές οι ποσότητες υγρών αποβλήτων υπερβαίνουν, μόνο στην περιοχή της Μεσογείου, τα 30 MCM (Million Cubic Meters) κάθε χρόνο και για μία περίοδο 3-4 μηνών (από τον Νοέμβριο έως το Φεβρουάριο) δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ένα τεράστιο περιβαλλοντικό πρόβλημα (Ouzounidou et al, 2010). Τα υγρά απόβλητα που παράγονται για κάθε λίτρο ελαιόλαδου με το σύστημα τριών φάσεων ανέρχονται σε 2,5 λίτρα (Νέσσερης, 2008).

Η ροή της διαδικασίας παραγωγής ελαιολάδου σε ένα τριφασικό ελαιοτριβείο είναι η εξής (σχήμα 2.2.).



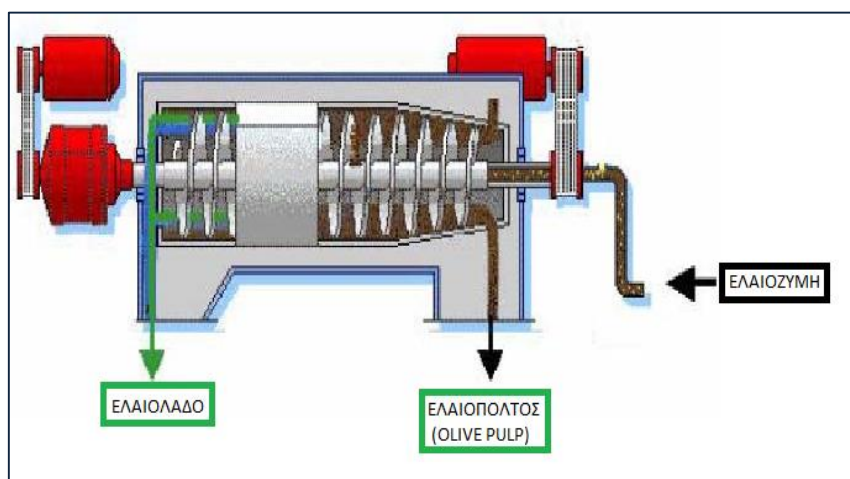
Σχήμα 2.2.: Συνοπτικό διάγραμμα ροής της διαδικασίας παραγωγής ελαιολάδου με φυγοκέντριση 3 φάσεων

2.5.3. Συνεχές σύστημα δύο φάσεων

Το συνεχές σύστημα δύο φάσεων αποτελεί την πιο πρόσφατη εξέλιξη στον τομέα της παραγωγής ελαιολάδου καθώς εισήχθηκε τη δεκαετία του 1990

προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των μεγάλων ποσοτήτων νερού που απαιτεί το σύστημα τριών φάσεων και ως εκ τούτου να μειωθούν οι μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων που παράγονται από αυτό.

Τα ελαιουργεία αυτού του τύπου παράγουν καθαρό ελαιόλαδο και ελαιοπυρήνα με νερό, ενώ η ποσότητα υγρών αποβλήτων είναι μικρή καθώς δεν προστίθεται επιπλέον νερό στην ελαιοζύμη (Νέσσερης 2008 · Ουζουνίδου et al, 2010). Επιπλέον, η ενσωμάτωση των απόνερων στον ελαιοπολτό γίνεται δυνατή λόγω της διαφορετικής ταχύτητας περιστροφής και της διαφορετικής κατασκευής του ρότορα του διφασικού διαχωριστήρα (εικόνες 2.9. και 2.10) σε σύγκριση με τον τριφασικό (Κάλφας, 2007).



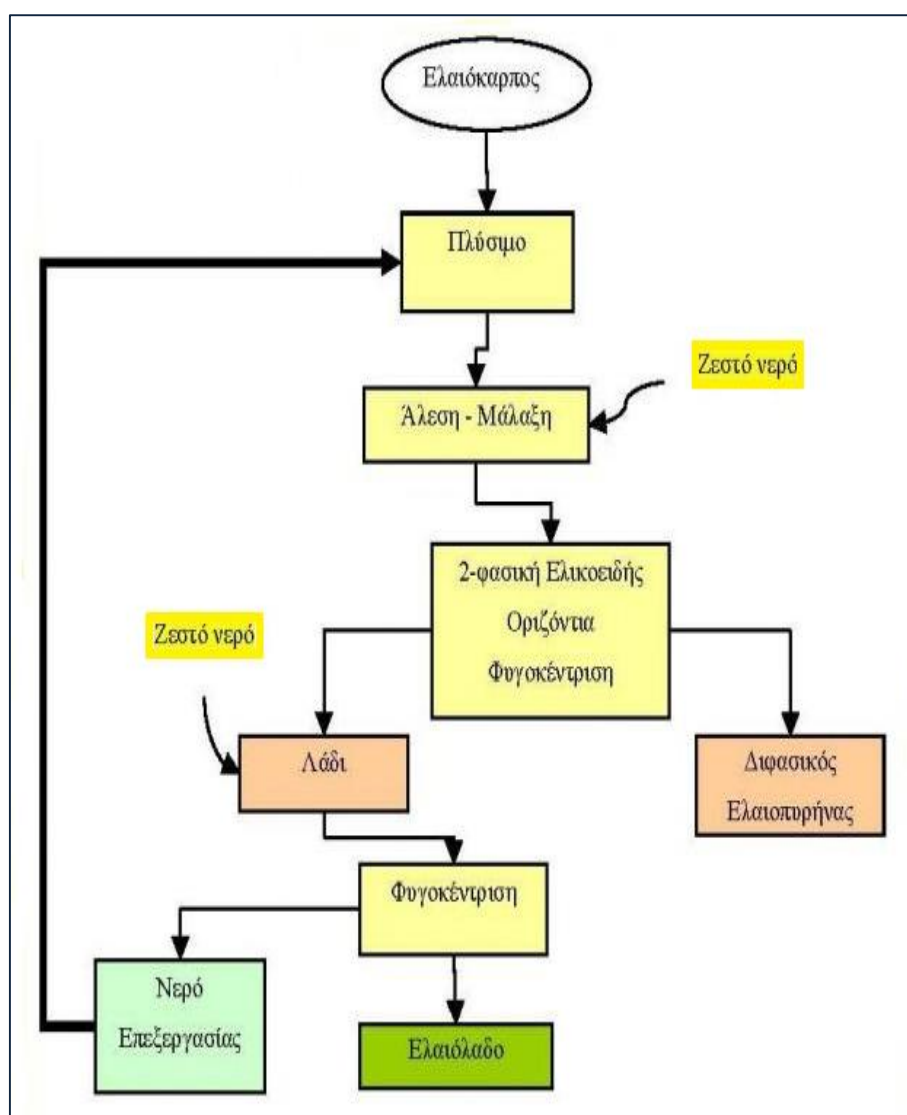
Εικόνα 2.9.: Διφασικός διαχωριστήρας



Εικόνα 2.10.: Εσωτερικός χώρος διφασικού ελαιοτριβείου. Διακρίνεται ο διφασικός διαχωριστήρας και το κόσκινο απολάσπωσης της οργανικής φάσης στην έξοδο αυτού

Τα απόβλητα που παράγονται κατά την επεξεργασία 100 κιλά ελαιοκάρπου ανέρχονται σε ~80 κιλά. Για κάθε κιλό ελαιολάδου που παράγεται με το σύστημα αυτό παράγονται 1 κιλό – 1,25 κιλά υγρών αποβλήτων.

Η διαδικασία παραγωγής που ακολουθείται σε αυτού του είδους τα ελαιотριβεία είναι η εξής: παραλαβή του ελαιοκάρπου, τροφοδοσία, αποφλοιώση, πλύσιμο, σπάσιμο – άλεση του ελαιοκάρπου και μάλαξη. Κατόπιν με φυγοκέντριση εξάγεται το ελαιόλαδο (Νέσσερης, 2008). Η ροή της διαδικασίας που ακολουθείται στα διφασικά ελαιотριβεία απεικονίζεται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3.: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας παραγωγής ελαιολάδου με φυγοκέντριση 2 φάσεων (Βολικάκη, 2008)

Το σημαντικότερο μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων (μόνο στην Ισπανία παράγονται 4 εκατομμύρια τόνοι) ελαιοπυρήνα με τη μορφή ιλύος. Η διαχείριση αυτών των αποβλήτων είναι εξαιρετικά δύσκολη εξαιτίας των φυσικοχημικών και βιοτοξικών ιδιοτήτων τους (Ouzounidou et al, 2010).

Οι ιδιότητες αυτές καθιστούν αδύνατη την άμεση λιπασματοποίηση (κομποστοποίηση) ή το κάψιμο αυτών χωρίς προηγουμένως να έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία, αυξάνοντας έτσι το κόστος διαχείρισής τους. Επιπλέον, ούτε στις εγκαταστάσεις εξαγωγής πυρηνελαίου γίνονται δεκτά καθώς δεν είναι δυνατή η διαχείρισή τους από αυτές. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι περισσότεροι ιδιοκτήτες ελαιοτριβείων δεν είναι πρόθυμοι να αντικαταστήσουν το σύστημα των τριών φάσεων με αυτό των δύο, ακόμα κι αν σε κάποιες περιπτώσεις αυτή είναι η μόνη διαθέσιμη εναλλακτική λύση (Markou, 2010).

Οι πιο συχνές πρακτικές που χρησιμοποιούνται στην Ισπανία για τη διαχείριση αυτού του ελαιοπυρήνα είναι η δεύτερη εκχύλιση για ανάκτηση του ελαιολάδου που έχει απομείνει και η κομποστοποίηση και ακολούθως η χρήση τους στη γεωργία. Η πιο διαδεδομένη πρακτική είναι η δεύτερη εκχύλιση. Για την αποξήρανσή τους χρησιμοποιείται η θερμική ενέργεια από εργοστάσια συμπαραγωγής ενέργειας-θερμότητας. Μετά τη δεύτερη εξαγωγή ελαιολάδου τα απόβλητα χρησιμοποιούνται ως βιομάζα στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου.

Επιπλέον, ένα μέρος αυτών των αποβλήτων χρησιμοποιούνται ως στερό, οικιακό καύσιμο (πέλετ) και μία ποσότητα χιλίων περίπου τόνων εξάγεται σε αυτή τη μορφή κάθε χρόνο (Niaounakis & Halvadakis, 2006).

2.6. Καθαρισμός και τελικός διαχωρισμός του ελαιολάδου

Πριν την παραλαβή του τελικού προϊόντος, δηλαδή του ελαιολάδου, προηγείται καθαρισμός της υγρής οργανικής φάσης που έχει προκύψει είτε από τους διαχωριστήρες στα σύγχρονα ελαιουργεία είτε από την πρέσα στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία. Στο στάδιο αυτό τα στερεά σωματίδια (τεμαχίδια φλοιού, σπασμένα κουκούτσια κ.α), που βρίσκονται εντός της υγρής φάσης,

απομακρύνονται με τη χρήση παλινδρομικά κινούμενων (ταλαντευόμενων) κόσκινων, τα καλούμενα κόσκινα απολάσπωσης, τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν από 0.5 ως 4 τόνους οργανικής φάσης σε 1 ώρα (εικόνες 2.11 και 2.12) (Κάλφας, 2007).



Εικόνα 2.11.: Κόσκινο απολάσπωσης σε παραδοσιακό ελαιοτριβείο (Κάλφας, 2007)



Εικόνα 2.12.: Κόσκινο απολάσπωσης στην έξοδο του διαχωριστήρα στα σύγχρονα ελαιοτριβεία (Κάλφας, 2007)

Το βάρος των στερεών σωματιδίων υπολογίζεται σε ποσοστό 0.5% - 1% επί του συνολικού βάρους της υγρής φάσης. Στα σύγχρονα ελαιοτριβεία ο τελικός διαχωρισμός του ελαιολάδου γίνεται με τη χρήση κατακόρυφων φυγοκεντρικών διατάξεων. Αντίθετα, τα παραδοσιακά εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι το ελαιόλαδο είναι πιο “ελαφρύ” (πυκνότητα 0.91 γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό) από το νερό (πυκνότητα 1 γραμμάριο ανά κυβικό εκατοστό). Έτσι, τοποθετούν το μείγμα της υγρής φάσης σε δεξαμενές (εικόνα 2.13), ώστε να επιτυγχάνεται διαχωρισμός των συστατικών της λόγω της

διαφορετικής πυκνότητας, αν και σταδιακά αντικαθιστούν τις δεξαμενές αυτές με φυγοκεντρικές διατάξεις (Κάλφας, 2007; Χρυσοβαλάντου, 2010).



Εικόνα 2.13..: Αριστερά σύστημα φυγοκεντρικών διατάξεως στα σύγχρονα ελαιοτριβεία και δεξιά 9 δεξαμενές διαχωρισμού ελαιολάδου από το νερό στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία

2.7. Σύγκριση μεθόδων παραγωγής ελαιολάδου

Όπως προαναφέρθηκε, εφαρμόζονται κυρίως τρεις διαφορετικές επεξεργασίες για την παραλαβή του ελαιόλαδου: (α) η παραδοσιακή μέθοδος με την χρήση υδραυλικών κυρίως πιεστηρίων, (β) η διφασική και (γ) η τριφασική διαδικασία. Τόσο η δεύτερη όσο και η τρίτη μέθοδος χρησιμοποιούν φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες (Βολικάκη, 2008).

Όλα τα παραπάνω συστήματα επεξεργασίας παράγουν την ίδια περίπου ποσότητα ελαιόλαδου. Αυτό που διαφέρει, όμως, είναι η ποσότητα, το είδος και συνεπώς τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που παράγονται από κάθε σύστημα. Στον επόμενο πίνακα (πίνακας 2.1) αναφέρονται τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μεθόδου.

Πίνακας 2.1.: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων παραγωγής ελαιολάδου (Βολικάκη, 2008)

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Παραδοσιακό	<ul style="list-style-type: none"> • Σημαντικά μικρότερο κόστος • Μικρότερο ποσοστό υγρασίας στον ελαιοπυρήνα • Κόστος αντικατάστασης ελαιοσφυρίδων • Κατασκευασμένα από σίδηρο 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλο κόστος εργατικών • Μικρή απόδοση σε ελαιόλαδο
Τριών φάσεων	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρότερη απαίτηση σε εργατικά χέρια • Αυτοματοποιημένη λειτουργία • Μεγαλύτερη απόδοση σε ελαιόλαδο • Εξασφαλίζει συνθήκες για τήρηση της καθαριότητας σε όλη την παραγωγική γραμμή 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγαλύτερο κόστος αγοράς εγκατάστασης και συντήρησης του απαιτούμενου εξοπλισμού • Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό • Μεγαλύτερη απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια και νερό • Παρουσιάζει αραίωση των φυσικών αντιοξειδωτικών και συνεπώς μείωση του ποσοστού τους που παραμένει στο ελαιόλαδο
Δύο φάσεων	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ μικρότερη ποσότητα υγρών αποβλήτων • Η ποιότητα του παρθένου ελαιόλαδου είναι ανώτερη από εκείνη των τριών φάσεων κυρίως σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες και αντιοξειδωτικά. • Παραγωγή ποιοτικού ελαιόλαδου 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία (55 – 65%) • Η μετέπειτα επεξεργασία του ρευστοστερεού αποβλήτου για την εξαγωγή ελαίου είναι δύσκολη καθώς πρέπει να αφυδατωθεί από 50-65% της αρχικής υγρασίας σε 11%. Η δαπάνη για τον κατάλληλο εξοπλισμό είναι τεράστια οπότε μένει πολλές φορές αδιάθετο. • Λόγω αδυναμίας μετατροπής των υφιστάμενων πυρηνελαιουργείων σε μονάδες επεξεργασίας του ελαιοπυρήνα του decanter των δύο φάσεων, η αφυδάτωση της επιτυγχάνεται με δεύτερη και πολλές φορές τρίτη φυγοκέντριση

Τέλος, οι διαφορές μεταξύ των φυγοκεντρικών μηχανισμών δύο και τριών φάσεων εμφανίζεται στον επόμενο πίνακα (2.2).

Πίνακας 2.2.: Σύγκριση χαρακτηριστικών διφασικής και τριφασικής λειτουργίας (Κάλφας, 2007)

Διαδικασία Εξαγωγής Ελαιολάδου	Διφασική Λειτουργία	Τριφασική Λειτουργία
Δυναμικότητα ανάκτησης ελαιολάδου (%)	86	85
Ποσότητα (κιλά / κιλά καρπού)	72.5	50.7
Υγρασία (%)	57.5	50.7
Λάδι (%)	3.16	3.18
Λάδι (% ανά ξηρό υλικό)	7.44	6.68
Λάδι (κιλά / 100 κιλά καρπού)	2.28	1.60
Ξηρό στερεό υπόλειμμα (κιλά / 100 κιλά καρπού)	30.7	23.9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΠΟΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΛΑΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

3.1. Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων

Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων (ΥΑΕ) διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ τους και εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως η μέθοδος εξαγωγής του ελαιολάδου, η ποικιλία και ο βαθμός ωρίμανσης του ελαιοκάρπου, η περιοχή προέλευσης του ελαιοκάρπου, οι κλιματικές συνθήκες και διάφορες σχετιζόμενες διαδικασίες καλλιέργειας/επεξεργασίας.

Πάντως, σε γενικές γραμμές, τα ΥΑΕ αποτελούν λύματα χρώματος σκούρου καφέ αν και το χρώμα τους μπορεί να ποικίλλει από κίτρινο – πράσινο έως κόκκινο σκούρο ή καφέ – μαύρο. Είναι θολά και η πυκνότητά τους κυμαίνεται από 1.015 – 1.081 g/cm³. Έχουν χαρακτηριστική οσμή, όξινο pH (4,0 – 5,5), ένα πολύ περίπλοκο οξειδοαναγωγικό σύστημα, υψηλή ρυθμιστική ικανότητα, επιφανειακή τάση και σταθερότητα (Ouzounidou et al, 2010).

Είναι ιδιαίτερα πλούσια σε οργανικά αλλά και ανόργανα συστατικά κατά κύριο λόγο διαλυμένα στην υδατική φάση. Όμως, περιέχουν και αδιάλυτα οργανικά σωματίδια, τα οποία είναι παρόντα υπό μορφή εναιωρήματος. Τέλος, η μορφή τους είναι αυτή ενός γαλακτώματος και αυτό οφείλεται στα σταγονίδια ελαίου που περιέχουν (Νέσσερης 2008).

Το πιο σημαντικό απ' όλα, όμως, είναι ότι τα ΥΑΕ έχουν σε υψηλό βαθμό σχεδόν όλους τους μολυσματικούς παράγοντες: BOD₅: 40-95 g/l⁻¹, COD: 50-80 g/l⁻¹, LD₅₀ τοξικότητα για ψάρια: 8,7%. Το ρυπογόνο τους φορτίο, όμως, δεν περιορίζεται σε αυτούς καθώς περιέχουν επιπλέον υψηλές ποσότητες από αιωρούμενα σωματίδια και υψηλές συγκεντρώσεις πολυαρωματικών ενώσεων, όπως απλές φαινόλες, φλαβονοειδή ή πολυφαινόλες (από 0,5 έως 24 g/l⁻¹) (Paraskeva et al, 2006).

Τα φαινολικά είναι υπεύθυνα κυρίως για τις ισχυρές αντιμικροβιακές και φυτοτοξικές ιδιότητες των ΥΑΕ. Όμως, η μη σχετιζόμενη με τις φαινόλες τοξικότητά τους οφείλεται στα μακράς – αλυσίδας λιπαρά οξέα ενώ έχουν αναφερθεί και πτητικά οξέα. Επιπλέον, στα ΥΑΕ ανιχνεύονται υψηλές

ποσότητες θρεπτικών συστατικών όπως το κάλιο και ο φώσφορος αλλά και μία μεγάλη ποικιλία από μικροθρεπτικά συστατικά.

Όσον αφορά τα ΥΑΕ από τα ελαιοτριβεία με φυγοκεντρικά συστήματα δύο φάσεων, τα οποία ενσωματώνουν σε μία ροή αποβλήτων τη διαδικασία εξαγωγής τόσο των ΥΑΕ όσο και του ελαιοπυρήνα, εμφανίζουν περιεχόμενο σε υγρασία που κυμαίνεται μεταξύ 60% και 65%. Διαθέτουν, επίσης όξινο pH (4,9 – 6,8) και υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, η οποία περιλαμβάνει λιγνίνη, κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιπίδια, υδατάνθρακες και φαινολικά (Ouzounidou et al, 2010).

Η σύσταση των ΥΑΕ είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσα από περιβαλλοντική οπτική για μία ποικιλία λόγων, οι σημαντικότεροι εκ των οποίων είναι οι εξής:

- i. Οι ισχυρές αντιμικροβιακές ιδιότητες των ΥΑΕ λόγω της παρουσίας φαινολικών περιορίζουν τόσο το φάσμα όσο και τη δράση των μικροοργανισμών, οι οποίοι θα μπορούσαν να εγκατασταθούν και να προκαλέσουν αποδόμηση των υπόλοιπων συστατικών τους.
- ii. Τους προσδίδει τοξικές ιδιότητες τόσο έναντι των φυτών όσο και έναντι των υδρόβιων ζωικών ειδών.
- iii. Δεν τους επιτρέπει τη γρήγορη βιοαποδόμηση. Αντίθετα ο ρυθμός αποδόμησής τους είναι σχετικά βραδύς και πραγματοποιείται μόνο από εξειδικευμένες και σχετικά ολιγάριθμες ομάδες μικροοργανισμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Ένας από τους χαρακτηρισμούς που τους αποδίδεται είναι αυτός των «βιομηχανικών αποβλήτων» ενώ οι μεταβολικές εκτροπές που μπορούν να προκαλέσουν τόσο στα χερσαία όσο και στα υδατικά οικοσυστήματα είναι σημαντικές και έχουν σοβαρά περιβαλλοντικά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά συνήθως δεν περιέχουν ενώσεις υψηλού περιβαλλοντικού κινδύνου, όπως άλλοι τύποι βιομηχανικών αποβλήτων, δηλαδή δεν περιέχουν βαρέα μέταλλα και συνθετικές οργανικές ενώσεις που δεν είναι βιοαποδομήσιμες (Νέσσερης, 2008).

Τα κύρια χαρακτηριστικά τους και οι αρνητικές επιπτώσεις τους παρατίθενται συνοπτικά στον επόμενο πίνακα (3.1).

Πίνακας 3.1.: Κύρια χαρακτηριστικά ΥΑΕ και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον (Νέσσερης, 2008)

Χαρακτηριστικά ΥΑΕ	Αρνητικές περιβαλλοντικές επιδράσεις
Υψηλή περιεκτικότητα σε χρωστικές	<ul style="list-style-type: none"> • Περιορισμός φωτοσύνθεσης στο νερό • Παρεμπόδιση ορατότητας ψαριών • Αισθητική υποβάθμιση περιβάλλοντος
Υψηλή περιεκτικότητα σε ελαιόλαδο και άλλες λιπαρές ενώσεις	<ul style="list-style-type: none"> • Παρεμπόδιση οξυγόνωσης νερών • Μείωση πορώδους εδάφους
Περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες	<ul style="list-style-type: none"> • Βιοτοξικότητα – φυτοτοξικότητα • Βιοαποδόμηση από εξειδικευμένες και ολιγάριθμες ομάδες μικροοργανισμών
Υψηλό ποσοστό άλλων τοξικών ουσιών	<ul style="list-style-type: none"> • Αποξυγόνωση υδατικών αποδεκτών • Φαινόμενα ευτροφισμού
Χαμηλό pH, υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα	<ul style="list-style-type: none"> • Διάβρωση εδαφών και διείσδυση στον υδροφόρο ορίζοντα • Ακατάλληλα για άρδευση των περισσότερων καλλιεργειών

3.2. Στερεά απόβλητα ελαιοτριβείων

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί εκτός από τα υγρά απόβλητα που παράγονται κατά τη διάρκεια της εξαγωγής του ελαιολάδου παράγεται και σημαντική ποσότητα στερεών αποβλήτων. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την

επεξεργασία του ελαιοκάρπου διαφοροποιεί τόσο τον όγκο όσο και τη σύσταση αυτών των αποβλήτων.

Τα στερεά απόβλητα των ελαιοτριβείων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν όσα συλλέγονται κατά τη διάρκεια των πρώτων σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας (π.χ. φύλλα, ξύλα, πέτρες). Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι το γεγονός ότι συλλέγονται σε μικρές ποσότητες και μπορεί να γίνει πολύ εύκολα περαιτέρω επεξεργασία τους. Η συνήθης διαχείρισή τους γίνεται με τη χρήση τους ως καύσιμη ύλη ή τη διάθεσή τους ξανά στην επιφάνεια της γης. Σπανιότερα αξιοποιούνται και σε τεχνικές πυρόλυσης ή αεριοποίησης.

Στη δεύτερη κατηγορία στερεών αποβλήτων ανήκουν όσα προκύπτουν κατά το στάδιο εξαγωγής του ελαιολάδου. Τα απόβλητα αυτά (ελαιοπυρήνας) σε πρώτη φάση περιέχουν ελαιόλαδο (πυρηνέλαιο) σε ποσοστό 3% - 7%, υγρασία μεταξύ 25% έως και 60% κατά βάρος, περιεχόμενο σε λίπη 3% - 7% κατά βάρος, και τέλος, τα σπασμένα κουκούτσια του ελαιοκάρπου (εικόνα 3.1) τα οποία απομακρύνονται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμη ύλη με πολύ καλή απόδοση καθώς η θερμιδική τους αξία ανέρχεται στις ~4000 kcal/kg (Κάλφας, 2007).



Εικόνα 3.1.: Σωρός από κουκούτσια ελαιοκάρπου

Η παραδοσιακή μέθοδος εξαγωγής ελαιολάδου έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή 400-600 κιλών ελαιοπυρήνα από 1000 κιλά ελαιοκάρπο. Το ποσοστό του ελαιολάδου στον ελαιοπυρήνα ανέρχεται σε ~7% ενώ της υγρασίας στο ~26%. Η συνήθης διαχείρισή του ήταν η εναπόθεσή του χωρίς καμία επεξεργασία στους ελαιώνες ή σε φυσικούς αποδέκτες.

Στη σύγχρονη εποχή οδηγείται στο πυρηνελαιουργείο όπου εξάγεται το ελαιόλαδο που περιέχει και το πυρηνόξυλο που περισσεύει χρησιμοποιείται ως καύσιμο καθώς αποτελείται κυρίως από λιγνίνη και κυτταρίνη. Στην Ελλάδα παράγονται περίπου 65.000 τόνοι τέτοιου είδους πυρήνα.

Κατά την εξαγωγή του ελαιολάδου με τη φυγοκεντρική μέθοδο τριών φάσεων παράγονται 500-600 κιλά ελαιοπυρήνα από 1000 κιλά ελαιοκάρπου. Το ελαιόλαδο που παραμένει στον πυρήνα ανέρχεται σε 4% περίπου ενώ η υγρασία στο 40%. Συνήθως ο πυρήνας ξηραίνεται με χημικό τρόπο και κατόπιν (πάλι με τη χρήση χημικών μεθόδων) γίνεται ανάκτηση του πυρηνελαίου και διαχωρισμός των σπασμένων κουκουτσιών.

Το στερεό υπόλειμμα χρησιμοποιείται είτε για θέρμανση είτε ως ζωοτροφή είτε επιστρέφει στους ελαιώνες ως εγγειοβελτιωτικό. Η ποσότητα του πυρήνα που παράγεται ετησίως στην Ελλάδα από τα ελαιοτριβεία τριών φάσεων ανέρχεται στους 530.000 τόνους περίπου (Κάλφας, 2007).

3.3. Μέθοδοι διαχείρισης υγρών απόβλητων ελαιουργείων (ΥΑΕ)

Ένας μεγάλος όγκος ΥΑΕ παράγεται ετησίως σε παγκόσμια κλίμακα και το 98% αυτού παράγεται στη λεκάνη της Μεσογείου. Τα λύματα αυτά παράγονται εποχιακά. Για κάθε τόνο ελαιοκάρπου αναμένεται η παραγωγή περίπου 1,2 -1,8 m³ ΥΑΕ από τα φυγοκεντρικά συστήματα τριών φάσεων. Στην πραγματικότητα τα ΥΑΕ που προκύπτουν από τις διαδικασίες παραγωγής στη Μεσόγειο ξεπερνούν τα 30 MCM (Million Cubic Meters) κάθε χρόνο (Nassar et al, 2014).

Η σύνθεση των ΥΑΕ τους προσδίδει διπλή φύση: αφενός αποτελούν ισχυρούς μολυσματικούς παράγοντες και αφετέρου μία πιθανή πηγή πολύτιμων συστατικών όπως οι πολυφαινόλες, τα φλαβονοειδή, οι ανθοκυανίνες, διάφορα ανόργανα ιχνοστοιχεία κ.α., τα οποία θα μπορούσαν να απομονωθούν (αφαιρεθούν) και να αξιοποιηθούν οικονομικά.

Είναι, λοιπόν, φυσικό η έρευνα να προσανατολίζεται προς την εξεύρεση ευέλικτων και αποτελεσματικών λύσεων διαχείρισης των ΥΑΕ οι οποίες θα εξασφαλίζουν την αποτοξίνωση των ΥΑΕ αντισταθμίζοντας το κεφαλαιουχικό και λειτουργικό κόστος με τη δυνατότητα ανάκτησης και ανακύκλωσης μερικών πολύτιμων συστατικών. Οι πολυάριθμες διαδικασίες επεξεργασίας που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα θα μπορούσαν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- i. Διαδικασίες αποτοξίνωσης.
- ii. Διαδικασίες που αποσκοπούν στην παραγωγή διαφόρων προϊόντων.
- iii. Ολοκληρωμένες διαδικασίες με στόχο την ανάκτηση ενέργειας.
- iv. Συνδυασμένες διαδικασίες.

3.3.1. Διαδικασίες αποτοξίνωσης ΥΑΕ

Στις διαδικασίες αποτοξίνωσης συμπεριλαμβάνονται οι μέθοδοι που αποσκοπούν στον «καθαρισμό» των ΥΑΕ ώστε να καταστεί ασφαλής η επακόλουθη απόρριψή τους στο νερό ή το έδαφος. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι οι βιολογικές, οι φυσικοχημικές και οι θερμικές μέθοδοι, καθώς και οι διαδικασίες χρήσης μεμβράνης .

3.3.1.1. Βιολογικές μέθοδοι

Στις βιολογικές μεθόδους χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί για τη διάσπαση των χημικών που βρίσκονται στα ΥΑΕ. Ανάλογα με το είδος της μικροχλωρίδας που χρησιμοποιείται χωρίζονται σε *αερόβιες* και *αναερόβιες* (Tsagaraki et al, 2007).

Η αερόβια βιολογική επεξεργασία μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά μόνο αν το οργανικό φορτίο είναι σχετικά χαμηλό, δηλαδή της τάξεως του 1g COD/l. Υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορούν να γίνουν ανεκτές μόνο αν η εγκατάσταση λειτουργεί σε έναν μεγάλο υδραυλικό χρόνο συγκράτησης ή/και με υψηλή αναλογία ανακύκλωσης. Αμφότερες οι δυνατότητες αυτές, όμως, είναι αντισυμβατικές για μία εγκατάσταση επεξεργασίας (Tsagaraki et al, 2007).

Επιπλέον, η αερόβια επεξεργασία των συμπυκνωμένων ΥΑΕ έχει ως αποτέλεσμα να περισσεύουν τεράστιες ποσότητες δευτερογενούς ιλύος η οποία πρέπει να αφαιρεθεί από το σύστημα. Τέλος, με τις αερόβιες διεργασίες είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί η απαιτούμενη αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης των ρύπων, όπως οι πολυφαινόλες και τα λιπίδια.

Για τους λόγους αυτούς, οι συγκεκριμένες διαδικασίες είναι ακατάλληλες για την άμεση και αποτελεσματική διαχείριση των ΥΑΕ. Μπορούν, όμως, να χρησιμοποιηθούν ως προεπεξεργασία ή στα στάδια μετά τη διαχείριση για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της κύριας διαδικασίας επεξεργασίας, η οποία ακολουθείται.

Έχει, όμως, μελετηθεί εκτενώς ο συνδυασμός αερόβιας και αναερόβιας επεξεργασίας, καθώς υπάρχουν αερόβιες «κοινοπραξίες» (consortia) που αναπτύσσονται είτε σε αραιωμένα είτε σε μη αραιωμένα ΥΑΕ που είναι ικανές να μεταβολίζουν και να αφαιρούν τις αρωματικές ενώσεις. Από αυτούς τους μικροοργανισμούς ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει δείχτεί σε αρκετούς λευκούς βασιδιομύκητες (basidiomycetes), όπως τα μανιτάρια *Πλευρώτους*.

Οι μύκητες αυτού του είδους περιέχουν λιγνινολυτικά ένζυμα, τα οποία μπορούν να αποδομήσουν τις φαινολικές ουσίες των ΥΑΕ που έχουν δομικές σχέσεις με τη λιγνίνη. Ωστόσο, η πλειοψηφία των φαινολικών ενώσεων που απομακρύνονται είναι απλά μονομερή ενώ τα πολυμερισμένα μόρια, όπως οι τανίνες, αποδομούνται πιο δύσκολα. Η αιτία γι' αυτό εντοπίζεται στο γεγονός ότι οι ενώσεις αυτές προσροφώνται ισχυρά στα μικκύλια και στα εξωκυτταρικά ένζυμα οπότε η βιοαποδόμησή τους δεν είναι δυνατή.

Σε όλες τις περιπτώσεις, πάντως, απαιτείται μία ορισμένη προεπεξεργασία (όπως αραίωση, θερμική επεξεργασία κ.α.). Επιπλέον, το προκύπτον απόβλητο απαιτεί πάντοτε επιπλέον επεξεργασία πριν μπορέσει να διατεθεί με ασφάλεια. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι αερόβιες διεργασίες από μόνες τους δεν είναι αρκετά αποτελεσματικές για την αποτοξίνωση των ΥΑΕ.

Η αναερόβια χώνευση αποτελείται από μία σειρά μικροβιολογικών διαδικασιών οι οποίες μετατρέπουν οργανικά συστατικά σε μεθάνιο και

διοξείδιο του άνθρακα. Αν και απαιτείται ένα επιπλέον στάδιο πριν ή μετά την επεξεργασία, η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται η πιο κατάλληλη για την αποτοξίνωση των ΥΑΕ (Tsagaraki et al, 2007).

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτού του είδους της επεξεργασίας είναι τα εξής:

- Δυνατότητα επεξεργασίας λυμάτων με υψηλό οργανικό φορτίο, όπως είναι τα ΥΑΕ.
- Χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις.
- Παραγωγή μεθανίου που μπορεί να αξιοποιηθεί μετά από κατάλληλη επεξεργασία.
- Παραγωγή σημαντικά μικρότερης ποσότητας δευτερογενούς ιλύος αποβλήτων από αυτή που παράγεται με τις αερόβιες διεργασίες.
- Ικανότητα εύκολης επανεκκίνησης της μονάδας μετά από αρκετούς μήνες που θα βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

Οι αναερόβιες διαδικασίες καθοδηγούνται κατά κύριο λόγο από βακτήρια και περιλαμβάνουν τρία μείζονα στάδια:

- i. Αναερόβια βακτήρια υδρολύουν σύνθετες οργανικές ενώσεις, όπως οι πολυσακχαρίτες και οι πολυφαινόλες, σε μονομερή τους (απλά σάκχαρα και φαινόλες αντίστοιχα).
- ii. Τα μόρια που προκύπτουν από το προηγούμενο στάδιο μετατρέπονται από οξικογενή βακτήρια σε οργανικά οξέα, όπως το οξικό, γαλακτικό και μυρμηκικό οξύ και σε αλκοόλη.
- iii. Μεθανογόνα βακτήρια, τα οποία χαρακτηρίζονται από την ευαισθησία τους στο pH και στις αλλαγές της θερμοκρασίας, μετατρέπουν τα οργανικά οξέα σε βιοαέριο, το οποίο αποτελείται από 60% - 80% μεθάνιο και άλλα αέρια, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα.

Οι αναερόβιες διαδικασίες επηρεάζονται από πολλούς και ποικίλους παράγοντες:

- Θερμοκρασία
- Χρόνο συγκράτησης
- pH
- Μερική πίεση H_2
- Χημική σύνθεση λυμάτων
- Ποσότητα των τοξικών ουσιών

Η διαδικασία λαμβάνει χώρα υπό θερμοφίλες ή μεσόφιλες συνθήκες ενώ ο χρόνος συγκράτησης ποικίλλει και κυμαίνεται από 10 έως και 35 ημέρες. Επιπλέον πρέπει να ελέγχεται το pH καθώς τα οξικογενή βακτήρια τείνουν να το μειώνουν κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία της διαδικασίας καθώς τα μεθανογόνα βακτήρια είναι ευαίσθητα στις μεταβολές του pH.

Οι τεχνολογίες που έχουν δοκιμαστεί είναι πολλές και περιλαμβάνουν τον αντιδραστήρα της αναερόβιας κλίνης ιλύος στα ανάντη (Upstream Anaerobic Sludge Blanket Reactor – UASB), τους αντιδραστήρες επαφής, τα αναερόβια φίλτρα (ανάντη και κατάντη), τους αντιδραστήρες με αναερόβια φίλτρα (Anaerobic Baffles Reactors – ABR) και τα συστήματα δύο φάσεων που διαχωρίζουν τις διαδικασίες της οξεογένεσης και μεθανογένεσης.

Η τεχνολογία UASB και τα αναερόβια φίλτρα αποτελούν διαδικασίες κατάλληλες για υψηλά ογκομετρικά φορτία ρύπανσης (5-15kg COD/m³ ημερησίως). Οι μειώσεις COD που έχουν αναφερθεί για τα δύο συστήματα ανέρχονται σε 80% και σε 60% - 65% αντίστοιχα. Όμως, και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται υψηλή αναλογία αραίωσης (1/8 και 1/5 αντίστοιχα) κάτι που συντελεί στην αύξηση του λειτουργικού κόστους (Tsagaraki et al, 2007).

Τα αναερόβια φίλτρα δεν απαιτούν μεγάλο έλεγχο της διαδικασίας ενώ έχει αναφερθεί μείωση των φαινολών μέχρι και 75%. Σε σύγκριση μάλιστα με τους αντιδραστήρες επαφής έχει αναφερθεί μεγαλύτερη παραγωγή μεθανίου, εξάλειψη της μηχανικής ανάμιξης και διευθέτηση και επιστροφή της ιλύος. Οι αντιδραστήρες επαφής, όμως, μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου (μέχρι και 60g COD/l) με απόδοση απομάκρυνσης μεγαλύτερη από 80%. Τα ποσοστά αυτά, όμως, μπορούν να

επιτευχθούν μόνο σε πολύ χαμηλά ποσοστά φόρτωσης ($<5 \text{ kg COD/m}^3$ ημερησίως).

Η αναερόβια χώνευση, όμως, παρουσιάζει και κάποια προβλήματα, όπως είναι ίσως φυσικό. Τα βασικότερα είναι τα εξής:

- Απαιτεί την προσθήκη αλκαλικών ουσιών (για την εξουδετέρωση του pH) και ουσιών που είναι πηγές αζώτου (όπως η ουρία ή η αμμωνία).
- Η αναερόβια χλωρίδα επιδεικνύει περιορισμένη αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των αρωματικών ενώσεων και ιδιαίτερα των συμπυκνωμένων τανινών.
- Η κλιμάκωση των διαδικασιών αποδεικνύεται εξαιρετικά δύσκολη καθώς οι ρυθμοί ανάπτυξης των αναερόβιων μικροοργανισμών είναι αισθητά χαμηλότεροι από εκείνους των αερόβιων. Επιπλέον οι μεταβολικές οδοί αποικοδόμησης απαιτούν πολλές και διαφορετικές μεταξύ τους ομάδες μικροβιολογικών πληθυσμών καθιστώντας με τον τρόπο αυτό τον έλεγχο και τη σταθερότητα της διαδικασίας ιδιαίτερα ευαίσθητη.

Το αποτέλεσμα των προβλημάτων αυτών είναι να καθίσταται απαραίτητη η χρήση προεπεξεργασίας ή επεξεργασίας μετά την αναερόβια χώνευση. Η μέθοδοι που προτείνονται προς το παρόν για την προεπεξεργασία περιλαμβάνουν την αραίωση των αποβλήτων, τις εγκαταστάσεις βαρύτητας, τη διήθηση της άμμου, τη φυγοκέντρωση, την προσρόφηση, τις διαδικασίες μεμβράνης, τις φυσικοχημικές επεξεργασίες (με υδροξείδιο του ασβεστίου, υδροξείδιο του νατρίου, ανθρακικό νάτριο, αντιδραστήριο Fenton κ.α.) και την αερόβια αποικοδόμηση (Tsagaraki et al, 2007).

Στους περισσότερους τύπους αναερόβιων χωνευτήρων είναι απαραίτητη η ισχυρή αραίωση. Προκειμένου να γίνει αυτή η αραίωση των ΥΑΕ πιο οικονομική έχει προταθεί να μη γίνεται με νερό αλλά με κάποιο άλλο οργανικό απόβλητο. Αυτό θα έχει επιπλέον το πλεονέκτημα του εμπλουτισμού των ΥΑΕ με θρεπτικά συστατικά τα οποία υπό κανονικές συνθήκες ανευρίσκονται σε περιορισμένες ποσότητες (όπως το άζωτο) και συνεπώς; την εξουδετέρωσή τους χωρίς να απαιτείται προσθήκη χημικών ουσιών αποδόμησης.

Στις περιοχές που το ρυπαντικό φορτίο από τη βιομηχανία παραγωγής ελαιολάδου είναι συγκρίσιμο ή χαμηλότερο από αυτό των οικιακών λυμάτων, η διαχείριση των ΥΑΕ μπορεί να γίνεται στους συμβατικούς χωνευτές των οικιακών λυμάτων αν αναμειχθεί με αυτά.

Σε παλαιότερες μελέτες μάλιστα μελετήθηκε η συνδυασμένη διαχείριση ΥΑΕ με λύματα χοιροστασίων. Καμία χημική διόρθωση δεν απαιτήθηκε και η απομάκρυνση COD που επιτεύχθηκε ήταν της τάξεως του 70% - 80%, ενώ το παραγόμενο νερό εκροής μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως νερό άρδευσης. Το μόνο πρόβλημα ήταν ότι δεν κρίθηκε επαρκής ο αποχρωματισμός των αποβλήτων.

3.3.1.2. Φυσικοχημικές μέθοδοι επεξεργασίας ΥΑΕ

Στις μεθόδους αυτές συμπεριλαμβάνονται η εξουδετέρωση, καθιζηματοποίηση/κροκίδωση και οι διαδικασίες οξείδωσης.

Η εξουδετέρωση, καθιζηματοποίηση/κροκίδωση αποτελούν διαδικασίες οι οποίες περιλαμβάνουν τη χρήση πρόσθετων χημικών προκειμένου να αποσταθεροποιηθεί η αιωρούμενη και κολλοειδής ύλη των ΥΑΕ και να σχηματιστεί ένα αδιάλυτο στερεό το οποίο μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα από τα απόβλητα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το λάδι, τα αιωρούμενα στερεά, και τα COD και BOD. Η αποσταθεροποίηση αυτών των κολλοειδών μπορεί να επιτευχθεί με τη διαχείριση (μείωση ή αύξηση) του pH (εξουδετέρωση) ή με την προσθήκη ενός παράγοντα που επάγει καθίζηση (κατακρήμνιση/κροκίδωση).

Η πρώτη επιλογή, δηλαδή η μείωση του pH σε σημείο μηδενικού φορτίου δεν έχει τύχει ιδιαίτερης προσοχής αν και αναμένεται, εκτός από την κολλοειδή αποσταθεροποίηση, να συμβάλλει και στην όξινη υδρόλυση των ελαίων σε λιπαρά οξέα, που μπορούν κατόπιν να διαχωριστούν εύκολα από τα λύματα (Tsagaraki et al, 2007).

Αντίθετα, έχει μελετηθεί εκτεταμένα η δεύτερη λύση, δηλαδή η χρήση του οξειδίου του ασβεστίου (CaO), ευρύτερα γνωστού ως *ασβέστης* ή *σβησμένος ασβέστης*, για την αύξηση του pH σε τιμή ~11. Αυτό που επιτυγχάνει η κατεργασία των ΥΑΕ με CaO είναι η μείωση της ποσότητας του ελαιολάδου

και της COD, ο αποχρωματισμός τους και η μείωση των εκπομπών οσμών τους. Το υγρό που λαμβάνεται με το πέρας της διαδικασίας αυτής δεν περιέχει φυτοτοξικούς παράγοντες οπότε είναι περισσότερο εύκολη η περαιτέρω επεξεργασία του.

Η διαδικασία αυτή, όμως, έχει ένα σημαντικό μειονέκτημα που συνίσταται στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ιλύος με υψηλό ρυπαντικό φορτίο, η οποία είναι πολύ δύσκολο να διατεθεί.

Επιπλέον, έχουν χρησιμοποιηθεί ανόργανα κροκιδωτά, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι ο σίδηρος, χλωριούχος και θειικός σίδηρος και το θειικό αργίλιο. Αυτά τα αντιδραστήρια, όμως, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αν το κατακρημνισθέν υλικό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή.

Όλες αυτές οι διαδικασίες είναι απλές και φθηνές στην εφαρμογή αλλά είναι πιο κατάλληλες ως μέθοδοι προεπεξεργασίας γιατί το επεξεργασμένο υγρό διατηρεί ακόμα υψηλό ρυπαντικό φορτίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν προβληματισμοί σχετικά με τη διάθεση του κατακρημνισμένου υλικού που παράγεται.

Η διαδικασία οξειδωσης περιλαμβάνουν τη χρήση αρκετών οξειδωτικών παραγόντων, όπως το υπεροξειδίο του υδρογόνου, το όζον, διάφορα χλωριωμένα παράγωγα (δηλαδή διοξειδίο του χλωρίου, υποχλωριώδες νάτριο κ.α.) ή έναν συνδυασμό αυτών. Τα συστήματα που προτιμώνται είναι αυτά του όζοντος και του υπεροξειδίου του υδρογόνου καθώς έχουν υψηλό οξειδωτικό δυναμικό και επιπλέον έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν υπό ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασίες περιβάλλοντος χωρίς προβληματικά προϊόντα αποσύνθεσης του οξειδωτικού παράγοντα.

Στην προσπάθεια να αυξηθούν τα ποσοστά της οξειδωσης έχουν εξελιχθεί προηγμένες διαδικασίες οξειδωσης, στις οποίες χρησιμοποιούνται συνδυασμοί των οξειδωτικών και συνδυασμός οξειδωτικών με υπεριώδη ακτινοβολία. Οι διαδικασίες αυτές χαρακτηρίζονται από την παραγωγή της υψηλά οξειδωτικής ρίζας υδροξυλίου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσω ενός αριθμού φωτοχημικών ή μη φωτοχημικών οδών. Αυτή η ισχυρή ρίζα

μπορεί να μετατρέψει πλήρως τις οργανικές ενώσεις σε διοξείδιο του άνθρακα.

Οι περισσότερες από τις κλασικές διαδικασίες οξείδωσης στερούνται αποτελεσματικότητας για δύο κυρίως λόγους: υψηλό κόστος αντιοξειδωτικών ή χαμηλό διάστημα COD για τις οποίες είναι κατάλληλο το σύστημα. Οι προηγμένες διαδικασίες οξείδωσης θα μπορούσαν να διαχειριστούν μία μεγάλη μείωση του COD αλλά το κόστος λειτουργίας τους είναι σημαντικά υψηλό. Συνεπώς, θα μπορούσε να λεχθεί ότι η χημική οξείδωση αποτελεί κατάλληλη εναλλακτική λύση όταν δεν είναι εφαρμόσιμη η βιολογική αποδόμηση.

3.3.1.3. Θερμικές διαδικασίες

Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται πολυάριθμες μέθοδοι και παραλλαγές με κοινό τους χαρακτηριστικό το γεγονός ότι η συμπύκνωση των ΥΑΕ επιτυγχάνεται είτε με ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας είτε από μία φυσική πηγή θερμικής ενέργειας (αέρας, ήλιος). Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι η εξάτμιση, η απόσταξη, η πρωτοβάθμια καθίζηση (φυσική εξάτμιση), η καύση και η πυρόλυση.

Το κύριο μειονέκτημα που έχουν αυτού του είδους οι διαδικασίες σχετίζεται με την μετα-κατεργασία και διάθεση των παραγόμενων προϊόντων καθώς το απόσταγμα/συμπύκνωμα περιέχει εκτός από νερό και ένα υπολογίσιμο κλάσμα πτητικών ενώσεων, όπως αλκοόλες και πτητικά οξέα, που το καθιστούν πολύ όξινο (pH 4 – 4,5) και με υψηλό BOD (>4g/l) και COD (>3g/l). Οι τιμές αυτές καθιστούν αναγκαία μία πρόσθετη επεξεργασία πριν την απόρριψη ή την επαναχρησιμοποίηση.

Η συμπυκνωμένη πάστρα έχει υψηλή συγκέντρωση ρυπαντικού οργανικού φορτίου οπότε δεν μπορεί να γίνει καύση της καθώς αυτή ρυπαίνει τον αέρα. Επιπλέον, οι διεργασίες αυτές έχουν εξαιρετικά υψηλό κόστος καθώς απαιτούν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας και εξοπλισμό που πρέπει να κατασκευάζεται από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση (Tsagaraki et al, 2007).

Η χρήση λιμνών επεξεργασίας ή εξατμισοδεξαμενών για τη φυσική εξάτμιση των ΥΑΕ στον αέρα του περιβάλλοντος με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας έχει πολύ χαμηλότερο ενεργειακό κόστος και αποτελεί απλή διαδικασία (Tsagaraki et al, 2007). Συνεπώς, αποτελεί μία μέθοδο που είναι οικονομικά εφαρμόσιμη και αποδοτική, ενώ μπορεί να θεωρηθεί και βιολογική – φυσική μέθοδος καθώς στις χώρες που καλλιεργούνται τα ελαιόδεντρα επιτυγχάνονται υψηλά ποσοστά εξάτμισης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Οι δεξαμενές εξάτμισης χωρίζονται σε ανοικτές και κλειστές. Στις πρώτες το νερό εξατμίζεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους από την ηλιακή ακτινοβολία και παραμένει ένα ίζημα που καθιζάνει και το οποίο πρέπει να απομακρύνεται. Οι δεύτερες συγκεντρώνουν στον πυθμένα τους μεγάλες ποσότητες ιζήματος το οποίο είναι χημικά ασταθές και αποτελεί το 30% του όγκου των αποβλήτων, ενώ αποτελούν πηγές μόλυνσης τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδάτων.

Ανεξάρτητα από το είδος τους οι δεξαμενές εξάτμισης παράγουν πολλές πτητικές ενώσεις που είναι δύσσομες ενώ αμφότερες απαιτούν αυξημένες εργασίες συντήρησης κάτι που τις καθιστά ιδιαίτερα δαπανηρές. Ένα ακόμη μειονέκτημά τους είναι και το γεγονός ότι χάνονται πολύτιμες ουσίες που περιέχονται στα ΥΑΕ και οι οποίες θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν οικονομικά (Γκουτσίδης κ.α., 2011).

Επιπλέον από τη χρήση τους δημιουργούνται πολλές οικολογικές ανησυχίες που αφορούν, μεταξύ άλλων, την πιθανότητα μόλυνσης των υπόγειων υδάτων (αν δεν έχει γίνει σωστά η επένδυση του πυθμένα τους ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα διήθησης και διαρροών) και την εκπομπή μεθανίου στην ατμόσφαιρα (που είναι αποτέλεσμα της αναερόβιας ζύμωσης των αποβλήτων σε αυτές). Ένα ακόμη ζήτημα είναι οι μεγάλες εκτάσεις γης που απαιτούν (περίπου 1m^3 για κάθε $2,5\text{ m}^3$ ΥΑΕ). Τέλος, οι δεξαμενές αυτές πρέπει να βρίσκονται αρκετά μακριά από τις κατοικίες για να αποφεύγονται οι ενοχλήσεις από τα έντομα και τις οσμές (Tsagaraki et al, 2007).

Οι προσπάθειες να βελτιωθεί η τεχνική και οικονομική απόδοση αυτών των δεξαμενών οδήγησαν σε ολοκληρωμένες διαδικασίες εντατικοποίησης της φυσικής ικανότητας εξάτμισής τους με τη χρήση πάνελ με μεγάλες επιφάνειες

ανταλλαγής, η λειτουργία των οποίων ενισχυόταν περαιτέρω με τη χρήση ψεκαστήρων ή υδρο-αντλιών που κινούνταν με αιολική ενέργεια (Zervakis & Balis, 1996).

Στην Ελλάδα, σε μία προσπάθεια βελτίωσης του συστήματος έχει κατασκευαστεί και έχει τεθεί σε λειτουργία, από το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, ήδη από το 2002, ένα απλό σύστημα επεξεργασίας σε πιλοτική κλίμακα, με βάση μία 3-πύρηνη λεκάνη καθίζησης βαρύτητας, κατασκευασμένη από σκυρόδεμα, και μία υπερκείμενη βαθιά δεξαμενή αποθήκευσης, στη Σάμο.

Το μέγεθος της δεξαμενής σχεδιάστηκε για συγκράτηση υγρών τουλάχιστον για δέκα μέρες. Μετά την καθίζηση δια της βαρύτητας, τα ΥΑΕ των ελαιοτριβείων τριών φάσεων σχηματίζουν τρία κλάσματα στη δεξαμενή :

- i. Την επιπλέουσα ελαιώδη κρούστα (που αντιπροσωπεύει το 2,5% - 3% του συνολικού όγκου), η οποία αφαιρείται με το χέρι.
- ii. Το ελαφρύ υπερκείμενο υγρό (που αποτελεί το 68% - 72% του συνολικού όγκου) το οποίο ξεχειλίζει σε μία μικρή χωμάτινη δεξαμενή.
- iii. Το παχύ ίζημα (που αποτελεί το 25% - 29% του συνολικού όγκου) το οποίο μένει αποθηκευμένο στη δεξαμενή

Το παγιδευμένο έλαιο και το παχύ ίζημα φυλάχτηκαν στη δεξαμενή ενώ το ελαφρύ υπερκείμενο υγρό με μειωμένο COD φορτίο κατά περισσότερο από τα 2/3 ξεχειλίζει στη χωμάτινη δεξαμενή. Κατόπιν το ελαφρύ αυτό υγρό μετά την ανάμειξή του με το νερό της βροχής απορρίφτηκε με το κατάλληλο τρόπο σε ένα φίλτρο εδάφους – φυτών και απορροφήθηκε από αυτοφυή βλάστηση.

Η διάθεση της εκροής είχε ολοκληρωθεί μέχρι το τέλος Μαΐου, πριν γίνουν οι οσμές ενόχληση. Το παγιδευμένο έλαιο συλλέχθηκε από την επιφάνεια του 1^{ου} και 2^{ου} πυρήνα ενώ το παχύ ίζημα αφέθηκε να συμπυκνωθεί μέσω της εξάτμισης για μία περίοδο 2 ετών (περίοδοι χαμηλής και υψηλής παραγωγής ελαιόκαρπου) και στη συνέχεια απομακρύνθηκε και απορρίφθηκε στη γη σαν ένα βελτιωτικό εδάφους (Markou et al, 2010).

Η καύση και η πυρόλυση αποτελούν ριζικές και καταστρεπτικές τεχνικές οι οποίες εξαλείφουν κάθε δυνατότητα για περαιτέρω χρήση των ΥΑΕ. Αποτελούν, ακόμη, πολύ ακριβές μεθόδους, με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις που απαιτούν τόσο προεπεξεργασία των λυμάτων όσο και μετα-επεξεργασία των αέριων εκπομπών, ενώ παράλληλα ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι ακριβός. Για τους λόγους αυτούς είναι πιο κατάλληλες για τα ισχυρά ΥΑΕ, τα συμπυκνωμένα διαλύματα ΥΑΕ ή για τον ελαιοπυρήνα.

Η συνδυασμένη θερμική επεξεργασία των ΥΑΕ και του φλοιού του ελαιόκαρπου έχει προταθεί σε μία προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί το ενεργειακό κόστος των θερμικών διαδικασιών. Στις συνδυαστικές αυτές μεθόδους, η απαιτούμενη για την εξάτμιση των ΥΑΕ θερμότητα παράγεται από την καύση των συμπυκνωμένων υπολειμμάτων εξάτμισης των ΥΑΕ ή από το φλοιό του ελαιόκαρπου ή από ένα μείγμα και των δύο. Αυτό που επηρεάζει σημαντικά το κατά πόσο είναι εφικτή αυτή η διαδικασία είναι ο βαθμός ανάμειξης του φλοιού του ελαιόκαρπου και των ΥΑΕ.

Αυτού του είδους τα συστήματα διάθεσης χαρακτηρίζονται από ένα μάλλον υψηλό τεχνολογικό επίπεδο και απαιτούν σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου αλλά και εξειδικευμένο προσωπικό. Συνεπώς είναι πιο κατάλληλα για κεντρικές μονάδες επεξεργασίας, οι οποίες εξυπηρετούν έναν μεγάλο αριθμό ελαιοτριβείων ώστε να αποκομίζουν κέρδη από την οικονομία του μεγέθους (Tsagaraki et al, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

4.1. Εισαγωγή και ορισμός

Η σύγχρονη κοινωνία αντιμετωπίζει πληθώρα προβλημάτων ένα εκ των οποίων είναι και η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή αποβλήτων. Η αειφόρος διαχείριση, η πρόληψη παραγωγής και η μείωση των αποβλήτων αποτελούν σημαντικές πολιτικές προτεραιότητες σε πολλές χώρες του κόσμου ενώ η ανεξέλεγκτη εναπόθεσή τους δεν είναι πλέον αποδεκτή. Άλλωστε, το ζητούμενο σήμερα είναι αφενός η ανάκτηση της ενέργειας και αφετέρου η ανακύκλωση των θρεπτικών όσο και των οργανικών ουσιών.

Τα οργανικά απόβλητα, όπως και η ζωική στερεή και υδαρής κοπριά μπορούν μέσω της αναερόβιας χώνευσης να παράξουν βιοαέριο μετατρέποντάς τα με αυτόν τον τρόπο σε ανανεώσιμη ενέργεια και παράλληλα να προσφέρουν ένα φυσικό εδαφοβελτιωτικό για τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Επιπλέον, με την αφαίρεση του οργανικού μέρους του ρεύματος αποβλήτων αυξάνεται η απόδοση της μετατροπής ενέργειας κατά την αποτέφρωση όσων αποβλήτων έμειναν, ενώ παράλληλα αυξάνεται και η βιοχημική σταθερότητα στους χώρους εναπόθεσης των απορριμμάτων.

Το βιοαέριο αποτελεί ένα από τα δύο κύρια προϊόντα της Αναερόβιας Χώνευσης (ΑΧ). Το άλλο είναι το χωνεμένο υπόλειμμα. Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μία μικροβιολογική διεργασία αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας, η οποία γίνεται απουσία οξυγόνου. Αποτελεί μία συνήθη διαδικασία σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα. Ο άνθρωπος την εφαρμόζει για να παράξει το βιοαέριο σε αεροστεγείς δεξαμενές, οι οποίες λειτουργούν ως αντιδραστήρες και ονομάζονται «χωνευτές» (Al Seadi & Rutz, 2008).

Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο, το οποίο αποτελείται από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και μικρές ποσότητες άλλων αερίων και ιχνοστοιχείων (Nijaguna, 2006; Syed et al, 2013).

Η πρώτη φορά που τεκμηριώθηκε παραγωγή και συλλογή βιοαερίου από μία βιολογική διεργασία ήταν το 1895 και το γεγονός συνέβη στο Ηνωμένο Βασίλειο. Όπως, είναι φυσικό, από τότε μέχρι σήμερα η διεργασία

αναπτύχθηκε περισσότερο και άρχισε να εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αλλά και τη σταθεροποίηση της ιλύος.

Το ενδιαφέρον για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών καυσίμων αυξήθηκε τις προηγούμενες δεκαετίες λόγω της ενεργειακής κρίσης αλλά σήμερα έχει αυξηθεί ακόμα περισσότερο καθώς γίνεται προσπάθεια σε παγκόσμια κλίμακα να περιοριστεί η χρήση των ορυκτών καυσίμων ή να αντικατασταθούν στη διαδικασία παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Ένας ακόμη λόγος για την αύξηση του ενδιαφέροντος για το βιοαέριο είναι η διάχυτη ανάγκη να βρεθεί περιβαλλοντικά φιλική λύση επεξεργασίας και ανακύκλωσης της ζωικής στερεής κοπριάς και των οργανικών υπολειμμάτων (Comparetti et al, 2013).

Σήμερα στην Ασία (σε χώρες όπως η Κίνα, το Βιετνάμ, η Ινδία και το Νεπάλ) υπάρχουν εκατομμύρια χωνευτές βιοαερίου, πολύ απλοί και μικρής κλίμακας, οι οποίοι παράγουν βιοαέριο για μαγείρεμα και φωτισμό (Nijaguna, 2006). Παράλληλα στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική υπάρχουν αρκετές χιλιάδες αγροτικές μονάδες βιοαερίου κάποιες από τις οποίες είναι μεγάλης κλίμακας και χρησιμοποιούν υψηλή τεχνολογία. Ενδεικτικά αναφέρεται πως μόνο στη Γερμανία οι μονάδες αγροτικού βιοαερίου που λειτουργούσαν το 2007 ξεπερνούσαν τις 3.700 (Al Seadi & Rutz, 2008; Syed et al, 2013).

4.2. Εφαρμογές

Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία ποικιλία εφαρμογών ανάλογα με τη φύση της πρώτης ύλης αλλά και την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. Σε γενικές γραμμές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, για παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους, για συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας ή ως καύσιμο οχημάτων (Butz, 2014).

4.2.1. Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας

Η πιο απλή εφαρμογή του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες ή καυστήρες (εικόνα 4.1) για την παραγωγή θερμότητας. Αυτοί οι λέβητες ή καυστήρες χρησιμοποιούνται πάρα πολύ για την καύση του βιοαερίου που

παράγεται από μικρούς οικογενειακούς χωνευτές ενώ η καύση του γίνεται είτε επί τόπου είτε από τους τελικούς χρήστες όπου μεταφέρεται με σωληνώσεις.



Εικόνα 4.1.: Καυστήρας βιοαερίου για την παραγωγή θερμότητας

Για τη χρήση του για παραγωγή θερμότητας δεν απαιτείται να υποστεί καμία αναβάθμιση, αν θα πρέπει να υποβληθεί σε συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, σε συμπίεση, σε ψύξη και σε ξήρανση. Επιπλέον, το επίπεδο μόλυνσης που προκαλείται δεν περιορίζει τη χρήση του τόσο πολύ όσο στην περίπτωση άλλων εφαρμογών (van Foreest, 2012).

4.2.2. Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Πρόκειται για την τυπική εφαρμογή του βιοαερίου σε πολλές χώρες, η οποία θεωρείται ως μία πολύ αποδοτική χρήση του για την παραγωγή ενέργειας. Πριν μετατραπεί στη ΣΗΘ πρέπει να υποστεί στράγγισμα και ξήρανση. Στις περισσότερες μηχανές αερίου υπάρχουν μέγιστα όρια για το υδρόθειο, τους αλογονικούς υδρογονάνθρακες και τις σιλοξάνες που μπορεί να περιέχει το βιοαέριο. Πάντως μία μονάδα ΣΗΘ, η οποία χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης αποδίδει μέχρι 90% ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από αυτή ανέρχεται σε 35% και 65% αντίστοιχα (Karagiannidis et al, 2012).

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή των μονάδων ΣΗΘ είναι οι θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής. Οι μονάδες αυτές είναι τύπου συστοιχίας (BTTP) που διαθέτουν κινητήρες καύσης που συνδέονται με μια γεννήτρια. Προκειμένου οι γεννήτριες αυτές να είναι συμβατές με τη συχνότητα του δικτύου έχουν σταθερή ταχύτητα περιστροφής (1500 στροφές/λεπτό). Οι

κινητήρες είναι μηχανές έγχυσης τύπου Otto, Ντίζελ ή πιλοτικές αλλά όλες λειτουργούν χωρίς πετρέλαιο ανάφλεξης σύμφωνα με την αρχή του Otto και διαφέρουν μόνο στη συμπίεση.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το βιοαέριο χρησιμοποιείται ως ενέργεια διεργασίας για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό της μονάδας παραγωγής του, όπως οι αντλίες, τα συστήματα ελέγχου και οι αναδευτήρες. Βέβαια, σε χώρες που η αγορά ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έχει υψηλά τιμολόγια αγοράς, πωλείται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο ενώ η απαιτούμενη για τις διεργασίες ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο.

Ένα ζήτημα σημαντικό τόσο για την ενεργειακή όσο και για την οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων βιοαερίου είναι το πώς και που θα χρησιμοποιηθεί η παραγόμενη θερμότητα. Η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι να χρησιμοποιείται το 1/3 αυτής για τη θέρμανση των χωνευτών και τα υπόλοιπα 2/3 να διατίθενται για εξωτερικές χρήσεις. Υπάρχουν μάλιστα μονάδες που σχεδιάστηκαν μόνο για ηλεκτροπαραγωγή και δεν διαθέτουν πρόβλεψη για τη διάθεση της θερμότητας (Karagiannidis et al, 2012).

Η χρήση της θερμότητας, όμως, είναι πλέον επιτακτική ανάγκη για να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα της επιχείρησης καθώς οι τιμές της βιομάζας έχουν αυξηθεί, οπότε δεν αρκεί η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για να εξασφαλιστεί η οικονομική επιβίωση της μονάδας παραγωγής. Πρέπει, επομένως, να υπάρχει σε όλες τις μονάδες σχεδιασμός για διάθεση της θερμότητας (Al Seadi et al, 2008).

Η θερμότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς: στη βιομηχανία, στις αγροτικές δραστηριότητες ή για θέρμανση κτιρίων. Όσον αφορά τη χρήση στη βιομηχανία κρίσιμο σημείο αποτελεί η ποιότητα (δηλαδή η θερμοκρασία) της θερμότητας που παράγεται. Η θέρμανση των κτιρίων αποτελεί μία καλή επιλογή αλλά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η ζήτηση έχει έντονες εποχιακές διακυμάνσεις (αυξημένη το χειμώνα και χαμηλή έως μηδενική το καλοκαίρι).

Ένας άλλος τρόπος χρήσης της θερμότητας που παράγεται από το βιοαέριο είναι στην ξήρανση προϊόντων, τεμαχίων ξύλου και στο διαχωρισμό και την

περαιτέρω επεξεργασία του χωνεμένου υπολείμματος. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνδυασμένα συστήματα «ηλεκτρισμού – θερμότητας – δροσιάς». Πρόκειται για διεργασία που είναι γνωστή από τον τρόπο λειτουργίας των ψυγείων (Al Seadi et al, 2008).

Στα συστήματα αυτά η θερμότητα, που αποτελεί την ενέργεια εισαγωγής, μετατρέπεται μέσω μιας διαδικασίας απορρόφησης σε ψύξη. Πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις δροσισμού με συμπίεση είναι αφενός οι μικρότερες φθορές (λόγω ύπαρξης ελάχιστων μηχανικών μερών) και η μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή/και θερμότητας από βιοαέριο είναι οι μηχανές αερίου Otto, οι μηχανές προέγχυσης καυσίμου, οι μηχανές Stirling, οι μικροστρόβιλοι βιοαερίου και οι κυψέλες καυσίμου.

Οι μηχανές Otto είναι ανεπαρκούς καύσης ενώ για να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα λειτουργούν με περίσσεια αέρα. Αυτό, όμως, οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση αερίου, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε μειωμένη απόδοση του κινητήρα. Για να αντισταθμιστούν αυτές οι συνέπειες χρησιμοποιείται ένας στροβιλοφουσητήρας καυσαερίων.

Προκειμένου να λειτουργήσουν οι μηχανές αερίου Otto απαιτείται το βιοαέριο που θα χρησιμοποιηθεί να έχει 45% περιεκτικότητα σε μεθάνιο. Συνήθως οι μικρότερες μηχανές ισχύος μέχρι 100 kW_{el} είναι τέτοιου τύπου. Όταν είναι επιθυμητή υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση χρησιμοποιούνται συστοιχίες προσαρμοσμένων ντιζελοκινητήρων. Καθώς οι δύο μηχανές βασίζονται στην αρχή του Otto ονομάζονται και οι δύο «Μηχανές Αερίου Otto».

Οι μηχανές Otto (εικόνα 4.2.) έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν είτε με βιοαέριο είτε με φυσικό αέριο. Πρόκειται για εξαιρετικά χρήσιμη δυνατότητα ειδικά όταν ξεκινούν οι μονάδες βιοαερίου, που η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτών.



Εικόνα 4.2.: Μηχανές αερίου Otto

Οι μηχανές προέγχυσης καυσίμου βασίζονται στην αρχή της μηχανής ντίζελ ενώ είναι γνωστές και ως μηχανές φυσικού αερίου πιλοτικής έγχυσης ή μηχανές διπλού καυσίμου. Η πιο συχνή χρήση τους είναι στους ελκυστήρες και τα βαρέα οχήματα. Περιλαμβάνουν έναν μείκτη αερίου στον οποίο το βιοαέριο αναμειγνύεται με τον αέρα καύσης. Κατόπιν το μείγμα περνά στο θάλαμο καύσης, όπου εγχέεται αυτόματα πετρέλαιο ανάφλεξης προκαλώντας την ανάφλεξή του.

Αν η παροχή βιοαερίου διακοπεί, οι μηχανές αυτές μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς πρόβλημα και με καθαρό πετρέλαιο ανάφλεξης ή ντίζελ. Το πετρέλαιο ανάφλεξης που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι είτε συμβατικό ντίζελ και πετρέλαιο θέρμανσης είτε «ανανεώσιμο» βιοντίζελ και φυτικό έλαιο.

Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων ελαίων ανάφλεξης συνίστανται στα εξής:

- Δεν περιέχουν διοξείδιο του θείου.
- Εκπέμπουν λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα.
- Είναι βιοδιασπάσιμα (σημαντική παράμετρος για περιπτώσεις διαρροής υγρών)

Εκτός των πλεονεκτημάτων τους, όμως, τα ανανεώσιμα έλαια ανάφλεξης έχουν, όπως είναι φυσικό, και μειονεκτήματα τα οποία είναι τα εξής (Al Seadi et al, 2008):

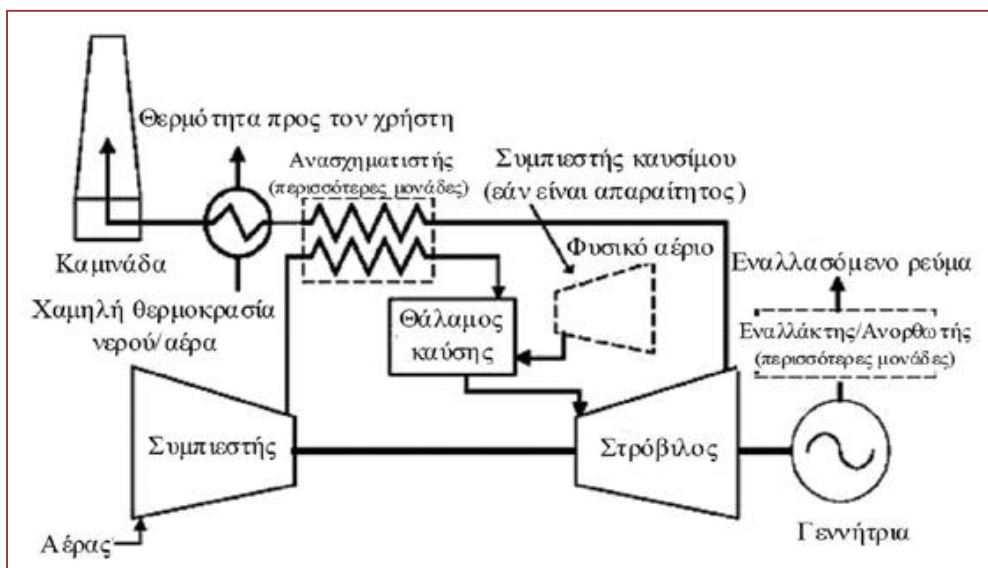
- Μεγαλύτερη φθορά των φίλτρων.
- Απόφραξη των εκτοξευτήρων.
- Χαμηλότερο ιξώδες του φυτικού ελαίου.
- Απελευθερώνουν νιτρώδες οξείδιο

Οι μηχανές Stirling λειτουργούν βάσει της αρχής της θερμικής διαστολής – συστολής που ορίζει ότι οι αλλαγές στη θερμοκρασία των αερίων οδηγούν σε αλλαγές του όγκου τους. Η μηχανή διαθέτει έμβολα που κινούνται από τη διαστολή ενός εσώκλειστου αερίου, η οποία προκαλείται από μία εξωτερική πηγή ενέργειας.

Η παροχή αυτής της ενέργειας μπορεί να γίνει από διάφορες πηγές, όπως από έναν καυστήρα αερίου που λειτουργεί με βιοαέριο. Βέβαια για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν αυτές οι μηχανές για το βιοαέριο πρέπει να γίνει πρώτα κάποια τεχνική προσαρμογή τους. Επίσης, καθώς οι μηχανές αυτές λειτουργούν όχι με εσωτερική καύση αλλά με εξωτερική μπορούν να χρησιμοποιήσουν και βιοαέριο με μικρότερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο (Corria et al, 2006; Pourmovahed et al, 2011).

Η ηλεκτρική αποδοτικότητα αυτών των μηχανών κυμαίνεται από 24% έως και 28%, είναι δηλαδή χαμηλότερη από την αντίστοιχη των μηχανών Otto, ενώ η ισχύς τους συνήθως είναι χαμηλότερη από 50 kW_{el}. Οι θερμοκρασίες των καυσαερίων κυμαίνονται μεταξύ 250°C και 300°C. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου συστοίχιας ενώ οι δαπάνες συντήρησής τους είναι μικρές καθώς τα τμήματά τους εμφανίζουν περιορισμένη φθορά.

Οι μικροστροβίλοι αερίου συμπιέζουν τον αέρα σε έναν θάλαμο καύσης σε υψηλή πίεση και τον αναμειγνύουν με το βιοαέριο. Το αέριο μείγμα (που αποτελείται από αέρα και βιοαέριο) καίγεται ενώ λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας διαστέλλεται. Τα καυτά αέρια διέρχονται κατόπιν μέσω ενός στροβίλου που συνδέεται με την ηλεκτρογεννήτρια (Σχήμα 4.1).

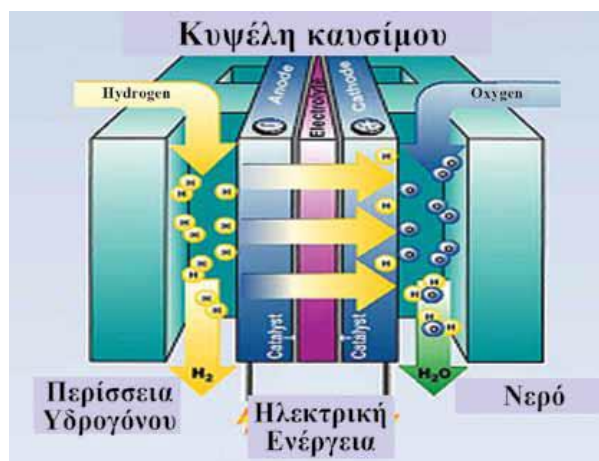


Σχήμα 4.1.: Δομή ενός μικροστροβίλου

Η ηλεκτρική ισχύς των μικροστροβίλων είναι σε γενικές γραμμές μικρότερη από 200 kW_{el}. Παράλληλα είναι αρκετά ακριβοί κάτι που δεν τους καθιστά οικονομικά ανταγωνιστικούς (Μουφλουζέλης, 2005; Al Seadi et al, 2008).

Τέλος, οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές οι οποίες μετατρέπουν τη χημική ενέργεια που παράγεται από μία αντίδραση σε ηλεκτρική ενέργεια. Η βασική δομική μονάδα μίας κυψέλης καυσίμου αποτελείται από μία στρώση ηλεκτρολύτη που βρίσκεται σε επαφή με μία πορώδη άνοδο και κάθοδο και στις δύο πλευρές (σχήμα 4.2).

Το βιοαέριο τροφοδοτείται συνεχώς στο διαμέρισμα της ανόδου, ενώ ένα οξειδωτικό (που είναι το οξυγόνο από τον αέρα) στο διαμέρισμα της καθόδου, δηλαδή στο αρνητικό και θετικό ηλεκτρόδιο αντίστοιχα. Η ηλεκτροχημική αντίδραση που γίνεται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια είναι αυτή που παράγει ρεύμα.



Σχήμα 4.2.: Απλουστευμένο σχηματικό διάγραμμα μιας κυψέλης καυσίμου

Οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου ονομάζονται ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν και μπορούν να είναι χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας. Η επιλογή του τύπου της εξαρτάται από το είδος του αερίου εισαγωγής και τη χρήση θερμότητας. Αυτή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το βιοαέριο είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων.

Η θερμότητα που παράγεται από αυτή μπορεί να διοχετευτεί άμεσα σε ένα δίκτυο θερμότητας/ζεστού νερού καθώς λειτουργεί σε θερμοκρασία 80°C. Είναι, όμως, ιδιαίτερα σημαντικός ο καθαρισμός του αερίου γιατί οι μεμβράνες πρωτονίων είναι πολύ ευαίσθητες στις ακαθαρσίες τους, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα (Ononwiona et al., 2006).

Άλλοι τύποι κυψελών καυσίμου είναι η κυψέλη φωσφορικού οξέως (με χαμηλή ηλεκτρική αποδοτικότητα αλλά μικρότερη ευαισθησία στο διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα στο αέριο), η κυψέλη τηγμένων ανθρακικών αλάτων (που δεν επηρεάζεται από το μονοξείδιο του άνθρακα ενώ ανέχεται συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα μέχρι και 40% κατ' όγκο) και η κυψέλη σταθεροποιημένων οξειδίων.

Η τελευταία λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεταξύ 750°C και 1.000°C, έχει υψηλή ηλεκτρική αποδοτικότητα, ο μετασχηματισμός μεθανίου σε υδρογόνο μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στην κυψέλη ενώ λόγω της χαμηλής

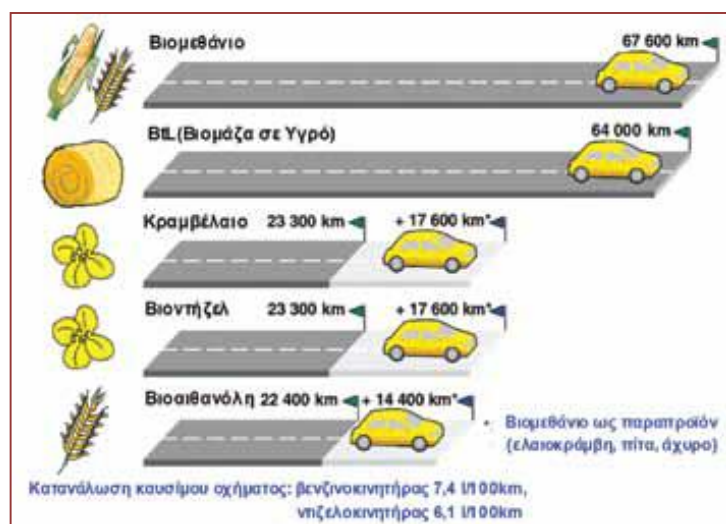
ευαισθησίας της στο θείο είναι ιδανική για η χρήση βιοαερίου (Μουφλουζέλης, 2005).

4.2.3. Αναβάθμιση του βιοαερίου (παραγωγή βιομεθανίου)

Το βιοαέριο μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για τους ίδιους σκοπούς που χρησιμοποιείται το φυσικό αέριο ή (αφού συμπιεστεί) ως καύσιμο οχημάτων. Προηγουμένως, όμως, πρέπει να υποστεί αναβάθμιση, στη διάρκεια της οποίας ενισχύεται το περιεχόμενό του σε μεθάνιο σε περισσότερο από 95% ενώ αφαιρούνται όλοι οι μολυσματικοί παράγοντες και το διοξείδιο του άνθρακα. Το αναβαθμισμένο βιοαέριο ονομάζεται «βιομεθάνιο».

Το αναβαθμισμένο πλέον βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο αυτοκινήτων, όπως χρησιμοποιείται σήμερα το αέριο έναντι των συμβατικών καυσίμων. Τα οχήματα που κινούνται με βιομεθάνιο εκπέμπουν λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα, σωματίδια, αιθάλη, μονο-νιτρικά οξείδια και μεθανογενείς υδατάνθρακες.

Τέλος, το βιομεθάνιο έχει υψηλότερο δυναμικό ως καύσιμο οχημάτων, συγκρινόμενο με άλλα βιοκαύσιμα (εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3.: Σύγκριση βιοκαυσίμων: αυτονομία ενός ΙΧ αυτοκινήτου κινούμενο με βιοκαύσιμα που παράγονται από πρώτες ύλες βιομάζας/ενεργειακές καλλιέργειες προερχόμενες από ένα εκτάριο καλλιεργήσιμης γης

Το δυναμικό του αυξάνεται ακόμα περισσότερο αν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του χρησιμοποιηθούν απόβλητα και όχι ενεργειακές καλλιέργειες .

Το αναβαθμισμένο βιοαέριο μπορεί, όπως προαναφέρθηκε να εγχυθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου, αφού βέβαια πρώτα συμπιεστεί στην πίεση που έχουν οι αγωγοί μεταφοράς. Το δίκτυο μπορεί να συνδέσει τη θέση παραγωγής με τους καταναλωτές και κατ' επέκταση τις αγροτικές με τις πυκνοκατοικημένες περιοχές, ενώ ταυτόχρονα αυτό δίνει τη δυνατότητα αύξησης της παραγωγής βιοαερίου χωρίς ανησυχία για το που θα διοχετευτεί η περίσσεια θερμότητα.

Για την έγχυσή του στο δίκτυο έχουν αναπτυχθεί πρότυπα που καθορίζουν τα όρια για συστατικά όπως το θείο, το οξυγόνο κ.α. ώστε να αποφευχθεί η μόλυνση του δικτύου του αερίου ή των τελικών χρηστών. Απαραίτητη προϋπόθεση, βέβαια, για να μπορεί να εγχυθεί το βιοαέριο στο δίκτυο είναι οι θέσεις παραγωγής και αναβάθμισής του να βρίσκονται κοντά στο δίκτυο του φυσικού αερίου (van Foreest, 2012).

4.2.4. Παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου

Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι σημαντικές ουσίες για τη χημική βιομηχανία και η χρήση του βιοαερίου αποτελεί μία βιώσιμη εναλλακτική λύση για την παραγωγή τους από ορυκτές πηγές ενέργειας. Το καθαρό διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία για την παραγωγή πολυανθράκων, ξηρού πάγου και την επεξεργασία επιφανειών (αμμοβολή). Μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία ως λίπασμα στα θερμοκήπια (Al Seadi et al, 2008).

4.3 Πλεονεκτήματα

Τόσο η παραγωγή όσο και η χρήση του βιοαερίου από την ΑΧ ωφελούν τόσο το περιβάλλον όσο και την κοινωνικά και την οικονομία. Οι τοπικές οικονομίες στις οποίες υπάρχει εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου ενισχύονται σημαντικά, η ανεργία μειώνεται στις αγροτικές περιοχές καθώς εξασφαλίζονται επιπλέον θέσεις εργασίας, η αγοραστική δύναμη αυξάνεται

ενώ το βιοτικό επίπεδο βελτιώνεται και τόσο η οικονομία όσο και η κοινωνία αναπτύσσονται.

4.3.1. Οφέλη για την κοινωνία

Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

Το βιοαέριο αποτελεί μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν ληφθεί υπόψη ότι η παγκόσμια τροφοδοσία ενέργειας σήμερα στηρίζεται κατά κύριο λόγο στα ορυκτά καύσιμα, όπως το αργό πετρέλαιο, ο λιγνίτης κ.α. Αυτά, όμως, αποτελούν μη ανανεώσιμους πόρους καθώς δεν είναι τίποτα περισσότερο από τα απολιθωμένα κατάλοιπα νεκρών φυτών και ζώων που εκτέθηκαν σε υψηλές πιέσεις στο εσωτερικό της γης για εκατομμύρια χρόνια. Καθώς ο ρυθμός εξόρυξής τους είναι πολύ μεγαλύτερος από το ρυθμό παραγωγής τους τα αποθέματα μειώνονται ταχύτατα (Surroop & Begue, 2012).

Αν ληφθεί υπόψη ότι η παγκόσμια οικονομία εξαρτάται από το αργό πετρέλαιο, για το οποίο αρκετοί επιστήμονες υποστηρίζουν είτε ότι έχει έρθει η «πετρελαϊκή αιχμή» είτε ότι αναμένεται σύντομα, γίνεται κατανοητό το όφελος που προκύπτει από μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, όπως το βιοαέριο. Ο όρος *πετρελαϊκή αιχμή* ορίζεται ως «το χρονικό σημείο κατά το οποίο έχει επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής αργού πετρελαίου παγκοσμίως, μετά από το οποίο ο ρυθμός παραγωγής αρχίζει να φθίνει. (Al Seadi et al, 2008, σελ. 11).

Αυτό που καθιστά το βιοαέριο από την ΑΧ μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι το γεγονός ότι παράγεται από βιομάζα, που αποτελεί μία έμβια αποθήκη της ηλιακής ενέργειας μέσα από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Σε επίπεδο χώρας, το βιοαέριο βελτιώνει το ενεργειακό ισοζύγιο ενώ επιπλέον συμβάλλει σημαντικά τόσο στη διατήρηση των φυσικών πόρων όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Συμβολή στη μείωση εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου

Με την καύση των ορυκτών καυσίμων ο άνθρακας που βρισκόταν εγκλωβισμένος στο φλοιό της γης για εκατομμύρια χρόνια απελευθερώνεται

πλέον στην ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα. Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα, που είναι ένα από τα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ), στην ατμόσφαιρα, συντελεί στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας.

Αν και η καύση του βιοαερίου απελευθερώνει επίσης διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα υπάρχει μία βασική διαφορά με τα ορυκτά καύσιμα. Ο άνθρακας που περιέχει το βιοαέριο ελήφθη από την ατμόσφαιρα πρόσφατα μέσα από τη δραστηριότητα της φωτοσύνθεσης, οπότε ο κύκλος άνθρακα του βιοαερίου είναι κλειστός και συντελείται σε μικρό χρονικό διάστημα (Ottinger et al, 2013).

Επιπλέον, η παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ μειώνει τις εκπομπές του μεθανίου και του νιτρώδους οξειδίου με δύο τρόπους: (α) με την αποθήκευση και χρήση της ζωικής στερεής κοπριάς ως εδαφοβελτιωτικό, και (β) υποκαθιστώντας τα ορυκτά καύσιμα από την παραγωγή ενέργειας και τις μεταφορές. Η μείωση αυτή είναι πολύ σημαντική καθώς το μεθάνιο έχει 23 φορές υψηλότερο δυναμικό ως ΑΦΘ από το διοξείδιο του άνθρακα ενώ το νιτρώδες οξείδιο έχει 296 φορές υψηλότερο (Butz, 2014).

Μείωση εξάρτησης από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα

Καθώς τα ορυκτά καύσιμα είναι περιορισμένα και συγκεντρωμένα σε λίγες περιοχές του πλανήτη, οι υπόλοιπες χώρες έχουν μόνιμα ένα ανασφαλές αίσθημα εξάρτησης από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων. Οι περισσότερες χώρες της Ευρώπης εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων από τις περιοχές στις οποίες αφθονούν, όπως η Ρωσία και τα κράτη της Μέσης Ανατολής.

Όταν στις χώρες που δεν διαθέτουν ορυκτά καύσιμα αναπτύσσονται και υλοποιούνται συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως το βιοαέριο από τη ΑΧ, τα οποία στηρίζονται είτε σε εθνικούς είτε σε περιφερειακούς πόρους αυξάνονται τα επίπεδα ασφάλειας του εθνικού ενεργειακού εφοδιασμού και παράλληλα μειώνεται η εξάρτηση της χώρας από τις εισαγωγές ενέργειας (Yimer, 2014).

Συμβολή στους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενέργεια και την προστασία του περιβάλλοντος

Μία από τις κύριες προτεραιότητες που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση στην ενεργειακή και περιβαλλοντική πολιτική της είναι η αντιμετώπιση της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στα πλαίσια αυτά έχει θέσει τρεις στόχους: παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμους πόρους, μείωση των εκπομπών ΑΦΘ και αειφόρος διαχείριση των αποβλήτων. Η παραγωγή και χρήση του βιοαερίου από την ΑΧ ικανοποιεί και τους τρεις συγχρόνως (Al Seadi et al, 2008).

Μείωση αποβλήτων

Με την παραγωγή βιοαερίου τα (ανεπιθύμητα και επικίνδυνα) απόβλητα μετατρέπονται σε ένα πολύτιμο ενεργειακό πόρο, καθώς χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την ΑΧ. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς πολλές ευρωπαϊκές χώρες αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα λόγω της υπερβολικής παραγωγής οργανικών αποβλήτων τόσο από το βιομηχανικό και το γεωργικό τομέα όσο και από τα νοικοκυριά. Παράλληλα διαρκώς θεσπίζονται περισσότεροι περιοριστικοί εθνικοί και ευρωπαϊκοί κανονισμοί για την αξιοποίηση των οργανικών αποβλήτων στην παραγωγή ενέργειας.

Η παραγωγή βιοαερίου είναι ένας από τους καλύτερους αν όχι ο καλύτερος τρόπος για τη συμμόρφωση με όλους αυτούς τους κανονισμούς ενώ παράλληλα συμβάλει στη μείωση του όγκου των αποβλήτων αλλά και των δαπανών για τη διάθεσή τους.

Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Σε όλα τα στάδια της παραγωγής βιοαερίου από την ΑΧ απαιτείται εργατικό δυναμικό: στην παραγωγή, στη συλλογή και μεταφορά της πρώτης ύλης ΑΧ, στην κατασκευή του τεχνικού εξοπλισμού, στην κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των μονάδων παραγωγής βιοαερίου. Συνεπώς με την ανάπτυξη ενός εθνικού τομέα βιοαερίου δημιουργούνται νέες επιχειρήσεις, κάποιες από τις οποίες έχουν σημαντικό οικονομικό δυναμικό, αυξάνονται τα εισοδήματα στις αγροτικές περιοχές και δημιουργούνται θέσεις εργασίας .

Χαμηλές ανάγκες σε νερό

Η ΑΧ απαιτεί μικρές ποσότητες νερού, οι οποίες μάλιστα είναι μικρότερες από αυτές που απαιτούνται για την παραγωγή άλλων καυσίμων. Πρόκειται για πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, το οποίο είναι εξίσου σημαντικό με την ενεργειακή απόδοση του βιοαερίου, καθώς στο μέλλον αναμένεται να υπάρξει σοβαρή έλλειψη υδάτινων πόρων σε πολλές περιοχές του πλανήτη (Al Seadi et al, 2008).

Ευέλικτη και αποδοτική τελική χρήση

Το βιοαέριο είναι κατάλληλο για πολλές χρήσεις από τις απλούστερες (μαγείρεμα και φωτισμός), έως τις πιο σύνθετες (όπως η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας). Παράλληλα μπορεί να αναβαθμιστεί και να τροφοδοτηθεί στα δίκτυα φυσικού αερίου, να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων ή σε κυψέλες καυσίμου (Butz, 2014).

4.3.2. Οφέλη για τους γεωργούς

Πρόσθετη πηγή εσόδων

Οι γεωργοί αντιμετωπίζουν την παραγωγή πρώτης ύλης για τη λειτουργία των μονάδων βιοαερίου πολύ θετικά καθώς τους προσφέρει πρόσθετα έσοδα. Ταυτόχρονα ο κοινωνικός τους ρόλος αποκτά μια νέα διάσταση: είναι πλέον εκτός από προμηθευτές τροφής και προμηθευτές ενέργειας αλλά και υπεύθυνοι για την επεξεργασία των αποβλήτων (Butz, 2014).

Χρήση χωνεμένου υπόλειμματος ως εδαφοβελτιωτικό

Όπως έχει προαναφερθεί, οι ΑΧ έχει δύο κύρια τελικά προϊόντα: το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα. Το βιοαέριο παράγει ενέργεια, ενώ το χωνεμένο υπόλειμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό του εδάφους καθώς είναι πλούσιο σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο και θρεπτικούς μικροοργανισμούς. Η εφαρμογή του στο έδαφος γίνεται με το συνηθισμένο εξοπλισμό που γίνεται και η εφαρμογή της υγρής κοπριάς (Al Seadi et al, 2008; Weiland, 2010).

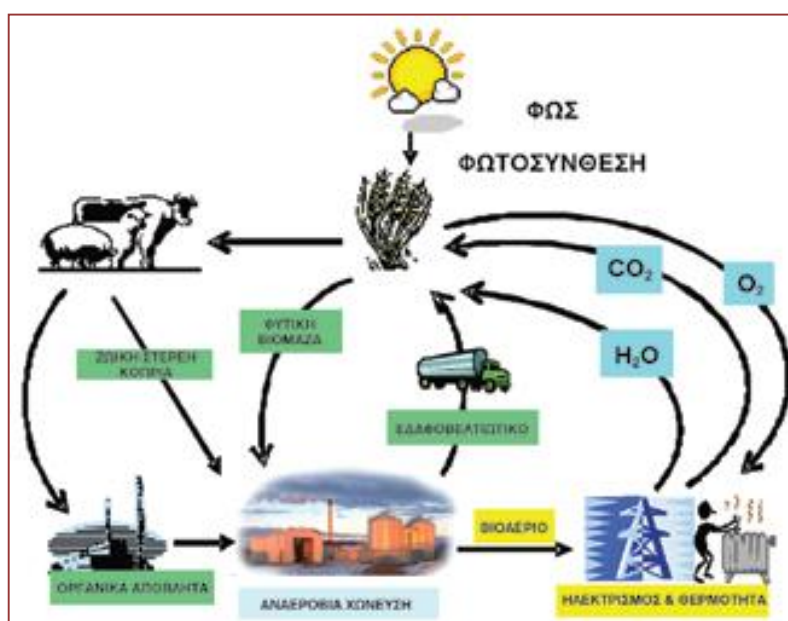
Συγκρινόμενο με την ακατέργαστη ζωική κοπριά το χωνεμένο υπόλειμμα υπερτερεί σημαντικά καθώς έχει βελτιωμένη αποδοτικότητα λίπανσης (επειδή

είναι ομοιογενές και διαθέτει υψηλότερη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών), καλύτερη αναλογία άνθρακα/αζώτου και σημαντικά μειωμένες οσμές (Butz, 2014).

Κλειστός κύκλος θρεπτικών συστατικών

Η παραγωγή του βιοαερίου, ξεκινώντας από την παραγωγή της πρώτης ύλης και φτάνοντας μέχρι τη χρήση του χωνεμένου υπολείμματος, ακολουθεί έναν κλειστό κύκλο θρεπτικών συστατικών και άνθρακα (εικόνα 4.4).

Πιο συγκεκριμένα, το μεθάνιο χρησιμοποιείται για να παραχθεί ενέργεια ενώ το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ξαναδεσμεύεται από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση. Όσες ενώσεις άνθρακα παραμένουν στο χωνεμένο υπόλειμμα είναι χρήσιμες καθώς βελτιώνουν την περιεκτικότητα σε άνθρακα των εδαφών στα οποία εφαρμόζονται ως λίπασμα.



Εικόνα 4.4.: Ο αειφόρος κύκλος του βιοαερίου από ΑΧ

Επιπλέον, αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή βιοαερίου ενσωματώνεται χωρίς κανένα πρόβλημα τόσο στη συμβατική όσο και στην οργανική γεωργία, όπου αντικαθιστά τα χημικά λιπάσματα με το χωνεμένο υπόλειμμα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό αν ληφθεί επιπρόσθετα υπόψη ότι για την παραγωγή των χημικών

λιπασμάτων απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας, οι οποίες προέρχονται από τα ορυκτά καύσιμα (Al Seadi et al, 2008).

Ευελιξία χρήσης διαφορετικών πρώτων υλών

Η παραγωγή του βιοαερίου μπορεί να γίνει από πολλούς και διαφορετικούς τύπους πρώτων υλών (Yimer, 2014) :

- Στερεή και υδαρής ζωική κοπριά.
- Υπολείμματα καλλιέργειών.
- Οργανικά απόβλητα από την παραγωγή γαλακτοκομικών, τις βιομηχανίες τροφίμων και τις αγροτοβιομηχανίες.
- Ιλύς υγρών αποβλήτων.
- Οργανικό κλάσμα των δημοτικών στερεών αποβλήτων.
- Τα οργανικά απόβλητα από νοικοκυριά και επιχειρήσεις εστίασης.
- Ενεργειακές καλλιέργειες.
- Χωματερές (με ειδικές εγκαταστάσεις).

Η δυνατότητα χρήσης διαφόρων τύπων «υγρής βιομάζας» ως πρώτης ύλης που διαθέτουν περιεχόμενο υγρασίας πάνω από 60% - 70% είναι ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της παραγωγής βιοαερίου. Αυτή η «υγρή βιομάζα» μπορεί να είναι ιλύς από επεξεργασία λυμάτων, ζωική υδαρής κοπριά, ιλύς επίπλευσης από τη βιομηχανία τροφίμων κ.α..

Τα τελευταία χρόνια σε διάφορες χώρες (όπως η Αυστρία και η Γερμανία) έχουν χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου πολλές ενεργειακές καλλιέργειες, όπως τα σιτηρά, ο αραβόσιτος και η αγριοκράμβη. Όμως, εκτός από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν και όλα τα είδη γεωργικών υπολειμμάτων ενώ σημαντικό κρίνεται το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι κατεστραμμένες καλλιέργειες.

Ο όρος «κατεστραμμένες καλλιέργειες» αναφέρεται σε αυτές που είτε δεν αναπτύχθηκαν σωστά, είτε είναι, για διάφορους λόγους, ακατάλληλες για βρώση, είτε επηρεάστηκαν από δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Παλιότερα αυτές οι καλλιέργειες θα καταστρέφονταν απλά ενώ σήμερα μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου και λιπάσματος. Τέλος, σαν πρώτη ύλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πολλά ζωικά υποπροϊόντα τα οποία δεν είναι κατάλληλα για βρώση από τους ανθρώπους (Al Seadi et al, 2008).

Αποφυγή μόλυνσης ζώων

Συγκρινόμενο με την μη επεξεργασμένη στερεή και υδαρή κοπριά το χωνεμένο υπόλειμμα που χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό βελτιώνει την κτηνιατρική ασφάλεια με την έννοια ότι εξαλείφονται οι κίνδυνοι μετάδοσης ασθενειών στα ζώα που μπορεί να βαδίσουν πάνω σε αυτό, όταν χρησιμοποιείται ως λίπασμα. Αυτό συμβαίνει γιατί, προκειμένου να θεωρηθεί κατάλληλο για χρήση ως λίπασμα πρέπει πρώτα να υποστεί μία διεργασία ελεγχόμενης υγιεινής (Nijaguna, 2006).

Το χωνεμένο υπόλειμμα μπορεί να «απολυμανθεί» με διάφορους τρόπους:

- Μέσα από την ίδια τη διαδικασία της ΑΧ, καθώς το υπόστρωμα πρέπει να μείνει έναν ελάχιστο χρόνο μέσα στο χωνευτή σε θερμόφιλη θερμοκρασία.
- Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας με παστερίωση.
- Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας με αποστείρωση υπό πίεση.

Ο τρόπος εξαρτάται από το είδος της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται αν και ο στόχος είναι ίδιος σε όλες τις περιπτώσεις: αδρανοποίηση των παθογόνων, καθαρισμός σπόρων και άλλων βιολογικών κινδύνων και αποφυγή μετάδοσης ασθενειών μέσω της εφαρμογής του ως λίπασμα.

Μειωμένες οσμές και έντομα

Οι χώροι αποθήκευσης αλλά και εφαρμογής υγρής κοπριάς, ζωικής κοπριάς και πολλών οργανικών αποβλήτων είναι πηγή δυσάρεστων οσμών και προσέλκυσης εντόμων. Με την ΑΧ οι οσμές μειώνονται κατά 80% ενώ το χωνεμένο υπόλειμμα είναι σχεδόν άοσμο. Οι υπόλοιπες αναθυμιάσεις (αμμωνίας) εξαφανίζονται μόνο λίγες ώρες μετά την εφαρμογή (Al Seadi et al, 2008; Butz, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΕΛΑΙΟΠΟΛΤΟΥ

5.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση

Προκειμένου να επιτευχθεί η παραγωγή του βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση του ελαιοπολτού είναι μεγάλης σημασίας να ελεγχθούν πρώτα οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Οι παράγοντες αυτοί είναι (Κάλφας, 2007):

- Η θερμοκρασία,
- το pH,
- η αλκαλικότητα,
- η χημική σύσταση της τροφοδοσίας,
- οι τοξικές ενώσεις (είτε οι τοξικές ενώσεις και στοιχεία που υπάρχουν στον ελαιοπολτό είτε αυτές που αποτελούν ενδιάμεσα μεταβολικά προϊόντα της αναερόβιας διεργασίας),
- ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των αναερόβιων συστημάτων επεξεργασίας,
- η οργανική φόρτιση των αναερόβιων συστημάτων επεξεργασίας,
- ο εγκλιματισμός της αναερόβιας καλλιέργειας.

Η θερμοκρασία αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει τις περισσότερες μικροβιακές διεργασίες, συνεπώς και τη μεθανογένεση. Οι αντιδράσεις έχουν αυξανόμενο ρυθμό όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία, αν και μέχρι ενός σημείου. Σε γενικές γραμμές ο ρυθμός των αντιδράσεων αυξάνει μέχρι τη θερμοκρασία των 60°C. Επιπλέον, η θερμοκρασία, εκτός από την επίδραση που ασκεί στη μεταβολική δραστηριότητα των μικροβιακών πληθυσμών, επιδρά και στο ρυθμό μεταφοράς αερίων αλλά και στα χαρακτηριστικά καθίζησης των βιολογικών στερεών (Nijaguna, 2006):

Η βέλτιστη ανάπτυξη των μικροοργανισμών παρατηρείται σε τρεις θερμοκρασιακές περιοχές:

- i. Ψυχρόφιλη ($T < 20^{\circ}\text{C}$).

- ii. Μεσόφιλη ($20 < T < 45^{\circ}\text{C}$). Εδώ η βέλτιστη θερμοκρασία είναι αυτή των 35°C .
- iii. Θερμόφιλη ($T > 45^{\circ}\text{C}$). Εδώ η βέλτιστη θερμοκρασία είναι αυτή των 55°C .

Για την αναερόβια χώνευση οργανικού υλικού (συνεπώς και του ελαιοπολτού) φαίνεται ότι υπερέχει η θερμόφιλη χώνευση, αν και είναι οικονομικά ασύμφορη και δύσκολα εφαρμόσιμη καθώς έχει υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, μεγαλύτερη ευαισθησία σε τοξικές ενώσεις και τα συστήματά της εμφανίζουν μειωμένη ευστάθεια.

Τα σημαντικά πλεονεκτήματά της, όμως, που δεν μπορούν να αγνοηθούν είναι ο μεγαλύτερος ρυθμός παραγωγής μεθανίου, το υψηλότερο ποσοστό αποδόμησης οργανικών στερεών, ο καλύτερος διαχωρισμός υγρής – στερεάς φάσης και η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών (Κάλφας, 2007).

Τέλος, όσον αφορά τη θερμοκρασία, θα πρέπει να αποφεύγεται όσο είναι δυνατόν η απότομη μεταβολή της καθώς μπορεί να προκληθεί σημαντική διαταραχή στην αναερόβια διαδικασία, η κυριότερη συνέπεια της οποίας είναι η συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων.

Η ρύθμιση του pH είναι μεγάλης σημασίας καθώς η παραγωγή μεθανίου γίνεται σε ουδέτερο pH. Αν οι τιμές του πέσουν (λόγω συσσώρευσης λιπαρών οξέων) το σύστημα μπορεί να αυτορυθμιστεί εφόσον η αλκαλικότητα είναι υψηλή, διαφορετικά η παραγωγή μεθανίου παρεμποδίζεται ή διακόπτεται εντελώς (Zurancic & Grilc, 2012; Ζακούρα, 2014).

Η αλκαλικότητα είναι σημαντική καθώς τα υψηλά επίπεδά της, όπως προαναφέρθηκε, είναι αυτά που κρατούν τις τιμές του pH στα επιθυμητά όρια. Η αλκαλικότητα σε έναν αναερόβιο χωνευτήρα μειώνεται καθώς το διοξείδιο του άνθρακα μεταπίπτει από την αέρια φάση του στην υγρή, οπότε η συγκέντρωσή του στην αέρια φάση, αντικατοπτρίζει τις απαιτήσεις σε αλκαλικότητα. Όταν απαιτηθεί ρύθμισή της προστίθεται συνήθως ένα από τα ακόλουθα χημικά (Κάλφας, 2007):

- Ασβέστης
- Υδροξείδιο του νατρίου

- Σόδα
- Άνυδρη αμμωνία
- Όξινο ανθρακικό αμμώνιο.

Η χημική σύσταση της τροφοδοσίας, δηλαδή του υλικού που τίθεται προς αναερόβια χώνευση, είναι ο σημαντικότερος παράγοντας διαμόρφωσης του μικροβιολογικού πληθυσμού της αναερόβιας χώνευσης. Τα κυριότερα συστατικά που χρειάζονται για την ομαλή διεξαγωγή της διαδικασίας είναι ο άνθρακας, το άζωτο και ο φώσφορος (που αποκαλούνται και θρεπτικά συστατικά) και το θείο.

Απαραίτητα είναι επίσης ο σίδηρος, το κοβάλτιο, το μολυβδαίνιο, το νικέλιο, το μαγνήσιο, το ασβέστιο, το νάτριο, το βάριο, το σελήνιο και ο ψευδάργυρος. Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων συνήθως έχουν, όπως έχει προαναφερθεί στο οικείο κεφάλαιο, σε επαρκείς συγκεντρώσεις τα στοιχεία αυτά

Οι τοξικές ενώσεις ή στοιχεία που μπορεί να υπάρχουν στο υλικό μπορούν να προκαλέσουν αναστολή της αναερόβιας χώνευσης καθώς τα περισσότερα μεθανογόνα βακτήρια δεν αντέχουν σε πολλές από αυτές. Οι ενώσεις αυτές και τα στοιχεία περιλαμβάνουν το οξυγόνο, την αμμωνία, τα βαρέα μέταλλα, τους χλωριωμένους υδρογονάνθρακες, τη φορμαλδεΐδη, το υδρόθειο, τα θειούχα και θειικά ανιόντα, την αλατότητα και τις αρωματικές ενώσεις.

Από αυτά ιδιαίτερης σημασίας είναι οι αρωματικές ενώσεις στις οποίες ανήκουν και οι φαινόλες που συνήθως έχουν μεγάλη συγκέντρωση στα απόβλητα των ελαιοτριβείων. Από τις αρωματικές ενώσεις οι τοξικότερες είναι οι νιτροφαινόλες, οι χλωροφαινόλες και οι υδροξυφαινόλες.

Στις τοξικές ενώσεις ανήκουν και αυτές που παράγονται ως προϊόντα της ίδιας της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης, οι οποίες μπορούν να παρεμποδίσουν τη διεργασία αν βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Οι ενώσεις αυτές είναι τα ανώτερα λιπαρά οξέα και τα πτητικά λιπαρά οξέα. Οι επιπτώσεις τους, όμως, εξαρτώνται πολλές φορές και από την τιμή του pH και της ολικής αλκαλικότητας στον αντιδραστήρα (Κάλφας, 2007; Ζακούρα, 2014).

Αυτά, πάντως, που προτείνονται ως παράμετροι ελέγχου της διαδικασίας καθώς αναγνωρίζονται ως τα πιο σημαντικά ενδιάμεσα προϊόντα της αναερόβιας διεργασίας είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα (Κάλφας, 2007).

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής αναερόβιων συστημάτων επεξεργασίας είναι ο χρόνος κατά τον οποίο ο ελαιοπολτός παραμένει στον αναερόβιο χωνευτήρα και πρέπει να είναι αρκετός ώστε τα αναερόβια βακτήρια να προλάβουν να ολοκληρώσουν το μεταβολισμό τους και να πολλαπλασιαστούν. Ο μικρός χρόνος έχει αποτέλεσμα μικρή αποδόμηση του υλικού τροφοδοσίας ενώ ο μεγάλος υψηλό λειτουργικό κόστος, οπότε συνήθως γίνεται συμβιβασμός μεταξύ απόδοσης και οικονομίας, αν και ο χρόνος επηρεάζεται και από τον τύπο του χωνευτήρα.

Οι χρόνοι παραμονής για τους μεσόφιλους και θερμόφιλους αντιδραστήρες κυμαίνονται μεταξύ 15 και 35 ημερών. Βέβαια, μπορεί να υπάρχουν, ανάλογα με τον τύπο κάθε συστήματος και μικρότεροι χρόνοι παραμονής. Σε γενικές γραμμές, ο χρόνος παραμονής εξαρτάται από τα επιμέρους χαρακτηριστικά του αποβλήτου και τον τύπο του χωνευτήρα (Nijaguna, 2006).

Αν ο χωνευτήρας βασίζεται σε ανάπτυξη βακτηριδίων προσκολλημένων σε ένα μέσο (ταχύρρυθμα συστήματα) ο τυπικός χρόνος παραμονής είναι 1-10 ημέρες. Αν ο χωνευτήρας βασίζεται σε ανάπτυξη αιωρούμενων βακτηρίων σε υγρό (συμβατικά συστήματα) ο τυπικός χρόνος παραμονής κυμαίνεται από 10 έως 60 ημέρες.

Η οργανική φόρτιση των αναερόβιων συστημάτων επεξεργασίας ή για την ακρίβεια ο ρυθμός φόρτισης είναι ζωτικής σημασίας καθώς καθορίζει τον υδραυλικό χρόνο παραμονής εφόσον η σύσταση του αποβλήτου είναι σταθερή. Εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο το απόβλητο παρέχεται στους μικροοργανισμούς και ορίζεται ως η μάζα της οργανικής ύλης. Η μέγιστη τιμή εξαρτάται από το σχεδιασμό του αντιδραστήρα και τη σύσταση του αποβλήτου.

Η διαφορετική τροφοδοσία μπορεί να επιτευχθεί με τη μεταβολή του ρυθμού ροής της στο χωνευτήρα ή με τη συγκέντρωση του οργανικού φορτίου της τροφοδοσίας. Το δεύτερο είναι φυσικό ότι δεν μπορεί να μεταβληθεί, οπότε

χρησιμοποιείται η αλλαγή του ρυθμού ροής. Πρέπει, όμως, να γίνεται με προσοχή γιατί η υπερβολική φόρτιση δημιουργεί ασταθείς συνθήκες που τελικά παρεμποδίζουν τη διεργασία.

Ο εγκλιματισμός της αναερόβιας καλλιέργειας μπορεί να επιτευχθεί, όταν μια ετερογενής αναερόβια μικροβιακή καλλιέργεια έχει τροφοδοτηθεί με το συγκεκριμένο υπόστρωμα (στη συγκεκριμένη περίπτωση με τα απόβλητα των ελαιουργείων) για διάστημα ίσο και μεγαλύτερο με 12 χρόνους παραμονής. Η εγκλιματισμένη μικροβιακή καλλιέργεια εμφανίζει καλύτερη αποδόμηση του προς χώνευση υλικού.

5.2. Συστήματα αναερόβιας χώνευσης

Διάφορα συστήματα έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και η επιλογή εξαρτάται από οικονομικά κριτήρια και από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υλικού που θα χωνευτεί (Κάλφας, 2007; Μπλίκας, 2009 ; Ζακούρα, 2014).

Για να είναι αποδοτικό ένα αναερόβιο σύστημα πρέπει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

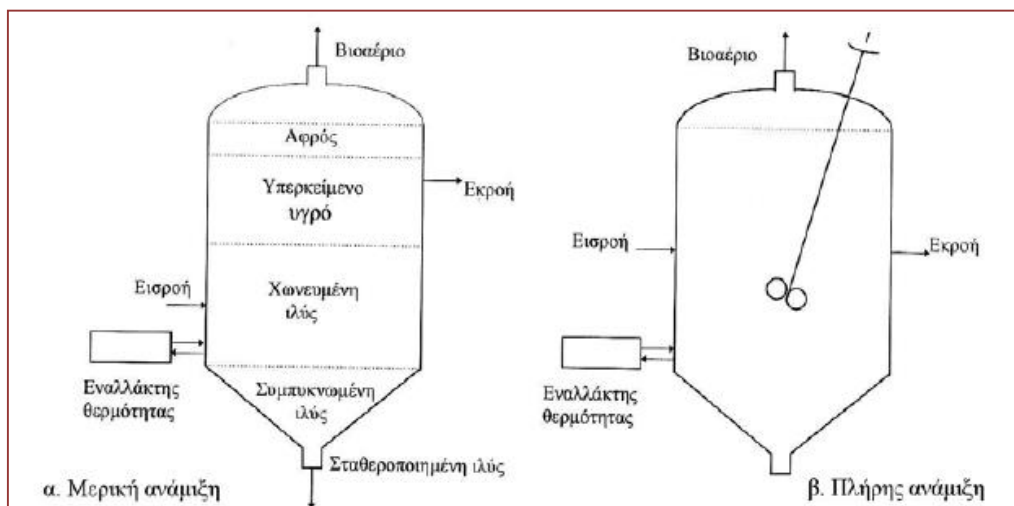
- Υψηλή κατακράτηση της ενεργούς βιομάζας στον αντιδραστήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.
- Επαρκής επαφή της βιομάζας και του διαθέσιμου προς χώνευση αποβλήτου.
- Υψηλούς ρυθμούς αντιδράσεων και απουσία περιορισμών από φαινόμενα μεταφοράς.
- Ικανότητα προσαρμογής βιομάζας σε διαφορετικούς τύπους αποβλήτων.
- Επικράτηση ευνοϊκών συνθηκών για όλα τα είδη των μικροοργανισμών στις επιβαλλόμενες λειτουργικές συνθήκες.

Τα συστήματα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- i. Συμβατική αναερόβια χώνευση. Βασίζονται στην ανάπτυξη αιωρούμενων μικροοργανισμών σε υγρό μέσο.
- ii. Ταχύρρυθμη αναερόβια χώνευση. Οι μικροοργανισμοί προσκολλώνται σε κάποιο στέρεο πληρωτικό υλικό

- iii. Υβριδικοί αναερόβιοι χωνευτήρες. Αποτελούν συνδυασμό των δύο προηγούμενων ή λειτουργούν με τρόπο που να ευνοείται ο σχηματισμός κοκκώδους λάσπης στο εσωτερικό τους.

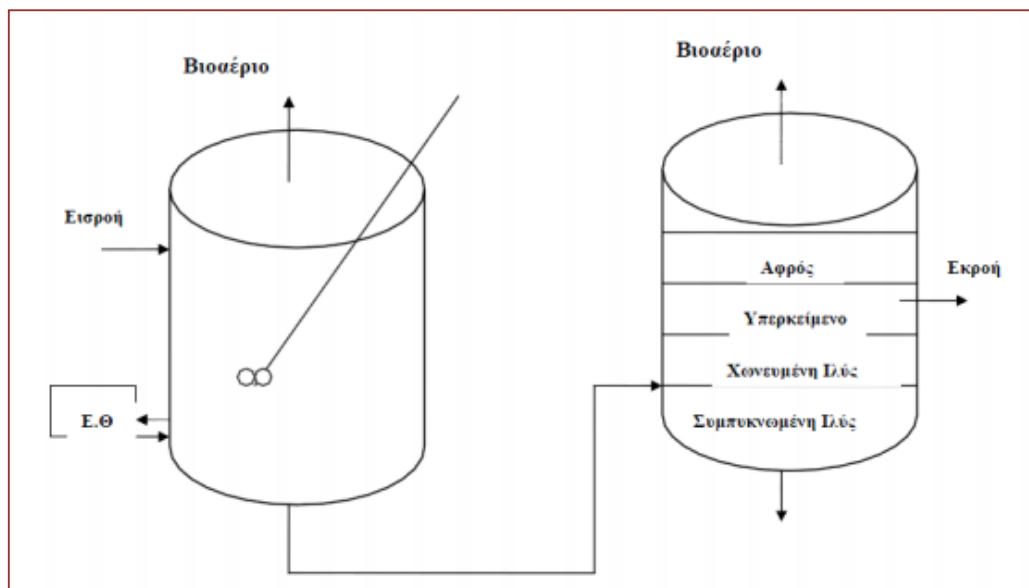
Η συμβατική αναερόβια χώνευση είναι δύο ειδών: ενός σταδίου και δύο σταδίων. Αυτή του ενός σταδίου αποτελεί τον απλούστερο σχεδιασμό αναερόβιου χωνευτήρα, ο οποίος στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελείται από μία κυλινδρική δεξαμενή (σχήμα 5.1). Η ανάμειξη (πλήρης ή μερική) γίνεται με τρεις τρόπους: (α) με μηχανικό αναδευτήρα, (β) με ανακυκλοφορία του παραγόμενου βιοαερίου, και (γ) με ανακυκλοφορία υγρού μέσα από εναλλάκτες θερμότητας (Κάλφας, 2007 ; Ζακούρα, 2014).



Σχήμα 5.1.: Συμβατική αναερόβια χώνευση ενός σταδίου

Στη διαδικασία αυτή διακρίνονται τρεις βασικοί τρόποι λειτουργίας ανάλογα με τους οποίους ο αναδευτήρας ονομάζεται διαλείπωντος έργου (Advanced Sequencing Batch Reactor – ASBR), ημιδιαλείπωντος έργου ή συνεχούς τροφοδότησης και συνεχούς λειτουργίας (Μπλίκας, 2009).

Η αναερόβια χώνευση δύο σταδίων γίνεται σε δύο χωνευτήρες. Συνήθως αυτός που θερμαίνεται είναι ο πρώτος (σχήμα 5.2). Συγκρινόμενη η διάταξη αυτή με την ενός σταδίου φαίνεται ότι οι υδραυλικοί χρόνοι παραμονής είναι μικρότεροι και οι αντιδραστικές δέχονται υψηλότερες οργανικές φορτίσεις.



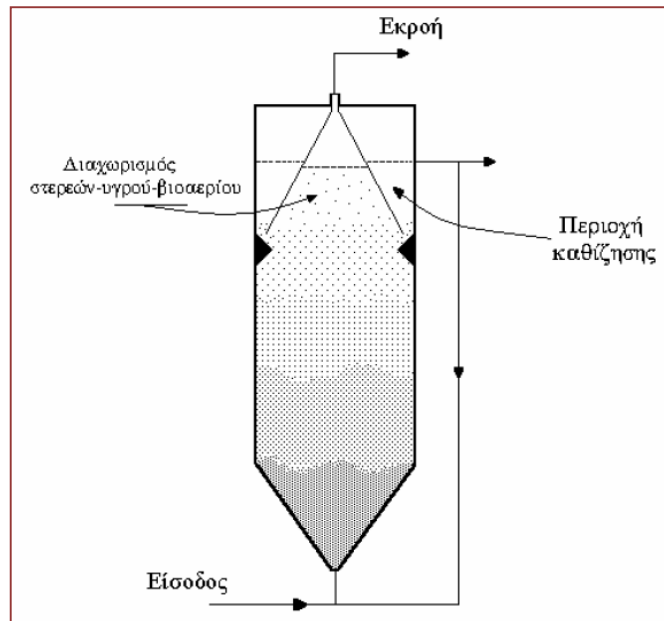
Σχήμα 5.2.: Διάταξη συμβατικής αναερόβιας χώνευσης δύο σταδίων (Ζακούρα, 2014)

Η βιολογική επεξεργασία γίνεται κατά κύριο λόγο στον πρώτο αντιδραστήρα ενώ στο δεύτερο διαχωρίζονται τα στερεά από το υγρό και η λάσπη που συγκεντρώνεται επιστρέφει στον πρώτο. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών και μεθανογόνων μικροοργανισμών.

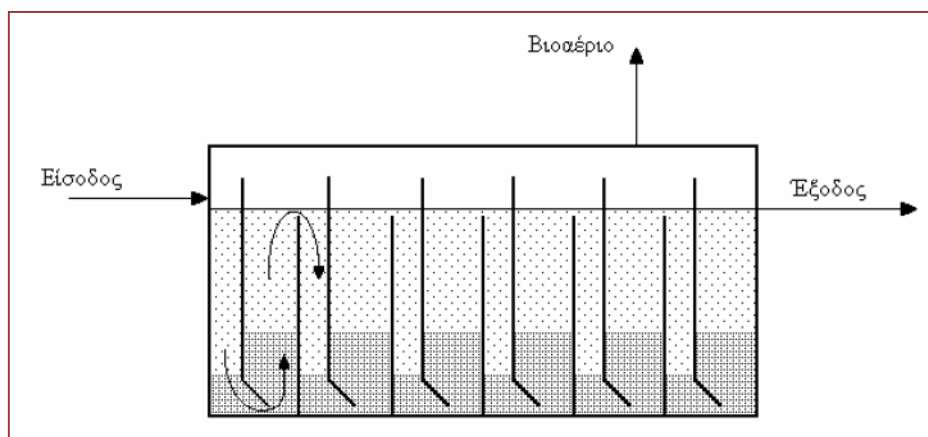
Η ταχύρρυθμη αναερόβια χώνευση, που βασίζεται στην ανάπτυξη μικροοργανισμών προσκολλημένων σε πληρωτικό υλικό, εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα κυρίως για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων μέτριας οργανικής ισχύος, που έχουν ελάχιστα αιωρούμενα στερεά. Το πληρωτικό υλικό μπορεί: (α) να σχηματίζει σταθερή κλίνη (αναερόβιο φίλτρο), ή (β) να αιωρείται σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ροής (διαστελλόμενη και ρευστοποιημένη κλίνη).

Οι υβριδικοί αναερόβιοι χωνευτήρες έχουν σχεδιασμό που ευνοεί την καθίζηση των μικροοργανισμών, οπότε μπορούν να λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες ροής. Ταυτόχρονα, είναι ικανοί να διατηρούν υψηλές τιμές συγκέντρωσης βιομάζας και χρόνου παραμονής στερεών. Καθώς η απόδοσή τους είναι μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η συγκέντρωση στερεών η συνήθης χρήση τους αφορά απόβλητα με τέτοιου είδους συγκέντρωση.

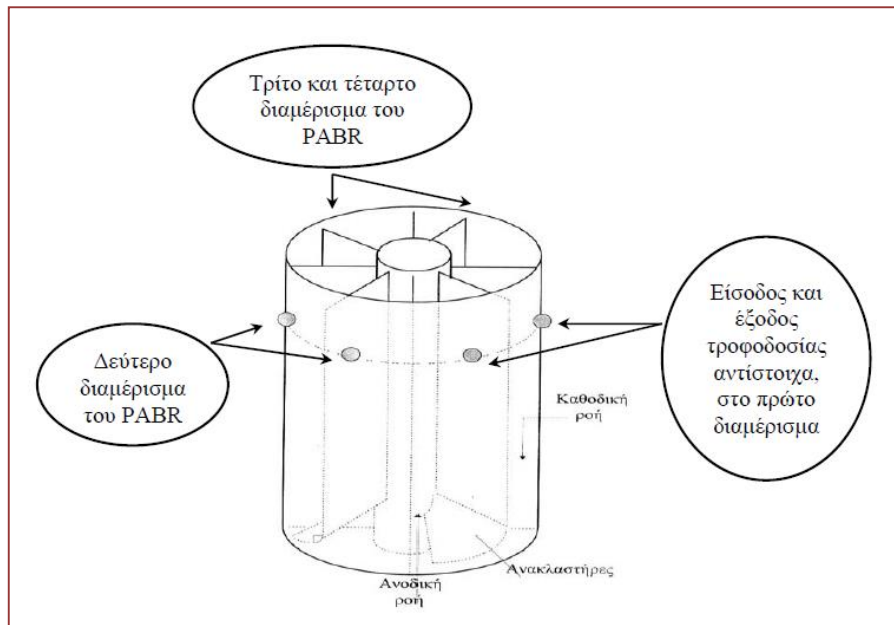
Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι υβριδικών αναερόβιων χωνευτήρων είναι: ο χωνευτήρας ανοδικής ροής μέσω στρώματος λάσπης (Upflow Anaerobic Sludge Bed - UASB), ο χωνευτήρας εναλλασσόμενης καθοδικής και ανοδικής ροής και ο περιοδικός αναερόβιος χωνευτήρας εναλλασσόμενης καθοδικής και ανοδικής ροής (Periodic Anaerobic Baffled Reactor – PABR). Οι διάφοροι τύποι χωνευτήρων παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα (5.3 - 5.5) (Κάλφας, 2007).



Σχήμα 5.3.: Χωνευτήρας ανοδικής ροής μέσω στρώματος λάσπης



Σχήμα 5.4.: Αναερόβιος χωνευτήρας εναλλασσόμενης καθοδικής και ανοδικής ροής με έξι διαμερίσματα

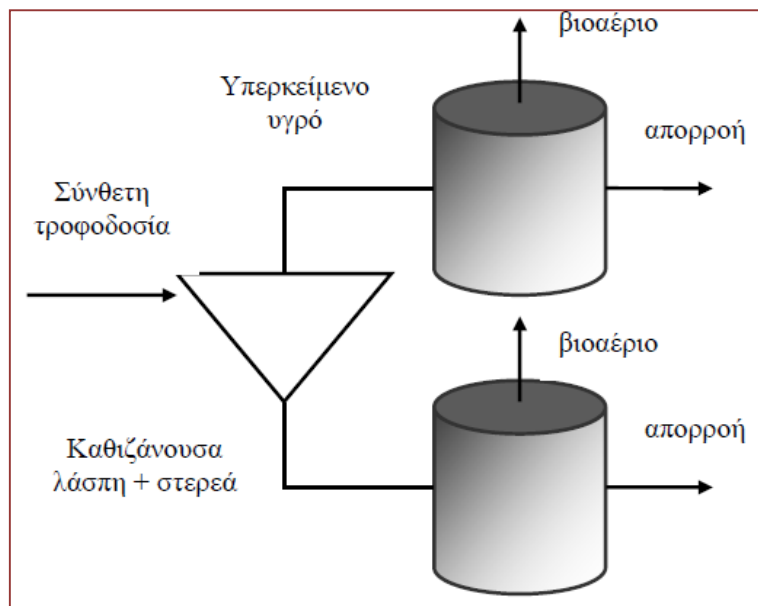


Σχήμα 5.5.: Περιοδικός αναερόβιος χωνευτήρας με ανακλαστήρες με τα τέσσερα διαμερίσματά του

Άλλα είδη υβριδικών αναερόβιων χωνευτήρων που χρησιμοποιούνται είναι το αναερόβιο φίλτρο με στρώμα λάσπης, οι αναερόβιες λίμνες σταθεροποίησης και η καλυμμένη αναερόβια λεκάνη.

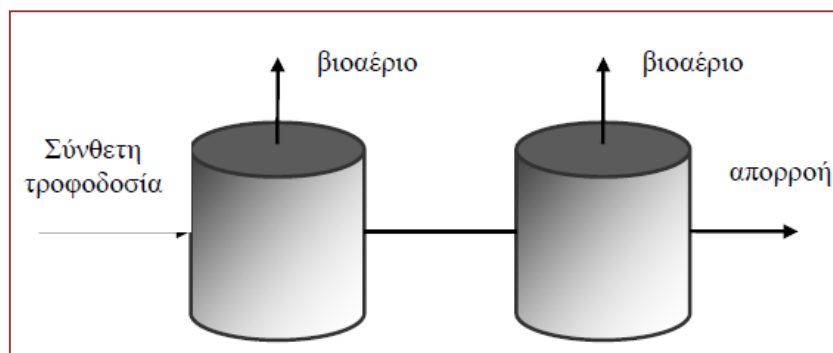
Όπως προαναφέρθηκε, μία μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιεί ένα χωνευτήρα (όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις) ή να συνδυάζει τη χρήση δύο ή και περισσότερων χωνευτήρων. Στην περίπτωση αυτή οι διεργασίες που διακρίνονται (ανάλογα με τη διάταξη που χρησιμοποιείται) είναι τριών ειδών: παράλληλες, δύο ή περισσότερων σταδίων και δύο φάσεων.

Οι παράλληλες διεργασίες περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερους αναερόβιους χωνευτήρες που λειτουργούν σε παράλληλη διάταξη (σχήμα 5.6).



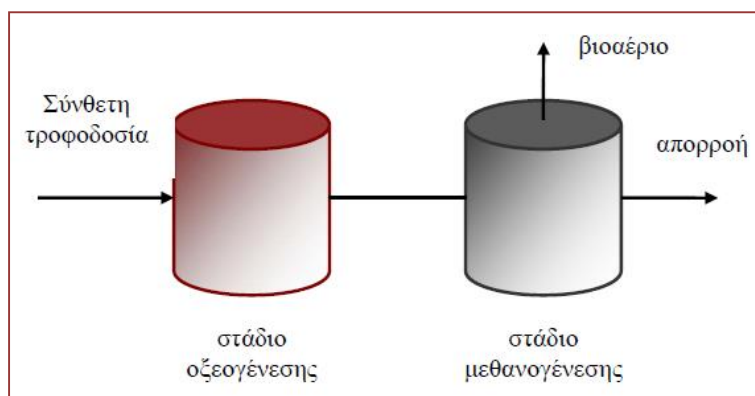
Σχήμα 5.6.: Παράλληλη διεργασία αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων

Οι διεργασίες δύο ή περισσότερων σταδίων περιλαμβάνουν τόσους χωνευτήρες όσα και τα στάδια και είναι τοποθετημένοι σε σειρά (σχήμα 5.7).



Σχήμα 5.7.: Διεργασία δύο σταδίων

Τέλος, στις διεργασίες δύο φάσεων η οξεογένεση και η μεθανογένεση συντελούνται σε δύο ξεχωριστούς αντιδραστήρες (σχήμα 5.8). Οι διεργασίες αυτού του είδους μειώνουν τον απαιτούμενο συνολικό χρόνο αντίδρασης ενώ παράλληλα επιδέχονται και καλύτερο έλεγχο (Κάλφας, 2007 ; Μπλίκας, 2009).



Σχήμα 5.8.: Διεργασία δύο φάσεων

5.3. Μονάδα παραγωγής βιοαερίου με αναερόβια χώνευση αποβλήτων ελαιοτριβείων

Μία μονάδα παραγωγής βιοαερίου αποτελεί μία σύνθετη εγκατάσταση, ειδικά αν συνοδεύεται και από εγκατάσταση αναβάθμισής του. Η διάταξή της εξαρτάται από τον τύπο και την ποσότητα της πρώτης ύλης. Οι επιμέρους συνιστώσες της εγκατάστασης και οι διεργασίες που εκτελούνται σε κάθε επιμέρους τμήμα της παρουσιάζονται στη συνέχεια (Σεβαστού, 2014).

Το πρώτο βήμα είναι η παραλαβή της πρώτης ύλης από τα ελαιοτριβεία, για τη μεταφορά της οποίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά διαμορφωμένα οχήματα μεταφοράς, που πρέπει να είναι κλειστά, στεγανά, να φέρουν σήμανση και να είναι εφοδιασμένα με πλάγιο ανυψωτικό μηχανισμό προκειμένου να μπορούν να αδειάσουν το περιεχόμενο των κάδων τους στις δεξαμενές αποθήκευσης της εγκατάστασης.

Αφού γίνει ο απαραίτητος οπτικός έλεγχος (για τον έλεγχο, τον υπολογισμό και τη διακρίβωση του υλικού), οδηγείται σε ειδική πλατφόρμα ζύγισης (εικόνα 5.1). Εκεί καταγράφεται το βάρος παράδοσης και όλα τα στοιχεία της πρώτης ύλης.



Εικόνα 5.1.: Πλατφόρμα ζύγισης

Ακολουθεί η αποθήκευση της πρώτης ύλης, που είναι χρήσιμη προκειμένου να αντισταθμιστούν οι εποχιακές διακυμάνσεις του εφοδιασμού με πρώτη ύλη, ενώ ταυτόχρονα κάνει πιο εύκολη την ανάμειξη των διαφορετικών ομο-υποστρωμάτων για συνεχή εφαρμογή στο χωνευτήρα.

Τα ομο-υποστρώματα μπορούν να αναμειχθούν με τα κύρια μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης, να θρυμματιστούν και να ομογενοποιηθούν έτσι ώστε να μετασχηματιστούν σε ένα μείγμα που θα μπορεί να αντληθεί. Οι δεξαμενές αποθήκευσης εξοπλίζονται με αναδευτήρες, προκειμένου να αποφευχθεί η απόφραξη, η ιζηματογένεση, η δημιουργία στρωμάτων επίπλευσης και ο διαχωρισμός φάσης του μείγματος της πρώτης ύλης. Οι αναδευτήρες αυτοί συχνά συνδυάζονται με εργαλεία σκισίματος και κοπής προκειμένου να επιτευχθεί η θραύση της πρώτης ύλης.

Όπως είναι φυσικό, η στερεή και υγρή πρώτη ύλη δεν αποθηκεύονται σε ίδιου τύπου εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Οι αποθήκες τύπου σιλό από γαλβανισμένο χάλυβα (εικόνα 5.2) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση των στερεών αποβλήτων, ενώ για την αποθήκευση των υγρών σφραγισμένες, υδατοστεγείς δεξαμενές κατασκευασμένες από ενισχυμένο σκυρόδεμα ή κυλινδρικές δεξαμενές από γαλβανιζέ ατσάλι (εικόνα 5.3) (Σεβαστού, 2014).



Εικόνα 5.2.: Κυλινδρικό σιλό από γαλβανισμένο χάλυβα

Εικόνα 5.3.: Παράδειγμα κυλινδρικής δεξαμενής αποθήκευσης

Τα στάδια της προεργασίας περιλαμβάνουν το θρυμματισμό των στερεών αποβλήτων και την ομογενοποίηση των υγρών και την αραίωση. Στην περίπτωση των στερεών αποβλήτων χρειάζεται ο θρυμματισμός προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος της αναερόβιας χώνευσης. Οι μηχανές θρυμματισμού (εικόνα 5.4) έχουν ικανότητες θρυμματισμού διαφόρων ποσοτήτων πρώτης ύλης, ανάλογα με το μοντέλο.



Εικόνα 5.4.: Μηχανή θρυμματισμού ελαιοπυρηνόξυλου

Τα υγρά απόβλητα πρέπει να υποστούν ομογενοποίηση προκειμένου η πρώτη ύλη (που στη συνέχεια θα τροφοδοτείται στο χωνευτήρα μέσω

αντλιών) να ληφθεί με σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται μέσα στις δεξαμενές αποθήκευσης πριν την άντληση του υλικού στον κύριο χωνευτήρα. Η επιλογή του αναδευτήρα (εικόνα 5.5) εξαρτάται από την ποσότητα των αποβλήτων που βρίσκονται μέσα στη δεξαμενή (Σεβαστού, 2014).



Εικόνα 5.5.: Αναδευτήρας ομογενοποίησης των υγρών αποβλήτων

Όπως προαναφέρθηκε, οι φαινόλες που περιέχουν τα ΥΑΕ έχουν τοξική δράση στα αναερόβια βακτήρια. Επομένως, πρέπει να γίνει προηγουμένως εξουδετέρωσή τους, έστω και μερική, ή να αραιωθούν τα ΥΑΕ με νερό για να μειωθεί η συγκέντρωσή τους κάτω από το όριο που είναι τοξικές για τα αναερόβια βακτήρια.

Αφού η πρώτη ύλη αποθηκευτεί και υποστεί την κατάλληλη προεργασία, τροφοδοτείται στο χωνευτήρα. Η τεχνική τροφοδοσίας εξαρτάται από τον τύπο της πρώτης ύλης και την ικανότητα άντλησής της. Οι πρώτες ύλες που μπορούν να αντληθούν μεταφέρονται από τις δεξαμενές στον χωνευτήρα με αντλίες ενώ η στερεά ύλη με μεταφορική ταινία ή κοχλιομεταφορέα.

Η επιλογή της αντλίας εξαρτάται από την προς άντληση παροχή και από το ύψος στο οποίο πρέπει τα ΥΑΕ (κατσίγαρος) να εισέρχονται στο χωνευτήρα. Κατόπιν γίνεται η τροφοδότηση του νερού αραιώσης στο χωνευτήρα με αντλία όμοιου τύπου με αυτήν που μεταφέρει τον κατσίγαρο στο χωνευτήρα καθώς η παροχή του νερού και το επιθυμητό ύψος διακίνησης ταυτίζονται με αυτά του κατσίγαρου.

Η διάμετρος των σωληνώσεων είναι σημαντική για την αποφυγή εμφράξεων τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο. Επίσης, επειδή τα κινητά μέρη των

αντλιών υφίστανται φθορές περιοδικά πρέπει να αντικαθίστανται. Για να μην διακόπτεται η παραγωγή του βιοαερίου κατά τις εργασίες συντήρησης οι αντλίες φέρουν βαλβίδες διακοπής (εικόνα 5.6), που επιτρέπουν και την τροφοδοσία και την εκκένωση χωνευτήρων και σωληνώσεων (Bachmann & Eger, 2013).

Οι σωληνώσεις και τα παρελκόμενα που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι αντιδιαβρωτικά και κατάλληλα για το χειρισμό των αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Η ασφαλής λειτουργία των εγκαταστάσεων εξασφαλίζεται με την τήρηση των κανόνων για τις ιδιότητες των υλικών, τα χαρακτηριστικά ασφαλείας και τη στεγανότητα των σωληνώσεων και των παρελκομένων. Για να αποτρέπεται η επιστροφή του υποστρώματος από την χωνευτήρα στις δεξαμενές αποθήκευσης οι σωληνώσεις πρέπει να έχουν μία κλίσης της τάξεως του 1% - 2% (Σεβαστού, 2014).



Εικόνα 5.6.: Αριστερά εικονίζονται βαλβίδες διακοπής και δεξιά το σύστημα άντλησης

Ακολουθεί ο πυρήνας της εγκατάστασης, δηλαδή ο χωνευτήρας. Όλοι οι χωνευτήρες ανεξαρτήτως τύπου είναι αεροστεγανοί και διαθέτουν ένα σύστημα τροφοδοσίας της πρώτης ύλης καθώς και συστήματα εξαγωγής του βιοαερίου και του κομπόστ. Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην Ευρώπη επιβάλλουν τόσο τη μόνωση όσο και τη θέρμανση των χωνευτήρων.

Το είδος τους ποικίλλει, όπως έχει προαναφερθεί, και το υλικό κατασκευής τους μπορεί να είναι σκυρόδεμα, χάλυβας, τούβλο ή πλαστικό. Η διαμόρφωσή τους γίνεται ως σιλό, σκάφες, λιμνούλες ή λεκάνες ενώ η τοποθέτησή τους μπορεί να γίνει είτε υπόγεια είτε επίγεια. Η επιλογή του είδους τους εξαρτάται από το περιεχόμενο σε νερό της πρώτης ύλης.

Στους χωνευτήρες συνεχούς λειτουργίας, όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, η τροφοδότηση των υποστρωμάτων της πρώτης ύλης γίνεται συνεχώς ενώ το υλικό κινείται είτε μηχανικά είτε από την πίεση του νέου τροφοδοτούμενου υποστρώματος, το οποίο εισερχόμενο εξωθεί το χωνευμένο υλικό. Από τα τρία βασικά συστήματα συνεχόμενων χωνευτήρων (κατακόρυφα, οριζόντια και πολλαπλών δεξαμενών) ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι ο κατακόρυφος. Αυτός ο τύπος μάλιστα χρησιμοποιείται σε ποσοστό 90% περίπου των σύγχρονων εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου στη Γερμανία (Weiland, 2010).

Όταν οι κατακόρυφοι χωνευτήρες κατασκευάζονται επί τόπου (εικόνα 5.7) είναι στρογγυλές δεξαμενές από χάλυβα ή ενισχυμένο σκυρόδεμα.



Εικόνα 5.7.: Επίτόπου κατασκευή κατακόρυφου χωνευτήρα από σκυρόδεμα

Ο πυθμένας τους συχνά είναι κωνικός προκειμένου να διευκολύνεται τόσο η ανάδευση όσο και η εκκένωση των ιζημάτων, ενώ παράλληλα είναι αεροστεγείς, μονωμένοι και θερμαινόμενοι. Είναι εξοπλισμένοι με αναδευτήρες ή αντλίες και η οροφή τους γίνεται από σκυρόδεμα ή χάλυβα. Το βιοαέριο που παράγεται διοχετεύεται με σωλήνες σε μία εγκατάσταση εξωτερικής αποθήκευσης κοντά στο χωνευτήρα (Bachmann & Erep, 2013).

Οι χαλύβδινοι χωνευτήρες «συναρμολογούνται» επί τόπου με τη συγκόλληση ή τη συρραφή των χαλύβδινων πλακών πάνω σε μία βάση από σκυρόδεμα. Οι ραφές κατόπιν στεγανοποιούνται. Οι συγκεκριμένοι χωνευτήρες εγκαθίστανται πάντα πάνω από το έδαφος. Η διάταξη, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής και η θερμοκρασία τους έχουν ήδη αναφερθεί.

Στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των χωνευτήρων περιλαμβάνονται το σύστημα ανάλυσης βιοαερίου που δείχνει τη σύνθεση του παραγόμενου αερίου, παράθυρα ελέγχου της επιφάνειας της ιλύος, συσκευή δειγματοληψίας και θερμόμετρο ελέγχου της θερμοκρασίας στο εσωτερικό τους (Σεβαστού, 2014).

Εξωτερικές πηγές θέρμανσης (εικόνα 5.8) φροντίζουν, μαζί με την κατάλληλη μόνωση, για την επίτευξη και διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας διεργασίας και την αντιστάθμιση των απωλειών θερμότητας. Πηγή θέρμανσης μπορεί να είναι θερμότητα από τη μονάδα ΣΗΘ της ίδιας της εγκατάστασης.



Εικόνα 5.8.: Σύστημα θέρμανσης εγκατάστασης βιοαερίου

Η πρώτη ύλη μπορεί να θερμανθεί κατά τη διάρκεια της τροφοδοσίας με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας (προθέρμανση), μέσα στο χωνευτήρα ή και με συνδυασμό αυτών των δύο τύπων θέρμανσης. Το σύστημα θέρμανσης μέσα στο χωνευτήρα αποτελείται από δίκτυο ανοξείδωτων σωληνώσεων (εικόνα 5.9) στην εσωτερική επιφάνεια των τοίχων που έχουν θερμό νερό.



Εικόνα 5.9.: Σωληνώσεις θέρμανσης μέσα στο χωνευτήρα

Το περιεχόμενο του χωνευτήρα πρέπει να αναδεύεται πολλές φορές την ημέρα οπότε πρέπει να χρησιμοποιούνται μηχανικοί αναδευτήρες για ενεργητική ανάδευση καθώς η παθητική δεν επαρκεί. Η ανάδευση είναι απαραίτητη για τους εξής λόγους (Weiland, 2010):

- Ανάμειξη πρώτης ύλης με το υπάρχον υπόστρωμα μέσα στο χωνευτήρα.
- Αποτροπή σχηματισμού κρούστας.
- Αποτροπή στρωμάτων βύθισης (ιζήματα).
- Διευκόλυνση μεταφοράς βακτηριδίων στα σωματίδια της νέας πρώτης ύλης.
- Διευκόλυνση της προς τα πάνω ροής των φυσαλίδων αερίου.
- Ομογενοποίηση κατανομής θερμότητας και θρεπτικών ουσιών.

Οι μηχανικοί αναδευτήρες (εικόνα 5.10) ταξινομούνται ως πολύ γρήγορα, μέτρια και αργά περιστρεφόμενοι αναδευτήρες. Στους χωνευτήρες υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται υποβρύχιοι αναδευτήρες πλευρικής στερέωσης ανάλογα με την πυκνότητα του υγρού και τον όγκο της δεξαμενής.



Εικόνα 5.10.: Αναδευτήρας για χωνευτήρα υγρών αποβλήτων ισχύος 15kW

Το χωνεμένο υπόστρωμα που μένει οδηγείται σε εγκαταστάσεις προσωρινής αποθήκευσης μέχρι να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. Η αποθήκευσή του μπορεί να γίνει είτε σε τεχνητές λίμνες (εικόνα 5.11) είτε σε δεξαμενές από σκυρόδεμα (εικόνα 5.12), καλυμμένες με φυσικά ή τεχνητά επιπλέοντα στρώματα ή μεμβράνες (Korres, 2013).



Εικόνα 5.11.: Ανοικτές τεχνητές λίμνες για αποθήκευση κομπόστ



Εικόνα 5.12.: Δεξαμενές αποθήκευσης καλυμμένες με μεμβράνες

Η προσωρινή αποθήκευση του βιοαερίου που παράγεται είναι επιβεβλημένη για να αντισταθμιστεί η παραγωγή του με κυμαινόμενες ποσότητες και αιχμές απόδοσης καθώς η παροχή του πρέπει να είναι σταθερή και συνεχής αλλά και γιατί η ζήτησή του δεν είναι πάντα σταθερή.

Η πιο απλή εγκατάσταση αποθήκευσης είναι στο πάνω μέρος των χωνευτήρων με χρήση μίας ειδικής μεμβράνης. Η κατασκευή αυτή χρησιμοποιείται και ως κάλυμμα του χωνευτήρα. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις τις περισσότερες φορές δημιουργούνται ξεχωριστές δεξαμενές αποθήκευσης που μπορούν να είναι είτε αυτόνομες είτε να περιλαμβάνονται σε κτίρια αποθήκευσης (Weiland, 2010; Bachmann & Erep, 2013).

Ανεξάρτητα από το είδος τους πρέπει να είναι αεροστεγείς, ανθεκτικές στην πίεση και όταν δεν προστατεύονται από κτίρια να αντέχουν στη θερμοκρασία, στις καιρικές συνθήκες και την υπεριώδη ακτινοβολία. Για λόγους ασφαλείας

πρέπει να διαθέτουν βαλβίδες ασφαλείας (εικόνα 5.13) και εγγυημένη προστασία από έκρηξη.

Οι εξωτερικές εγκαταστάσεις (εικόνα 5.14) αποθήκευσης βιοαερίου περιλαμβάνουν διπλή ανθεκτική μεμβράνη που δεν διαβρώνεται από τις καιρικές συνθήκες και δεν επηρεάζεται από την υπεριώδη ακτινοβολία. Η εσωτερική μεμβράνη κατασκευάζεται ειδικά για βιοαέριο και βασίζεται σε ίνες πολυεστέρα. Η εξωτερική προστατεύει την εσωτερική από τον αέρα και την πτώση και έχει κλίση 23° (Korres, 2013).



Εικόνα 5.13.: Συστήματα αποθήκευσης βιοαερίου



Εικόνα 5.13.: Εξωτερικό σύστημα αποθήκευσης βιοαερίου

Σε κάθε εγκατάσταση βιοαερίου υπάρχει ένας «πυρσός» βιοαερίου (εικόνα 5.14). Η ύπαρξή του είναι απαραίτητη για τις περιπτώσεις που για διάφορους λόγους υπάρχει περίσσεια βιοαερίου η οποία δεν μπορεί ούτε να

χρησιμοποιηθεί ούτε και να αποθηκευτεί καθώς η αποθήκευσή του για μεγάλα χρονικά διαστήματα δεν είναι εφικτή. Η μόνη λύση σε αυτές τις περιπτώσεις που εξαλείφει κάθε κινδύνου ασφαλείας και προστατεύει το περιβάλλον είναι η ανάφλεξη της περίσσειας βιοαερίου (Pubule et al, 2014).



Εικόνα 5.14.: Πυρσός καύσης περίσσειας βιοαερίου

Τέλος, απαραίτητο συμπλήρωμα μιας εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου είναι το σύστημα (αυτοματοποιημένο πλέον όλο και περισσότερο) παρακολούθησης και ελέγχου της διαδικασίας και όλης της εγκατάστασης. Η μονάδα αυτόματου ελέγχου δημιουργείται μέσω αισθητήρων, αυτοματισμών του εξοπλισμού και του κατάλληλου συστήματος λογισμικού (Σεβαστού, 2014).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την επεξεργασία των ΥΑΕ με αερόβια χώνευση και την παραγωγή βιοαερίου χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών αντιδραστήρες. Οι περισσότερες μελέτες που βρέθηκαν κατά την έρευνα για τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής πειραματίζονταν με μία συγκεκριμένη διαδικασία ή είδος αντιδραστήρα ή ανέπτυσαν καινούριες πειραματικές διαδικασίες. Βάσει αυτών και μίας ακόμα μελέτης που σύγκρινε τις διαδικασίες εξάγονται και τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει σωστά η αναερόβια χώνευση στην περίπτωση επεξεργασίας ΥΑΕ είναι η αραίωση του αποβλήτου. Η αραίωση αυτή μπορεί να γίνει με νερό και η ενδεικνυόμενη αναλογία είναι 1:1.

Η αναερόβια επεξεργασία ΥΑΕ, που δεν είχε υποστεί καμία φυσικοχημική επεξεργασία, σε αντιδραστήρα τύπου CSTR και σε υδραυλικό χρόνο παραμονής 30 ημερών έχει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου συντελείται σε ποσοστό που κυμαίνεται από 66,5% έως 83%. Αν, όμως, μειωθεί ο χρόνος παραμονής στις 20 ημέρες, η διεργασία οδηγείται σε αποτυχία καθώς η υψηλή συσσώρευση προπιονικού οξέος οδηγεί σε παρεμπόδιση της δράσης των αναερόβιων μικροοργανισμών.

Όταν, όμως, τα ΥΑΕ υποστούν θερμική επεξεργασία για την απομάκρυνση των στερεών τους και χρησιμοποιηθεί η ίδια με την προαναφερόμενη διάταξη (αντιδραστήρας τύπου CSTR σε υδραυλικό χρόνο παραμονής 30 ημερών) η διεργασία δεν είναι επιτυχημένη. Οι πειραματικές διαδικασίες δείχνουν ότι σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του χωνευτήρα συσσωρεύεται οξικό οξύ ενώ η παραγωγή βιοαερίου είναι χαμηλή.

Στην περίπτωση, όμως, που τα ΥΑΕ υποστούν προεπεξεργασία με μύκητα λευκής σήψης, τότε σε παρόμοιες συνθήκες παρατηρείται επιπλέον απομάκρυνση του οργανικού φορτίου του αποβλήτου κατά 50%. Παρατηρείται επίσης κάποια προσωρινή συσσώρευση οξικού οξέος η οποία όμως δεν προκαλεί σημαντικά προβλήματα στην καλή λειτουργία του συστήματος. Ο χρόνος παραμονής δεν έχει καταστεί δυνατό να μειωθεί οπότε δεν συνιστάται η χρήση του μύκητα λευκής σήψης.

Ο αντιδραστήρας τύπου ASBR εμφανίζει ικανοποιητική συμπεριφορά για την αναερόβια επεξεργασία των ΥΑΕ, διαθέτοντας το επιπλέον πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί αραίωση του αποβλήτου. Επιπροσθέτως, η χρήση του είναι εύκολη και ο χειρισμός του δεν απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις. Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα (67% - 92%). Από τη στιγμή που η βιομάζα θα εγκλιματιστεί ο αντιδραστήρας αναμένεται να λειτουργήσει χωρίς προβλήματα σε χρόνο παραμονής 30 ημερών.

Ιδιαίτερα καλές αποδόσεις έχει και ο καινότυπος ταχύρρυθμος αντιδραστήρας PABR, ο οποίος λειτουργεί χωρίς να εμφανίσει κάποιο πρόβλημα σε πολύ χαμηλό χρόνο παραμονής (3,75 ημέρες). Όταν ο ρυθμός οργανικής φόρτισης αυξάνεται ο αντιδραστήρας αυτός ανταποκρίνεται σταθερά και γρήγορα μόνο με τη μείωση του υδραυλικού χρόνου παραμονής. Η διεργασία οδηγείται σε αποτυχία όταν αυξάνεται τόσο ο ρυθμός οργανικής φόρτισης όσο και η συγκέντρωση της τροφοδοσίας. Το οργανικό φορτίο των ΥΑΕ με τον συγκεκριμένο αντιδραστήρα μειώνεται κατά 58% έως 82%.

Τέλος, όσον αφορά τον εγκλιματισμό ή μη της μαγιάς φαίνεται ότι, όταν το απόβλητο υποστεί προεπεξεργασία με μύκητα, καθίσταται λιγότερο τοξικό οπότε και είναι άμεσα διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς για την αναερόβια επεξεργασία. Αν η μαγιά δεν εγκλιματιστεί ο μικροοργανισμοί χρειάζονται κάποιο χρόνο μέχρι να προσαρμοστούν στο υπόστρωμα που πρέπει να επεξεργαστεί. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, όμως, μπορεί να συσσωρευτεί κάποιος τοξικός – παρεμποδιστικός παράγοντας στον αντιδραστήρα ή να αλλάξει η βιοποικιλότητα των μικροοργανισμών της αναερόβιας μαγιάς.

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al Seadi T, Rutz D (2008). Εισαγωγή. Στο: Al Seadi T, Rutz D, Prassl H, Kottner M, Finsterwalder T, Volk S, Janssen R, Σιούλας Κ, *Εγχειρίδιο Βιοαερίου*. Αθήνα, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), σελ. 8-9
- Al Seadi T, Rutz D, Prassl H, Kottner M, Finsterwalder T, Volk S, Janssen R, Σιούλας Κ. *Εγχειρίδιο Βιοαερίου*. Αθήνα, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
- Βίγκλας ΣΠ (2007). *Το ελαιόλαδο. Μια εκπαιδευτική προσέγγιση*. Μακρυνίτσα Πηλίου, Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρυνίτσας, σελ. 8-10
- Βολικάκη Χ (2008). *Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Χανιά
- ΓεωργιοπούλουΤ (2014). «Χρυσός» το ελληνικό ελαιόλαδο στις διεθνείς αγορές για φέτος. Εφημερίδα *Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*, Κυριακή 28 Δεκεμβρίου 2014
- Γκουτσίδης ΕΠ, Πετρωτός ΒΚ, Γούλας Π (2011). Μέθοδος Επεξεργασίας Αποβλήτων Ελαιοτριβείων με Υπερδιήθηση και η αναδυόμενη εφαρμογή της στην παραγωγή ζωοτροφών. *3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Τεχνολογίας Ζωικής Παραγωγής*, 4 Φεβρουαρίου 2011 Συνεδριακό Κέντρο «Ν. Γερμανός», Αίθουσα Β, Θεσ/νικη.
- ΕC BIC OF ΑΤΤΙΚΑ (2012). Κλαδική Μελέτη Ελαιολάδου – Πυρηνελαίου & Παράρτημα «Συνοπτικής Αναφοράς στην Αγορά των Επιτραπέζιων Ελιών». Αθήνα
- Ζακούρα Μ (2014). *Ανάπτυξη ταχύρρυθμου αναερόβιου συστήματος αξιοποίησης αποβλήτων ελαιοτριβείου*. Μεταπτυχιακή Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών

- Κάλφας ΔΧ (2007). *Παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση προεπεξεργασμένου και μη ελαιολάδου*. Διδακτορική Διατριβή. Πάτρα
- Μπλίκια Π (2009). *Βιοτεχνολογικές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου*. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών
- Νάνος Κ (2015). Ο πρωταθλητής των ελληνικών εξαγωγών. Το ελαιόλαδο «σαρώνει» τις αγορές. Εφημερίδα *ΕΘΝΟΣ*, Σάββατο 9 Μαΐου 2015
- Νέσσερης ΓΚ (2008). *Συνεπεξεργασία Αστικών – Ελαιουργικών Αποβλήτων με Συστήματα Ενεργού Ιλύος – Κονιορτοποιημένου Ενεργού Άνθρακα (AS – PACT)*. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Θεοφράσειο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Περιβαλλοντική και Οικολογική Μηχανική. Μυτιλήνη
- Ντόλια Σ (2006). *Διαχείριση αποβλήτων ελαιουργείων. Ανασκόπηση Ερευνών και Προβλήματα*. Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Πειραιά - ΕΜΠ
- Σεβαστού Σ (2014). *Σχεδιασμός συστήματος αναερόβιας χώνευσης αποβλήτων ελαιουργείου*. Διπλωματική Εργασία. ΕΜΠ, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας
- Φίλοι του Τεχνικού Μουσείου Θεσσαλονίκης (2011). *Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία (ΙΑ) – Παραγωγή Ελαιολάδου – Αρχαία Ελαιοτριβεία*. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.tmth.gr/sciencerelated/64-arxaia-elliniki-technology/413-paragogi-elaioladou> (πρόσβαση: 10/06/15)
- Χρυσοβαλάντου Ν (2010). *Αξιολόγηση τριφασικής και διφασικής μεθόδου ελαιοποίησης του ελαιοκάρπου*. ΕΜΠ, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων». Αθήνα

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alcázar Román R, Amoros JA, Pérez de los Reyes C, García Navarro FJ, Bravo S (2014). Major and trace element content of olive leaves. OLIVAE, Official Journal of the International Olive Council. English Edition, No. 119, pp. 1-7
- Bachmann N, Erep SA, (2013). Design and engineering of biogas plants. Στο: Wellinger A, Murphy J, Baxter D (ed.), *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. Elsevier
- Butz S (2014). *Energy and Agriculture; Science, Environment & Solutions*. USA: Cengage Learning
- Comparetti A, Febo P, Greco C, Orlando S, (2013). Current state and Future of biogas and digestate production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(1):1-14
- Corria ME, Cobas VM, Lora ES, (2006). Perspectives of Stirling engines use for Distributed Generation in Brazil. *Energy Policy*, 34(18):3402-3408
- Giovacchino LD (2013). Technological Aspects. Στο: Aparicio-Ruiz R, Harwood J (ed.), *Handbook of Olive Oil: Analysis and Properties*. 2nd edition. Springer Science & Business Media, pp. 57-96
- Karagiannidis A, Perkoulidis G, Malamakis A, (2012). Anaerobic Digestion and Biogas Utilization in Greece: Current Status and Perspectives. Στο: Mudhoo A, (ed.), *Biogas production: Pretreatment Methods in Anaerobic Digestion*. USA: John Wiley & Sons, Inc and Scrivener Publishing LLC, pp. 215-228
- Korres NE, (2013). Storage and distribution of biomethane. Στο: Korres NE, O’Kiely P, Benzie JAH, Est JS, (ed.), *Bioenergy Production by Anaerobic Digestion: Using agricultural biomass and organic wastes*. Routledge
- Markou G, Georgakakis D, Plagou K, Salakou G, Christopoulou N (2010). Balanced Waste Management of 2- and 3-Phase Olive Oil Mills in

- Relation to the Seed Oil Extraction Plant. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology*, 4 (Special Issue 1), 109-112
- Mylonas P (2015). *Olive Oil: Establishing the Greek brand*. Sectoral report. National Bank of Greece
- Nassar NN, Arar LA, Marei ND, Abu Ghanim AM, Dwekat AS, Sawalha SH (2014). Treatment of olive mill based wastewater by means of magnetic nanoproperties: Decolourization, dephenolization and COD removal. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 1-2, 14-23
- Niaounakis M, Halvadakis CP (2006). *Olive Processing Waste Management: Literature Review and Patent Survey*. 2nd edition. USA: Elsevier
- Nijaguna BT, (2006). *Biogas Technology*. New Age International
- Onovwiona HI, Ugursal VI, (2006). Residential cogeneration systems: review of the current technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(5):389-431
- Ottinger RL, Yitong C, Xue L, Liu Z, (2013). Case studies of renewable energy in China. Στο: Ottinger RL (ed.), *Renewable Energy Law and Development: Case Study Analysis*. USA: Edward Elgar Publishing Limited, pp. 1-40
- Ouzounidou G, Zervakis GI, Gaitis F (2010). Raw and Microbiologically Detoxified Olive Mill Waste and their Impact on Plant Growth. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology*, 4 (Special Issue 1), 21-38
- Paraskeva P, Diamadopoulos E (2006). Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81, 9, 1475-1485
- Pourmovahed A, Opperman T, Lemke B, (2011). *Performance and Efficiency of a Biogas CHP System Utilizing a Stirling Engine*. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICRE PQ'11) Las Palmas de Gran Canaria (Spain), 13th to 15th April, 2011

- Pubule J, Rosa M, Blumberga D, (2015). The development of EIA screening for the anaerobic digestion of biowaste projects in Latvia. Στο: Syngelakis S, (ed.), *Biomass to Biofuels*. USA: WIT Press
- Ruitenbergh R (2014). Την παγκόσμια παραγωγή ελαιολάδου σώζει η Ελλάδα. Εφημερίδα *ΤΑ ΝΕΑ*, Τετάρτη 05/11/14
- Syed WS, Nadeem M, Ikram-ul-Haq, Khan FA, (2013). Production of biogas by mesophilic bacteria isolated from nature. *South Asian Journal of Life Sciences*, 1(1): 12-18
- Surroop D, Begue OD, (2012). Investigating the Potential of Using Biogas in Cooking Stove in Rodrigues. Στο: Mudhoo A, (ed.), *Biogas production: Pretreatment Methods in Anaerobic Digestion*. USA: John Wiley & Sons, Inc and Scrivener Publishing LLC, pp. 229-260
- Tsagaraki E, Lazarides HN, Petrotos KB (2007). Olive Mill Wastewater Treatment. *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry* 3, 133-157
- Van Foreest F, (2012). *Perspectives for biogas in Europe*. UK: Oxford Institute for Energy Studies
- Weiland P, (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85:849-860
- Wiesman Z (2009). *Desert Olive Oil Cultivation: Advanced Bio Technologies*. USA: Academic Press
- Yimer B, (2014). *Alternative energy sources to combat climate changes; Biogas production using cost effective materials*. Hamburg, Germany: Anchor Academic Publishing
- Zervakis G, Balis C (1996). Bioremediation of Olive Mill Wastes Through the production of Fungal Biomass. Στο: Royse DJ (ed.), *Mushroom Biology and Mushroom Products: proceedings of the 2nd International Conference*, June 9-12, University Park, Pennsylvania. Pennsylvania State University, pp. 311-323

Zupancic GD, Grilc V (2012). Anaerobic Treatment and Biogas Production from Organic Waste. Στο: Kumar S, (ed.) *Management of Organic Waste*. InTech, pp. 3-28

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Γιακουμάκη Γ (2014). Η κοινή άλεση στα ελαιουργεία ΕΑΣ Πεζών. Olivenews.gr. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<http://www.olivenews.gr/el/article/5528/%CE%B7-%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CE%AE-%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CF%83%CE%B7-%CF%83%CF%84%CE%B1-%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%AF%CE%B1-%CE%B5%CE%B1%CF%83-%CF%80%CE%B5%CE%B6%CF%8E> (πρόσβαση: 20/07/15)

Λαμπρινίδης Α (2011). *Τα στάδια και η διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου με τα υπερσύγχρονα νέα μηχανήματα του αγροτικού συνεταιρισμού Ποταμού*. Νέα και ανακοινώσεις των Κυθήρων & Αντικυθήρων. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://kithiraikanea.blogspot.gr/2011/12/blog-post_8889.html (πρόσβαση: 20/07/15)

Λιόφυτο Ματθαίου (χ.χ.). Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.liophito-mattheou.com/items.php?catid=3> (πρόσβαση: 20/07/15)

Digital Camera – DC (2011). *Το ταξίδι της ελιάς*. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://www.digital-camera.gr/index.php?option=photos&action=view&photo_id=60696 (πρόσβαση: 20/07/15)