



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Σχολή Μηχανικών

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Διπλωματική Εργασία

**Σύγχρονες μέθοδοι Επεξεργασίας αποβλήτων
ελαιουργείου με έμφαση στην ενεργειακή τους
αξιοποίηση**

Βαλαής Αλέξανδρος

AM: 04182

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Κονδύλη Αιμιλία

Αθήνα, 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΤΟΥΣ
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΑΙΜΙΛΙΑ Μ. ΚΟΝΔΥΛΗ	ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
3	ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ ΠΑΠΑΠΟΣΤΟΛΟΥ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Βαλαής Αλέξανδρος-Ιωάννης του Αθανασίου, με αριθμό μητρώου 04182 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο/Η Δηλών/ούσα



Ευχαριστίες

- Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γελεγένη Ιωάννη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ στο συγκεκριμένο θέμα
- Ευχαριστώ την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Κονδύλη Αιμιλία για την πολύτιμη βοήθεια της στην εκπόνηση της εργασίας

Περίληψη

Η εργασία αυτή αναφέρεται στις μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων των μονάδων παραγωγής ελαιόλαδου (ελαιοτριβεία) αλλά των μεθόδων ενεργειακής αξιοποίησης αυτών. Στο πρώτο μέρος δίνονται γενικές πληροφορίες για τον καρπό της ελιάς, τον ποιοτικό διαχωρισμό τους και τις μεθόδους συλλογής από τα ελαιόδεντρα. Στη συνέχεια αναφέρονται οι μέθοδοι ελαιτρίβησης, οι εξοπλισμοί που χρησιμοποιείται αλλά και οι διεργασίες οι οποίες είναι αναγκαίες για την παραγωγή του ελαιόλαδου.

Στο δεύτερο μέρος αναφέρονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών και στερεών αποβλήτων των ελαιοτριβείων, καθώς και οι σύγχρονες μέθοδοι επεξεργασίας τους για ασφαλή απόθεση στο περιβάλλον. Οι μέθοδοι απορρύπανσης έχουν σκοπό την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των αποβλήτων, για το λόγο αυτό στη συνέχεια γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση σε σύγχρονη βιβλιογραφία για τις μεθόδους ενεργειακής αξιοποίησης.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας επιλέγεται μία μελέτη περίπτωσης, η οποία τεκμηριώνει την αποδοτικότητα της παραγωγής ενέργειας από απόβλητα ελαιοτριβείου. Η μελέτη περίπτωσης αφορά της παραγωγή ενέργειας από απόβλητα ελαιοτριβείων στην Αυστραλία με μελέτη κύκλου ζωής (LCA) για διαφορετικά σενάρια ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων.

Λέξεις Κλειδιά

απόβλητα, ελαιοτριβείο, μέθοδοι απορρύπανσης, ενεργειακή αξιοποίηση, LCA

Abstract

This paper refers to the methods of treatment of the wastes of the olive oil production units (olive mills) but also to the methods of energy recovery. The first part gives general information about the olive, their qualitative separation and the methods of collection from the olive trees. The following are the grinding methods, the equipment used and the processes that are necessary for the production of olive oil.

In the second part is mentioned the quality characteristics of the liquid and solid waste of the olive mills, as well as the modern methods of their treatment for safe disposal in the environment. The methods of decontamination are aimed at reducing the environmental footprint of the waste, for this reason then a literature review is performed in modern literature on energy recovery methods.

In the last part of the work, a case study is selected, which documents the efficiency of energy production from olive mill waste. The case study concerns the production of energy from olive mill waste in Australia with a life cycle study (LCA) for different waste energy recovery scenarios.

Keywords

wastewater, olive oil mill, decontamination methods, energy recovery, LCA

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	v
Abstract.....	vi
1. Εισαγωγή	1
2. Παραγωγή του Ελαιόλαδου.....	2
2.1. Επεξεργασία Ελιάς.....	2
2.2. Παραγωγική Διαδικασία	4
2.3. Ποιότητα και Σύσταση Ελαιόλαδου.....	7
2.4. Αποθήκευση Προϊόντος.....	9
3. Απόβλητα Ελαιοτριβείου- Χαρακτηρισμός και Επιπτώσεις	10
3.1. Στερεά Απόβλητα	10
3.2. Υγρά Απόβλητα	14
3.3. Αέριες Εκπομπές	16
3.4. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Παραγωγής Αποβλήτων	16
3.5. Νομοθετικό Πλαίσιο	19
4. Μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων Ελαιοτριβείου.....	21
4.1. Στερεά Απόβλητα	21
4.1.1. Βιολογικές μέθοδοι	21
4.1.2. Θερμοχημικές μέθοδοι.....	23
4.2. Υγρά Απόβλητα	26
4.2.1. Μηχανική επεξεργασία	26
4.2.2. Φυσικοχημική επεξεργασία	31
4.2.3. Βιολογική επεξεργασία.....	34
4.2.4. Θερμική επεξεργασία	38
5. Μέθοδοι Ενεργειακής Αξιοποίησης Αποβλήτων	41
5.1. Παραγωγή Άμεσης Ενέργειας.....	41
5.1.1. Καύση	41
5.1.2. Πυρόλυση	45
5.1.3. Αεριοποίηση	50
5.2. Παραγωγή Προϊόντων Προστιθέμενης Αξίας.....	54

5.2.1. Παραγωγή Βιοαερίου	54
5.2.2. Παραγωγή Βιοντίζελ	58
5.2.3. Παραγωγή Βιοαιθανόλης	63
6. Παράδειγμα Εφαρμογής.....	66
7. Συμπεράσματα – Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	77
8. Βιβλιογραφία	81

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1 Decanter παραγωγής ελαιόλαδου.....	4
Σχήμα 2 Σχηματοποιημένη παραγωγική διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου	7
Σχήμα 3 Αλλαγές στο χρώμα του φλοιού της ποικιλίας <i>Olea europaea L</i> ανάλογα με την εποχή συγκομιδής. Εικόνα πάνω από το πείραμα	8
Σχήμα 4 Δεξαμενές ανοξειδωτού χάλυβα για την αποθήκευση ελαιόλαδου.....	10
Σχήμα 5 Ρίψη ΥΑΕ σε ρέμα	17
Σχήμα 6 Παράνομη ρίψη αποβλήτων ελαιοτριβείου σε ρέμα στον οικισμό Λυκούριζα που καταλήγει στην παραλία του Αγίου Νικολάου Καλυβίου	19
Σχήμα 7 Κομπόστ έπειτα από αναερόβια χώνευση αποβλήτων ελαιοτριβείου.	22
Σχήμα 8 Τυπική συσκευή πυρόλυσης λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας βιομηχανικής κλίμακας.	24
Σχήμα 9 Οπτική απεικόνιση της διεργασίας της πυρόλυσης των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου προς παραγωγή βιοελαίου πλούσιου σε χημικές ενώσεις και βιοεξανθρακώματος. Πηγή:	24
Σχήμα 10 Dredger.....	27
Σχήμα 11 Συσχέτιση τύπων καθίζησης και συγκέντρωσης-χαρακτηριστικών συσσωμάτωσης των αιωρούμενων στερεών.	28
Σχήμα 12 Φίλτρα ενεργού άνθρακα βιομηχανικής κλίμακας.....	29
Σχήμα 13 Τύποι διήθησης μεμβράνης, με το αντίστοιχο μέγεθος πόρων και τις απομακρυνόμενες ενώσεις-οργανισμούς.....	31
Σχήμα 14 Το σύστημα Fenton χρησιμοποιεί ιόντα σιδήρου για να αντιδράσει με υπεροξείδιο του υδρογόνου, παράγοντας ρίζες υδροξυλίου με ισχυρή οξειδωτική ικανότητα να αποικοδομεί οργανικούς ρύπους.	33

Σχήμα 15 Ποσοστό μείωσης COD έναντι υδραυλικού χρόνου παραμονής κατά τη διάρκεια αερόβιας επεξεργασίας των αραιωμένων ακατέργαστων εκροών ελαιοτριβείου.	36
Σχήμα 16 Ποσοστό μείωσης BOD έναντι υδραυλικού χρόνου παραμονής κατά τη διάρκεια αερόβιας επεξεργασίας των αραιωμένων ακατέργαστων εκροών ελαιοτριβείου.	36
Σχήμα 17 Υπολειμματικό TKN έναντι υδραυλικού χρόνου παραμονής κατά τη διάρκεια αερόβιας επεξεργασίας των αραιωμένων ακατέργαστων εκροών ελαιοτριβείου.	36
Σχήμα 18 Ποσοστό αφαίρεσης λιπών-ελαίων έναντι υδραυλικού χρόνου παραμονής κατά τη διάρκεια αερόβιας επεξεργασίας των αραιωμένων ακατέργαστων εκροών ελαιοτριβείου.	36
Σχήμα 19 Στάδια της αναερόβιας χώνευσης των ΥΑΕ.	37
Σχήμα 20 Συσκευή εξάτμισης ή απόσταξης κασιόγαρου.	39
Σχήμα 21 Διάγραμμα ροής διυλιστηρίου εκμετάλλευσης των υποπροϊόντων των ΥΑΕ με θερμοχημικές μεθόδους.	39
Σχήμα 22 Τυπικές λίμνες που χρησιμοποιούνται για την εξάτμιση όγκου υγρών αποβλήτων. Πηγή Αριστερά: condorchem.com	40
Σχήμα 23 Σχήμα της πειραματικής διάταξης καύσης.	42
Σχήμα 24 Καμπύλες TG και DTG των διαφορετικών δειγμάτων υπό οξειδωτική ατμόσφαιρα	43
Σχήμα 25 Σχήμα της πειραματικής διάταξης καύσης.	44
Σχήμα 26 Αριστερά: CO ₂ κατά την καύση πριονιδιού, εμποτισμένου πριονιδιού και ξηρών ΥΑΕ και Δεξιά: CO κατά την καύση πριονιδιού εμποτισμένου πριονιδιού και ξηρών ΥΑΕ (500° C). Πηγή:	45
Σχήμα 27 α) Σωληνωτός αντιδραστήρας σε κλίβανο, β) συμπυκνωτής, γ) παγίδες.	46
Σχήμα 28 Σχηματική απεικόνιση της συσκευής πυρόλυσης: (1) σωλήνας μεταφοράς αζώτου. (2) σωλήνας από ανοξείδωτο ατσάλι. (3) συμπυκνωτής. (4) φούρνος και (5) παγίδες συλλογής βιοελαίου.....	46
Σχήμα 29 Επίδραση της θερμοκρασίας και του ρυθμού θέρμανσης στο βιοέλαιο και το βιοεξανθράκωμα, Αριστερά α[΄π ΣΑΕ, Δεξιά: από αφυδατωμένα ΥΑΕ.....	47
Σχήμα 30 Θερμο-σταθμική ανάλυση της ύλης από επεξεργασία ΥΑΕ με διαφορετικό ρυθμό θέρμανσης. (α) Απώλεια βάρους συναρτήσει της εφαρμοζόμενης θερμοκρασίας. (β) Θερμικής υποβάθμισης προϊόντος συναρτήσει της εφαρμοζόμενης θερμοκρασίας.....	49
Σχήμα 31 Διάγραμμα της συσκευής YAN. (1) τροφοδοσία βιομάζας. (2) Αντλία πίεσης. (3) θάλαμος προθέρμανσης. (4) κυλινδρικός αντιδραστήρας. (5) Φούρνος θέρμανσης. (6) θερμόλουτρό. (7) παγόλουτρο- συμπυκνωτής (8) Μανόμετρο. (9) διαχωρισμός φάσεων. (T1) θερμοκρασιακός έλεγχος αντίστασης. (T2) Δείκτης ς θερμοκρασίας. (V1) βαλβίδα. (V2) χειρισμός πίεσης αντεπιστροφής.. Πηγή:	51
Σχήμα 32 απόδοση παραγωγής υδρογόνου συναρτήσει της θερμοκρασίας και της αραιώσης.	52
Σχήμα 33 Μηχανισμοί αεριοποίησης από την κατεργασία ΥΑΕ με YAN. Α) Οξυγονωμένες ενώσεις αποικοδόμησης κελοβιόζης. Β) Ακόρεστες αζωτούχες ενώσεις αποδόμησης πεπτιδίων. Πηγή:	53
Σχήμα 34 Σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης της μελέτης.	54
Σχήμα 35 Πλήθος πτητικών λιπαρών οξέων (VFAs) (α) στην είσοδο και (β) στην έξοδο του αντιδραστήρα.	55
Σχήμα 36 Παραγωγικότητα βιοαερίου και ποσοστό μεθανίου στον ακετογόνο (acetogenic) και μεθανιογόνο (methanogenic) αντιδραστήρα.	55

Σχήμα 37 Αριστερά: Χώνευτες εργαστηριακής κλίμακας. Δεξιά: Πιλοτική διάταξη χώνευσης.	56
Σχήμα 38 Παραγωγικότητα βιοαερίου.	57
Σχήμα 39 Διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας ανάπτυξης μικροφυκών σε θρεπτικό μέσο με 5% ΥΑΕΦ (υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου φοινικέλαιου -POME Palm Oil Mill Effluent-).	59
Σχήμα 40 Είδη φωτοβιοαντιδραστών (PBR's) για την Chlorella UMACC 283	59
Σχήμα 41 Ρυθμός ανάπτυξης της Chlorella UMACC 283 σε θρεπτικό μέσο BBM και σε μέσο καλλιέργειας με 5% ΥΑΕΦ (υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου φοινικέλαιου -POME-). Σημείωση: HRAP-high rate algal pond, AN-annular, PP flat panel.	60
Σχήμα 42 Επίδραση a) της αναλογίας μεθανόλης:έλαιου, b) της ποσότητας καταλύτη, c) της θερμοκρασίας επώασης, d) της ταχύτητας ανάδευσης και τέλος e) του χρόνου αντίδρασης στην απόδοση παραγωγής μεθυλεστέρων λιπαρών οξέων από ελεύθερα λιπαρά οξέα.	61
Σχήμα 43 Κατανάλωση σακχάρων και απόδοση παραγωγής βιοαιθανόλης από ξυλόζη και γλυκόζη κατά την αλκοολική ζύμωση με μύκητα P. Tannophilus.	64
Σχήμα 44 Κατανάλωση σακχάρων και απόδοση παραγωγής βιοαιθανόλης από στερεά απόβλητα ελαιοτριβείου κατά την αλκοολική ζύμωση με μύκητα P. Tannophilus.	64
Σχήμα 45 Διάγραμμα συστήματος παραγωγής μπρικέτας (BHH).	68
Σχήμα 46 Διάγραμμα συστήματος εναλλακτικής PHWH.	69
Σχήμα 47 Διάγραμμα συστήματος εναλλακτικής PIB.	70
Σχήμα 48 Διάγραμμα συστήματος πυρόλυσης (Pyro).	70
Σχήμα 49 Διάγραμμα συστήματος εναλλακτικής CBP.	71
Σχήμα 50 Απόδοση των σεναρίων για κάθε κατηγορία ανά κιλό αποβλήτων ελαιοτριβείων. Πηγή: ...	74
Σχήμα 51 Απόδοση εναλλακτικών λύσεων στο σενάριο καθαρής ενέργειας (4% φυσικό αέριο, 71% άνθρακα και 25% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας).	75
Σχήμα 52 Απόδοση εναλλακτικών λύσεων στο σενάριο μεγάλων αποστάσεων μεταφοράς (1000 χλμ. Στην αγορά ενέργειας και 300 χλμ. εφαρμογής γης σαν κομπόστ)	76

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Σύσταση του καρπού της ελιάς.	2
Πίνακας 2 Κυριότερα λιπαρά οξέα στο ελληνικό ελαιόλαδο.	9
Πίνακας 3 Φυσικές και χημικές παράμετροι των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων με τρεις διαφορετικές μεθόδους παραγωγής.	12
Πίνακας 4 Σύνθεση φλοιού παρθένου ελιάς.	13
Πίνακας 5 Χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά φλοιού ελιάς μετά την επεξεργασία.	13
Πίνακας 6 Φυτικοχημικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστων ΥΑΕ.	15
Πίνακας 7 Δεδομένα ανάλυσης βιομαζών (εμποτισμένων και μη).	42

Πίνακας 8 Χημικά χαρακτηριστικά πριονιδιού και εμποτισμένου πριονιδιού.	44
Πίνακας 9 Επίδραση του ρυθμού θέρμανσης και της θερμοκρασίας στην απόδοση των προϊόντων της πυρόλυσης ΣΑΕ και αφυδατωμένων ΥΑΕ.	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 10 Δεδομένα ανάλυσης χρωματογραφίας στήλης για τα βιο-έλαια των ΣΑΕ των αφυδατωμένων ΥΑΕ.	48
Πίνακας 11 Ιδιότητες βιοελαίου.	49
Πίνακας 12 Ιδιότητες βιοεξανθρακώ.	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 13 Δεδομένα απόδοσης παραγωγής αερίων, απομάκρυνσης COD και TOC που προέκυψαν από την διεργασία YNA των ΥΑΕ.	52
Πίνακας 14 Δεδομένα αναλύσεων ΥΑΕ για παραγωγή βιοαερίου.	56
Πίνακας 15 Χαρακτηριστικά της βιομάζας μικροφυκών που παρήχθησαν από διάφορα μείγματα θρεπτικών μέσων με διαφορετική αναλογία σε ΥΑΕΦ (POME).	60
Πίνακας 16 Βέλτιστη κατάσταση για παραγωγή βιοντίζελ από τα απόβλητα του ελαιοτριβείου φοινικέλαιου με χρήση ενζυματικού και χημικού καταλύτη.	62
Πίνακας 17 Κατανάλωση σακχάρων και απόδοση παραγωγής βιοαιθανόλης κατά τη ζύμωση υποστρωμάτων-μοντέλων (γλυκόζη, ξυλόζη) και υδρολυμάτων κατεργασμένα με οξύ ή βάση με τον μύκητα <i>P. tannophilus</i>	65
Πίνακας 18 Χαρακτηριστικά των αποβλήτων που παράγονται από την αυστραλιανή βιομηχανία ελαιόλαδου.	67
Πίνακας 19 Εκπομπές από ξηρό κέικ ελιάς (κιλά ανά κέικ ελαιόκαρπου- 12% Περιεκτικότητα σε υγρασία).	71
Πίνακας 20 Εκπομπές από καύση μπρικετών σε καυστήρα στερεού καυσίμου συμβατή με AS/NZ (kg ανά Mg στερεού καυσίμου).	72
Πίνακας 21 Εκπομπές χρήσης προϊόντων πυρόλυσης (kg ανά τόνο ΣΑΕ περιεκτικότητα σε υγρασία 12%).	72
Πίνακας 22 Συντελεστές εκπομπής για κομποστοποίηση (κιλά ανά Mg ΣΑΕ)	73

Ακρωνύμια

Ελληνικά Ακρωνύμια

ΜΕΥΑ: Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

ΠΑΥ: Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες

ΣΑ: Στερεά Απόβλητα

ΣΑΕ: Στερεά Απόβλητα Ελαιοτριβείου

ΥΑΕ: Υγρά Απόβλητα Ελαιοτριβείου

ΥΑΕΦ: Υγρά Απόβλητα Ελαιοτριβείου Φοινικέλαιου

ΥΑΝ: Υπερκρίσιμη Αεριοποίηση Νερού

Ξενόγλωσσα Ακρωνύμια

AOPs: Advanced Oxidation Processes

BOD: Biochemical Oxygen Demand

COD: Chemical Oxygen Demand

PBR: Photo Bio Reactor

PCB: Polychlorinated Biphenyl

POME: Palm Oil Mill Effluent

SCWG: Supercritical Water Gasification

SS: Suspended Solids

TSS: Total Suspended Solids

1. Εισαγωγή

Η παραγωγή και η εκμετάλλευση του καρπού της ελιάς αποτελεί σήμα κατατεθέν των χωρών της Μεσογείου. Στον τόπο αυτό ευδοκίμούν ποικιλίες που προορίζονται για απευθείας κατανάλωση ή και για παραγωγή ελαιόλαδου. Η ελιά είναι από αρχαιοτάτων χρόνων συνυφασμένη με τη σοφία, την ειρήνη, τη δόξα και την αφθονία. Από την εποχή εκείνη είχε εκτιμηθεί η αξία της και μέχρι και σήμερα, η ελιά ή τα παράγωγά της δεν λείπουν από το ελληνικό τραπέζι.

Η ελιά αποτελεί αειθαλές δένδρο το οποίο φτάνει σε ύψος από 3 έως και 5 μέτρα. Η καλλιέργεια της ελιάς είναι μία χρονοβόρα και απαιτητική διαδικασία, αφού η πρώτη παραγωγή ελαιόλαδου από ένα νεοφυές δένδρο υπολογίζεται μετά από 8 έως 10 χρόνια. Το ελαιόδεντρο έχει μικρά και λευκά άνθη κατά τον Μάιο. Το φύλλωμα του δένδρου είναι χαρακτηριστικό καθώς έχει ασημί χρώμα στο κάτω μέρος και πράσινο στο πάνω.

Το ελαιόλαδο είναι το κύριο παράγωγο της ελιάς και αποτελεί την βάση της μεσογειακής διατροφής. Έχει υψηλή διατροφική αξία και χρησιμοποιείται εκτός της μαγειρικής στη σαπωνοποιεία και την παραγωγή προϊόντων κοσμετολογίας. Επιπλέον η ελιά και το ελαιόλαδο αποτελούν σημαντικό εμπορικό αγαθό υψηλής αξίας, ενώ στην αρχαιότητα οι λαοί της Μεσογείου φρόντισαν τη διάδοση των καλλιεργειών της ελιάς σε κάθε αποικία, αφού απέφερε υψηλό κέρδος.

Η Ελλάδα αποτελεί δραστήριο παραγωγό ελιάς αλλά και ελαιόλαδου. Οι νομοί με το μεγαλύτερο αριθμό ελαιόδεντρων είναι μεταξύ άλλων οι νομοί Μεσσηνίας, Ηράκλειου, Λακωνίας, Λέσβου, Χανίων, Ηλείας κ.α. Οι κύριες ποικιλίες ελιάς που καλλιεργούνται για παραγωγή ελαιόλαδου είναι (Ποντίκης, 2000): α) η Κορονέικη, β) η Λιανολιά Κέρκυρας, γ) η Κουτσουρελιά, δ) η Μαστοειδής, ε) η Αγουρομανακολιά, στ) η Αδραμυτινή και ζ) η Βαλανολιά.

Η παραγωγή του ελαιόλαδου πραγματοποιείται στα ελαιοτριβεία. Η παραγωγική διαδικασία παράγει αναπόφευκτα απόβλητα, υγρά και στερεά. Τα υγρά απόβλητα είναι ο κατσίγαρος και τα νερά πλύσης, ενώ στα στερεά απόβλητα υπάγονται κυρίως η ελαιοζύμη και οι πυρήνες του καρπού. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων ελαιοτριβείου καθίσταται απαραίτητη αφενός μεν για λόγους άντλησης όσο το δυνατόν περισσότερων πρώτων υλών και ενέργειας από τα απόβλητα και αφετέρου για την μείωση της

περιβαλλοντικής ρύπανσης και της ακολουθίας του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας προς την αειφορική διαχείριση των προσφερόμενων πόρων της γης.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ανασκόπηση των χαρακτηριστικών των αποβλήτων των ελαιοτριβείων και των μεθόδων επεξεργασίας τους, δίνοντας έμφαση στην ενεργειακή τους αξιοποίηση παράγοντας είτε άμεσης μορφής ενέργεια μέσω π.χ. καύσης, είτε προϊόντων προστιθέμενης αξίας, που με την σειρά τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας (βιοαέριο, βιοντήζελ κλπ.).

2. Παραγωγή του Ελαιόλαδου

2.1.Επεξεργασία Ελιάς

Η Ελλάδα είναι η τρίτη ελαιοπαραγωγός χώρα στο κόσμο με καλλιεργήσιμη έκταση 6.700.000 στρέμματα, η οποία ανέρχεται σε 7.500.000 στρέμματα αν συνυπολογιστεί η έκταση που αντιστοιχεί στα διάσπαρτα δέντρα. Ο αριθμός δένδρων στη χώρα μας είναι 133.000.000 από τα οποία 100.000.000 σε κανονικούς ελαιώνες και τα υπόλοιπα ως διάσπαρτα δένδρα (Θέριος, 2005). Η μέση ετήσια παραγωγή ελαιόλαδου είναι 426.000 τόνοι. Η ελαιοκαλλιέργεια καλύπτει το 13% της καλλιεργούμενης ελληνικής γης, ήτοι 6,7-7,5 εκ. στρέμματα. Το ελαιόλαδο καλύπτει το 70% του ελληνικού πληθυσμού σε λιπαρά και σημαντικό μέρος του εξάγεται (Θέριος, 2005). Η σύσταση του ελαιόκαρπου φαίνεται στον Πίνακα 1

Πίνακας 1 Σύσταση του καρπού της ελιάς. Πηγή: (Ποντίκης , 2000)

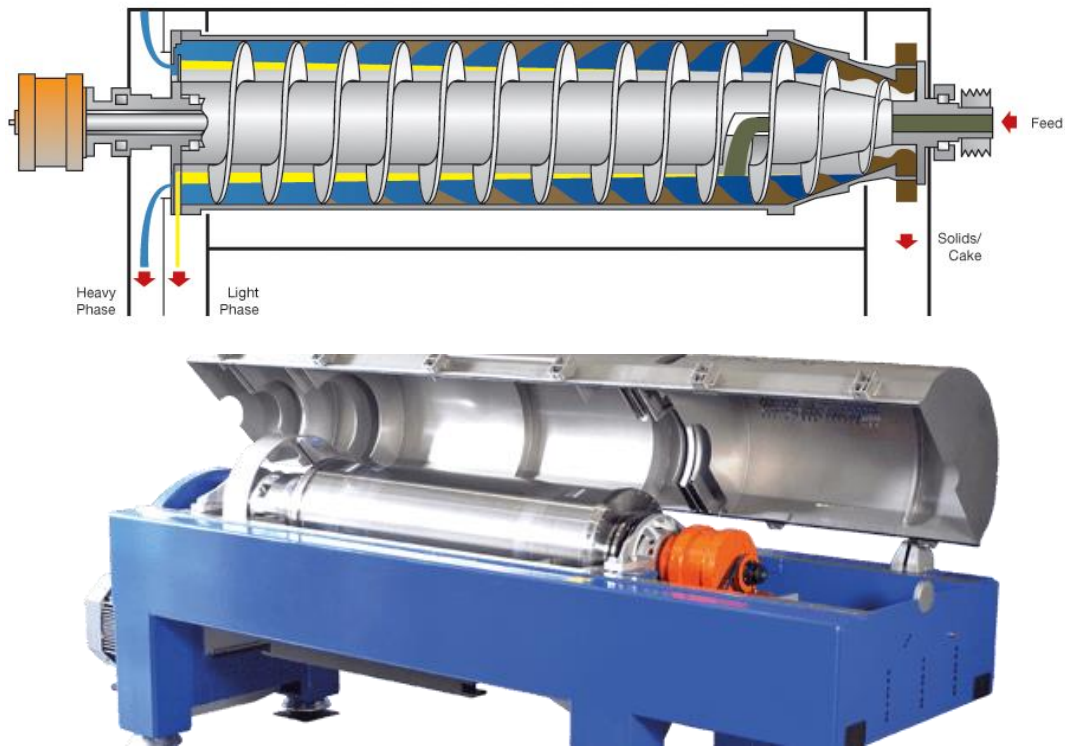
Τύπος ελιάς	Πρω- τεΐνες (gr)	Λάδι (gr)	Θερ- μίδες	Ca (mg)	Fe (mg)	Βιταμίνες			
						A (M.Δ.)	B ₁ (mg)	B ₂ (mg)	PP (mg)
Πράσινες	1	11	106	72	1,6	240	0,02	0,06	0,4
Μαύρες	1,5	24	244	58	2,6	150	0,02	0,18	0,7

Η περίοδος στην οποία συλλέγεται ο καρπός της ελιάς που είναι έτοιμος να δώσει ελαιόλαδο είναι όταν οι πράσινοι καρποί είναι πλέον σκούροι μαύροι ή όταν αυτοί έχουν αποκτήσει τη μέγιστη ελαιοπεριεκτικότητα. Οι μέθοδοι συγκομιδής που ακολουθούνται είναι (Ποντίκης , 2000):

- Με μηχανικά μέσα (δονητές, ραβδιστικά)
- Με άρμεγμα
- Με τα χέρια από το έδαφος
- Με πλαστικά δίχτυα
- Με ραβδισμό

Ο καρπός της ελιάς οδηγείται μετά την συγκομιδή στα ελαιοτριβεία, όπου ακολουθείται η διαδικασία εξαγωγής του λαδιού. Η επεξεργασία της ελιάς απαιτεί σήμερα σύγχρονα μηχανήματα, τα οποία και οφείλει να έχει στη διάθεση του κάθε μονάδα ελαιοπαραγωγής. Τα κυριότερα εξ αυτών είναι (Κυριτσάκης, 2002):

- Αποφυλλωτήριο: εκεί διαχωρίζεται ο καρπός από τα φύλλα
- Πλυντήριο: εκεί υποβάλλεται η ελιά σε διαδικασία πλύσης
- Σπαστήρας: εκεί πραγματοποιείται το άλεσμα του καρπού
- Μαλακτήρας: εκεί επεξεργάζεται το προϊόν του σπαστήρα (ελαιοζύμη). Εξωτερικά του μαλακτήρα κυκλοφορεί νερό 25°C, το οποίο ζεσταίνει τα τοιχώματα και θερμαίνει την ελαιοζύμη. Για χρόνο περίπου μισής ώρας η ελαιοζύμη υποβάλλεται επιπλέον σε μάλαξη (ήπια ανάμειξη). Με την μέθοδο αυτή γίνεται ευκολότερη η εξαγωγή του ελαιόλαδου από τα κύτταρα και η συσσωμάτωση των σταγονιδίων του σε μεγαλύτερες.
- Φυγοκεντρικής (decanter – Σχήμα 1) οριζόντιας διάταξης: εκεί πραγματοποιείται διαχωρισμός του λαδιού από τα στερεά κλάσματα (πυρήνας) και τα ΥΑΕ (κυρίως νερό και άλλα φυτικά υγρά). Πριν το στάδιο της φυγοκέντρισης, το αρχικό μείγμα (ελαιοζύμη) υποβάλλεται σε αραίωση με βιομηχανικό νερό ώστε να διευκολύνει τον διαχωρισμό του ελαιόλαδου από τα υπόλοιπα στερεά συστατικά και το νερό. Τις περισσότερες φορές το υδαρές κλάσμα (απόνερα) που προκύπτει πρέπει να περάσει εκ νέου από το ντεκάντερ, ώστε να κατακρατηθούν τυχόν υπολείμματα λαδιού που πέρασαν στα απόνερα.
- Ελαιοδιαχωριστήρας κάθετης διάταξης: εκεί πραγματοποιείται ο τελευταίος διαχωρισμός και στη συνέχεια καθαρισμός του ελαιόλαδου από νερό και άλλες υγρές οι στερεές ανεπιθύμητες προσμίξεις που έμειναν στη συσκευή του ντεκάντερ.



Σχήμα 1 Decanter παραγωγής ελαιόλαδου. Πηγή: alfalaval.com

Παράγοντες που κατά την επεξεργασία του ελαιόκαρπου μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του παραλαμβανόμενου ελαιόλαδου είναι κυρίως (Κυριτσάκης, 2002):

- Η θερμοκρασία στην οποία θερμαίνεται η ελαιοζύμη κατά την μάλαξη, η οποία δεν πρέπει να ξεπερνάει τους 25°C.
- Η έκθεση της ελαιοζύμης στον αέρα (που οδηγεί στην οξείδωση) η οποία σε καλής κατασκευής μαλακτήρες περιορίζεται σημαντικά.
- Η παρουσία στο λάδι ιχθών μετάλλων που αποφεύγεται αν όλες οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον καρπό, την ελαιοζύμη και το λάδι είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτα μέταλλα καλής ποιότητας.

2.2. Παραγωγική Διαδικασία

Η ελαιοπαραγωγή χωρίζεται σε κάποια βασικά βήματα, τα οποία αναφέρθηκαν νωρίτερα, εν συντομία αναφέρονται ότι είναι: η παραλαβή του καρπού της ελιάς, η τροφοδότηση της μονάδας ελαιοπαραγωγής με τους καρπούς, η αφαίρεση και απομάκρυνση των φύλλων, το καθάρισμα της ελιάς, η παραγωγή της ελαιοζύμης μέσω των σπαστήρων, η μάλαξη της ελαιοζύμης, η εξαγωγή του λαδιού από την ζύμη και ο

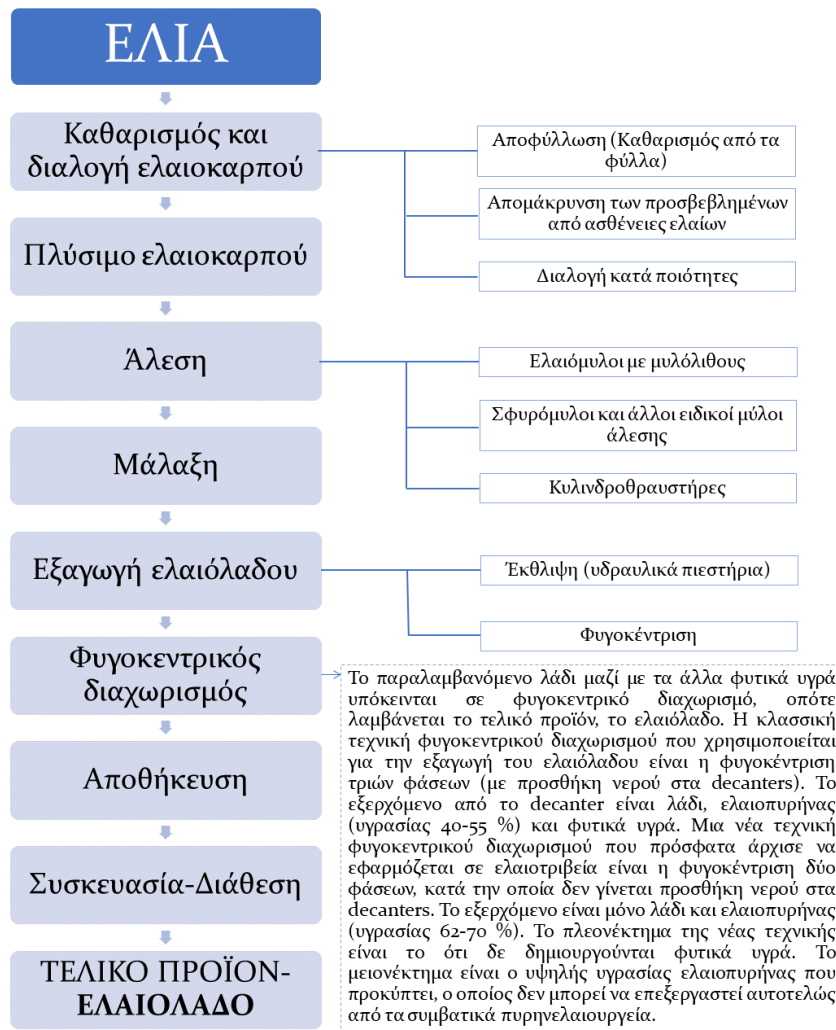
τελικό διαχωρισμός και εξευγενισμός του λαδιού. Στη Ελλάδα υπάρχουν 3.248 ελαιοπαραγωγικές μονάδες εν λειτουργία, η δυναμικότητα των οποίων υπερβαίνει τους 19.000 τόνους/ οκτάωρο (Θέριος, 2005). Το 17% των ελαιοτριβείων είναι συνεταιριστικά ενώ τα περισσότερα είναι ιδιωτικά.

Τα στάδια παραγωγής ελαιόλαδου παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχήμα 2. Αναλυτικότερα τα στάδια ελαιοπαραγωγής είναι τα εξής (Αρβανιτογιάννης & Τράικου, 2002):

- Συγκομιδή ελαιόκαρπου. Η συλλογή της ελιάς από τα ελαιόδεντρα είναι αναγκαίο να πραγματοποιείται στη βέλτιστη εποχή ωρίμανσης. Ακολουθώντας τη μέθοδο αυτή, η ελιά παράγει περισσότερο λάδι ανά καρπό αλλά και εμφανίζει βελτιωμένη ποιότητα. Η βέλτιστη εποχή συγκομιδής είναι την στιγμή που αλλάζει το χρώμα το καρπού από κιτρινοπράσινο σε σκούρο μελανό.
- Αποθήκευση ελαιόκαρπου. Ο καρπός της ελιάς πρέπει να διατηρείται σε μέρη όπου να είναι αεριζόμενα, κατά προτίμηση σε ξύλινα ή πλαστικά καφάσια. Στον αποθηκευτικό χώρο, είναι ανάγκη να παρέχεται πρόληψη για τον μη τραυματισμό του καρπού αλλά και την μη αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Για τη αποφυγή αλλοιώσεων της ελιάς συνίσταται η σύντομη και όχι μακροχρόνια αποθήκευση.
- Αποφύλλωση. Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται στον αποφυλλωτή όπου εκεί διαχωρίζεται ο καρπός της ελιάς από το φύλλωμα του. Η παρουσία φυλλώματος στην ελαιοζύμη είναι συνυφασμένη με αύξηση της οξύτητας του λαδιού, μείωση της ποιοτικής αξίας του ελαιόλαδου (λόγω παρουσίας χλωροφύλλης) αλλά και πικρή γεύση του τελικού προϊόντος.
- Πλύσιμο. Κατά τη διαδικασία του πλυσίματος του καρπού της ελιάς απομακρύνονται τα ξένα σώματα που φέρει η ελιά κατά τη συγκομιδή της. Επιπλέον με το πλύσιμο επιτυγχάνεται η παρεμπόδιση του σχηματισμού αλκαλογαιωδών μειγμάτων κατά τον διαχωρισμό.
- Θραύση-Άλεση ελιάς. Στο σημείο αυτό δημιουργείται η άλεση του καρπού και ο σχηματισμός της ελαιοζύμης. Κατά την θράση των καρπών το μείγμα υφίσταται μερική ανάδευση και μάλαξη.
- Μάλαξη. Η ελαιοζύμη αποτελείται από σταγονίδια ελαίων και διάφορα φυτικά υγρά. Η μάλαξη βοηθά την συσσωμάτωση των σταγονιδίων του ελαιόλαδου και κατ' επέκταση επιταχύνει την εξαγωγή του τελικού προϊόντος. Η διεργασία αυτή

αποτελεί σημαντικό κομμάτι της παραγωγής ελαιόλαδου και οι ελαιοπαραγωγή δίνουν μεγάλη σημασία σε αυτήν.

- Μετά πίεσης παραλαβή του λαδιού. Το ελαιόλαδο διαχωρίζεται από την ελαιοζύμη με εφαρμογή πίεσης. Ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται ελαιοδιαφράγματα, τα οποία υποβοηθούν στην βελτιστοποιημένη διασπορά της ελαιοζύμης σε λεπτό καταμερισμό. Τα ελαιοδιαφράγματα χρησιμοποιούνται ως μέσα διήθησης, καθώς εμποδίζουν την είσοδο της στερεής φάση ενώ επιτρέπουν την έξοδο της υγρής.
- Καθαρισμός ελαιόλαδου και τελικό διαχωρισμός . Μετά την παραλαβή του λαδιού από την προαναφερθείσα διεργασία, τούτο καθαρίζεται αφού διέλθει μέσα από τη συσκευή του ελαιοδιαχωριστήρα. Τα χαρακτηριστικά του καρπού που φαίνεται να παίζουν ρόλο στο τελικό προϊόν είναι : α) το σχήμα και οι διαστάσεις των σταγονιδίων, β) το ειδικό βάρος, γ) η θερμοκρασία και δ)το ιζώδες.
- Ραφινάρισμα. Αν το ελαιόλαδο που έχουμε παραλάβει έχει οξύτητα μεγάλη και είναι υποβαθμισμένης ποιότητας, τότε πρέπει να υποβληθεί στη διεργασία του ραφινάρισματος. Αλλά ακόμα και όταν η οξύτητά του είναι ικανοποιητική, το ελαιόλαδο δεν παραλαμβάνεται καθαρό, αλλά ως μίγμα μαζί με τα φυτικά υγρά και άλλες ακαθαρσίες τα οποία αποτελούν την «μούργα». Τότε το ελαιόλαδο υποβάλλεται σε απομάκρυνση βλεννοδών ουσιών, εξουδετέρωση ελεύθερων λιπαρών οξέων, απόσμιση και αποχρωματισμό.
- Συσκευασία. Κατά την τυποποίηση οδηγείται το ελεγμένο προϊόν της ελιάς προς τον καταναλωτή, μέσα από αυστηρά ελεγχόμενες διαδικασίες. και ελέγχους καταλληλότητας τίθενται και τα υλικά συσκευασίας. Τα υλικά αυτά είναι: α) πλαστικές φιάλες PET και PVC, β) γυάλινες φιάλες, γ) χαρτοκιβώτια και δ) λευκοσιδηρά δοχεία



Σχήμα 2 Σχηματοποιημένη παραγωγική διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου. Πηγή: (Νταρακάς, 2006)

2.3. Ποιότητα και Σύσταση Ελαιόλαδου

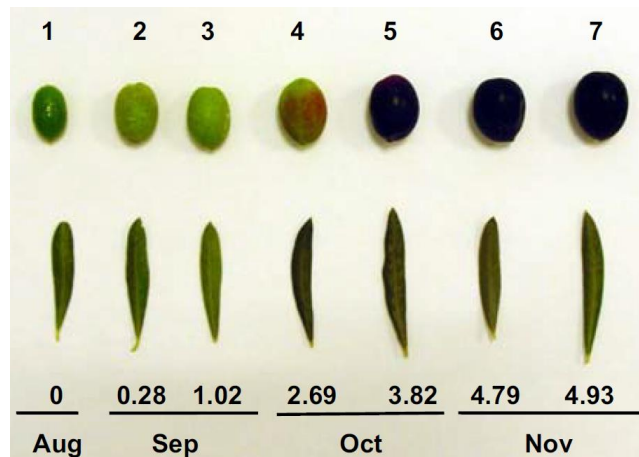
Το ελαιόλαδο όπως το γνωρίζουμε σήμερα είναι τριγλυκερίδια λιπαρών οξέων (από C15 και άνω), κορεσμένων αλλά και ακόρεστων. Περισσότερα χημικά συστατικά τα οποία έχει ανάγκη ο άνθρωπος και βρίσκονται στο ελαιόλαδο είναι: (Κυριτσάκης, 2002):

- Το σκουαλένιο, το οποίο λαμβάνει ενεργό μέρος στο μεταβολισμό του ανθρώπου
- Λιποδιαλυτές βιταμίνες, κυρίως E (τοκοφερόλη)
- Στερόλες, φαινόλες και άλλες αντιοξειδωτικές ουσίες

- Αρωματικές ενώσεις που δίνουν στο λάδι οσμή και γεύση (αλδεΐδες, κετόνες).

Έχουν θεσπιστεί παράλληλα και οι παράμετροι για τον ποιοτικό έλεγχο του προϊόντος της ελιάς, τα οποία είναι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, η οξείδωση η οξύτητα και το χρώμα (Θέριος, 2005).

- Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά συχνά επηρεάζονται από το κλίμα της περιοχής παραγωγής της ελιάς αλλά και από ανθρωπογενείς παράγοντες. Η γεύση, η οσμή και το χρώμα βασίζονται εκτός από τις κλιματικές συνθήκες του εδάφους, και από τη ποικιλία του ίδιου του καρπού. Η γεύση του ελαιόλαδου είναι αποτέλεσμα της ποσότητας των λιπαρών οξέων (κυρίως λινελαϊκό και ελαϊκό οξύ), των πολυφαινολών και άλλων πτητικών συστατικών.
- Οξείδωση, ο προσδιορισμός της οποίας γίνεται με την UVαπορρόφηση ή τον προσδιορισμό των υπεροξειδίων.
- Οξύτητα, η οποία αποτελεί ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά ποιότητας του λαδιού. Με βάση τα ποσοστά οξύτητας μπορεί να αναγνωριστεί το λάδι ως ελαιόλαδο βιομηχανικής χρήσης ή βρώσιμο.
- Χρώμα, το οποίο εμφανίζεται βάσει των αντίστοιχων χρωστικών του καρπού, την εποχή συλλογής τους από τους ελαιώνες. Μεγάλο μέρος της ποιοτικής αξιολόγησης βασίζεται στο χρώμα του τελικού προϊόντος (Σχήμα 3).



Σχήμα 3 Αλλαγές στο χρώμα του φλοιού της ποικιλίας *Olea europaea L* ανάλογα με την εποχή συγκομιδής. Εικόνα πάνω από το πείραμα. Πηγή: (Preedy & Watson, 2021)

Σε κάθε περιοχή, η ποικιλία της ελιάς έχει επιλεγθεί εμπειρικά από τους παραγωγούς, μετά από μακροχρόνια παρατήρηση. Τα κυριότερα λιπαρά οξέα στο ελληνικό ελαιόλαδο δίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Κυριότερα λιπαρά οξέα στο ελληνικό ελαιόλαδο. Πηγή: (Κυριτσάκης, 2002)

Λιπαρό οξύ	Περιεκτικότητα (%)
Ακόρεστα	
Ελαϊκό	56-83
Λινελαϊκό	3,5-20
Λινολενικό	0,0-1,5
Παλμιτολεϊκό	0,3-3,5
Κορεσμένα	
Παλμιτικό	7,5-20
Στεατικό	0,5-5,0

Το ελαιόλαδο μπορεί ωστόσο ενδέχεται να περιέχει ουσίες, οι οποίες σύμφωνα με αναλύσεις και μελέτες αποτελούν δυνητικά επικίνδυνες ενώσεις για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Οι ουσίες αυτές μπορεί να προστεθούν στο τελικό προϊόν μέσω των διαφόρων διεργασιών που υφίσταται. Οι βασικότερες ενώσεις είναι (Θέριος, 2005):

- Γεωργικά πρόσθετα- υπολείμματα εδαφοβελτιωτικών προϊόντων τα οποία υφίστανται λόγω της λάθος χρήσης και δοσολογίας στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις.
- Πτητικοί αλογονομένοι υδρογονάνθρακες (freon, τριχλωροαιθάνιο, τετραχλωροαιθυλένιο), οι οποίοι ανιχνεύονται λόγω παρακείμενων εγκαταστάσεων ψύξης ή τυποποίησης
- Η παρουσία ΠΑΥ στα πυρηνέλαια οφείλεται στο τρόπο παραγωγής τους
- Βαρέα μέταλλα, τα οποία μεταφέρονται στο ελαιόλαδο λόγω της επαφής τους με δεξαμενές κατά την αποθήκευση ή την παραγωγή ακατάλληλου υλικού
- Διοξίνες, PCB's και αρωματικοί υδρογονάνθρακες
- Ξένα σώματα, όπως κομμάτια μετάλλων, πλαστικού και γυαλιού

2.4.Αποθήκευση Προϊόντος

Η διατήρηση και αποθήκευση του ελαιόλαδου είναι ένα κρίσιμο στάδιο της ελαιοπαραγωγής, το οποίο ενέχει πολλούς κινδύνους. Τα μέσα αποθήκευσης πρέπει να είναι ανοξείδωτα (inox tanks) και οι θερμοκρασίες θα πρέπει να είναι αυστηρά χαμηλές

(Κυριτσάκης, 2002). Περεταίρω αλλοιώσεις στο ελαιόλαδο μπορεί να επέλθουν κατά την έκθεση του προϊόντος σε οξυγόνο ή φως, για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να χρησιμοποιείται συσκευασία αεροστεγής και αδιάφανη. Μάλιστα αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Κυριτσάκης, 2002) ότι πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η χρήση πλαστικών μπουκαλιών αποθήκευσης, διανομής και τυποποίησης του ελαιόλαδου, καθώς έχει σημειωθεί προσρόφηση και απομάκρυνση πτητικών συστατικών του ελαιόλαδου αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του.

Στη Σχήμα 4 φαίνονται παραδείγματα δεξαμενών στις οποίες γίνεται αποθήκευση ελαιόλαδου. Είναι απαραίτητο το ανοξείδωτο υλικό να είναι απρόσβλητο από το ελαιόλαδο και να είναι αδρανές.



Σχήμα 4 Δεξαμενές ανοξείδωτου χάλυβα για την αποθήκευση ελαιόλαδου. Πηγή: euroinox.gr

3. Απόβλητα Ελαιοτριβείου- Χαρακτηρισμός και Επιπτώσεις

3.1.Στερεά Απόβλητα

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ελαιόλαδου (ελαιοτριβεία) παράγουν στερεά απόβλητα από τις διεργασίες τους. Τα στερεά απόβλητα των εγκαταστάσεων αυτών είναι κυρίως οι πυρήνες των ελιών και τα φύλλα των ελαιόδεντρων. Τα φύλλα συλλέγονται στο στάδιο του καθαρισμού και διαλογής του καρπού της ελιάς. Οι εξερχόμενοι πυρήνες του ελαιόκαρπου προωθούνται σε πυρηνελαιουργεία για παραγωγή πυρηνέλαιου (Νταρακάς, 2006). Η βιομηχανία της ελαιοπαραγωγής παράγει υψηλές ποσότητες αποβλήτων, οι οποίες ενέχουν τον κίνδυνο ρύπανσης του περιβάλλοντος. Οι ενώσεις που περιέχονται είναι υψηλής ρυπογόνου δράσης και απαντώνται και στα στερεά και στα υγρά απόβλητα των εγκαταστάσεων αυτών.

Κατά την παραγωγή του ελαιόλαδου είναι δυνατό να παραχθεί απόβλητο 30-40% κατά βάρος του επεξεργασμένου καρπού. Καθοριστική παράμετρος για τη μάζα και τον όγκο των αποβλήτων παίζει η υγρασία του καρπού, η οποία λειτουργεί προσθετικά στα απόβλητα, κυρίως τα υγρά. Επιπλέον η μέθοδος παραγωγής φαίνεται να επηρεάζει την ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων (Caruto, et al., 2003). Τα παραγόμενα στερεά απόβλητα των ελαιουργείων περιέχουν συχνά υψηλό ποσοστό υγρασίας και μέση ποσότητα οξυγονούχων ενώσεων. Οι ενώσεις αυτές (π.χ. φαινολικές κλπ.) περιορίζουν την θερμογόνο δύναμή τους (heating value), αυξάνοντας μάλιστα και τους τεχνικούς περιορισμούς κατά την επεξεργασία του καρπού αλλά και των αποβλήτων. Το γεγονός αυτό φαίνεται να αυξάνει και το συνολικό λειτουργικό κόστος και κατ' επέκταση και του προϊόντος.

Τα στερεά απόβλητα των ελαιοτριβείων περιέχουν πλήθος άλλων ενώσεων, οι οποίες είναι δυνητικά ρυπογόνες, όπως ποσότητες χλωρίου και άλλων συστατικών, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει αφενός μεν στη ακούσια παραγωγή φυτοτοξικών και τοξικών συστατικών (HCl, φουράνια ή διοξίνες) και αφετέρου στην ρύση του pH του εδάφους σε επικίνδυνα όξινες τιμές (De Leonardis, 2014). Εν αντιθέσει, τα στερεά απόβλητα των ελαιοτριβείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή πρώτων υλών, όπως π.χ. οργανικά και ανόργανα συστατικά τα οποία δύνανται να χρησιμοποιηθούν στην βιοτεχνολογία, τη γεωργία, την βιομηχανία τροφίμων αλλά και την φαρμακοβιομηχανία. (Zirehpour, et al., 2015).

Όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα, οι διαφορετικές μέθοδοι παραγωγής ελαιόλαδου παράγουν απόβλητα διαφορετικής σύστασης. Στον Πίνακα 3 φαίνονται οι φυσικές και χημικές παράμετροι των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων με τρεις διαφορετικές μεθόδους παραγωγής. Βάσει του πίνακα εξάγεται το συμπέρασμα ότι το διφασικό σύστημα αποφέρει στερεά απόβλητα με το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους παραγωγής ελαιόλαδου.

Πίνακας 3 Φυσικές και χημικές παράμετροι των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων με τρεις διαφορετικές μεθόδους παραγωγής. Πηγή: (Vlyssides, et al., 2004)

Χαρακτηριστικά	Εξαγωγή ελαιόλαδου με πίεση	Εξαγωγή ελαιόλαδου με τριφασικό σύστημα	Εξαγωγή ελαιόλαδου με διφασικό σύστημα
Υγρασία (%)	27,2 ± 1,048	50,23 ± 1,935	56,80 ± 2,188
Λίπη - Έλαια (%)	8,72 ± 3,254	3,89 ± 1,449	4,65 ± 1,736
Πρωτεΐνες (%)	4,77 ± 0,024	3,43 ± 0,017	2,87 ± 0,014
Σάκχαρα (%)	1,38 ± 0,016	0,99 ± 0,012	0,83 ± 0,010
Κυτταρίνη (%)	24,1 ± 0,283	17,37 ± 0,203	14,54 ± 0,170
Ημικυτταρίνη (%)	11,0 ± 0,608	7,92 ± 0,438	6,63 ± 0,366
Τέφρα (%)	2,36 ± 0,145	1,70 ± 0,105	1,42 ± 0,088
Λιγνίνη (%)	14,1 ± 0,291	10,21 ± 0,209	8,54 ± 0,175
Οργανικό N (%)	0,71 ± 0,010	0,51 ± 0,007	0,43 ± 0,006
P (%)	0,07 ± 0,005	0,05 ± 0,004	0,04 ± 0,003
Phenolic compounds (%)	1,14 ± 0,06	0,326 ± 0,035	2,43 ± 0,15
K (%)	0,54 ± 0,045	0,39 ± 0,033	0,32 ± 0,027
Ca (%)	0,61 ± 0,059	0,44 ± 0,043	0,37 ± 0,036
TOC (%)	42,9 ± 3,424	29,03 ± 2,317	25,37 ± 2,025
C/N	60,7 ± 5,352	57,17 ± 5,033	59,68 ± 5,254
C/P	588,7 ± 51,25	552,9 ± 48,20	577,2 ± 50,31

Ο πυρήνας από τα συστήματα δύο φάσεων παρουσιάζει σημαντικές διαφορές από τον πολτό της ελαιοζύμης με την κυριότερη εξ αυτών την περιεκτικότητα σε υγρασία. Ο αλεσμένος πυρήνας από τα συστήματα δύο φάσεων περιέχει μέρη από την φλούδα του καρπού, φυτικά υγρά αλλά και μικρά μέρη του πυρήνα, προσδίδοντας του έτσι υψηλή πυκνότητα αλλά και ημίρρευστη υφή (Milos, 2017). Παρ όλων των

προβλημάτων που δημιουργεί το υψηλό ποσοστό υγρασίας του πυρήνα, υφίστανται σήμερα κατάλληλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αυτών (πυρηνελαιουργεία) στα οποία γίνεται επεξεργασία του πυρήνα από τα συστήματα δύο φάσεων για την παραγωγή πυρηνέλαιου και πυρηνόξυλου (Φωτεινόπουλος & Νταρακάς , 2018).

Οι (Caruto, et al., 2003) μελέτησαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του φλοιού της ελιάς μετά την διαδικασία της εξαγωγής του ελαιόλαδου. Στην περίπτωση αυτή συγκρίθηκαν αφενός μεν τα χαρακτηριστικά από συνεχείς και ασυνεχείς διεργασίες και αφετέρου προσδιορίστηκαν η στοιχειακή ανάλυση και η θερμογόνος δύναμη του φλοιού (olive husk), ως στερεό απόβλητο των ελαιοτριβείων. Στους Πίνακες 4 και 5 φαίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν από την μελέτη.

Πίνακας 3 Σύνθεση φλοιού παρθένου ελιάς. Πηγή: (Caruto, et al., 2003)

Παράμετρος	Συνεχείς Διεργασίες	Ασυνεχείς Διεργασίες
Πολφός (%)	31	22
Πυρήνας (%)	36	20
Υπολ/κό έλαιο (%)	8	3
Υπολ/κό νερό (%)	25	55

Πίνακας 4 Χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά φλοιού ελιάς μετά την επεξεργασία. Πηγή: (Caruto, et al., 2003)

Παράμετρος	Τιμή
Ελάχιστη Θερμική Αξία (kJ/kg)	18.000
C (%)	38-45
O (%)	20-34
H (%)	4-5,5
N (%)	0,78-4
S (%)	0,01-0,04
Τέφρα (%)	4-12

3.2.Υγρά Απόβλητα

Τα ΥΑΕ αναφέρονται στην Ελλάδα σαν κασιγάρος, στην Ισπανία ως αλβινίνη και στις αραβικές χώρες ως ζεβάρ. Τα κυριότερα υγρά απόβλητα που προκύπτουν από την παραγωγή του ελαιόλαδου στα ελαιοτριβεία είναι αυτά που προέρχονται από το στάδιο της έκθλιψης (στην αντίστοιχη μέθοδο εξαγωγής λαδιού), στη συνέχεια το στάδιο όπου διαχωρίζονται τα υπολείμματα από το προϊόν μέσω φυγοκέντρισης και το στάδιο πλυσίματος του καρπού της ελιάς με νερό (Νταρακάς, 2006). Το υγρό υπόλειμμα είναι τα υγρά φυτικής προέλευσης του ελαιόκαρπου, αυξημένα στον όγκο τους με νερό επεξεργασίας (πλύση καρπού, αραιώση ελαιοζύμης, πρόσθετο νερό διαχωριστήρων, διεργασίες καθαριότητας στον εξοπλισμό του ελαιοτριβείου κ.λπ.). Επιπλέον περιέχει νερό βλάστησης, μαλακούς ιστούς του ελαιόκαρπου και νερό από τους δίσκους φιλτραρίσματος και τους διαχωριστές. Τα υγρά απόβλητα από τα ελαιοτριβεία έχουν σκούρο χρώμα και με χαρακτηριστική οσμή.

Τα υγρά απόβλητα των εγκαταστάσεων, πέραν της χαρακτηριστικής οσμής και του σκούρου χρώματος, διακρίνονται από υψηλή αγωγιμότητα και ελαφρώς όξινο pH (Boskou, 2006). Περιέχουν μείγματα πολυφαινολών, πηκτίνη, σάκχαρα και σχετικά σταθερά γαλακτώματα. Η κατεργασία ενός τόνου ελιάς παράγει απόβλητα ρυπαντικού φορτίου, ισοδύναμο με αστικά λύματα 50-100 κατοίκων. Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί η έντονη αντιμικροβιακή δράση που κατέχει το μείγμα των υγρών αποβλήτων της παραγωγής ελαιόλαδου έναντι ορισμένων μικροβιακών ειδών, καθώς καθίσταται ως εμπόδιο στη βιολογική επεξεργασία τους (Φωτεινόπουλος & Νταρακάς, 2018). Στον Πίνακα 6 φαίνονται τα κυριότερα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου.

Πίνακας 5 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστων ΥΑΕ. Πηγή: (Zirehpour, et al., 2015) (Mohawesh & Mahmoud, 2013) (Mekki, et al., 2007)

Παράμετρος	Τιμή
COD	72±2,8 g/l
BOD	13±0,9 g/l
COD/BOD	5,53±0,72
Αιωρούμενα Στερεά	15±2 g/l
Ολικά Στερεά	52±2,98
Πτητικά Στερεά	44±1,85 g/l
Λίπη Έλαια	10±2 g/l
Ολικές Φαινόλες	6,7±0,2 g/l
Αγωγιμότητα	12,8 mS/m
pH	5±0,1
Οργανική Ύλη	30,6 g/l
Ειδικό Βάρος	1,03 g/cm ³
Αλατότητα	6,75±0,66 g/l
TOC	25,52±1,18 g/l
TKN	0,6±0,06 g/l
C/N	43±8
P	36±3,6 mg/l
Na	0,94±0,09 g/l
Cl	1,6±0,15 g/l
K	8,8±0,8 g/l
Ca	1,2±0,11 g/l
Fe	32±2,9 mg/l
Mg	187±18,8 mg/l
NO ₃	1,1±0,09 mg/l
PO ₄	420±6,1 mg/l
SO ₄	174±0,5 mg/l
Ortho-dispenols	9,2±1,8 g/l

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων βεληνεκούς έως και 3 πιεστηρίων (εφόσον αυτή είναι η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία), ανέρχονται σε 1 m³/tn καρπού (ή σε 5 m³/tn παραγόμενου λαδιού). Στη παρούσα εκτίμηση προστίθεται και τυπική απόκλιση από 3-5,5

m³/tn παραγόμενου λαδιού. Περίπου 20 % του υπολείμματος προέρχεται από τη διεργασία πλύσης του καρπού, το 70-75 % από τον διαχωρισμό και την έκθλιψη. Το υπόλοιπο 2-5 % είναι υγρά υπολείμματα απολάσπωσης στο στάδιο του τελικού διαχωρισμού (Νταρακάς, 2006).

3.3.Αέριες Εκπομπές

Οι αέριες εκπομπές κατά της διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου θεωρούνται ελάσσονος σημασίας. Το φαινόμενο που συναντάται συχνότερα είναι η παρουσία χαρακτηριστικών οσμών στα ελαιοτριβεία αλλά και τα πυρηνελαιουργεία, το οποίο όμως οφείλεται τις περισσότερες φορές στη λανθασμένη μέθοδο αποθήκευσης των αποβλήτων και των προϊόντων (Milos, 2017). Επιπλέον συναντώνται σπάνια αέριες εκπομπές από υδρατμούς ξηραντηρίων του ελαιοπυρήνα και καυσαέρια θερμοθαλάμων ξηραντήριων, ωστόσο αυτές οι μορφές αερίων εκπομπών συναντώνται κυρίως στα πυρηνελαιουργεία και όχι στα ελαιοτριβεία (Νταρακάς, 2006). Στη περίπτωση που αμφότερες οι βιομηχανίες είναι τοποθετημένες σε μη αστικές περιοχές, τότε οι αέριες εκπομπές δεν αποτελούν ανησυχητικό πρόβλημα.

3.4.Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Παραγωγής Αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα των μονάδων ελαιοπαραγωγής, στη βιβλιογραφία συχνά ως λιοζύμια είτε κασίγαρος. Αποτελούν στο βιομηχανικό τομέα απόβλητα με ιδιαίτερα υψηλό ρυπαντικό φορτίο. Το δυσεπίλυτο αυτό θέμα είναι συχνά πρόβλημα αρκετών μονάδων ελαιοπαραγωγής, κυρίως μικρότερης δυναμικής όπως σε περιοχές της Χαλκιδικής, της Μεσσηνίας, της Μαγνησίας, της Λέσβου και άλλων περιοχών. Οι βασικότερες αιτίες που καθιστούν την επεξεργασία αυτού του είδους των αποβλήτων δύσκολο προς επίλυση είναι (Κούγκολος, 2017):

1. Η ρυπαντική δράση των ΥΑΕ. Το BOD₅ των ΥΑΕ μπορεί να πάρει τιμές 10.000-60.000 mg/l και το COD από 40.000-150.000 mg/l. Για λόγους σύγκρισης τίθεται ότι τα αστικά απόβλητα παίρνουν τιμές BOD₅ από 300 mg/l. Παράλληλα η ποσότητα των TSS είναι αυξημένη, ο λόγος COD/BOD₅ είναι σχετικά μεγάλος (3-5) και υπάρχει παρουσία δύσκολα βιοαποδομήσιμων χρωστικών ενώσεων.

2. Τα ελαιοτριβεία στην Ελλάδα δεν λειτουργούν όλο τον χρόνο (Νοέμβριο – Μάρτιο).
3. Η διαδικασία επεξεργασίας των ΥΑΕ είναι μία κοστοβόρα διαδικασία. Αυτό είναι ίσως το βασικότερο θέμα για την επεξεργασία των ΥΑΕ. Το πρόβλημα δεν είναι μονοσήμαντα τεχνολογικό, αλλά θέμα κλίμακας μεγέθους. Πράγματι, η αποδοτική επεξεργασία των αποβλήτων ελαιοτριβείων απαιτεί την εγκατάσταση μεγάλων μονάδων επεξεργασίας. Τέτοιες όμως μονάδες είναι δύσκολο να κατασκευαστούν στη χώρα μας, όπου οι μονάδες παραγωγής ελαιόλαδου είναι μεγάλες σε αριθμό αλλά μικρές σε βεληνεκές λειτουργίας. Συνεπώς οι μικρές μονάδες επεξεργασίας ΥΑΕ δεν έχουν βαρυσήμαντη οικονομική υπόσταση. Έτσι δεν θεωρείται λογική η κατασκευή μικρών μονάδων επεξεργασίας που θα λειτουργούν επιτόπου σε όλες τις μονάδες παραγωγής ελαιόλαδου και συχνά η λύση βρίσκεται στη ρίψη των ΥΑΕ σε παρακείμενα ρέματα (Σχήμα 5). Ωστόσο το κόστος είναι αρκετά υψηλό, γεγονός το οποίο αποτρέπει τους παραγωγούς του ελαιόλαδου να επενδύσουν στη επεξεργασία των αποβλήτων που παράγει η μονάδα τους.



Σχήμα 5 Ρίψη ΥΑΕ σε ρέμα. Πηγή Αριστερά bioenergyconsult.com Δεξιά: aftodioikisi.gr

Οι συνέπειες στο περιβάλλον από την παράνομη ρίψη ΥΑΕ σε παρακείμενες περιοχές και ρέματα συνοψίζονται ως εξής (Κούγκολος, 2017):

1. Η ρίψη σε υδάτινα σώματα (ποτάμια, λίμνες ρέματα) προκαλεί τη δημιουργία λιπώδους στρώματος επί της επιφάνειας των αποδεκτών. Έτσι παρεμποδίζεται η διάλυση του οξυγόνου και ενέχει ο κίνδυνος θανάτωσης των υδρόβιων οργανισμών (Σχήμα 6).

2. Προβλήματα αισθητικής. Κυρίως σε τουριστικές περιοχές, το στρώμα ελαίων σε υδάτινα σώματα αποτελεί παράγοντα μείωσης της τουριστικής δραστηριότητας στον τόπο. Ωστόσο η ρύπανση από τα ΥΑΕ συμβαίνει κατά τους μήνες Νοέμβριο με Μάρτιο, όπου δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός λουόμενων σε παραλίες, λίμνες και ποτάμια. Το ότι τα ΥΑΕ φτάνουν στη θάλασσα κατά τους μήνες αυτούς μετριάζει την οπτική και περιβαλλοντική ρύπανση λόγω ότι: α) κατά τη χειμερινή περίοδο η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό είναι μεγαλύτερη και β) οι ισχυροί άνεμοι κατά την περίοδο του χειμώνα διαχέουν τους ρύπους
3. Το ρυπαντικό φορτίο των ΥΑΕ εντείνει το φαινόμενο του ευτροφισμού στα κλειστά υδάτινα σώματα, όπως π.χ. στον Παγασητικό κόλπο. Πάντως πρέπει να τονιστεί ότι η κύρια αιτία του ευτροφισμού είναι τα φωσφορικά ιόντα και νιτρικά ιόντα, που προέρχονται από γεωργικά εδαφοβελτιωτικά και λύματα πόλεων και έτσι δεν επωμίζονται τα ΥΑΕ τον ευτροφισμό που έχει παρατηρηθεί στον Παγασητικό. Το υψηλό ρυπαντικό φορτίο όμως των ΥΑΕ (που απαιτεί O_2 για τη αποδόμηση του), καθώς και το ότι τα υπόλοιπα συστατικά (π.χ. σάκχαρα) των λιοζουμιών αποτελούν πολύ καλό υπόστρωμα για μικροβιακή ανάπτυξη, αποτοκούν στη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα υδάτινα σώματα και αυτό προκαλεί πρόβλημα στην επιβίωση των έμβιων και άβιων οργανισμών του οικοσυστήματος.
4. Ρυπαίνονται και νεκρώνονται δέντρα κατά την επαφή τους με τα ΥΑΕ. Στη Χαλκιδική όπου οι ελαιοτριβείς προσπάθησαν να χρησιμοποιήσουν τον κατσίγαρο για άρδευση των δασών, αυτό είχε δυσμενείς επιπτώσεις στα πεύκα. Οι ουσίες που περιέχονται στα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων μπορεί να μην είναι από μόνες τους τοξικές (με την έννοια της τοξικότητας που παρουσιάζουν τα βιομηχανικά απόβλητα), όμως συνολικά όλες μαζί και λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων στις οποίες βρίσκονται έχουν σημαντική φυτοτοξικότητα. Σημαντικό ρόλο στη τοξικότητα αυτή παίζουν τα οργανικά οξέα που βρίσκονται στον κατσίγαρο, καθώς και οι εμπειριεχόμενες φαινόλες.



Σχήμα 6 Παράνομη ρίψη αποβλήτων ελαιοτριβείου σε ρέμα στον οικισμό Λυκούριζα που καταλήγει στην παραλία του Αγίου Νικολάου Καλυβίων Πηγή attikos.gr

3.5. Νομοθετικό Πλαίσιο

Το νομοθετικό πλαίσιο καθίσταται απαραίτητο στην επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων και στη περίπτωση αυτή των ΥΑΕ. Η Μεσόγειος είναι το σημείο της Ευρώπης στο οποίο ευδοκμεί η ελιά και κατ' επέκταση και η παραγωγή ελαιόλαδου, παρόλα αυτά δεν υπάρχει κοινή πολιτική μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών της Μεσογείου, όσων αφορά συγκεκριμένες οδηγίες και όρια απόρριψης στους αποδέκτες. Επιπλέον στην Ελλάδα καθίσταται δύσκολο να θεσμοθετηθούν όρια απόρριψης επεξεργασμένων ΥΕΑ, καθώς οι μονάδες παραγωγής ελαιόλαδου είναι μικρές και διασκορπισμένες.

Στον Ελλαδικό χώρο η διαχείριση των αποβλήτων ελαιοτριβείων υπάγεται στο νόμο 1650/86 για τη «Προστασία του περιβάλλοντος». Κατά τον νόμο 1650/86 τα ελαιοτριβεία υποχρεούνται να εμπεριέχουν στις διεργασίες τους τεχνολογίες απορρύπανσης των υγρών αποβλήτων αλλά και να διενεργούν ανά χρονικά διαστήματα Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Η τροποποίηση της ΚΥΑ περί μέτρων διαχείρισης ΥΑΕ (ΦΕΚ 3924/Β/7-12-2016), τα ΥΑΕ της παραγωγικής διεργασίας έπειτα από προεπεξεργασία που περιλαμβάνει αφαίρεση ελαίων και λιπών και πρωτοβάθμια καθίζηση, προορίζεται για άρδευση ελαιώνων, με μέγιστο όγκο εφαρμογής ανά έτος 8 m³/στρ και για υδρολίπανση άλλων καλλιεργειών, με μέγιστο όγκο εφαρμογής ανά έτος τα 8 m³/ στρ.

Επιπλέον τα ΥΑΕ της παραγωγής ελαιόλαδου πρέπει να τίθενται σε προκαταρκτική κατεργασία, η οποία οφείλει να που περιέχει:

- απολίπανση και πρωτοβάθμια καθίζηση (παραμονή 3 ωρών το ελάχιστο) σε στεγανοποιημένη ειδική δεξαμενή
- εξουδετέρωση (με 5kg Ca(OH)₂/tn επεξεργαζόμενης ελιάς ή 2 % κατ' όγκο των ΥΑΕ) σε όμοια με τη προαναφερθείσα στεγανή δεξαμενή ή σε άλλη εδαφοδεξαμενή.

Επιπλέον, σύμφωνα με τον νόμο 3982/2011, σε περίπτωση που δεν ακολουθηθεί η παραπάνω διαδικασία, πρέπει τα ΥΑΕ να αποθηκευτούν σε ειδική δεξαμενή. Πιο συγκεκριμένα, η εδαφοδεξαμενή (ΦΕΚ 3924/Β/7-12-2016):

- *‘‘πρέπει να απέχει τουλάχιστον 300 μέτρα. από το όριο των οικισμών, από παρακείμενες οικίες, από τουριστικές ζώνες, από εθνικές οδούς ή από άλλες θεσμοθετημένες περιοχές ειδικού ενδιαφέροντος*
- *πρέπει να χωροθετείται σε απόσταση τουλάχιστον 100 μέτρα από επαρχιακούς δρόμους και από το όριο της παραλίας*
- *πρέπει να διαθέτει περίφραξη ελάχιστου ύψους 1,5 μέτρο, περιμετρική δενδροφύτευση και ανάχωμα*
- *πρέπει να είναι στεγανή και να απέχει απόσταση τουλάχιστον 200 μέτρων. από πηγές υδροληψίας πόσιμου νερού και απόσταση τουλάχιστον 100 μ. από πηγές υδροληψίας νερού άρδευσης και υδατορέματα.*
- *Η διαστασιολόγηση της εδαφοδεξαμενής θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά μέσο όρο η αναλογία ελαιόλαδο/υγρό απόβλητο είναι 1 m³/4 m³. Το βάθος της εδαφοδεξαμενής δεν πρέπει να ξεπερνά το 1,5 μέτρο και η στάθμη των υγρών αποβλήτων το 80% του βάθους αυτής’*.

4. Μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων Ελαιοτριβείου

4.1. Στερεά Απόβλητα

4.1.1. Βιολογικές μέθοδοι

Στις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων (πυρήνας, υπολείμματα ελαιοζύμης κλπ.) εντάσσονται η αναερόβια χώνευση και η ζύμωση.

Η αναερόβια χώνευση είναι μία αρκετά παλαιά τεχνολογία. Κατά την αναερόβια χώνευση, οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν την οργανική ύλη του υποστρώματος σε βιοαέριο (μείγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα) (Metcalf & Eddy (rev. by Tchobanoglous, et al., 2018)). Οι μικροοργανισμοί απαρτίζονται κυρίως από συγκεκριμένα βακτήρια, τα οποία καταναλώνουν τις λιγνοκυτταρινούχες δομές απουσία οξυγόνου και παράγουν τις ενώσεις μικρού μοριακού βάρους του βιοαερίου κατά την διαδικασία της μεθανιογένεσης. Το βιοαέριο που παράγεται από διεργασίες αναερόβιας χώνευσης έχει έντονη οσμή και συχνά περιέχει θεικές ενώσεις. Η απελευθέρωση του στο περιβάλλον είναι απαγορευτική, καθώς το μεθάνιο θεωρείται επικίνδυνος ατμοσφαιρικός ρύπος. Για το λόγο αυτό το βιοαέριο είτε αναφλέγεται σε καμίνους, ώστε να μετατραπεί όλο σε διοξείδιο του άνθρακα, είτε συλλέγεται και υφίσταται περισσότερες διεργασίες όπου αυξάνεται η πυκνότητά του και απομακρύνονται από αυτό ανεπιθύμητες ενώσεις.

Μετά το στάδιο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καυστήρες για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε πραγματικές συνθήκες η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης και σε δεύτερο στάδιο μπορεί η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την αναερόβια χώνευση να τροφοδοτήσει μικρούς οικισμούς. Το γεγονός αυτό όμως προϋποθέτει μεγάλο επεξεργάσιμο όγκο αποβλήτου αλλά και κατάλληλες τεχνολογίες.

Το χωνευμένο προϊόν μετά την αναερόβια χώνευση αφυδατώνεται χρησιμοποιώντας ντεκάντερ. Η στερεή φάση μπορεί να αξιοποιηθεί με κομποστοποίηση, ενώ η υγρή φάση ανακυκλοφορεί στον αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση νερού για την αραίωση των στερεών υπολειμμάτων του ελαιοτριβείου. Στη περίπτωση της κομποστοποίησης, μειώνεται η

υγρασία στο 35% στο κομπόστ, καθώς δεν είναι επιθυμητές τιμές άνω του 50% και ταυτόχρονα εκπέμπονται στον αέρα NH_3 , N_2O και CH_4 (Alonso-Fariñas, et al., 2020).



Σχήμα 7 Κομπόστ έπειτα από αναερόβια χώνευση αποβλήτων ελαιοτριβείου. Πηγή: iscc-system.org

Κάποια από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι (Alonso-Fariñas, et al., 2020):

- οι μειωμένες ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά,
- η παραγόμενη ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για κομπόστ είτε απευθείας σαν εδαφοβελτιωτικό, αφού έχει υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου.
- Είναι μία βιώσιμη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την ζύμωση, ένζυμα δρουν ως βιοκαταλύτες και παράγουν μέσω βιοχημικών οδών γλυκόζη από τα σάκχαρα που βρίσκονται στο υπόστρωμα (στερεά απόβλητα ελαιοτριβείου). Η ζύμωση είναι αναερόβια διεργασία στην οποία οι υδατάνθρακες που βρίσκονται στην υπολειμματική βιομάζα μετατρέπεται σε αιθανόλη (ή βιο-αιθανόλη). Η αιθανόλη παράγεται με ενζυματική υδρόλυση των σακχάρων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο κ.α

Στη βιβλιογραφία έχει παρατηρηθεί ωστόσο και η παραγωγή βιοϋθανίου (biohythane), ως προϊόν της ζύμωσης των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων. Το βιοϋθάνιο είναι ένα αέριο μείγμα μεθανίου και υδρογόνου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αυτοκίνηση ως καύσιμο (Mamimin, et al., 2019). Η χρήση υθανίου (hythane) από ορυκτές πηγές για καύσιμα μεταφοράς χρονολογείται από τη δεκαετία του '80. Το βιοϋθάνιο έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί ως αειφορικό, πράσινο και αποδοτικό καύσιμο οχημάτων. Για να αυξηθεί η απόδοση του απαιτούνται

διεργασίες αφαίρεσης του διοξειδίου του άνθρακα (De Leonardis, 2014). Η μετατροπή των οργανικών στερεών αποβλήτων των ελαιοτριβείων σε βιοϋθάνιο μέσω αναερόβιας ζύμωσης δύο σταδίων μπορεί να μειώσει την παγκόσμια ενεργειακή κρίση και τα προβλήματα περιβαλλοντικής ρύπανσης. Το βιοϋθάνιο έχει τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσει την ανάκτηση ενέργειας, να ελαχιστοποιήσει το χρόνο ζύμωσης και να ελέγξει εύκολα την βακτηριακή κοινότητα που παράγει το μείγμα μεθανίου και υδρογόνου σε σύγκριση με την μονοσταδιακή παραγωγή βιοαερίου (Mamimin, et al., 2019).

4.1.2. Θερμοχημικές μέθοδοι

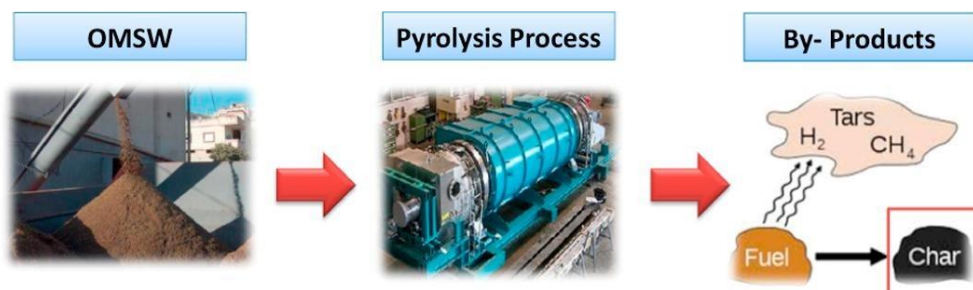
Οι βασικότερες θερμοχημικές μέθοδοι που εφαρμόζονται στην επεξεργασία των στερεών αποβλήτων είναι η πυρόλυση, η καύση και η αεριοποίηση. Οι μέθοδοι αυτοί δεν χρησιμοποιούνται μόνο για τη μείωση του όγκου των στερεών αποβλήτων των ελαιοτριβείων αλλά συνοδεύονται τις περισσότερες φορές και με παραγωγή είτε ενέργειας, είτε χρήσιμων χημικών ενώσεων (π.χ. καταλυτική και μη πυρόλυση). Στην ενότητα αυτή θα γίνει μία σύντομη αναφορά στις θερμοχημικές μεθόδους, καθώς οι μέθοδοι αυτές θα αναλυθούν εκτενέστερα στο κεφάλαιο της ενεργειακής αξιοποίησης.

Η *πυρόλυση* (pyrolysis) είναι η διαδικασία κατά την οποία εφαρμόζεται υψηλή θερμοκρασία σε στερεό υπόλειμμα (400-900°C) απουσία οξυγόνου προς θερμική αποδόμηση της οργανικής ύλης του υποστρώματος. (Vlyssides, et al., 2004). Μία τυπική συσκευή πυρόλυσης λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας βιομηχανικής κλίμακας φαίνεται στο Σχήμα 8. Από τη διεργασία της πυρόλυσης παράγονται τρία κλάσματα. Το αέριο κλάσμα αποτελείται από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και ίσως άλλες χημικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους. Το υγρό κλάσμα (βιοέλαιο) αποτελείται από τις χημικές ενώσεις που έχουν παραχθεί κατά την πυρόλυση της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας. Η μη καταλυτική πυρόλυση παράγει κυρίως οξυγονούχες ενώσεις (γουαϊακόλες και άλλες φαινολικές ενώσεις) ενώ η καταλυτική πυρόλυση έχει ως προϊόντα κυρίως μη οξυγονωμένες ενώσεις (BTX και αρωματικές ενώσεις). Το στερεό κλάσμα ονομάζεται *εξανθράκωμα* ή *βιοεξανθράκωμα* και είναι ανθρακικής φύσης (Blázquez García, et al., 2014)



Σχήμα 8 Τυπική συσκευή πυρόλυσης λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας βιομηχανικής κλίμακας.
Πηγή: alibaba.com

Οι (Blázquez García, et al., 2014) μελέτησαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων διφασικών ελαιοτριβείων έπειτα από πυρόλυση στους 800°C. Ανέλυσαν επίσης την δομική σύνθεση για τον προσδιορισμό των κύριων ενώσεων σε στα στερεά απόβλητα διφασικών ελαιοτριβείων. Τα αποτελέσματα που εξήγαγε η μελέτη έδειξαν πως η λιγνίνη είναι το πιο άφθονο συστατικό στα στερεά υπολείμματα. Αυτό το μεγάλο ποσοστό περιεκτικότητας σε λιγνίνη προβλέπει την καταλληλότητα αυτού του είδους βιομάζας για αξιοποίηση με τη μέθοδο της πυρόλυσης. Στο Σχήμα 9 φαίνεται μία οπτική απεικόνιση της διεργασίας της πυρόλυσης των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου προς παραγωγή βιοελαίου και βιοεξανθρακώματος.



Σχήμα 9 Οπτική απεικόνιση της διεργασίας της πυρόλυσης των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου προς παραγωγή βιοελαίου πλούσιου σε χημικές ενώσεις και βιοεξανθρακώματος.
Πηγή: (Abdelhadi et al. 2017)

Η καύση (combustion) είναι μία αρκετά διαδεδομένη αλλά παλαιά διαδικασία επεξεργασίας στερεών αποβλήτων. Κατά την καύση εφαρμόζονται υψηλές θερμοκρασίες παρουσία περίσσειας αέρα με αποτέλεσμα την θερμική αποδόμηση των οργανικών ενώσεων. Από τη καύση παράγονται τρία κλάσματα, ένα αέριο, ένα συμπυκνωμένο και ένα στερεό. Οι αέριες εκπομπές αποτελούνται ένα μείγμα CO, CO₂,

H₂ και ορισμένων υδρογονανθράκων μικρού μοριακού βάρους (Βλυσίδης, et al., 2015). Το συμπυκνωμένο κλάσμα αποτελείται κυρίως από νερό με διαλυμένες ενώσεις μικρού μοριακού βάρους. Το στερεό υπόλειμμα της καύσης αποτελείται κυρίως από τέφρα (ανόργανα οξείδια), υπολείμματα σακχάρων και φουρανικά παράγωγα.

Επί του παρόντος, η καύση των στερεών αποβλήτων των ελαιοτριβείων είναι η θερμοχημική διαδικασία μετατροπής στερεού υπολείμματος σε ενέργεια που έχει βελτιωθεί τεχνολογικά και έχει τεθεί σε μεγάλη κλίμακα (Caruto, et al., 2003). Άλλωστε η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεθέρμανσης από στερεά υπολείμματα δεν είναι καινούργια τεχνολογία και έχει αναπτυχθεί ευρέως. Τα εργοστάσια καύσης υπακούν σήμερα σε αυστηρές νομοθεσίες όσον αφορά τη διάθεση του στερεού υπολείμματος καύσης αλλά πιο σημαντικά την επεξεργασία των αέριων ρύπων, πριν αυτά απελευθερωθούν στη ατμόσφαιρα. Ωστόσο, παρά αυτή την τεχνολογική ανάπτυξη, πολλά προβλήματα που σχετίζονται με την περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα εξακολουθούν να είναι αποτρεπτικά και να δημιουργούν προβλήματα στις εγκαταστάσεις. (Lajili, et al., 2018). Ο σχηματισμός σκωρίας και η διάβρωση επιδρούν αρνητικά στην απόδοση καύσης και τη διάρκεια ζωής των μπόιλερ.

Η *αεριοποίηση (gasification)* είναι μια εναλλακτική μέθοδος τόσο για τη συμβατική παραγωγή αερίου σύνθεσης (syngas) όσο και για την αναερόβια χώνευση, για τη μετατροπή της υγρής βιομάζας (wet biomass). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της αεριοποίησης είναι ότι (Casademont, et al., 2018):

- δεν είναι απαραίτητο να προηγηθεί ξήρανση της υπολειμματικής βιομάζας του ελαιοτριβείου και
- ότι παρουσιάζει πολύ πιο ταχύ και αποτελεσματικό χρόνο επεξεργασίας (μερικά λεπτά)

Οι (Casademont, et al., 2018) μελέτησαν την αεριοποίηση με υπερκρίσιμο νερό. Αυτή η μέθοδος της αεριοποίησης χαρακτηρίζεται από λειτουργία υπερκρίσιμων συνθηκών νερού ($P = 22,1 \text{ MPa}$ και $T = 374,8 \text{ }^\circ\text{C}$). Η βιομάζα των στερεών αποβλήτων του ελαιοτριβείου χρησιμοποιείται για την παραγωγή αερίου σύνθεσης, αφού το υπερκρίσιμο νερό δρα αφενός ως διαλύτης και αφετέρου ως χημικό αντιδραστήριο που επιτρέπει το στοιχειακό υδρογόνο να δημιουργήσει μοριακό. Ως εκ τούτου, η αεριοποίηση θεωρείται μια πολλά υποσχόμενη και ανερχόμενη τεχνολογία για την αποτελεσματική μετατροπή των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου σε μορφή

καυσίμου που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των καυσίμων μικρού μοριακού βάρους πετρελαϊκής φύσης (Caputo, et al., 2003).

4.2. Υγρά Απόβλητα

4.2.1. Μηχανική επεξεργασία

Η μηχανική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων περιλαμβάνει φυσικές διεργασίες διαχωρισμού. Οι μέθοδοι που θα αναφερθούν σε αυτή την εργασία είναι οι εξής:

- Αραίωση
 - Εξάτμιση
 - Καθίζηση
 - Διήθηση
 - Φυγοκέντριση
 - Επίπλευση
 - Διεργασίες μεμβρανών
-
- *Αραίωση*

Η αραίωση (dilution) είναι μια φυσική διεργασία για τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου στα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων. Η διεργασία τούτη μπορεί να πραγματοποιηθεί με ανάμιξη των ΥΑΕ με αστικά απόβλητα, νερό πλύσης του ελαιόκαρπου, νερό πηγών (το οποίο δεν προτιμάται) και με νερά άρδευσης. Η τελευταία μέθοδος χρησιμοποιείται συχνά για την εκ νέου άρδευση των καλλιεργειών ελιάς.

Η χρήση του αραιωμένου αποβλήτου στην άρδευση δεν είναι καινούργια τεχνολογία, μάλιστα προσφέρει κάποια πλεονεκτήματα, όπως τις υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου αλλά και τη αδρανοποίηση της φυτοτοξικότητας των υγρών αποβλήτων. Βάσει βιβλιογραφίας, η βέλτιστη αναλογία αραίωσης είναι ¼ κατ' όγκο ΥΑΕ σε νερό ύδρευσης (λόγος 3:1 νερό ΥΑΕ) (Rusan & Malkawi, 2016). Σε δεύτερη φάση έχει εξεταστεί η συνεπεξεργασία με αστικά λύματα, ωστόσο το ρυπαντικό φορτίο των ΥΑΕ μπορεί να «σοκάρει» μία ΜΕΥΑ αστικών λυμάτων.

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της μεθόδου που αναφέρθηκαν νωρίτερα, είναι η ευκολία χειρισμού της διεργασίας, καθώς δεν απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό για την δημιουργία ενός αποβλήτου έπειτα από αραίωση που συμφωνεί με τις νομοθετικές οδηγίες. Ωστόσο εδώ έγκειται και το μεγάλο μειονέκτημα της διεργασίας αυτής, το οποίο είναι ο μεγάλος τελικός όγκος του αποβλήτου και κατ' επέκταση το κόστος διαχείρισης ή/και αποθήκευσης.

Σε κάθε περίπτωση, η μέθοδος της αραίωσης από μόνη της είναι εμφανώς επιτυχής, διότι μειώνει το οργανικό φορτίο των Υ.Α.Ε. και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν η εκάστοτε περιοχή δεν έχει πρόβλημα με αποθέματα ύδατος που οφείλονται σε άλλες αστικές ή αγροτικές δραστηριότητες.

- *Εξάτμιση*

Η εξάτμιση (evaporation) είναι φυσική διεργασία όπου αφήνονται τα ΥΑΕ σε ανοιχτές δεξαμενές ή τεχνητές λίμνες, με σκοπό να συμπυκνωθούν και να μειωθεί ο όγκος τους. Κατά την εξάτμιση σημειώνεται διαχωρισμός φάσεων αλλά και δημιουργία καθιζανόντων στερεών υπό μορφή πάστας. Η πάστα αυτή πρέπει να αφαιρείται ανά χρονικά διαστήματα (περίπου 3-5 χρόνια, ανάλογα τον όγκο και την ποιότητα του αποβλήτου) με ειδικά μηχανήματα (dredgers) (Σχήμα 10) (Κούγκολος, 2017). Σημαντικά μειονεκτήματα της διεργασίας αυτής είναι η χρονοβόρα διαδικασία, η δημιουργία οσμών στη γύρω περιοχή αλλά και η δυσκολία διαχείρισης της πάστας.



Σχήμα 10 Dredger. Πηγή: julongdredger.en.made-in-china.com

- *Καθίζηση*

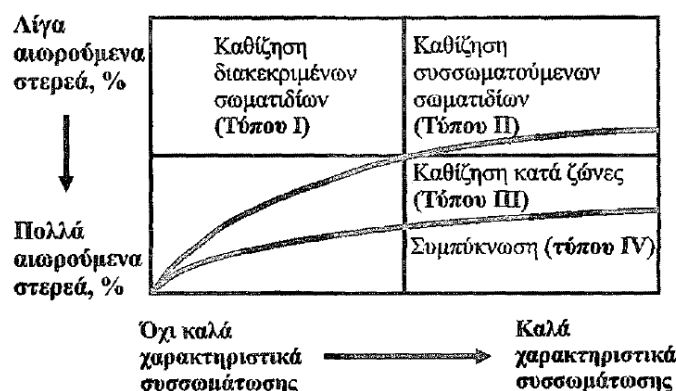
Η καθίζηση (sedimentation) αποτελεί μία εύκολη και σχετικά οικονομική φυσική διεργασία διαχωρισμού. Χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό των καθιζανόντων στερεών με βαρύτητα. Ο διαχωρισμός των στερεών με βαρύτητα

βασίζεται στη διαφορά πυκνότητας μεταξύ της υδατικής φάσης και των στερεών σωματιδίων.

Η καθίζηση μπορεί να είναι (Τσώνης, 2004):

- Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων
- Καθίζηση συσσωματούμενων σωματιδίων
- Καθίζηση κατά ζώνες
- Συμπύκνωση

Η καθίζηση είναι μια αργή φυσική διεργασία όπου μετά το πέρας 5-15 ημερών, στην δεξαμενή καθίζησης επέρχεται σχηματισμός ζωνών διαφορετικού βαθμού συμπύκνωσης. Ο τύπος καθίζησης εξαρτάται από την ποσότητα των αιωρούμενων σωματιδίων και από τα χαρακτηριστικά συσσωμάτωσης. Έτσι, βάση του Σχήματος 11 προσδιορίζεται ο τύπος καθίζησης.



Σχήμα 11 Συσχέτιση τύπων καθίζησης και συγκέντρωσης-χαρακτηριστικών συσσωμάτωσης των αιωρούμενων στερεών. Πηγή: (Τσώνης, 2004)

Η διαδικασία της καθίζησης δεν είναι ταχεία διαδικασία, για το λόγο αυτό συνδυάζεται με κροκίδωση με χρήση κατάλληλου κροκιδωτικού αντιδραστηρίου. Στη περίπτωση τούτη, με τη χρήση κροκιδωτικού επιταχύνεται η συσσωμάτωση των SS και κατ' επέκταση όλη η διαδικασία.

- Διήθηση

Η διήθηση (filtration) αποτελεί παλαιά μέθοδο διαχωρισμού και εφαρμόζεται σήμερα μόνο σε ελαιοτριβεία μικρής κλίμακας. Το διηθητικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι πορώδη υλικά, αμμόφιλτρα, χαλκίφιλτρα, κλίνες ενεργού

άνθρακα, γη διατόμων και άλλα (Σχήμα 12) (Metcalf & Eddy (rev. by Tchobanoglous, et al., 2018)).



Σχήμα 12 Φίλτρα ενεργού άνθρακα βιομηχανικής κλίμακας. Πηγή: pharmaguideline.com

Συχνά για την αύξηση της απόδοσης του διαχωρισμού, η διαδικασία της διήθησης συνοδεύεται από κατάλληλη προεπεξεργασία. Τούτη η προεπεξεργασία μπορεί να είναι κροκίδωση ή καθίζηση, ώστε να απομακρυνθεί το ογκωδέστερο στερεό κλάσμα πριν την χρήση των διηθητικών φίλτρων, αυξάνοντας έτσι το χρόνο ζωής τους. Η έμφραξη (fouling) των φίλτρων είναι το σύνηθες πρόβλημα στη διεργασία της διήθησης. Το φαινόμενο αυτό αντιμετωπίζεται με διεργασίες αντίστροφης πλύσης, όξινης και αλκαλικής πλύσης κ.α. (Τσώνης , 2004)

- *Φυγοκέντριση*

Η φυγοκέντριση (centrifugation) είναι μία αποδοτική διεργασία διαχωρισμού υδατικών φάσεων αλλά και υδατικής με στερεά φάση. Ο διαχωρισμός έγκειται στη διαφορά πυκνότητας των δύο μέσων. Όταν το υγρό απόβλητο διαχωρίζεται με φυγοκέντριση, σχηματίζονται τρεις διακριτές ζώνες. Ένα επιφανειακό στρώμα ελαίου, ένα στρώμα που περιέχει διαλυτές ενώσεις και μια τελική ζώνη καθίζησης. Στη τελική ζώνη περιέχονται σε μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά. Βασικό πλεονέκτημα της διεργασίας είναι η ταχύτητα διαχωρισμού, ωστόσο τίθενται προβλήματα περεταίρω διαχείρισης των τριών κλασμάτων που προκύπτουν.

Εκτός από την απλότητα της διεργασίας το κύριο πλεονέκτημα της φυγοκέντρισης είναι ότι η ελαιώδης φάση που ανακτάται έχει τη δυνατότητα να επαναχρησιμοποιηθεί. Παρόλα αυτά, ακόμη και μετά τη φυγοκέντρισή τους, τα υγρά

απόβλητα συνεχίζουν να παρουσιάζουν αυξημένες τιμές BOD εξαιτίας των ρύπων που παραμένουν στην υδατική φάση .

- *Επίπλευση*

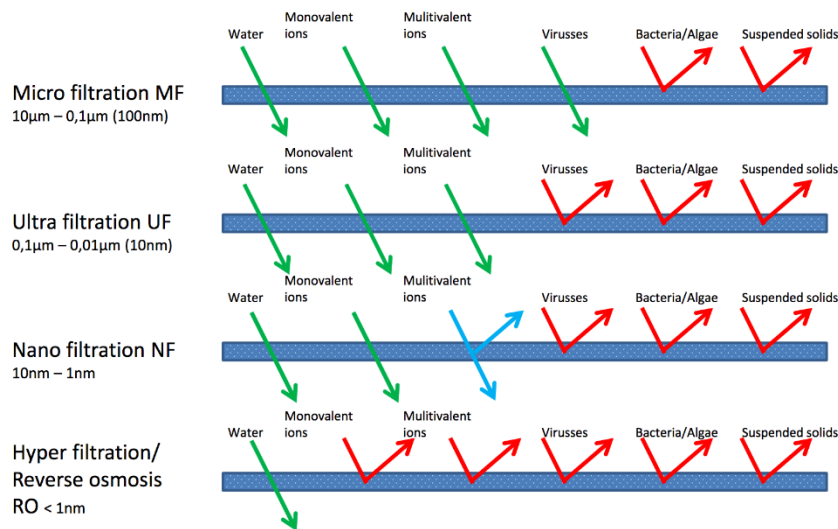
Η επίπλευση (flotation) αποτελεί μία ακόμα μέθοδο διαχωρισμού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και στην τεχνολογία επεξεργασίας αστικών λυμάτων και χρησιμεύει ιδιαίτερα στη απομάκρυνση λιπών και ελαίων από τα αστικά λύματα.

Ο διαχωρισμός με την επίπλευση διευκολύνεται πολύ, όταν εφαρμόζεται εμφύσηση αέρα, όπου η φυσαλίδες επικάθονται γύρω από τα σωματίδια, μειώνοντας την πυκνότητά τους και τελικά τα ωθούν στην επιφάνεια. Τα συγκεντρωμένα επιπλέοντα έλαια, απομακρύνονται με ειδικό ξέστρο. Για τη διευκόλυνση της επίπλευσης γίνεται προσθήκη χημικών ενώσεων (Λυμπεράτος & Βαγενάς, 2012):

- Ενώσεις που προκαλούν αφρισμό ή αφριστικά αντιδραστήρια. Η δημιουργία αφρού σταθεροποιεί τους ρύπους στον αφρό και τις φυσαλίδες στην επιφάνεια
- Ενώσεις που μετατρέπουν τα SS υδρόφοβα. Με τη χρήση των ουσιών αυτών, τα SS προσκολλώνται με μεγαλύτερη ευκολία στον αφρό και τις φυσαλίδες και οδεύουν άνωθεν στην επιφάνεια.

- *Διεργασίες μεμβρανών*

Η διήθηση μεμβράνης (membrane filtration) είναι ανερχόμενη τεχνολογία, η οποία χρησιμοποιείται ήδη αρκετό καιρό στην περιβαλλοντική μηχανική. Κατά τη διεργασία αυτή περνά το υγρό στο οποίο είναι διαλυμένες διάφορες ενώσεις από ημιπερατές μεμβράνες διαφορετικού μεγέθους πόρων. Κατά τη διαπέραση γίνεται και ο επιθυμητός διαχωρισμός. Οι πιο γνωστές μέθοδοι χρήσης μεμβρανών είναι η υπερδιήθηση (ultrafiltration), η μικροδιήθηση (microfiltration), η νάνοδιήθηση (nanofiltration) και η αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis) (Σχήμα 13) (Αυλωνίτης, 2013).



Σχήμα 13 Τύποι διήθησης μεμβράνης, με το αντίστοιχο μέγεθος πόρων και τις απομακρυνόμενες ενώσεις-οργανισμούς. Πηγή: smartwatermagazine.com

Στη περίπτωση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου, η μέθοδος αυτή θα ήταν απαγορευτικά κοστοβόρα. Η διήθηση με μεμβράνες θα μπορούσε να αποτελεί τελικό στάδιο απορρύπανσης, έχοντας προηγηθεί στάδια προκατεργασίας, όπως καθίζηση, διήθηση κλίνης, επίπλευση κλπ.

4.2.2. Φυσικοχημική επεξεργασία

Στην φυσικοχημική επεξεργασία των ΥΑΕ οι δύο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές είναι α) η εξουδετέρωση και κροκίδωση και β) οξείδωση:

- *Εξουδετέρωση και κροκίδωση*

Η βασικότερη μέθοδος, που εφαρμόζεται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων, περιλαμβάνει εξουδετέρωση της οξύτητας σε συνδυασμό με κροκίδωση (προσθήκη ασβέστη) και στη συνέχεια καθίζηση. Η εξουδετέρωση του pH του όγκου των αποβλήτων αποτελεί μέθοδο προκατεργασίας των ΥΑΕ και επιτυγχάνεται είτε με την προσθήκη θειικού οξέος (H_2SO_4) για οξύνιση του pH είτε με την προσθήκη υδροξειδίου του ασβεστίου ($Ca(OH)_2$) για περισσότερο αλκαλικές τιμές.

Μεταξύ των δύο αυτών μεθόδων, αυτή της αντίδρασης με υδράσβεστο χρησιμοποιείται περισσότερο στο ΥΑΕ, καθώς αποτελεί οικονομικότερη μέθοδο αλλά και διότι σε βασικό pH καταβυθίζονται τα βαρέα μέταλλα υπό μορφή αδιάλυτων αλάτων. Παρά την αποτελεσματικότητα της μεθόδου, η εξουδετέρωση απαιτεί

αυστηρά ελεγχόμενο περιβάλλον (Mitrakas, et al., 1996). Το γεγονός αυτό σε σύνδεση με το σχετικά αυξημένο κόστος εφαρμογής, την καθιστά πρακτικά εφαρμόσιμη μόνο σε μικρά ελαιοτριβεία.

Η αύξηση του pH όπως προαναφέρθηκε σε πιο ουδέτερα επίπεδα ή ακόμα και ελαφρώς αλκαλικά, έχει ως απότοκο την μερική μείωση των οργανικών ρύπων, την απομάκρυνση SS και κολλοειδών διασπορών. Επιπλέον απομακρύνονται πρωτεϊνικές και φαινολικές ενώσεις, λίπη, έλαια και πηκτίνες (Milos, 2017). Προσθήκη $\text{Ca}(\text{OH})_2$ από 0,5-3% οδηγεί σε μείωση 28% της συγκέντρωσης των SS, ενώ σαν βέλτιστη τιμή τίθεται το 2,5% (Alonso-Fariñas, et al., 2020).

Με την διεργασία της κροκίδωσης-συσσωμάτωσης επιτυγχάνεται η μείωση των SS και κολλοειδών διασπορών. Στη συνέχεια οι φλόκοι (flocs) συσσωματώνονται και απομακρύνονται με φυσικές διεργασίες (διήθηση κλπ.). Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η κροκίδωση και στη συνέχεια η συσσωμάτωση. Η πιο δημοφιλής τεχνική κροκίδωσης-συσσωμάτωσης είναι με χρήση πολυηλεκτρολυτών και βρίσκει εφαρμογή αφενός στα βιομηχανικά αλλά αφετέρου και στα αστικά υγρά απόβλητα. Τα πιο συνήθη κροκιδωτικά αντιδραστήρια που εφαρμόζονται σε βιομηχανική αλλά και εργαστηριακή και πιλοτική κλίμακα είναι το άμυλο, ο σίδηρος, το ασβέστιο και η χιτοζάνη. Τα αντιδραστήρια αυτά έχουν σημειώσει στη βιβλιογραφία ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την μείωση του BOD, COD και TSS (Boskou, 2006) (Caputo, et al., 2003). Από οικονομικής άποψης ωστόσο η χρήση υδράσβεστου φαίνεται να είναι η πιο συμφέρουσα, συγκριτικά με τον όγκο των αποβλήτων.

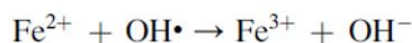
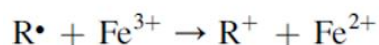
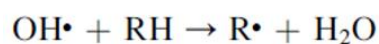
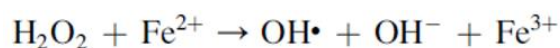
- *Οξειδωση*

Οι οξειδωτικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται περισσότερο σε μεγάλη κλίμακα για την οξείδωση οργανικών ρύπων είναι παράγωγα του οξυγόνου όπως το μοριακό οξυγόνο (O_2), το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2), το όζον (O_3) αλλά και το χλώριο (Cl_2), το χλωριούχο νάτριο (NaCl) και το υπερμαγγανικό κάλιο (KMnO_4). Οι προχωρημένες διεργασίες οξείδωσης (Advanced Oxidation Processes, AOPs) περιλαμβάνουν μεθόδους και τεχνικές όπως η ηλεκτροχημική οξείδωση, η φωτοκατάλυση, η υπεριώδης ακτινοβολία (UV), καθώς και συνδυασμό τεχνικών για την απομάκρυνση του οργανικού ρυπαντικού φορτίου. Η χημική οξείδωση των ρύπων δεν χρησιμοποιείται συχνά στην επεξεργασία των ΥΑΕ. λόγω αυξημένου κόστους δεδομένων των απαιτούμενων ποσοτήτων οξειδωτικών αντιδραστηρίων που

απαιτούνται για την επεξεργασία του ρυπαντικού φορτίου τους (Preedy & Watson, 2021) (Paraskeva & Diamadopoulos, 2006).

Μία νέα τεχνολογία χημικής οξειδωσης είναι η οξείδωση Fenton και electro-Fenton. Το αντιδραστήριο Fenton είναι ένα διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂) και θεικού σιδήρου (FeSO₄) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για την οξείδωση οργανικών ρύπων σε απόβλητα. Μεταξύ των AOPs, η οξείδωση που χρησιμοποιεί το αντιδραστήριο Fenton είναι μια ελκυστική και αποτελεσματική τεχνολογία για την αποικοδόμηση ενός μεγάλου αριθμού επικίνδυνων και οργανικών ρύπων λόγω της έλλειψης τοξικότητας των αντιδραστηρίων (αφήνοντας αμελητέα υπολείμματα) και την απλότητα της τεχνολογίας. Η οξείδωση του μηλεϊνικού οξέος ήταν η πρώτη διαδικασία Fenton που αναφέρθηκε από τον Henry John Horstman Fenton. Τα κύρια βήματα που εμπλέκονται στη διαδικασία Fenton είναι (i) οξείδωση, (ii) εξουδετέρωση, (iii) κροκίδωση και (iv) καθίζηση. Η διαδικασία Fenton είναι πιο αποτελεσματική σε pH κοντά στο 3 (Kochany & Lipczynska-Kochany , 2009).

Κανονικά οι οργανικές ενώσεις απομακρύνονται σε δύο στάδια οξείδωσης και κροκίδωσης- συσσωμάτωσης. Η οξείδωση των οργανικών ενώσεων οφείλεται σε ρίζες OH• και η κροκίδωση και συσσωμάτωση αποδίδεται στον σχηματισμό συμπλοκών σιδήρου υδροξειδίου (Kochany & Lipczynska-Kochany , 2009). Οι ρίζες υδροξυλίου (OH•) είναι αποτελεσματικές στην καταστροφή οργανικών χημικών επειδή είναι δραστικά ηλεκτρονιόφιλα που αντιδρούν γρήγορα και μη εκλεκτικά με σχεδόν όλες τις πλούσιες σε ηλεκτρόνια οργανικές ενώσεις (Kochany & Lipczynska-Kochany , 2009). Στο Σχήμα 14 φαίνονται οι αντιδράσεις Fenton που λαμβάνουν χώρα, κατά την διεργασία της απορρύπανσης, εκμεταλλεύοντας τις ρίζες υδροξυλίου. Οι (Paraskeva & Diamadopoulos, 2006) αναφέρουν 40-60% μείωση του COD με οξείδωση Fenton.



Σχήμα 14 Το σύστημα Fenton χρησιμοποιεί ιόντα σιδήρου για να αντιδράσει με υπεροξείδιο του υδρογόνου, παράγοντας ρίζες υδροξυλίου με ισχυρή οξειδωτική ικανότητα να αποικοδομεί οργανικούς ρύπους. Πηγή: (Wang, 2008)

4.2.3. Βιολογική επεξεργασία

Η βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων ελαιοτριβείου μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε αερόβια είτε αναερόβια. Σε κάθε περίπτωση διαφορετικοί μικροοργανισμοί είναι αυτοί που λαμβάνουν δράση για τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου.

- *Αερόβια Επεξεργασία*

Η αερόβια επεξεργασία των ΥΑΕ περιλαμβάνει συμβατικές μεθόδους, οι οποίες χρησιμοποιούνται ήδη για την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων. Ανάμεσα στις μεθόδους αυτές είναι η μέθοδος ενεργού ιλύος, η μέθοδος των βιολογικών δίσκων, τα χαλικοδιωληστήρια και οι οξειδωτικές τάφροι. Πρωταγωνιστές στην απορρύπανση είναι βακτήρια και μικροφύκη, ενώ τα νηματοειδή βακτήρια προκαλούν συχνά αφρισμό στις δεξαμενές εξισορρόπησης και αερόβιας επεξεργασίας (Λυμπεράτος & Βαγενάς, 2012).

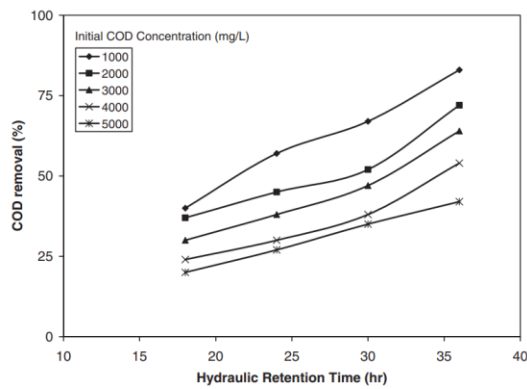
Η αερόβια συνεπεξεργασία των αποβλήτων ελαιοτριβείων με αστικά λύματα δοκιμάστηκε σε πιλοτικό αντιδραστήρα και προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα (Τσώνης, 2004):

- Η αερόβια συνεπεξεργασία είναι δυνατή μετά από αραιώση (τουλάχιστον 1:25) και μέχρι πολύ υψηλούς βαθμούς αραιώσης οργανικού υλικού σε εγκαταστάσεις παρατεταμένου αερισμού
- Απαιτείται τουλάχιστον αραιώση των ΥΑΕ 1:100 για αποφυγή προβλημάτων χρώματος στην επεξεργασμένη εκροή.
- Η παραγωγή αποβλήτων ανά ελαιουργείο κατά τη διάρκεια της ελαιουργικής περιόδου κυμαίνεται σε 1.000-5.000 m³ (ανάλογα με το μέγεθος).
- Το ρυπαντικό φορτίο 1m³ αποβλήτων ελαιοτριβείου ισοδυναμούν με το ημερήσιο ρυπαντικό φορτίο 1000 περίπου ανθρώπων.

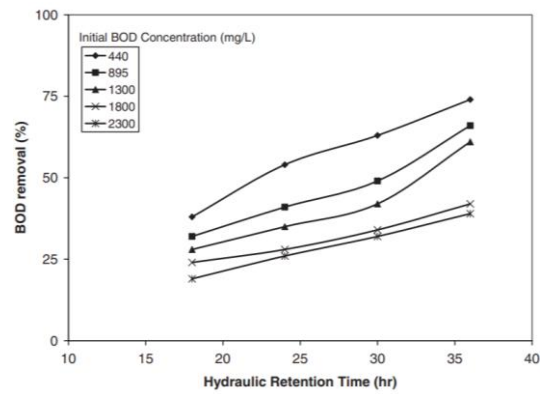
Με βάση τα στοιχεία της μελέτης αυτής προέκυψε ότι για να αποφασιστεί η διάθεση αποβλήτων ενός μέσου ελαιοτριβείου στο δίκτυο της αποχέτευσης μίας περιοχής και να οδηγηθεί στη συνέχεια στην εγκατάσταση συνεπεξεργασίας με αστικά λύματα, θα πρέπει η εγκατάσταση να έχει σχεδιαστεί για να δέχεται επιπλέον οργανικό φορτίο περίπου 15.000 με 20.000 κατοίκους ανά ημέρα κατά τη διάρκεια της ελαιοκομικής περιόδου. Ως αποτέλεσμα, ένας δήμος 10.000 κατοίκων θα πρέπει να

αποφεύγει να κάνει δεκτά τα απόβλητα έστω και από ένα ελαιοτριβείο μέσου μεγέθους στη ΜΕΥΑ. Για μεγαλύτερες όμως εγκαταστάσεις από 50.000-100.000 κατοίκους, θα πρέπει να εξετάζεται κατά περίπτωση η συνεπεξεργασία των αποβλήτων ελαιοτριβείου με αστικά λύματα (Κούγκολος, 2017).

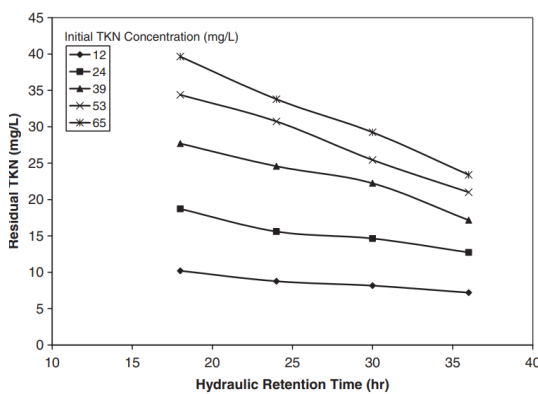
Κατά την αερόβια επεξεργασία σημειώνεται μείωση του COD, BOD, του ολικού αζώτου αλλά και των λιπών και ελαίων. Η απομάκρυνση των παραπάνω είναι συνάρτηση του υδραυλικού χρόνου παραμονής. Το φαινόμενο μελέτησαν οι (Vijayaraghavan, et al., 2007) , των οποίων τα αποτελέσματα φαίνονται στα Σχήματα 15-18.



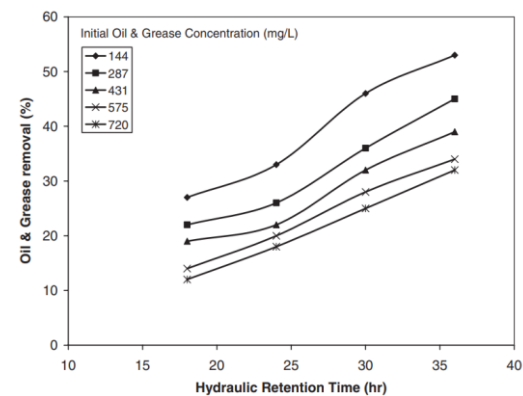
Σχήμα 15 Ποσοστό μείωσης COD έναντι υδραυλικού χρόνου παραμονής κατά τη διάρκεια αερόβιας επεξεργασίας των αραιωμένων ακατέργαστων εκροών ελαιοτριβείου. Πηγή: (Vijayaraghavan, et al., 2007)



Σχήμα 16 Ποσοστό μείωσης BOD έναντι υδραυλικού χρόνου παραμονής κατά τη διάρκεια αερόβιας επεξεργασίας των αραιωμένων ακατέργαστων εκροών ελαιοτριβείου. Πηγή: (Vijayaraghavan, et al., 2007)



Σχήμα 17 Υπολειμματικό TKN έναντι υδραυλικού χρόνου παραμονής κατά τη διάρκεια αερόβιας επεξεργασίας των αραιωμένων ακατέργαστων εκροών ελαιοτριβείου. Πηγή: (Vijayaraghavan, et al., 2007)

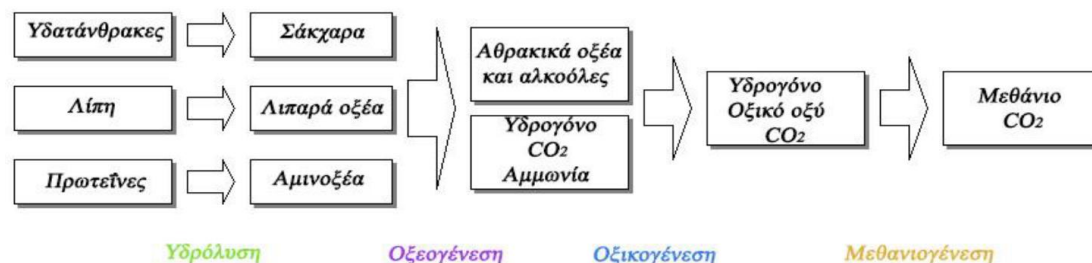


Σχήμα 18 Ποσοστό αφαίρεσης λιπών-ελαίων έναντι υδραυλικού χρόνου παραμονής κατά τη διάρκεια αερόβιας επεξεργασίας των αραιωμένων ακατέργαστων εκροών ελαιοτριβείου. Πηγή: (Vijayaraghavan, et al., 2007)

Οι κυριότεροι μικροοργανισμοί που αξιοποιούνται συνήθως στις αερόβιες διεργασίες είναι στελέχη των: *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Coriolus versicolor*, *Funalia trogii*, *Geotrichum candidum*, *Lentinus edodes*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Phanerochaete flavido-alba* και *Pleurotus ostreatus* (Metcalf & Eddy (rev. by Tchobanoglous, et al., 2018)

- *Αναερόβια Επεξεργασία*

Οι τεχνικές αναερόβιας επεξεργασίας ΥΑΕ λαμβάνουν χώρα απουσία οξυγόνου. Για την αποδόμηση του οργανικού φορτίου επιστρατεύονται αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Τα βασικά στάδια της αναερόβιας χώνευσης υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν: την υδρόλυση, την οξεογένεση και τη μεθανιογένεση (Σχήμα 19)



Σχήμα 19 Στάδια της αναερόβιας χώνευσης των ΥΑΕ. Πηγή: suspath.com

Τα δύο συμβατικά επίπεδα θερμοκρασίας λειτουργίας για αναερόβιους χωνευτές καθορίζονται από τα είδη των μεθανιογόνων μικροοργανισμών στους αναερόβιους χωνευτές (Metcalf & Eddy (rev. by Tchobanoglous, et al., 2018):

- Η μεσόφιλη χώνευση πραγματοποιείται ιδανικά γύρω στους 30-40°C, ή σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος μεταξύ 20-45°C, όπου οι μεσόφιλοι είναι οι πρωταρχικοί μικροοργανισμοί που υφίστανται.
- Η θερμόφιλη χώνευση πραγματοποιείται ιδανικά γύρω στους 50-57°C, ή σε αυξημένες θερμοκρασίες έως και 70°C, όπου οι θερμόφιλοι είναι οι πρωταρχικοί μικροοργανισμοί που υφίστανται.

Η αναερόβια βιολογική επεξεργασία έχει χρησιμοποιηθεί σε ημι-βιομηχανική κλίμακα και στη χώρα μας με πραγματικά απόβλητα από ελαιοτριβεία. Έτσι κατά την αναερόβια χώνευση αποβλήτων είχε ως αποτέλεσμα τον σημαντικό βαθμό μείωσης του ρυπαντικού φορτίου σε ποσοστό περίπου 95% και παράλληλα την παραγωγή αυξημένης ποσότητας βιοαερίου, μέχρι 2.75 m³/ωφέλιμο κυβικό μέτρο χωνευτή/ημέρα (Κούγκολος, 2017). Επιπλέον παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των οσμών καθιστώντας έτσι εφικτή την αποθήκευση των τελικών υγρών σε ανοιχτές δεξαμενές εξισορρόπησης πριν την διάθεσή του σε εδαφικούς αποδέκτες για απορρόφηση και λίπανση αυτοφυών ή καλλιεργούμενων φυτών (Φωτεινόπουλος & Νταρακάς, 2018). Παρά την υψηλή απόδοση της αναερόβιας χώνευσης, τα επεξεργασμένα λύματα εξακολουθούσαν να παρουσιάζουν χαμηλή ποιότητα και το οργανικό φορτίο στην έξοδο ανερχόταν σε COD = 2.000 mg/l (Κούγκολος, 2017). Έτσι η μέθοδος αυτή δεν

μπορεί από μόνο της να χρησιμοποιηθεί για την ολοκληρωμένη επεξεργασία των αποβλήτων, αν και παρουσιάζει μικρότερο κόστος από την αερόβια μέθοδο επεξεργασίας.

4.2.4. Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία των ΥΑΕ μπορεί να πάρει τρεις μορφές:

- Φυσικοθερμική επεξεργασία υγρών αποβλήτων, όπου γίνεται χρήση φυσικών διεργασιών για την μείωση του ρυπαντικού φορτίου (εξάτμιση ή απόσταξη)
- Θερμοχημική επεξεργασία υγρών αποβλήτων, όπου συναντώνται οι διεργασίες που αναφέρθηκαν και στην επεξεργασία των στερεών αποβλήτων. Οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται εδώ είναι κυρίως η καύση και η πυρόλυση
- Λίμνες εξάτμισης, τεχνική η οποία αποτελεί φθηνή αλλά και μετρίως αποτελεσματική τεχνική.

- Φυσικοθερμική επεξεργασία

Η εξάτμιση του κατσίγαρου έχει δείξει ότι μπορεί να μειώσει τον όγκο των ΥΑΕ έως και 75%, ενώ το τελικό προϊόν παρουσιάζει μείωση COD έως και 80%. Παράλληλα το ολικό άζωτο είναι μειωμένο κατά 90% και εν τέλει το συμπύκνωμα είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμο σε σχέση με τον αρχικό όγκο του αποβλήτου (Ντόλια , 2006). Το στερεό υπόλειμμα από την εξάτμιση έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί και να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό λόγω της περιεκτικότητάς του σε κάλιο, άζωτο και φωσφόρο ή ως ζωοτροφή. Στο Σχήμα 20 απεικονίζεται μία συσκευή εξάτμισης και συμπύκνωσης του κατσίγαρου.



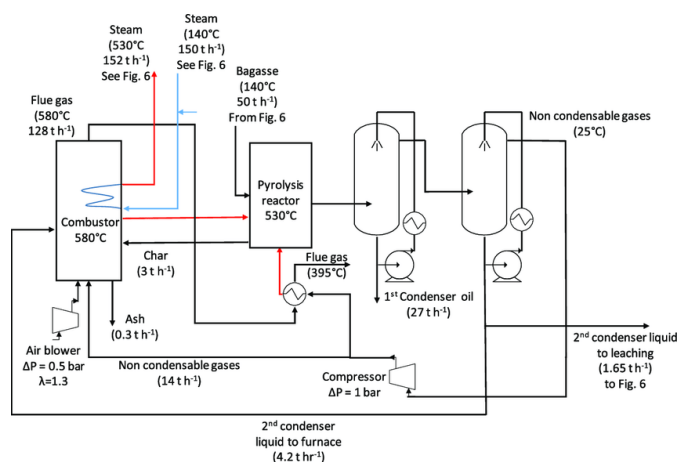
Σχήμα 20 Συσκευή εξάτμισης ή απόσταξης κασιγάρου. Πηγή: agroenergy.gr

Τα βασικότερα μειονεκτήματα της εξάτμισης-απόσταξης του κασιγάρου είναι (De Leonardis, 2014):

- Οι απαιτήσεις επιπλέον επεξεργασίας για ασφαλή διάθεση του στερεού μετά τη διεργασία
- Οι ενεργειακές απαιτήσεις
- Η επικινδυνότητα και η διαβρωτική δράση των παραγόμενων αερίων.

- *Θερμοχημική επεξεργασία*

Στις θερμοχημικές μεθόδους επεξεργασίας του κασιγάρου υπάγονται η καύση και η πυρόλυση. Ένα ενδεικτικό διάγραμμα ροής δυλιστηρίου εκμετάλλευσης ΥΑΕ με θερμοχημικές μεθόδους δίνεται στο Σχήμα 21.

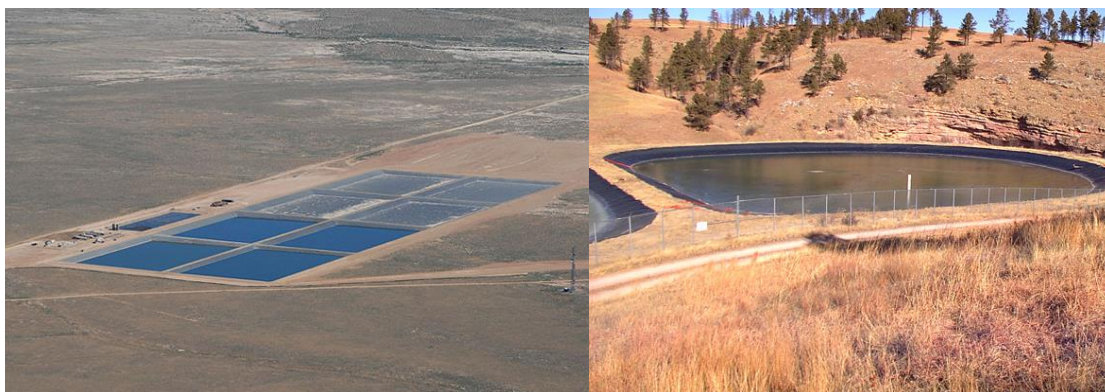


Σχήμα 21 Διάγραμμα ροής δυλιστηρίου εκμετάλλευσης των υποπροϊόντων των ΥΑΕ με θερμοχημικές μεθόδους. Πηγή: (Oudenhoven et al., 2006)

Τα σημαντικότερα πλεονέκτημα των διεργασιών αυτών είναι η μείωση του συνολικού όγκου των αποβλήτων αλλά και η ανάκτηση ενέργειας υπό μορφή θερμότητας. Συχνά δημιουργούνται προβλήματα διάβρωσης των συσκευών και προβλήματα διαχείρισης της τέφρας και των υπολειμμάτων. Ένα πρόβλημα που παραμένει δυσεπίλυτο είναι οι αέριοι ρύποι, οι οποίοι υπακούν σε αυστηρές νομοθεσίες και απαιτούν δαπανηρή επεξεργασία, γεγονός που προσαυξάνει το συνολικό λειτουργικό κόστος των διεργασιών.

- Λίμνες εξάτμισης

Η χρήση λιμνών εξάτμισης (εξατμισοδεξαμενές-lagooning) αποτελεί μία ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική επεξεργασίας όχι μόνον υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου, αλλά και επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων (Σχήμα 22). Κατά την διεργασία αυτή το απόβλητο τοποθετείται σε τεχνητές λίμνες ή εξατμισοδεξαμενές, όπου με τη βοήθεια της φυσικής εξάτμισης μειώνεται ο όγκος του αποβλήτου. Τα ΥΑΕ αποθηκεύονται στις δεξαμενές αυτές κατά τη διάρκεια των μηνών λειτουργίας των ελαιουργείων και το νερό εξατμίζεται στη διάρκεια των μηνών του καλοκαιριού. Οι κλιματικές συνθήκες στον ελλαδικό χώρο αποτελούν αβαντάζ για τη μέθοδο αυτή, λόγω θερμοκρασίας και ανέμων.



Σχήμα 22 Τυπικές λίμνες που χρησιμοποιούνται για την εξάτμιση όγκου υγρών αποβλήτων. Πηγή Αριστερά: condorchem.com Πηγή Δεξιά: nps.gov

Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η συσσώρευση εντόμων (κουνούπια κλπ.), λόγω της ισχυρής δυσοσμίας που επικρατεί στη γύρω περιοχή. Επιπλέον σε επαρχιακές περιοχές εμφανίζεται το φαινόμενο της μη στεγάνωσης των τοιχωμάτων της λίμνης (χαβούζα), όπου και επέρχεται ρύπανση του υπεδάφους, αφού

το έδαφος εκεί λειτουργεί ως φίλτρο, το οποίο στραγγίζει όλους τους ρύπους και τους μεταφέρει στο υπέδαφος και στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

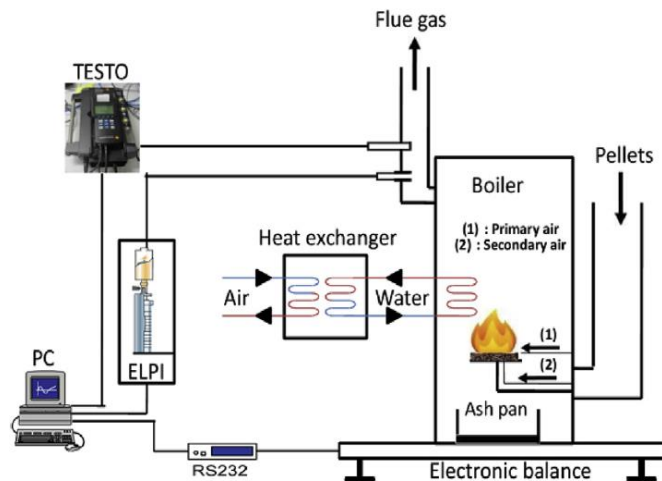
5. Μέθοδοι Ενεργειακής Αξιοποίησης Αποβλήτων

5.1. Παραγωγή Άμεσης Ενέργειας

5.1.1. Καύση

Η επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των στερεών αποβλήτων των ελαιοτριβείων (ΣΑΕ) έχει απασχολήσει τη γεωργική κοινότητα και έχει μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία. Μία από τις πρωταρχικές χρήσεις ήταν η χρήση ως ζωοτροφή, ωστόσο σήμερα επαναχρησιμοποιείται για εξαγωγή του πυρηνέλαιου. Τα στερεά απόβλητα του πυρηνελαιουργείου θεωρούνται πλέον εξαντλημένα στερεά απόβλητα ελαιοτριβείου (ΕΣΑΕ). Μέχρι στιγμής η παραγωγή ενέργειας μέσω καύσης των ΕΣΑΕ είναι μία τεχνική η οποία βρίσκει ευρεία εφαρμογή.

Οι (Kraiem, et al., 2014) μελέτησαν την επεξεργασία των ΥΑΕ μέσω εμποτισμού τους σε πλήθος βιομαζών. Η ενεργειακή ανάκτηση μελετήθηκε μέσω της καύσης των βιομαζών αυτών (πελέτες). Οι διαφορετικού είδους βιομάζες δίνουν διαφορετική τιμή ενεργειακής ανάκτησης. Στην μελέτη των (Kraiem, et al., 2014) εμποτίστηκαν τα ΥΑΕ σε πριονίδι, ΣΑΕ και ΕΣΑΕ. Η αναλογία ΥΑΕ: βιομάζα ήταν 5/1. Τα ΕΣΑΕ στη μελέτη αυτή αλλά και γενικότερα προτιμώνται από τα ΣΑΕ λόγω του γεγονότος ότι είναι περισσότερο διαθέσιμο, καθώς τα ΣΑΕ οδηγούνται στα πυρηνελαιουργεία και δεν διατίθενται, ενώ τα ΕΣΑΕ είναι το τελικό απόβλητο. Πριν τον εμποτισμό έγινε ανάλυση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των βιομαζών και θερμοσταθμική ανάλυση. Τα τεστ αποδοτικότητας της καύσης για τις διάφορες πελέτες πραγματοποιήθηκαν σε οικιακό λέβητα για ανάλυση των αέριων εκπομπών αλλά και σύγκριση της απόδοσης καύσης. Στο Σχήμα 23 φαίνεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε, ενώ στον Πίνακα 7 δίνονται τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων βιομαζών (πριονίδι, εμποτισμένο πριονίδι, ΕΣΑΕ και εμποτισμένα ΕΣΑΕ).



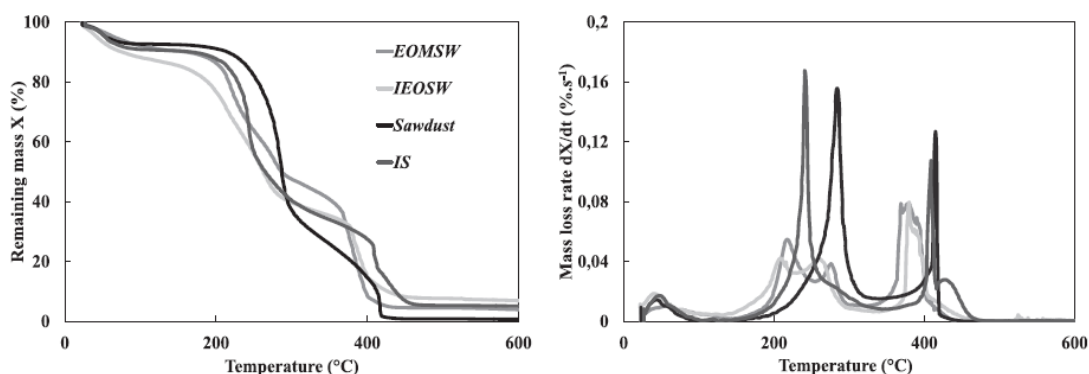
Σχήμα 23 Σχήμα της πειραματικής διάταξης καύσης. Πηγή: (Kraiem, et al., 2014)

Πίνακας 6 Δεδομένα ανάλυσης βιομαζών (εμποτισμένων και μη). Πηγή: (Kraiem, et al., 2014)

Χαρακτηριστικά δειγμάτων	Πριονίδι	Εμποτισμένο πριονίδι	ΕΣΑΕ	Εμποτισμένα ΕΣΑΕ
Υγρασία (%)	9,8±0,5	9,6±0,1	10±0,4	15±0,5
Πυκνότητα (kg/m ³)	103±3	183±2	529±10	551±13
LHV (MJ/kg)	16,4±0,1	18±0,4	16,9±0,3	17,5±0,7
Fixed Carbon (%)	14,5±0.1	17,6±0,1	25,5±0,2	17,5±0,9
Πτητικό κλάσμα (%)	75,2±1	68,5±0,3	61,5±0,2	60,5±0,1
Τέφρα 550°C (%)	0.6±0.1	4±0.1	3±0.1	7±0.2
Τέφρα 815°C (%)	0.5±0.1	4±0.1	3±0.1	5±0.1

Ο χαρακτηρισμός και η ενεργειακή αποτίμηση όπως μελετήθηκε από τους (Kraiem, et al., 2014) των δειγμάτων αποδεικνύει ότι ο εμποτισμός βιομαζών με ΥΑΕ αυξάνει το ενεργειακό περιεχόμενο μέσω των χαμηλών τιμών θέρμανσης (low heating values). Παρόλα αυτά ένα μειονέκτημα που παρατηρήθηκε είναι η αύξηση της τέφρας, γεγονός που δείχνει τη μείωση του πτητικού κλάσματος. Η ανάλυση TGA δείχνει

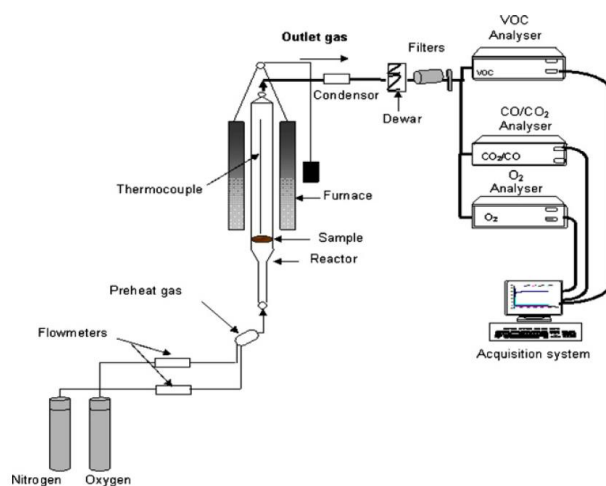
όξυνση της αντιδραστικότητας κατά την πρόσθεση ΥΑΕ, το οποίο μπορεί να οφείλεται στο καταλυτικό φαινόμενο καλίου (catalytic potassium effect) (Σχήμα 24).



Σχήμα 24 Καμπύλες TG και DTG των διαφορετικών δειγμάτων υπό οξειδωτική ατμόσφαιρα. Πηγή: (Kraiem, et al., 2014)

Η σύγκριση μεταξύ των πελετών που παράγονται από φρέσκα, μη εμποτισμένη βιομάζα σε σύγκριση με εκείνα από εμποτισμένη βιομάζα κατά τη διάρκεια δοκιμών καύσης δείχνει ότι η πρόσθεση ΥΑΕ επηρεάζει θετικά την ποιότητα της καύσης. Συγκεκριμένα, οι αέριοι ρύποι παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές στα πέλετ των ΕΣΑΕ σε σχέση με πέλετ από ΣΑΕ. Αυτή η λειτουργία θα μπορούσε να αποφέρει παραδείγματος χάρη σε μια μεγάλη ελαιοτριβική μονάδα κέρδος έως και 650.000 ευρώ/έτος.

Οι (Jeguirim, et al., 2012) κινήθηκαν σε ένα παρόμοιο πλαίσιο έρευνας. Ο σκοπός τους ήταν η μελέτη της αποτελεσματικότητας της προσρόφησης και απορρόφησης των ΥΑΕ σε πριονίδι. Σε δεύτερο στάδιο μελετήθηκε η χρήση του νέου εμποτισμένου υλικού ως βιοκαύσιμο μέσω της. Έγινε επιπλέον σύγκριση των δεδομένων καύσης από ακατέργαστο πριονίδι, ώστε να μελετηθούν και να ταυτοποιηθούν οι διαφορές σε σχέση με το εμποτισμένο με ΥΑΕ πριονίδι και το αφυδατωμένο και ξηρό προϊόν από τα ΥΑΕ. Στο Σχήμα 25 φαίνεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε, ενώ τον Πίνακα 8 φαίνονται τα δεδομένα ανάλυσης των βιομαζών (εμποτισμένων και μη).



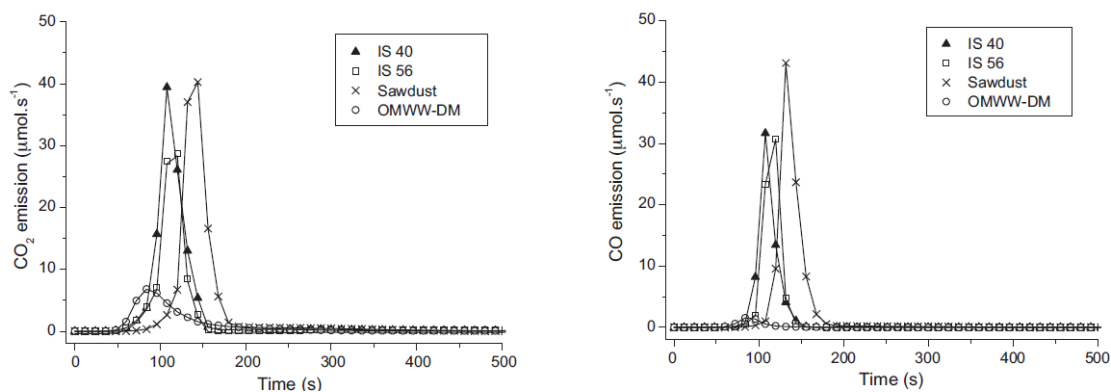
Σχήμα 25 Σχήμα της πειραματικής διάταξης καύσης. Πηγή: (Jeguirim, et al., 2012)

Πίνακας 7 Χημικά χαρακτηριστικά πριονιδιού και εμποτισμένου πριονιδιού. Πηγή: (Jeguirim, et al., 2012)

Χαρακτηριστικά δειγμάτων	Αφυδατωμένα-Ξηρά ΥΑΕ	Πριονίδι	Εμποτισμένο πριονίδι
Υγρασία (%)	1,3	6,7	6,6
HHV (MJ/kg)*	17.390 ±50	18.000±166	16.750±60
Fixed Carbon (%)	23	16,3	27,6
Πτητικό κλάσμα (%)	63,1	76	60,2
Τέφρα 550°C (%)*	12,6	1	5,6
Στοιχειακή ανάλυση			
C	42.2	46.5	45.3
H	nd	5.96	5.73
N	1.44	0.30	0.44
*επί ξηρού (dry basis)			

Όλες οι παραπάνω βιομάζες (εμποτισμένες και μη) εκτέθηκαν σε περίσσεια ατμοσφαιρικού αέρα. Το εμποτισμένο με ΥΑΕ πριονίδι με αναλογία μάζας 40 wt% είναι μια αξιόπιστη λύση για χρησιμοποίηση ως βιοκαύσιμο, με χαρακτηριστικά στις

θερμοκρασίες που μελετήθηκαν, κοινά με αυτά του απλού πριονιδιού. Για το εμποτισμένο με ΥΑΕ πριονίδι με αναλογία μάζας 56 % w/w, η καύση απαιτεί θερμοκρασία γύρω στους 700°C. Ωστόσο, η απόδοση καύσης του εμποτισμένου πριονιδιού 56% w/w παρουσιάζει ικανοποιητικότερα δεδομένα. Οι (Jeguirim, et al., 2012) ορίζουν ότι αυτή η εμποτισμένη βιομάζα παράγει μεν υψηλότερο CO₂, ωστόσο παρουσιάζει μειωμένες εκπομπές CO (Σχήμα 26).



Σχήμα 26 Αριστερά: CO₂ κατά την καύση πριονιδιού, εμποτισμένου πριονιδιού και ξηρών ΥΑΕ και Δεξιά: CO κατά την καύση πριονιδιού εμποτισμένου πριονιδιού και ξηρών ΥΑΕ (500° C). Πηγή: (Jeguirim, et al., 2012)

5.1.2. Πυρόλυση

Η πυρόλυση αποτελεί μία ακόμα τεχνική ανάκτησης χρήσιμων πρώτων υλών από υπολειμματική βιομάζα, τα οποία χρησιμεύουν στην παραγωγή ενέργειας αλλά και στη χημική βιομηχανία γενικότερα. Ο (Guida, 2017) μελέτησε την πυρόλυση των ΣΑΕ, ως μέθοδο αξιοποίησης της βιομάζας και ανάκτησης πρώτων υλών. Στόχο της μελέτης αποτέλεσε η πειραματική διερεύνηση του ρυθμού θέρμανσης και της θερμοκρασίας της πυρόλυσης και η επιρροή τους στην ποιότητα και την απόδοση παραγωγής βιοελαίου και εξανθρακώματος. Η συγκριτική μελέτη στόχευσε στην εύρεση βέλτιστων συνθηκών για τη μέγιστη απόδοση των παραπάνω.

Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ΣΕΑ και αφυδατωμένα ΥΑΕ με υγρασία 8,3% και 3,8% αντίστοιχα. Η βιομάζα πυρολύθηκε σε αντιδραστήρα ανοξειδωτού χάλυβα, με θέρμανση από σωληνοειδή κλίβανο σε θερμοκρασίες 400°C, 450 °C, 500 °C, 550 °C και 600 °C. Η συσκευή φαίνεται στα Σχήματα 27-28, ενώ στον Πίνακα 8 και

το Σχήμα 29 φαίνονται τα δεδομένα επιρροής της θερμοκρασίας πυρόλυσης και του ρυθμού θέρμανσης στην απόδοση παραγωγής βιοελαίου και βιοεξανθρακώματος.



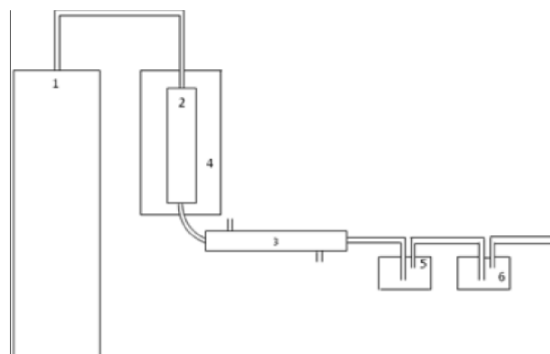
(a)

(b)



(c)

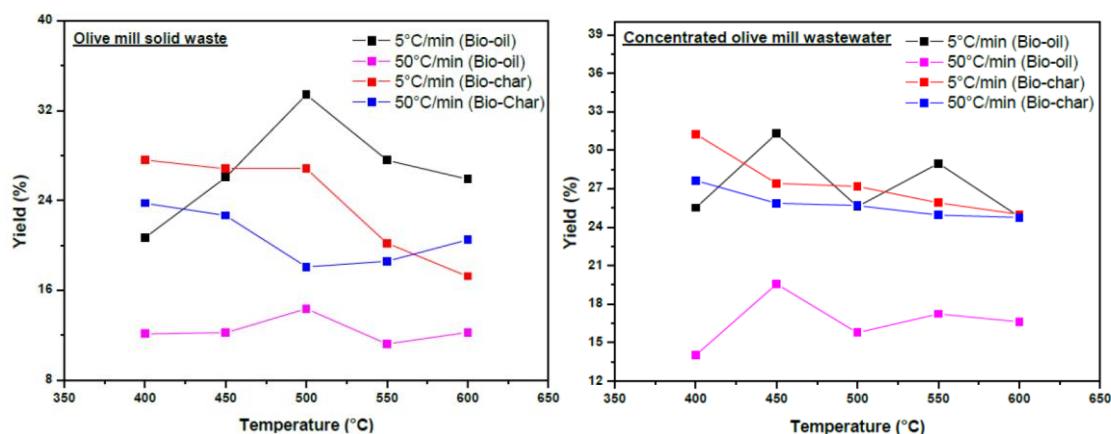
Σχήμα 27 α) Σωληνωτός αντιδραστήρας σε κλίβανο, β) συμπυκνωτής, γ) παγίδες. Πηγή: (Guida, 2017)



Σχήμα 28 Σχηματική απεικόνιση της συσκευής πυρόλυσης: (1) σωλήνας μεταφοράς αζώτου. (2) σωλήνας από ανοξείδωτο ατσάλι. (3) συμπυκνωτής. (4) φούρνος και (5) παγίδες συλλογής βιοελαίου. Πηγή: (Guida, 2017)

Πίνακας 8 Επίδραση του ρυθμού θέρμανσης και της θερμοκρασίας στην απόδοση των προϊόντων της πυρόλυσης ΣΑΕ και αφυδατωμένων ΥΑΕ. Πηγή: (Guida, 2017)

		Θερμοκρασία °C					
		400	450	500	550	600	
ΣΑΕ	Βιοέλαιο	10 °C/min	16,22	22,12	29,18	27,68	27,7
		20 °C/min	11,4	22,11	23,98	16,66	18,06
	Εξανθ/μα	10 °C/min	28,17	26,77	25,92	25,72	27,28
		20 °C/min	27,85	24,42	24,66	24,78	24,73
Ξηρά ΥΑΕ	Αέρια	10 °C/min	55,61	51,11	44,27	46,6	45,01
		20 °C/min	60,75	53,47	51,35	58,56	57,21
	Βιοέλαιο	10 °C/min	23,11	28,74	24,56	22,23	24,16
		20 °C/min	19,05	23,19	20,69	15,03	18,03
ΥΑΕ	Εξανθ/μα	10 °C/min	24,50	24,4	24,13	23,45	22,7
		20 °C/min	21,70	19,90	20,69	22,09	20,84
	Αέρια	10 °C/min	52,39	46,85	51,30	54,32	53,05
		20 °C/min	59,88	56,91	58,62	62,88	61,13



Σχήμα 29 Επίδραση της θερμοκρασίας και του ρυθμού θέρμανσης στο βιοέλαιο και το βιοεξανθράκωμα, Αριστερά α[‘π ΣΑΕ, Δεξιά: από αφυδατωμένα ΥΑΕ. Πηγή: (Guida, 2017)

Το βιοέλαιο της πυρόλυσης των ΣΑΕ και των αφυδατωμένων ΥΑΕ αποδείχθηκε ότι περιείχε πλήθος χρήσιμων οργανικών ενώσεων. Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα της ανάλυσης δίνονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 9 Δεδομένα ανάλυσης χρωματογραφίας στήλης για τα βιο-έλαια των ΣΑΕ των αφυδατωμένων ΥΑΕ. Πηγή: (Guida, 2017)

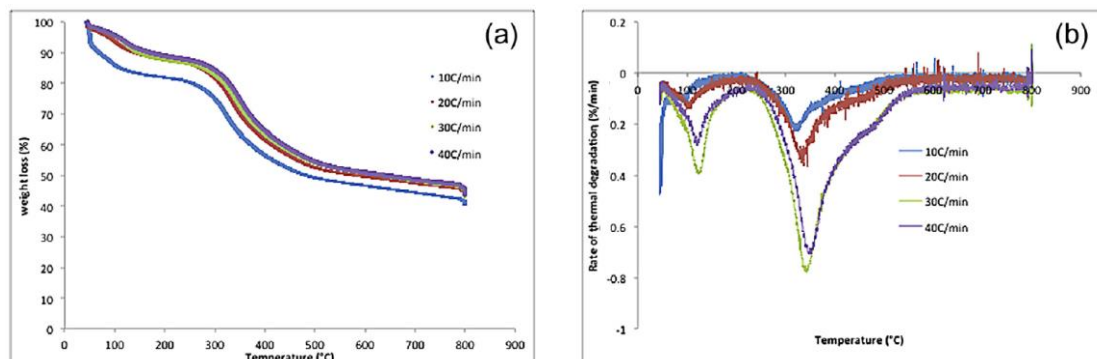
Ένωσεις	ΣΑΕ	Αφυδατωμένα ΥΑΕ
Βιοέλαιο %	33,41	31,29
Ασφαλτένια	49,90	51,40
Μαλτένια	50,10	48,60
Αλειφατικές ενώσεις	40,20	38,00
Αρωματικές ενώσεις	21,40	27,50
Πολικές ενώσεις	38,40	34,50

Για τα ΣΑΕ φαίνεται ότι η μέγιστη απόδοση συμβαίνει στο 33,4-33,5 % w/w, 500°C και ρυθμό θέρμανσης 5°C/min, ενώ για τα αφυδατωμένα ΥΑΕ συμβαίνει 31,3% w/w, 450 ° C και ρυθμό θέρμανσης 5°C/min. Η απόδοση παραγωγής εξανθρακώματος φθίνει όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, όπως επίσης και η απόδοση παραγωγής βιοεξανθρακώματος από 27,6 %w/w. σε 17 % w/w στα ΣΑΕ και από 31,26 % w/w σε 25 % w/w για αφυδατωμένα ΥΑΕ. Η χρωματογραφική ανάλυση του βιοελαίου απέδειξε την παρουσία αλειφατικών ενώσεων και κατ' επέκταση τη δυνατότητα λήψης χρήσιμων υγρών προϊόντων που θα μπορούν να προσομοιάσουν παράγωγά του πετρελαίου. Το εξανθράκωμα, λόγω του υψηλού ποσοστού άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διεργασίες αντικαθιστώντας τον ενεργό άνθρακα.

Οι (Thangalazhy-Gopakumar, et al., 2015) δοκίμασαν μία νέα προοπτική ,κατά την οποία τίθεται σε πυρόλυση η ενεργός ιλύ από την μονάδα επεξεργασίας των ΥΑΕ. Στη μελέτη αυτή γίνεται χρήση της ιλύς από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ΥΑΕ φοινικέλαιου (έπειτα από αναερόβια και αερόβια επεξεργασία). Υπό κανονικές συνθήκες η ιλύς επεξεργασίας των ΥΑΕ φοινικέλαιου διοχετεύεται ως εδαφοβελτιωτικό στις καλλιέργειες φοινίκων. Ωστόσο έχει παρατηρηθεί σοβαρό πρόβλημα, όπου τίθενται προβλήματα υγιεινής και ασφάλειας.

Η εκμετάλλευση της ενεργού ιλύς μέσω της διεργασίας της πυρόλυσης αποτελεί μία καινοτόμα λύση στην ανάκτηση ενέργειας και πρώτων υλών. Η μελέτη των (Thangalazhy-Gopakumar, et al., 2015) αξιολογεί επίσης της χρήση του βιοεξανθρακώματος ως υποκατάστατο του ενεργού άνθρακα, όσον αφορά την προσροφητική ικανότητά του για την απομάκρυνση καδμίου από υπόγεια νερά. Παράλληλα από την πυρόλυση παρήχθη βιοέλαιο, το οποίο περιέχει πλήθος χημικών

ενώσεων, χρήσιμων στη χημική βιομηχανία. Στο Σχήμα 30 φαίνεται η θερμοσταθμική ανάλυση της ιλύος από την επεξεργασία των ΥΑΕ, ενώ στους Πίνακες 11 και 12 φαίνονται τα κυριότερα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου βιοελαίου και βιοεξανθρακώματος από την πυρόλυση της ιλύος.



Σχήμα 30 Θερμο-σταθμική ανάλυση της ιλύος από επεξεργασία ΥΑΕ με διαφορετικό ρυθμό θέρμανσης. (α) Απώλεια βάρους συναρτήσει της εφαρμοζόμενης θερμοκρασίας. (β) Θερμικής υποβάθμισης προϊόντος συναρτήσει της εφαρμοζόμενης θερμοκρασίας. Πηγή: (Thangalazhy-Gopakumar, et al., 2015)

Πίνακας 10 Ιδιότητες βιοελαίου. Πηγή: (Thangalazhy-Gopakumar, et al., 2015)

Παράμετρος	Βιοέλαιο
Πυκνότητα (kg/m^3)	1050 ± 10
pH	$9,4 \pm 0,4$
Περιεχόμενο στερεών (%w/w)	$1,4 \pm 0,4$
Τέφρα (%w/w)	$0,23 \pm 0,01$
HHV (MJ/kg)	$22,2 \pm 3,7$

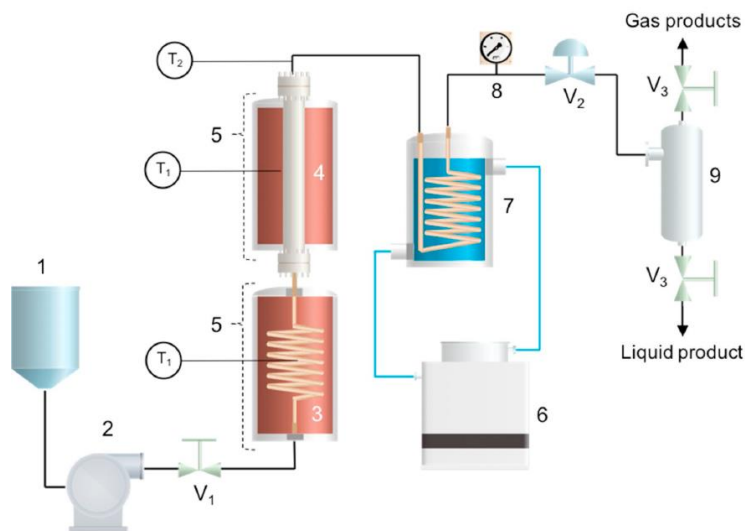
Πίνακας 11 Ιδιότητες βιοεξανθράκωματος. Πηγή: (Thangalazhy-Gopakumar, et al., 2015)

Παράμετρος	Βιοεξανθράκωμα
Υγρασία (% w/w)	4,4±0,4
Τέφρα (% w/w)	46,2±0,8
HHV (MJ/kg)	12,8±0,2
Ανάλυση BET	
S _{BET} (m ² /g)	11,9±1,0
V _r (cm ³ /g)	0,021±0,002
V _{mi} (cm ³ /g)	0,004±0,001

Από τη παρούσα μελέτη (Thangalazhy-Gopakumar, et al., 2015) εξήχθη σαν συμπέρασμα η παραγωγή $49,9 \pm 0,3\%$ w/w βιοεξανθράκωμα και $27,4 \pm 1,7\%$ w/w βιοέλαιο. Το βιοέλαιο έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο αλλά και σαν πηγή πρώτων υλών (χημικών ενώσεων). Στη περίπτωση των καυσίμων είναι αναγκαία η περαιτέρω αναβάθμιση. Το βιοεξανθράκωμα προσρόφησε στην επιφάνειά του $89,4 \pm 2\%$ Cd από υπόγεια νερά, γεγονός το οποίο είναι ενθαρρυντικό, καθώς αγγίζει την αποτελεσματικότητα του ενεργού άνθρακα.

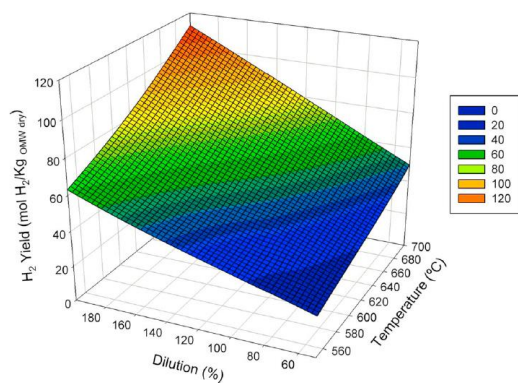
5.1.3. Αεριοποίηση

Η υπερκρίσιμη αεριοποίηση νερού (YAN)(Supercritical Water Gasification - SCWG) είναι μια πολλά υποσχόμενη και ανερχόμενη τεχνολογία με τεχνολογικό ενδιαφέρον. Δίνει την δυνατότητα για την επαναχρησιμοποίηση υπολειμματικής βιομάζας είτε καθαρής βιομάζας προς παραγωγή πλούσιου σε H₂ αερίου. Εμπόδιο στην αποδοτικότητα της διεργασίας αποτελεί η παρουσία υγρασίας στην υπολειμματική βιομάζα, καθώς σημειώνεται μειωμένη αποδοτικότητα (Casademont, et al., 2018). Το φαινόμενο μελετήθηκε από τους (Casademont, et al., 2018) με στόχο τον καθορισμό των βέλτιστων συνθηκών παραγωγής αερίου πλούσιου σε H₂ από την επεξεργασία ΥΑΕ μέσω YAN. Για το σκοπό αυτό, έχουν δοκιμαστεί διαφορετικές συνθήκες αντίδρασης. Παράλληλα για τη ποσοτικοποίηση του συνολικού άνθρακα έγιναν αναλύσεις COD και TOC. Στο Σχήμα 31 δίνεται η σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση του πειράματος.



Σχήμα 31 Διάγραμμα της συσκευής YAN. (1) τροφοδοσία βιομάζας. (2) Αντλία πίεσης. (3) θάλαμος προθέρμανσης. (4) κυλινδρικός αντιδραστήρας. (5) Φούρνος θέρμανσης. (6) θερμόλουτρό. (7) παγόλουτρο- συμπυκνωτής (8) Μανόμετρο. (9) διαχωρισμός φάσεων. (T1) θερμοκρασιακός έλεγχος αντίστασης. (T2) Δείκτης ς θερμοκρασίας. (V1) βαλβίδα. (V2) χειρισμός πίεσης αντεπιστροφής.. Πηγή: (Casademont, et al., 2018)

Υπάρχει παράλληλα πλήθος παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των κατάλληλων συνθηκών για την αεριοποίηση της βιομάζας. Κάποιες από τις παραμέτρους αυτές είναι η πίεση, η συγκέντρωση, η θερμοκρασία, η μέθοδος κατάλυσης, ο ρυθμός θέρμανσης, ο χρόνος παραμονής, ο τύπος βιομάζας και τέλος το μέγεθος των σωματιδίων. Η YAN αποτελεί καινοτόμα μέθοδο και για το λόγο αυτό ερευνώνται πολλές από τις πτυχές της. Στο Σχήμα 32 φαίνεται σύμφωνα με τους (Casademont, et al., 2018) η απόδοση παραγωγής υδρογόνου συναρτήσσει της θερμοκρασίας και της αραίωσης, ενώ στον Πίνακα 13 δίνονται τα αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων αλλά και η απόδοση παραγωγής υδρογόνου και άλλων χημικών ενώσεων μικρού μοριακού βάρους από τη διεργασία της αεριοποίησης βιομάζας από YAE.



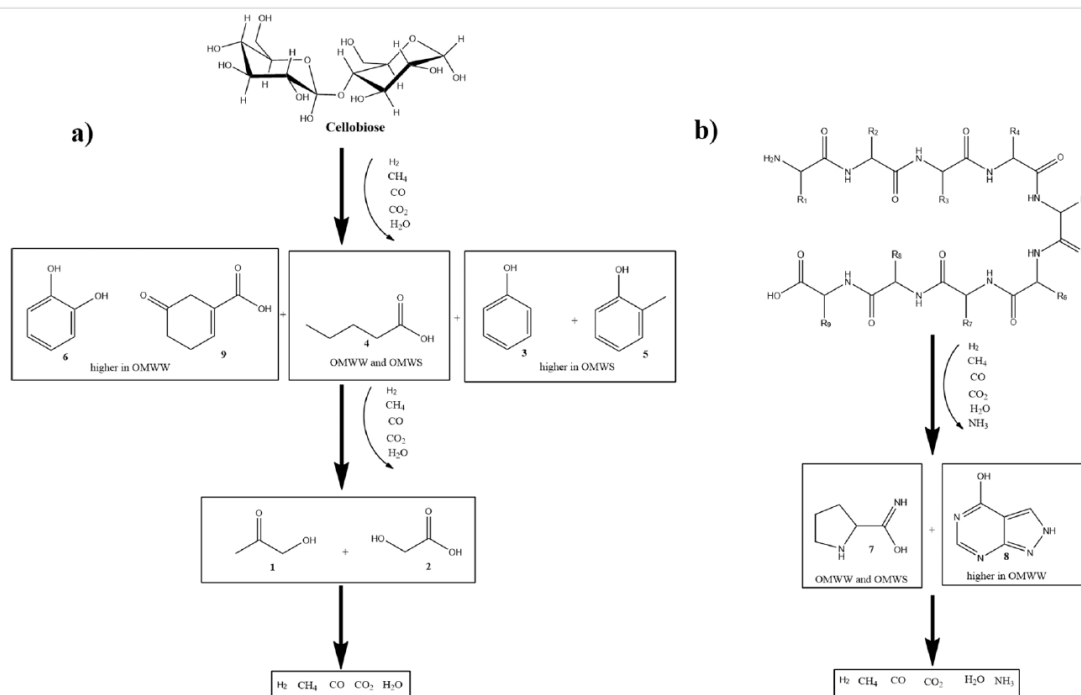
Σχήμα 32 απόδοση παραγωγής υδρογόνου συναρτήσει της θερμοκρασίας και της αραίωσης. Πηγή: (Casademont, et al., 2018)

Πίνακας 12 Δεδομένα απόδοσης παραγωγής αερίων, απομάκρυνσης COD και TOC που προέκυψαν από την διεργασία YNA των ΥΑΕ. Πηγή: (Casademont, et al., 2018)

OMW types	Codes	T (°C)	P (bar)	Flow (g/min)	Dilution (%)	Ratio (g _{OMW} / g _{water})	Residence time (s)	COD feed (g Oz/l)	COD reduction (%)	TOC feed (mg/l)	TOC reduction (%)	Carbon balance (%)
OMWW	S-4	550	230	9	200	1/2	17.6	10.0 ± 1.0	65.5 ± 2.2	3956	65.4 ± 1.0	96.58
	S-7	650	230	9	200	1/2	14.6	10.0 ± 1.0	70.1 ± 2.5	3956	69.4 ± 0.9	123.58
	S-5	550	230	3	200	1/2	52.8	10.0 ± 1.0	71.0 ± 1.0	3956	67.6 ± 0.9	132.05
	S-6	650	230	3	200	1/2	43.9	10.0 ± 1.0	80.8 ± 1.0	3956	79.5 ± 0.6	130.55
	S-11	600	230	6	125	1/1.25	23.9	9.0 ± 0.2	59.0 ± 4.3	4110	49.6 ± 1.4	82.12
	S-16	600	230	6	125	1/1.25	23.9	9.0 ± 0.2	70.2 ± 4.2	4110	82.2 ± 0.9	99.28
	S-17	600	230	6	125	1/1.25	23.9	15.9 ± 0.5	81.2 ± 6.4	4973	66.5 ± 0.9	72.21
	S-15	550	230	9	50	1/0.5	17.6	23.5 ± 1.3	68.0 ± 4.3	7192	59.2 ± 1.2	95.19
	S-14	650	230	9	50	1/0.5	14.6	23.5 ± 1.3	83.3 ± 5.6	7192	62.1 ± 1.1	101.90
	S-12	550	230	3	50	1/0.5	52.8	15.9 ± 0.3	76.6 ± 7.8	6626	67.8 ± 0.9	73.24
	S-13	650	230	3	50	1/0.5	43.9	15.9 ± 0.3	71.9 ± 2.5	6626	65.1 ± 1.0	119.05
	S-8	600	230	6	100	1/1	23.9	14.9 ± 0.9	74.2 ± 1.8	5477	68.0 ± 0.9	100.11
	S-9	600	230	6	100	1/1	23.9	14.4 ± 2.0	70.4 ± 0.8	4419	56.5 ± 1.2	106.09
	S-10	600	230	6	100	1/1	23.9	11.3 ± 0.3	59.6 ± 0.9	4844	48.7 ± 1.5	97.23
	S-18	700	230	3	200	1/2	40.8	7.8 ± 0.1	86.4 ± 1.1	2994	84.0 ± 0.5	135.64
	S-1	550	225	3	100	1/1	52.8	13.7 ± 0.1	69.9 ± 0.9	5546	66.2 ± 1.0	—
	S-2	600	225	3	100	1/1	47.8	13.7 ± 0.1	76.3 ± 4.3	5546	72.5 ± 0.8	—
	S-3	650	225	3	100	1/1	43.9	13.7 ± 0.1	82.7 ± 0.7	5546	80.3 ± 0.6	—
OMWS	S-19	650	235	2.8	2000	1/20	48.9	7.1 ± 0.0	80.2 ± 5.1	3073	76.1 ± 0.7	67.95
	S-22	675	235	2.8	2000	1/20	47.0	8.2 ± 0.2	84.8 ± 1.0	3396	84.2 ± 0.4	52.58
	S-21	700	235	2.8	2000	1/20	45.4	8.2 ± 0.2	88.8 ± 1.7	3396	88.0 ± 0.3	52.09

OMW types	Codes	Gas yield (mol gas/Kg OMW dry)					
		H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆
OMWW	S-4	45.2 ± 2.5	1.09 ± 0.18	1.69 ± 0.35	52.0 ± 2.9	0.59 ± 1.03	0.00 ± 0.00
	S-7	79.1 ± 3.6	6.56 ± 0.54	1.70 ± 0.41	60.9 ± 2.7	1.01 ± 0.02	0.61 ± 0.05
	S-5	81.2 ± 1.2	3.15 ± 0.22	0.48 ± 0.20	72.0 ± 0.8	0.24 ± 0.04	0.23 ± 0.01
	S-6	107.0 ± 3.8	5.75 ± 0.10	0.74 ± 0.40	80.4 ± 4.5	0.51 ± 0.11	0.49 ± 0.11
	S-11	39.2 ± 9.9	0.43 ± 0.03	2.14 ± 0.41	33.1 ± 9.5	0.11 ± 0.05	0.14 ± 0.01
	S-16	66.7 ± 9.3	2.10 ± 0.76	0.89 ± 0.15	46.1 ± 8.4	0.20 ± 0.09	0.18 ± 0.02
	S-17	46.9 ± 15.9	1.12 ± 0.30	1.65 ± 0.51	27.2 ± 15.0	0.17 ± 0.04	0.11 ± 0.07
	S-15	22.9 ± 0.7	1.16 ± 0.04	0.47 ± 0.04	38.0 ± 0.7	0.14 ± 0.01	0.10 ± 0.08
	S-14	32.5 ± 2.6	1.48 ± 0.16	2.33 ± 0.58	40.5 ± 3.1	0.20 ± 0.07	0.18 ± 0.03
	S-12	23.2 ± 4.0	0.56 ± 0.05	0.28 ± 0.03	30.4 ± 4.0	0.07 ± 0.03	0.07 ± 0.01
	S-13	46.6 ± 1.3	4.14 ± 2.24	0.38 ± 0.22	73.4 ± 3.3	0.22 ± 0.03	0.24 ± 0.01
	S-8	49.9 ± 4.3	4.21 ± 0.60	1.00 ± 0.04	49.3 ± 3.6	0.42 ± 0.03	0.23 ± 0.07
	S-9	54.3 ± 2.9	3.51 ± 0.12	1.63 ± 0.30	50.6 ± 2.9	0.28 ± 0.04	0.24 ± 0.06
	S-10	32.2 ± 8.3	0.39 ± 0.07	1.51 ± 0.16	35.5 ± 8.1	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	S-18	112.5 ± 6.2	9.06 ± 0.67	0.42 ± 0.05	90.6 ± 5.3	0.65 ± 0.13	1.17 ± 0.15
	S-1	—	—	—	—	—	—
	S-2	—	—	—	—	—	—
	S-3	—	—	—	—	—	—
OMWS	S-19	24.6 ± 3.1	1.69 ± 0.09	0.37 ± 0.09	16.7 ± 2.9	0.17 ± 0.07	0.13 ± 0.02
	S-22	24.7 ± 1.4	2.23 ± 0.23	0.09 ± 0.00	16.4 ± 1.2	0.14 ± 0.02	0.14 ± 0.09
	S-21	23.7 ± 1.2	2.33 ± 0.16	0.10 ± 0.02	17.4 ± 1.1	0.13 ± 0.00	0.22 ± 0.02

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της μελέτης συμπεραίνεται ότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες λαμβάνεται μεγαλύτερη απόδοση παραγωγής αερίου, ενώ παράλληλα σημαντικό ρόλο έπαιξε ο χρόνος παραμονής και η συγκέντρωση τροφοδοσίας, καθώς υψηλότερη απόδοση παραγωγής αερίων σημειώθηκε σε μεγαλύτερους χρόνους παραμονής και χαμηλότερη τροφοδοσία. Οι βέλτιστες συνθήκες ορίστηκαν στους 700 ° C, 230 bar, και ροή 3 g/min, χρόνο 40,8 δευτερόλεπτα. Οι συνθήκες αυτές επεξεργασίας ΥΑΕ απέδωσαν $112,5 \pm 6,2$ mol H₂/kg ξηρού ΥΑΕ. Στο Σχήμα 33 δίνονται οι μηχανισμοί αεριοποίησης των ΥΑΕ σχηματικά.



Σχήμα 33 Μηχανισμοί αεριοποίησης από την κατεργασία ΥΑΕ με ΥΑΝ . Α) Οξυγονωμένες ενώσεις αποικοδόμησης κελοβιδόζης. Β) Ακόρεστες αζωτούχες ενώσεις αποδόμησης πεπτιδίων.
 Πηγή: (Casademont, et al., 2018)

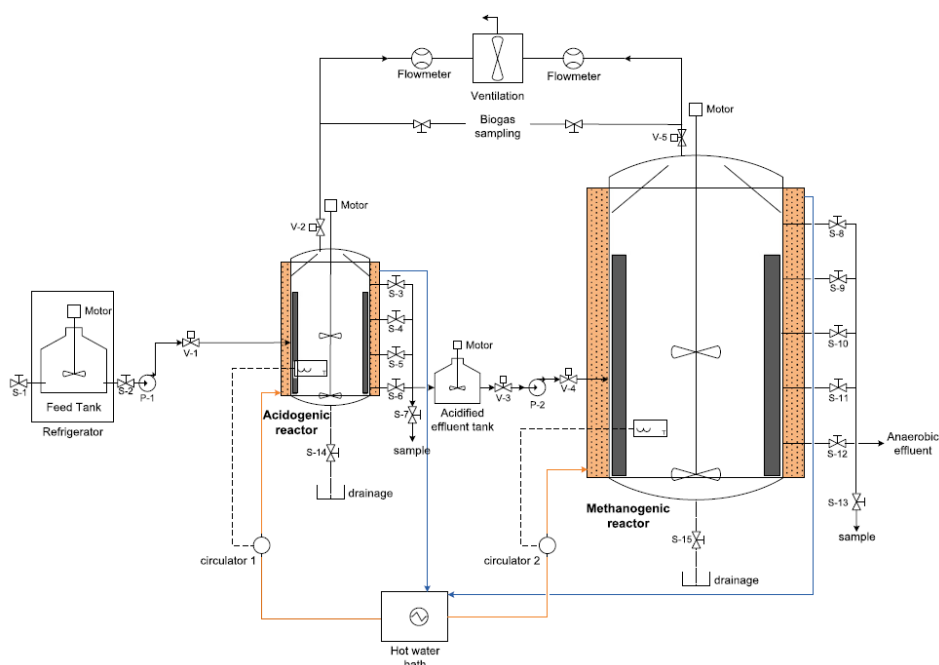
Περισσότερη έρευνα έχει διεξαχθεί περί αεριοποίησης των ΥΑΕ. Αξιόλογες μελέτες για το θέμα αυτό είναι των (Mainil & Matsumura, 2019) (Kırcaç & Akgün, 2012), όπου μελετιέται η αξιοποίηση ΥΑΕ φοινικέλαιου με στόχο την επαναχρησιμοποίηση του φωσφόρου (Mainil & Matsumura, 2019) και η οξειδωτική υπερκρίσιμη αεριοποίηση για την παραγωγή αερίου πλούσιου σε υδρογόνο (Kırcaç & Akgün, 2012).

5.2. Παραγωγή Προϊόντων Προστιθέμενης Αξίας

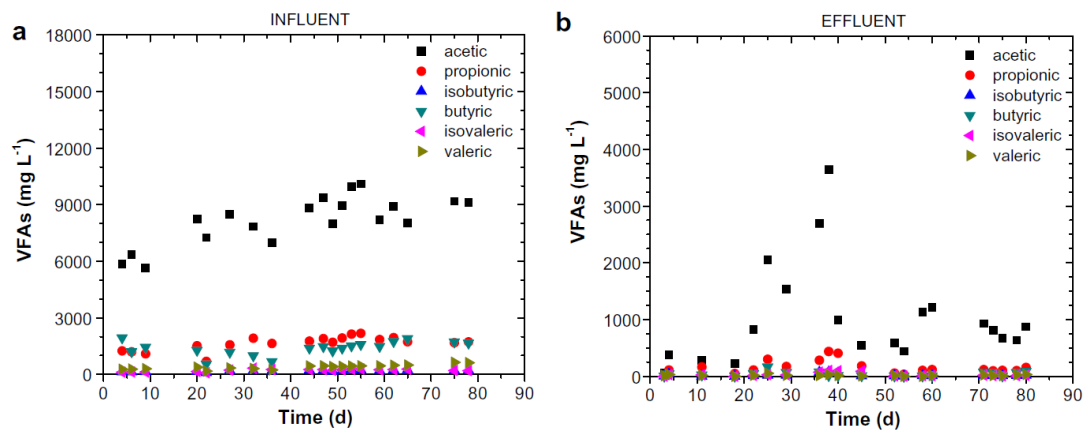
5.2.1. Παραγωγή Βιοαερίου

Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια χώνευση υγρών αποβλήτων. Είναι μείγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας και θερμότητας. Στη βιβλιογραφία που αναζητήθηκε βρέθηκαν οι προσπάθειες παραγωγής βιοαερίου από ΥΑΕ με συνεπεξεργασία με άλλης μορφής απόβλητα.

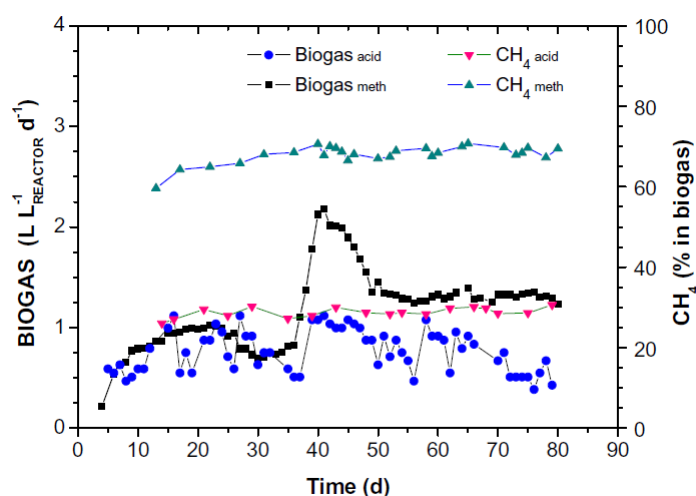
Οι (Dareioti, et al., 2010) μελέτησαν την συνεπεξεργασία των ΥΑΕ με οργανικά παραπροϊόντα αγελάδων για την παραγωγή βιοαερίου. Ο στόχος της μελέτης είναι η διερεύνηση, σε εργαστηριακή κλίμακα, της αναερόβια συν-χώνευσης των αποβλήτων ελαιοτριβείου μαζί με παραπροϊόντα αγελάδων, χρησιμοποιώντας μια διαμόρφωση αναερόβιας χώνευσης δύο σταδίων. Στο Σχήμα 34 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης της μελέτης, ενώ στους Πίνακες 35 και 36 γίνονται τα αποτελέσματα των ποιοτικών αναλύσεων του παραγόμενου βιοαερίου, όσον αφορά την σύσταση σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA's) και την παραγωγικότητα βιοαερίου και ποσοστό μεθανίου σε ακετογόνο (acetogenic) και μεθανιογόνο (methanogenic) αντιδραστήρα



Σχήμα 34 Σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης της μελέτης. Πηγή: (Dareioti, et al., 2010)



Σχήμα 35 Πλήθος πτητικών λιπαρών οξέων (VFAs) (α) στην είσοδο και (β) στην έξοδο του αντιδραστήρα. Πηγή: (Dareioti, et al., 2010)



Σχήμα 36 Παραγωγικότητα βιοαερίου και ποσοστό μεθανίου στον ακετογόνο (acetogenic) και μεθανιογόνο (methanogenic) αντιδραστήρα. Πηγή: (Dareioti, et al., 2010)

Τα αποτελέσματα της μελέτης των (Dareioti, et al., 2010) απέδειξαν ότι η ταυτόχρονη χώνευση των οργανικών αποβλήτων των αγελάδων σε σύστημα συνεχούς αντιδραστήρα πλήρους ανάμειξης δύο σταδίων σε μεσόφιλες συνθήκες (35° C) είναι μία πράσινη και αποτελεσματική διαδικασία παραγωγής βιοαερίου από ΥΑΕ. Επιπλέον παρουσιάζει το πλεονέκτημα της χρήσης αποβλήτων δύο πηγών παραγωγής (ελαιοτριβεία και κτηνοτροφικές μονάδες) για τη παραγωγή ενέργειας και θερμότητας.

Πέραν ωστόσο της παραγωγής ενέργειας, η διεργασία την συν-χώνευσης οδηγεί σε ΥΑ αλλά και στερεό υπόλειμμα που αποτελούν επίσης χρήσιμη πρώτη ύλη ως εδαφοβελτιωτικό και λίπασμα, αφού δεν έχει μειωθεί το ποσοστό του αζώτου και του φωσφόρου.

Οι (Gelegenis, et al., 2007) μελέτησαν την παραγωγή βιοαερίου από ΥΑΕ, με συν-χώνευση με αραιωμένα οργανικά απόβλητα πουλερικών. Στόχος της μελέτης είναι η βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας του βιοαερίου, βασιζόμενοι σε παλαιότερη μελέτη, αλλά και το scale-up της διεργασίας σε πιλοτική κλίμακα. Στο Σχήμα 37 φαίνονται οι εργαστηριακές και πιλοτικές διατάξεις συν-χώνευσης των ΥΑΕ με οργανικά απόβλητα πουλερικών, ενώ στον Πίνακα 14 δίνονται τα αποτελέσματα της ποιοτικής ανάλυσης του παραγόμενου βιοαερίου.



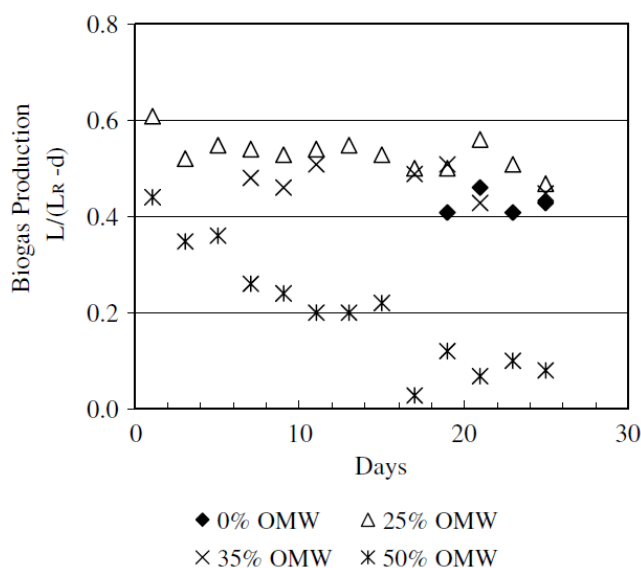
Σχήμα 37 Αριστερά: Χώνευτές εργαστηριακής κλίμακας. Δεξιά: Πιλοτική διάταξη χώνευσης. Πηγή: (Gelegenis, et al., 2007)

Πίνακας 13 Δεδομένα αναλύσεων ΥΑΕ για παραγωγή βιοαερίου. Πηγή: (Gelegenis, et al., 2007)

	Ποσοστό ΥΑΕ στη τροφοδοσία			
	0%	25%	35%	50%
pH	7,99	8,05	8,13	6,88
Παραγωγή βιοαερίου L/(LR-d)	0,43	0,52	0,48	0,21
Περιεκτικότητα σε μεθάνιο (% v/v)	74,1	71,8	71,8	65,9
Πτητικά στερεά στην είσοδο (% w/w)	2,89	3,24	3,69	4,05
Πτητικά στερεά στην έξοδο (% w/w)	0,65	0,98	0,76	-

Στη προκείμενη μελέτη εξετάστηκε και η παραγωγικότητα βιοαερίου σε συνάρτηση με το κατ' όγκο ποσοστό των ΥΑΕ στο τελικά μείγμα της αναερόβιας

χώνευσης (Σχήμα 38). Φαίνεται ότι για τα μείγματα με ΥΑΕ 35% και 25%, η παραγωγικότητα του βιοαερίου ήταν αυξημένη, δίνοντας τιμές έως και 0,50 L/(L_R-d) σε stp.



Σχήμα 38 Παραγωγικότητα βιοαερίου. Πηγή: (Gelegenis, et al., 2007)

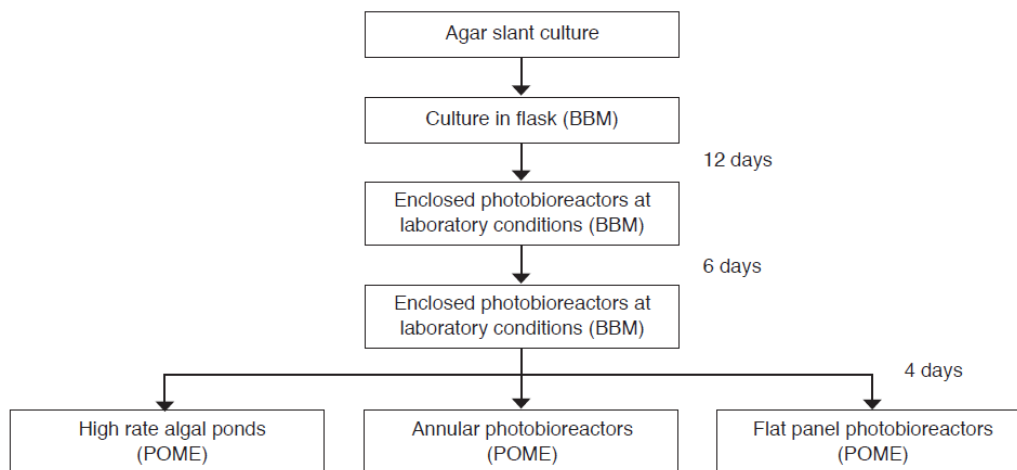
Τα αποτελέσματα της μελέτης (Gelegenis, et al., 2007) έδωσαν ότι τα ΥΑΕ μετατράπηκαν ποσοτικά σε βιοαέριο κατά την αναερόβια χώνευση. Επιπλέον εξήχθη το συμπέρασμα ότι η επιπλέον χρήση χημικών κρίθηκε ανούσια. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα της επιρροής του pH στη διεργασία έδειξαν ότι το χαμηλό pH των ΥΑΕ σε συνδυασμό με την υψηλή αλκαλικότητα των οργανικών αποβλήτων των πουλερικών έδωσαν βέλτιστες συνθήκες αναερόβιας χώνευσης. Η μέγιστη και βέλτιστη περιεκτικότητα των ΥΑΕ στο μείγμα προς αναερόβια χώνευση βρέθηκε 30% v/v.

Περισσότερη μελέτη έχει πραγματοποιηθεί για την παραγωγή βιοαερίου από ΥΑΕ. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των (Campanari, et al., 2017), οι οποίοι μελετήσαν την αξιοποίηση των ΥΑΕ για παραγωγή βιοαερίου και πολυϋδροξυαλκανοϊκών ενώσεων. Επιπλέον, ενδιαφέρον παρουσιάζει το review των (Ohimain & Izah, 2017), όπου εκεί παρουσιάζονται περισσότερες βιολογικές μέθοδοι για την παραγωγή βιοαερίου από ΥΑΕ.

5.2.2. Παραγωγή Βιοντίζελ

Τα βιοκαύσιμα αναμένεται να συμβάλουν σημαντικά στις μελλοντικές ανάγκες σε καύσιμα και ενέργεια, ιδίως στον τομέα των μεταφορών. Παράγονται με προηγμένες θερμοχημικές και βιο/χημειοκαταλυτικές διεργασίες από ταχέως αναπτυσσόμενη ανανεώσιμη βιομάζα σε σύγκριση με ορυκτές πηγές, όπως το πετρέλαιο, οι οποίες σχηματίζονται από πολύ αργές γεωλογικές διεργασίες. Μετά από χρόνια ανάπτυξης στον τομέα των βιοκαυσίμων, η τεχνολογία παραγωγής βιοκαυσίμων 1ης γενιάς από ενεργειακές καλλιέργειες και βιοκαυσίμων 2ης γενιάς από υπολείμματα γεωργίας/δασοκομίας ή ορισμένα βιολογικά βιομηχανικά και αστικά απόβλητα προχώρησε ένα βήμα μπροστά. Η έρευνα έφερε τα βιοκαύσιμα 3ης γενιάς, χρησιμοποιώντας μικροφύκη ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ και πράσινου ντίζελ. Τα μικροφύκη είναι μια αξιόπιστη πηγή με σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες πρώτες ύλες, όπως οι ενεργειακές καλλιέργειες.

Οι (Idris, et al., 2018) μελέτησαν την δυνατότητα της βιομάζας του μικροφύκου *Chlorella vulgaris* ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ. Στη μελέτη αυτή το μέσο καλλιέργειας είναι τα ΥΑΕΦ (υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου φοινικέλαιου, στο πρωτότυπο *POME- palm oil mill effluent*). Επιπλέον μελετήθηκε η ικανότητα και ταχύτητα ανάπτυξης της μικροφυκικής βιομάζας σε μέσο καλλιέργειας με διαφορετικά ποσοστά ΥΑΕΦ. Στο Σχήμα 39 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας ανάπτυξης μικροφυκών σε μέσο με ΥΑΕΦ, ενώ στο Σχήμα 40 φαίνονται οι διάφοροι φωτοβιοαντιδραστήρες (PBR's) που χρησιμοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν για την καλλιέργεια *Chlorella* UMACC 283.



Σχήμα 39 Διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας ανάπτυξης μικροφυκών σε θρεπτικό μέσο με 5% ΥΑΕΦ (υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου φοινικέλαιου -POME Palm Oil Mill Effluent-). Πηγή: (Idris, et al., 2018)



High rate algal pond (HRAP)



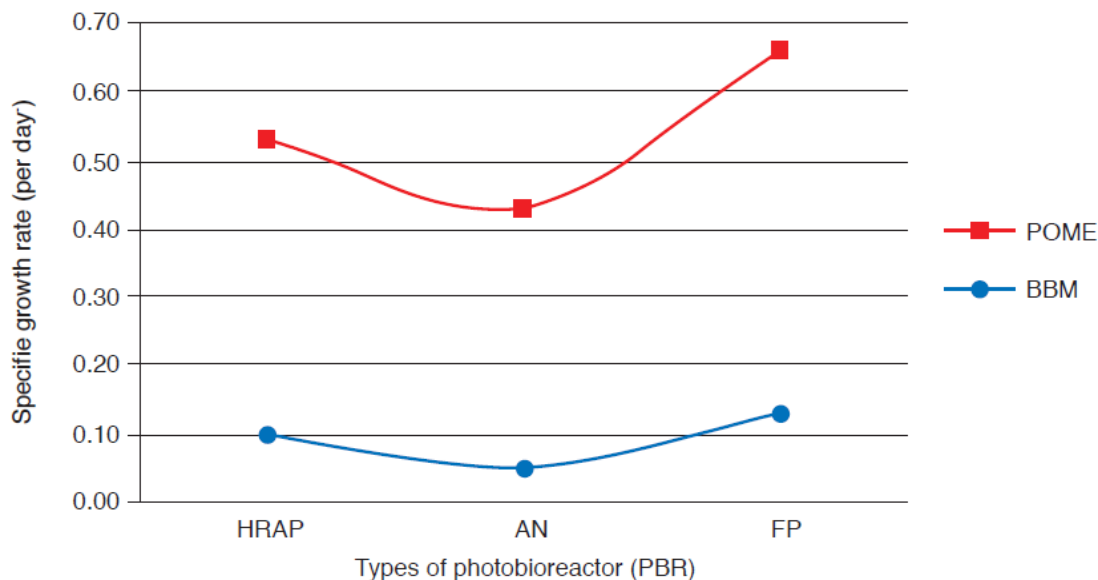
Annual PBR



Flat panel PBR

Σχήμα 40 Είδη φωτοβιοαντιδραστήρων (PBR's) για την *Chlorella UMACC 283*. Πηγή: (Idris, et al., 2018)

Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών έδωσαν βελτιστοποιημένη ανάπτυξη μικροφυκών σε μέσο με ΥΑΕΦ, σε σύγκριση με ένα κοινό θρεπτικό μέσο καλλιέργειας (BBM-Bold's Basal Medium). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 41, ο ρυθμός ανάπτυξης της *Chlorella* σε ΥΑΕΦ είναι υψηλότερος. Στον Πίνακα 15 φαίνονται επίσης τα χαρακτηριστικά της βιομάζας μικροφυκών που παρήχθησαν από διάφορα μείγματα θρεπτικών μέσων με διαφορετική αναλογία σε ΥΑΕΦ (POME).



Σχήμα 41 Ρυθμός ανάπτυξης της *Chlorella UMACC 283* σε θρεπτικό μέσο BBM και σε μέσο καλλιέργειας με 5% ΥΑΕΦ (υγρά απόβλητα ελαιολιτριβείου φοινικέλαιου -POME-). Σημείωση: HRAP-high rate algal pond, AN-annular, PP flat panel. Πηγή: (Idris, et al., 2018)

Πίνακας 14 Χαρακτηριστικά της βιομάζας μικροφυκών που παρήχθησαν από διάφορα μείγματα θρεπτικών μέσων με διαφορετική αναλογία σε ΥΑΕΦ (POME). Πηγή: (Idris, et al., 2018)

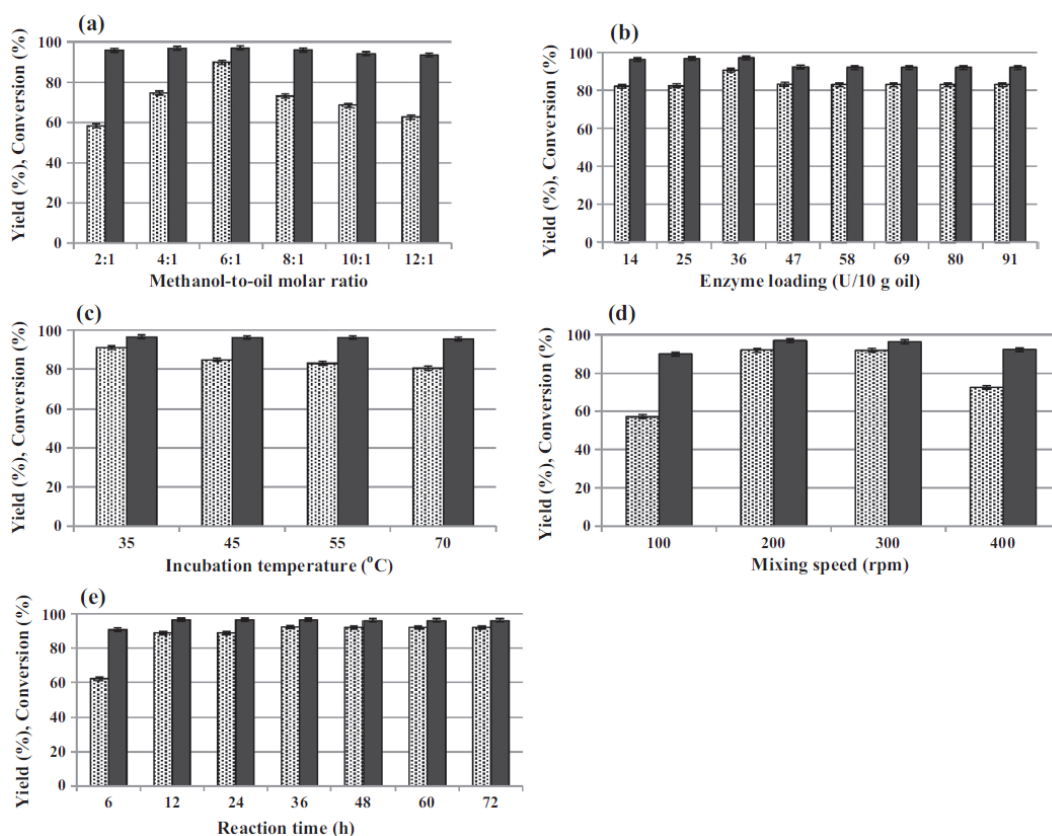
Θρεπτικό Μέσο	Βιομάζα (mg/l)	Λιπιδικό Περιεχόμενο (%)	Ρυθμός Ανάπτυξης (ανά ημέρα)	Παραγωγικότητα Βιομάζας (mg/l-d)	Παραγωγικότητα Λιπιδίων (mg/l-d)
BBM (control)	256,7±35,1	23,8±3,9	0,28±0,06	10,4±2,2	0,32±0,13
ΥΑΕΦ 6,25%	440±36,1	26,8±5,6	0,31±0,03	19,5±3,1	0,71±0,28
ΥΑΕΦ 12,5%	590±26,5	30,9±10,01	0,32±0,06	27,1±1,4	1±0,34
ΥΑΕΦ 25%	533,3±62,6	15,9±1,3	0,07±0,08	16,1±10,1	0,34±0,17
ΥΑΕΦ 50%	626,7±63,9	20,9±3,9	0,19±0,06	11,7±7,1	0,13±0,29

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η περιεκτικότητα 12,5% ΥΑΕΦ στο θρεπτικό μέσο ανάπτυξης των μικροφυκών ευνοεί την ανάπτυξη, τη παραγωγικότητα και το

λιπιδικό περιεχόμενο των μικροφυκών. Κατ' επέκταση η παραγωγικότητα του βιοντίζελ θα είναι αυξημένη και αυτή, αφού είναι αναλογική με την χρησιμοποιούμενη βιομάζα μικροφυκών.

Οι (Suwanno, et al., 2017) ασχολήθηκαν ομοίως με την παραγωγή βιοντίζελ από ΥΑΕ φοινικέλαιου. Πιο συγκεκριμένα μελέτησαν την παραγωγή βιοκαυσίμου βιοντίζελ χρησιμοποιώντας ΥΑΕ και ακατέργαστη λιπάση από φοινικέλαιο ως εναλλακτικό υπόστρωμα και καταλύτη. Σκοπός της μελέτης είναι η διερεύνηση του ΥΑΕΝ και της ακατέργαστης λιπάσης φοινικέλαιου σαν καταλύτη και υπόστρωμα προς σύνθεση βιοντίζελ.

Στη μελέτη εξετάστηκαν και συγκρίθηκαν αρκετές παράμετροι σε σχέση με την απόδοση μετατροπής των ελεύθερων λιπαρών οξέων σε μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων. Κάποιες από αυτές είναι η αναλογία μεθανόλη:έλαιο, η ποσότητα καταλύτη, η θερμοκρασία επώασης, η ταχύτητα ανάδευσης και τέλος ο χρόνος αντίδρασης. Τα σχετικά διαγράμματα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στο Σχήμα 42.



Σχήμα 42 Επίδραση a) της αναλογίας μεθανόλης:έλαιου, b) της ποσότητας καταλύτη, c) της θερμοκρασίας επώασης, d) της ταχύτητας ανάδευσης και τέλος e) του χρόνου αντίδρασης στην απόδοση παραγωγής μεθυλεστέρων λιπαρών οξέων από ελεύθερα λιπαρά οξέα. Πηγή: (Suwanno, et al., 2017)

Στον Πίνακα 16 δίνονται οι καταλληλότερες συνθήκες για τη σύνθεση βιοντίζελ από τα ΥΑΕΦ με χρήση καταλύτη (ενζυμοχημικού).

Πίνακας 15 Βέλτιστη κατάσταση για παραγωγή βιοντίζελ από τα απόβλητα του ελαιοτριβείου φοινικέλαιου με χρήση ενζυματικού και χημικού καταλύτη. Πηγή: (Suwanno, et al., 2017)

Συνθήκες	Καταλύτης		
	Αλκαλι-	Λιπάση από φοινικέλαιο	Εμπορική λιπάση από <i>C. rugosa</i>
Αναλογία MeOH:έλαιο	9:1	6:1	6:1
Ενζυμική δραστηριότητα (U/10 g ελαίου)	-	36	36
Alkali catalyst (w/v %)	1	-	-
Θερμοκρασία επώασης (°C)	60	35	35
Ταχύτητα ανάδευσης (rpm)	800	200	200
Χρόνος αντίδρασης (h)	1	36	24
Απόδοση παραγωγής βιοντίζελ (%)	91,31±1,56	92,07±1,04	92,11±1,54

Οι (Suwanno, et al., 2017) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι καταλληλότερες συνθήκες για σύνθεση βιοκαυσίμου βιοντίζελ από ΥΑΕΦ κάνοντας χρήση ακατέργαστης λιπάσης με αναλογία 6: 1 μεθανόλης-ελαίου, προσθέτοντας 36 U/10 g ΥΑΕΝ λιπάσης σε θερμοκρασία επώασης 35°C, ταχύτητα ανάμιξης 200 rpm και χρόνο αντίδρασης 36 ώρες, σημειώνοντας βέλτιστη απόδοση παραγωγής βιοντίζελ 92,07 ± 1,04%. Τα δεδομένα και αποτελέσματα της έρευνας αυτής αποδεικνύουν ότι οι βασικές ιδιότητες του παραγόμενου βιοντίζελ από ΥΑΕΦ σύμφωνα με διεθνή πρότυπα και άρα αποδεκτά για την αγορά. Το βιοντίζελ από ακατέργαστη λιπάση έχει κοινές ιδιότητες με αυτές του βιοντίζελ, το οποίο υφίσταται κατάλυση από εμπορικά διαθέσιμη λιπάση.

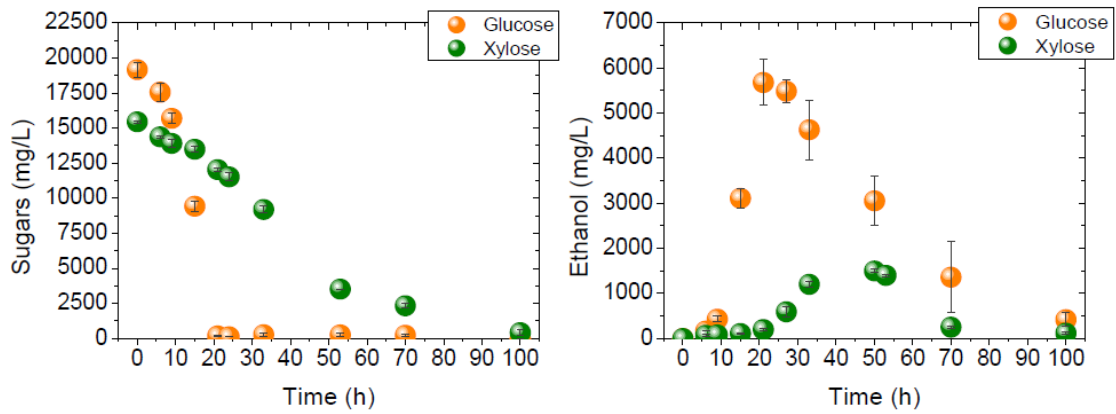
Επιπλέον έρευνα έχει συνταχθεί από την επιστημονική κοινότητα για την παραγωγή βιοντίζελ από απόβλητα μονάδων παραγωγής λαδιού. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πρόσφατη μελέτη των (Matinja, et al., 2019), οι οποίοι μελέτησαν την βελτιστοποίηση παραγωγής βιοκαυσίμου βιοντίζελ από ΥΑΕ παραγωγής φοινικέλαιου χρησιμοποιώντας ως καταλύτη λιπάση ακινητοποιημένη σε σφαιρίδια PVA-alginate-sulfate. Επιπλέον, σε συνέχεια με το πρώτο παράδειγμα που δόθηκε παραπάνω, οι

(Yusouf, et al., 2010) ασχολήθηκαν με την μετατροπή ΥΑΕ με μικροβιακή δράση (*L. starkey*) σε λιπίδια κατάλληλα για σύνθεση βιοντίζελ.

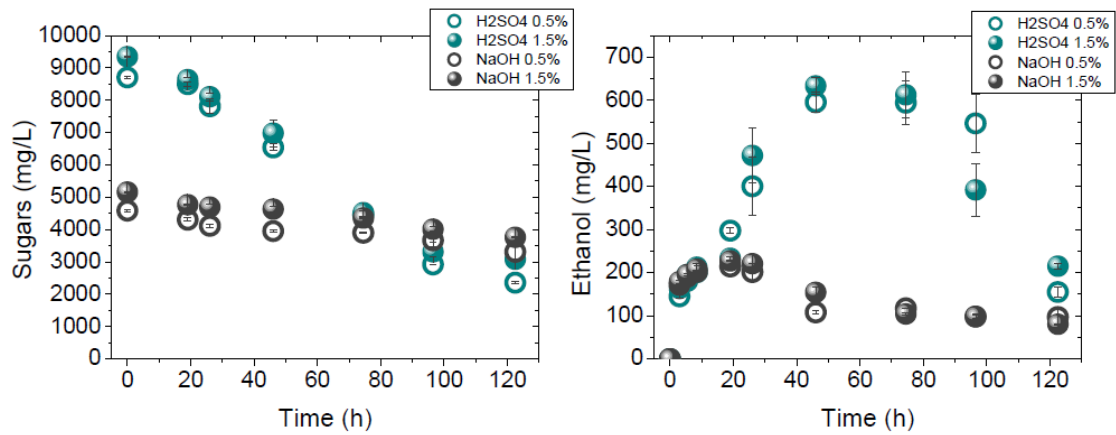
5.2.3. Παραγωγή Βιοαιθανόλης

Ενδιαφέρουσα μέθοδο παραγωγής προϊόντων προστιθέμενης αξίας αποτελεί η παραγωγή βιοαιθανόλης από τη ζύμωση στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου, υποβοηθούμενη από μικροοργανισμούς.

Οι (Senkevich, et al., 2012) μελέτησαν την παραγωγή βιοαιθανόλης από θερμοχημικά προκατεργασμένα στερεά απόβλητα ελαιοτριβείου ελαιόλαδου με μύκητες *Pachysolen tannophilus*. Στόχο της έρευνας αποτέλεσε η μελέτη της επίδρασης της θερμο-χημικής κατεργασίας των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου, στη παραγωγικότητα και την απόδοση παραγωγής βιοαιθανόλης, με τον μύκητα *Pachysolen tannophilus*. Στα πειράματα που ακολούθησαν, εννέα είδη υποστρωμάτων αντίδρασης βασισμένα σε στερεά απόβλητα ελαιοτριβείου δοκιμάστηκαν, έπειτα από κατεργασία με NaOH ή H₂SO₄. Οι μύκητες που επιστρατεύονται για την διεκπεραίωση της αλκοολικής ζύμωσης καταναλώνουν αποκλειστικά εξόζες. Το ρηξικέλευθο της υπόθεσης είναι ότι ο μύκητας *Pachysolen tannophilus* τρέφεται τόσο με C5 σάκχαρα αλλά επίσης και C6. Κατά την αλκοολική ζύμωση, οι πεντόζες και εξόζες μετατρέπονται σε ξυλιτόλη και αιθανόλη, ακόμη και απουσία οξυγόνου (Senkevich, et al., 2012). Στα Σχήματα 43 και 44 φαίνεται η κατανάλωση σακχάρων και η απόδοση παραγωγής βιοαιθανόλης από ξυλόζη και γλυκόζη (Σχήμα 43) και από υδρολύματα στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου (Σχήμα 44).



Σχήμα 43 Κατανάλωση σακχάρων και απόδοση παραγωγής βιοαιθανόλης από ξυλόζη και γλυκόζη κατά την αλκοολική ζύμωση με μύκητα *P. Tannophilus*. Πηγή: (Senkevich, et al., 2012)



Σχήμα 44 Κατανάλωση σακχάρων και απόδοση παραγωγής βιοαιθανόλης από στερεά απόβλητα ελαιοτριβείου κατά την αλκοολική ζύμωση με μύκητα *P. Tannophilus*. Πηγή: (Senkevich, et al., 2012)

Τα υδρολύματα των στερεών αποβλήτων κατεργάστηκαν με βάση και με οξύ (NaOH και H₂SO₄ αντίστοιχα), και τα αποτελέσματα των αποδόσεων παραγωγής βιοαιθανόλης δίνονται στον Πίνακα 17.

Πίνακας 16 Κατανάλωση σακχάρων και απόδοση παραγωγής βιοαιθανόλης κατά τη ζύμωση υποστρωμάτων-μοντέλων (γλυκόζη, ξυλόζη) και υδρολυμάτων κατεργασμένα με οξύ ή βάση με τον μύκητα *P. tannophilus*. Πηγή: (Senkevich, et al., 2012)

Πηγή άνθρακα	Κατανάλωση σακχάρων	Μέγιστη απόδοση βιοαιθανόλης (g αιθ/ g σακχάρου)	Μέγιστη απόδοση βιοαιθανόλης (ml αιθ/ kg ΣΑΕ)
Γλυκόζη	100 ±0,00	0,3 ±0,01	-
Ξυλόζη	100 ±0,00	0,10 ±0,01	-
Υδρόλυμα H ₂ SO ₄ 0,5 %	72,88 ± 0,49	0,09 ± 0,00	15,10 ± 0,71
Υδρόλυμα H ₂ SO ₄ 1,5 %	67,02 ± 0,25	0,10 ± 0,01	16,05 ± 1,54
Υδρόλυμα NaOH 0,5 %	27,75 ± 4,65	0,17 ± 0,01	5,77 ± 0,27
Υδρόλυμα NaOH 1,5 %	27,06 ± 0,07	0,16 ± 0,01	5,77 ± 0,27

Τα αποτελέσματα της άνωθεν μελέτης απέδειξαν ότι η κατανάλωση σακχάρων ήταν αυξημένη για υδρολύματα στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου τα οποία κατεργάστηκαν με οξύ. Επιπροσθέτως τα προϊόντα της υδρόλυσης έδειξαν αυξημένη παραγωγικότητα σε βιοαιθανόλη, σε σχέση με αυτά που κατεργάστηκαν με βασικό διάλυμα NaOH. Αξιοσημείωτες αποδόσεις παρατηρήθηκαν ωστόσο και όταν ολόκληρη η βιομάζα των στερεών αποβλήτων ζυμώθηκε με διεργασίες ταυτόχρονης ζύμωσης και σακχαροποίησης (simultaneous saccharification and fermentation). Στη περίπτωση αυτή, η απόδοση παραγωγής βιοαιθανόλης, σημείωσαν αύξηση τόσο για την κατεργασία με βασικό διάλυμα, όσο και με όξινο. Η μέγιστη απόδοση σημειώθηκε επιτυχώς για προεπεξεργασμένη βιομάζα ΣΑΕ με υδρόλυμα 1,5 % H₂SO₄ και η τιμή που σημειώθηκε ήταν 49,59 ml βιοαιθανόλης ανά κιλό ΣΑΕ (Senkevich, et al., 2012).

6. Παράδειγμα Εφαρμογής

Η παρακάτω μελέτη περίπτωσης αναφέρεται στην ενεργειακή αξιοποίηση των ΥΑΕ και ΣΑΕ στην Αυστραλία και αποτελεί μελέτη του (El Hanandeh, 2015) με τίτλο *“Energy recovery alternatives for the sustainable management of olive oil industry waste in Australia: life cycle assessment”*. Στη μελέτη του ο συγγραφέας αναφέρει το πρόβλημα που αποτελούν τα ΣΑΕ και ΥΑΕ στη βιομηχανία παραγωγής ελαιόλαδου, καθώς ο όγκος τους είναι μεγάλος και η διαχείρισή τους μπορεί να περιλαμβάνει πλέον με τη σύγχρονη τεχνολογία την ενεργειακή αξιοποίηση. Για το λόγο αυτό η μελέτη αυτή περιλαμβάνει Μελέτη Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment- LCA) ώστε να καταστεί γνωστή η ενεργειακή αποδοτικότητα της αξιοποίησης των ΥΑΕ και ΣΑΕ στη παραγωγή ενέργειας.

Στη μελέτη κύκλου ζωής των ΥΑΕ και ΣΑΕ ορίστηκε σαν αρχική ποσότητα 1 τόνος αποβλήτου σε κάθε ένα από τα πέντε σενάρια ενεργειακής αξιοποίησης που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, τα σενάρια αυτά περιλαμβάνουν:

- Παραγωγή πέλετ από ΣΑΕ για οικιακή θέρμανση (Briquette manufacturing and use for home heating in a domestic solid fuel stove - BHH)
- Παραγωγή πέλετ από ΣΑΕ για αστική θέρμανση νερού (Pellets manufacturing and use in domestic biomass water heater - PHWH)
- Παραγωγή πέλετ από ΣΑΕ για βιομηχανική θέρμανση νερού (Pellets manufacturing and use in industrial boiler - PIB)
- Πυρόλυση ΣΑΕ (Pyro) και
- Παραγωγή κομπόστ (Industry current best practice e composting - CBP)

Οι εκπομπές από τα τέσσερα σενάρια αυτά κατηγοριοποιήθηκαν και εξετάστηκαν σε οκτώ (8) κατηγορίες επιπτώσεων:

- Δυνατότητα μείωσης στρώματος όζοντος (ozone layer depletion potential - ODP),
- Δυνατότητα αύξησης παγκόσμιας θερμοκρασίας (global warming potential - GWP100),
- Δυνατότητα δημιουργίας ευτροφικών φαινομένων (eutrophication potential - EP),
- Δυνατότητα οξίνισης (acidification potential - AP),

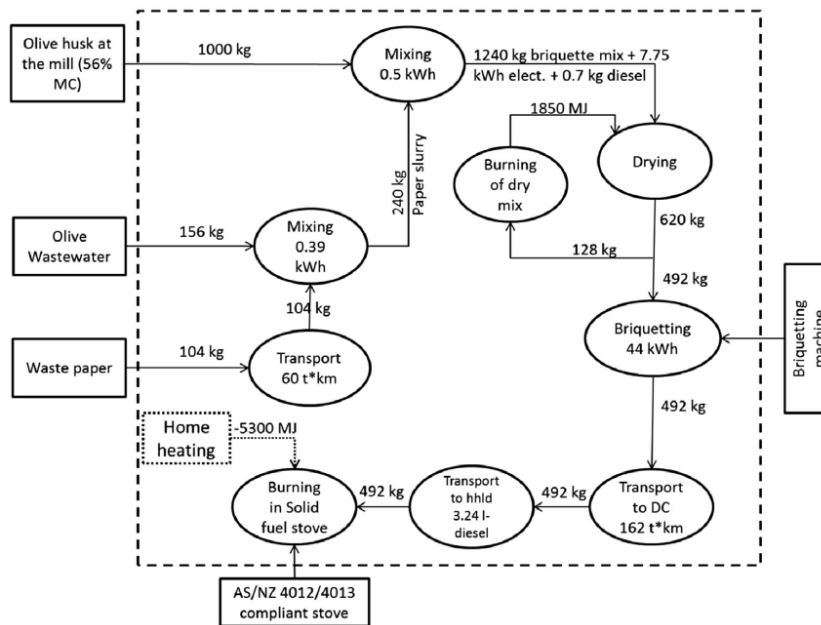
- Τοξικότητα στον άνθρωπο (human toxicity - HTP),
- Δυνατότητα μείωσης χρήσης ορυκτών καυσίμων (fossil fuel depletion potential - FDP),
- Δυνατότητα ιονισμού ακτινοβολίας (ionising radiation potential - IRP), και
- Δυνατότητα οξειδίων φωτοχημικά (photochemical oxidant formation potential - POFP)

Η παραγωγή ελαιόλαδου στην Αυστραλία άγγιξε το 2015 τα $25 \times 10^3 \text{ m}^3$, πρωτόγνωρο για τα έως τότε δεδομένα. Τα ελαιοτριβεία εκεί χρησιμοποιούν διφασική ή τριφασική ελαιοτριβίση, ωστόσο τα διφασικά συστήματα προτιμώνται λόγω παραγωγής μικρότερης ποσότητας αποβλήτων. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι στην Αυστραλία παράγονται ετησίως 62.500 τόνοι ΣΑΕ και $3,5 \times 10^5 \text{ m}^3$ ΥΑΕ. Στον Πίνακα 18 δίνονται τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που παράγονται από την αυστραλιανή βιομηχανία ελαιόλαδου.

Πίνακας 17 Χαρακτηριστικά των αποβλήτων που παράγονται από την αυστραλιανή βιομηχανία ελαιόλαδου. Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Παράμετρος (ανά 1000 κιλά ελαιών)	Διφασικό	Τριφασικό
ΥΑΕ (kg)	190-210	700-1700
ΣΑΕ με υγρασία (kg)	700-800	300-600
Υγρασία στα ΣΑΕ (%)	52-55	42-49

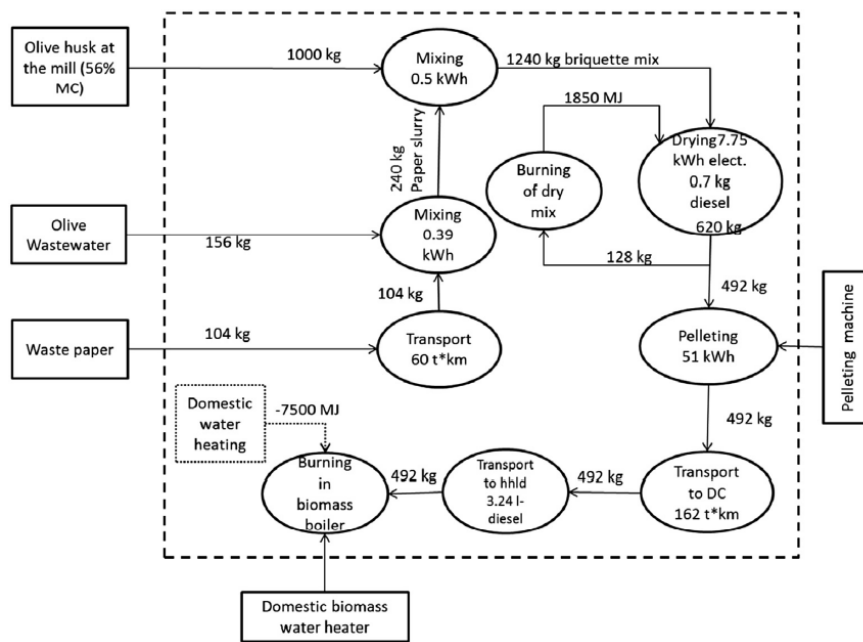
Τα ξηρά ΣΑΕ στην Αυστραλία έχουν υγρασία περίπου 5%, με θερμική απόδοση



Σχήμα 45 Διάγραμμα συστήματος παραγωγής μπρικέτας (BHH). Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

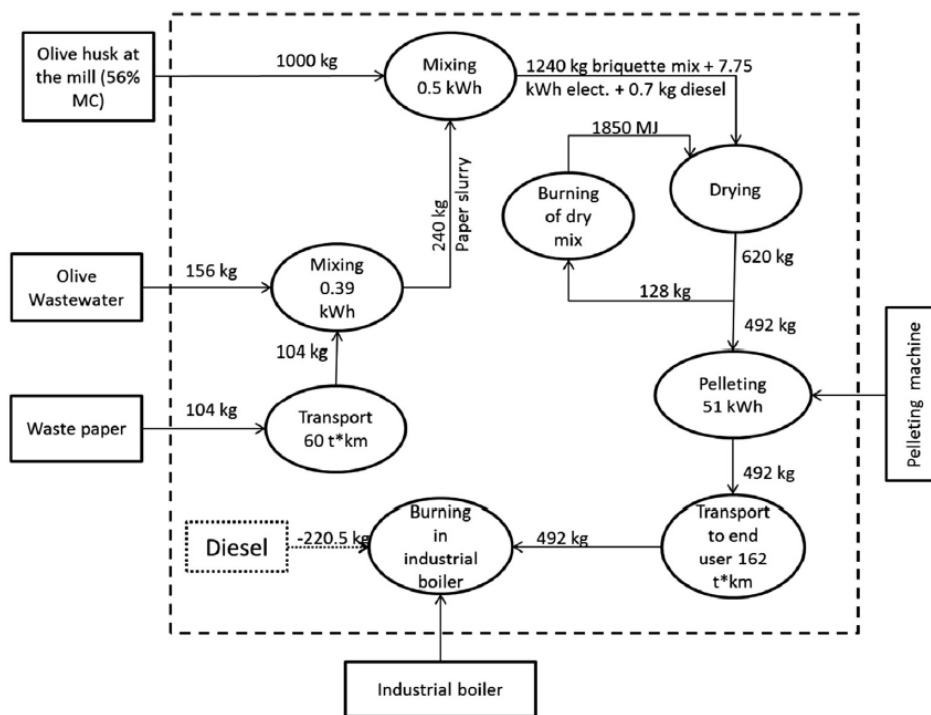
σε τιμές 20 MJ/kg και μικρή περιεκτικότητα σε θεικές ενώσεις. Οι αποτρεπτικοί παράγοντες που ενέχουν δυσκολίες για την αποδοτική χρήση των ΣΑΕ ως ενεργειακή πρώτη ύλη είναι: α) οι τιμές υγρασίας, β) η μικρή παραγωγικότητα ανά εξυπηρετούμενη έκταση και γ) η μικρή περίοδος ελαιοτρίβισης ανά έτος. Συνεπώς, η παραγωγή πέλετ καθίσταται αποδοτικότερη, κυρίως σε θέματα μεταφοράς.

Η μελέτη LCA (ISO 14040: 2006) δίνει χρήσιμα δεδομένα για το χρόνο ζωής και το αποτύπωμα ενός προϊόντος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση του χρόνου ζωής και την οικονομικότητα των τεσσάρων καινοτόμων σεναρίων ενεργειακής αξιοποίησης, σε σύγκριση με την παραδοσιακή και μέχρι τώρα τεχνική αξιοποίησης των ΣΑΕ (παραγωγή κομπόστ). Μέσα στη μελέτη LCA συμπεριλαμβάνονται επίσης εκπομπές από τη μεταφορά προϊόντων αλλά και τις διαδικασίες επεξεργασίας. Η μονάδα που επιλέχθηκε για το LCA είναι ο 1 τόνος (στο πρωτότυπο 1 Mg) ΣΑΕ (56% w/w υγρασία) με επεξεργασία στο ίδιο μέρος που γίνεται και η ελαιοπαραγωγή. Στα Σχήματα 45-49 φαίνονται τα διαγράμματα του LCA με αντίστοιχα δεδομένα για τα πέντε σεναρία (BHH, PWHW, PIB, Pyro, CBP), όπου δίνονται και διαγραμματικά τα ισοζύγια και η μεταφορά μαζών από διεργασία σε διεργασία.

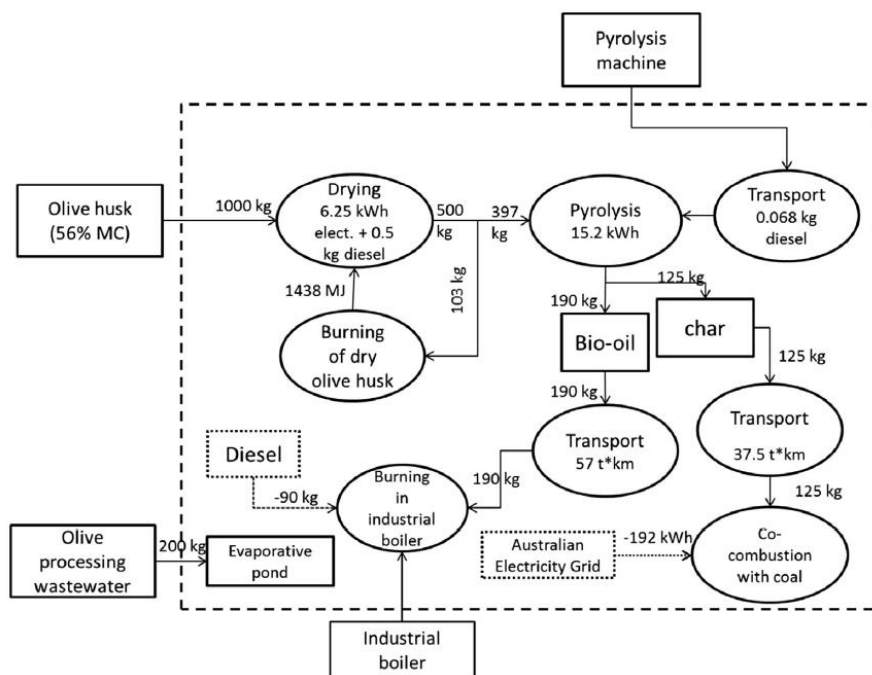


Σχήμα 46 Διάγραμμα συστήματος εναλλακτικής PHWH. Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Στα σπίτια και τους χώρους εργασίας στην Αυστραλία, η ψύξη και η θέρμανση αποτελεί περίπου το 40% της καταναλισκόμενης ενέργειας. Σύμφωνα με το Αυστραλιανό Στατιστικό Γραφείο (ABS), περίπου τα $\frac{3}{4}$ των νοικοκυριών στην Αυστραλία χρησιμοποιούν θερμαντικά σώματα. Το φυσικό αέριο αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας, μαζί με το ηλεκτρικό ρεύμα. Οι ξυλόσομπες βρίσκουν ευρεία χρήση στην αγροτική Αυστραλία.



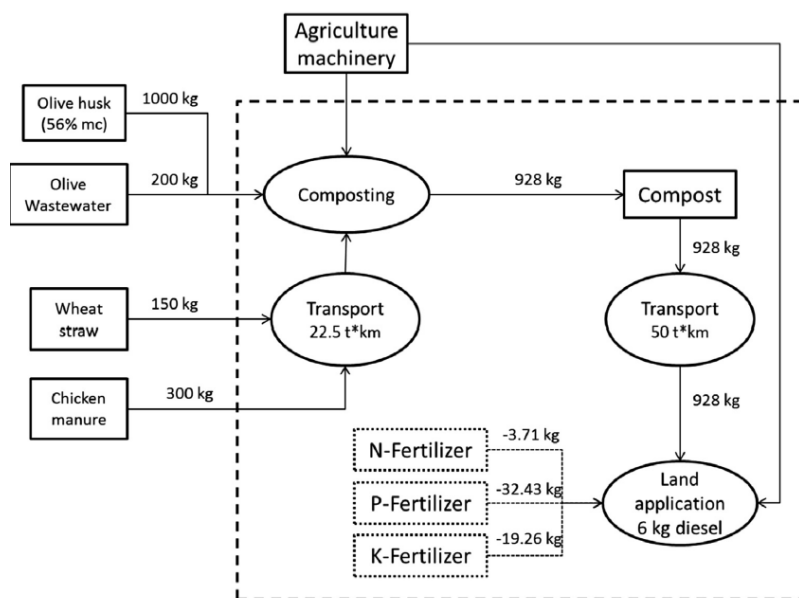
Σχήμα 47 Διάγραμμα συστήματος εναλλακτικής PIB. Πηγή: (El Hanandeh, 2015)



Σχήμα 48 Διάγραμμα συστήματος πυρόλυσης (Pyro). Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Τα δεδομένα αέριων εκπομπών στην καύση του κέικ των ΥΑΕ συμπεριλήφθηκαν στην μελέτη, οι συντελεστές των οποίων δίνονται στον Πίνακα 19, ενώ στον Πίνακα 21 δίνονται οι εκπομπές χρήσης προϊόντων πυρόλυσης, από το σενάριο Pyro. Σύμφωνα με τη νομοθεσία της Αυστραλίας, μέση απόδοση καυστήρων

που χρησιμοποιούν στερεό καύσιμο (πέλετ- μπρικέτα) πρέπει να συμμορφώνεται με τις οδηγίες AS/NZ 4012: 1999 και AS/NZ 4013: 1999 (Πίνακας 20).



Σχήμα 49 Διάγραμμα συστήματος εναλλακτικής CBP. Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Πίνακας 18 Εκπομπές από ξηρό κέικ ελιάς (κιλά ανά κέικ ελαιόκαρπου- 12% Περιεκτικότητα σε υγρασία). Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Εκπομπές	Συντελεστής εκπομπών
Τέφρα	68
CO	103
NO _x	1,07
SO ₂	0,945
PM ₁₀	1,77

Στη Αυστραλία, η θέρμανση νερού αποτελεί το 1/5 της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και το ¼ των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου. Η αποδοτικότητα των μεθόδων θέρμανσης συνεπώς απαιτούν βελτιστοποίηση, με στόχο αφενός την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της καύσης (απαέρια, αέρια θερμοκηπίου) και αφετέρου την αύξηση της αποδοτικότητας και της θερμογόνου δύναμης ανά κιλό στερεής ύλης.

Πίνακας 19 Εκπομπές από καύση μπρικετών σε καυστήρα στερεού καυσίμου συμβατή με AS/NZ (kg ανά Mg στερεού καυσίμου). Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Εκπομπές	Συντελεστής εκπομπών
Τέφρα	40
CO	62,5
NO _x	21,75
SO ₂	0,225
PM ₁₀	4
VOC	5

Η πυρόλυση (σενάριο 4- Σχήμα 48) αποτελεί σχετικά σύγχρονη τεχνική ενεργειακής αξιοποίησης. Μάλιστα η ταχεία πυρόλυση παρουσιάζει πλεονεκτήματα έναντι της κανονικής (αργής) πυρόλυσης. Στη μελέτη αυτή μοντελοποιείται η ταχεία πυρόλυση, καθώς σε αυτής είναι αυξημένο το κλάσμα των συμπυκνώσιμων αερίων (περίπου 40-50%), ενώ στην αργή πυρόλυση ευνοείται η παραγωγή βιοεξανθρακώματος. Στη μέθοδο αυτή, και το υγρό αλλά και το στερεό προϊόν της διεργασίας μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά. Στον Πίνακα 21 δίνονται οι εκπομπές χρήσης προϊόντων πυρόλυσης (kg ανά τόνο ΣΑΕ περιεκτικότητα σε υγρασία 12%).

Πίνακας 20 Εκπομπές χρήσης προϊόντων πυρόλυσης (kg ανά τόνο ΣΑΕ περιεκτικότητα σε υγρασία 12%). Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Προϊόντα	
Βιοεξανθράκωμα	315
Βιοέλαιο	480
Εκπομπές	
Τέφρα	22
CO	1,614
NO _x	3,114
SO _x	1,877
PM ₁₀	1,034

Τα τέσσερα βασικά σενάρια που εξετάζονται συγκρίνονται, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, με την βέλτιστη τεχνολογία που χρησιμοποιείται σήμερα στην

Αυστραλία, το οποίο είναι η παραγωγή κομπόστ. Στον Πίνακα 22 δίνονται οι συντελεστές εκπομπής για κομποστοποίηση (κιλά ανά τόνο ΣΑΕ).

Πίνακας 21 Συντελεστές εκπομπής για κομποστοποίηση (κιλά ανά Mg ΣΑΕ). Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

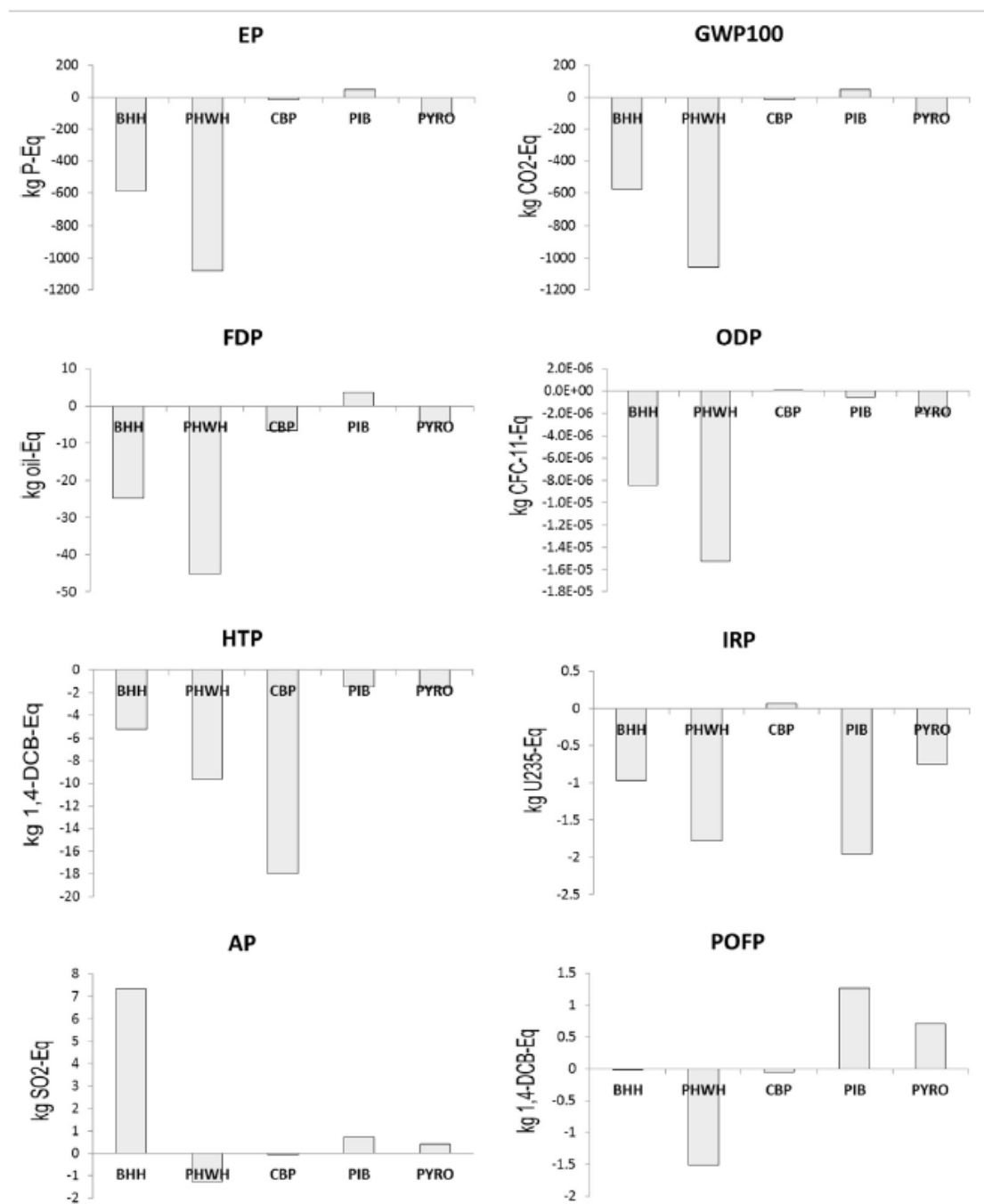
Εκπομπές	Συντελεστής εκπομπών
Αμμωνία	0,306
CO	0,264
CH ₄	11,228
NO _x	0,128

Τα δεδομένα που εξάγονται από το LCA (Σχήμα 50) δείχνουν ότι το σενάριο ΡΗWH αποτελεί την εναλλακτική με τις λιγότερες συνέπειες σε όλες τις κατηγορίες περιβαλλοντικών συνεπειών στις οποίες δόθηκαν έμφαση στη μελέτη αυτή. Στο σενάριο ΒΗΗ, η καύση μπρικέτας και πέλετ παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Είναι καταφανές στο Σχήμα 50, ότι στο σενάριο ΒΗΗ φαίνονται οι μικρότερες συνέπειες σε όλους τους τομείς περιβαλλοντικών επιπτώσεων (εκτός από ΑΡ). Η πυρόλυση δίνει επίσης ικανοποιητικά αποτελέσματα, με χαμηλό δείκτη επιπτώσεων σε όλους τους τομείς, εκτός από ΡΟFP και ΑΡ. Βάσει του Σχήματος 50, το σενάριο ΡΗWH δίνει τα βέλτιστα περιβαλλοντικά οφέλη σε όλες τις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Απεναντίας, το σενάριο της κομποστοποίησης παρουσιάζει βέλτιστη απόδοση στη κατηγορία ΗΤΡ. Επιπλέον η εναλλακτική της πυρόλυσης υπερτερεί της πελετοποίησης για θέρμανση στην κατηγορία ΑΡ

Τα δεδομένα λοιπόν του LCA καταστούν σαφές ότι τα σενάρια της πυρόλυσης, του ΒΗΗ και του ΡΗWH ξεπερνούν σε ενεργειακή απόδοση και περιβαλλοντικά ωφέλιμο αποτύπωμα την μέθοδο της κομποστοποίησης.

Σε μελέτες κύκλου ζωής, το κόστος, η ενεργειακή κατανάλωση και το αποτύπωμα κατά την μεταφορά πρώτων υλών και προϊόντων, αλλάζει τα αποτελέσματα του LCA. Στην εργασία τούτη, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis), ώστε να δοκιμαστεί η ευαισθησία της απόδοσης των εναλλακτικών σεναρίων για μελλοντικό σενάριο καθαρότερης ενέργειας. Η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιήθηκε αρκετές φορές με ενεργειακή εξάρτηση: 4% φυσικό αέριο, 25% ΑΠΕ (ηλιακή -αιολική- υδροηλεκτρική ενέργεια και βιομάζα) και τέλος 71% λιγνίτης- τύρφη. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας δίνονται στο Σχήμα

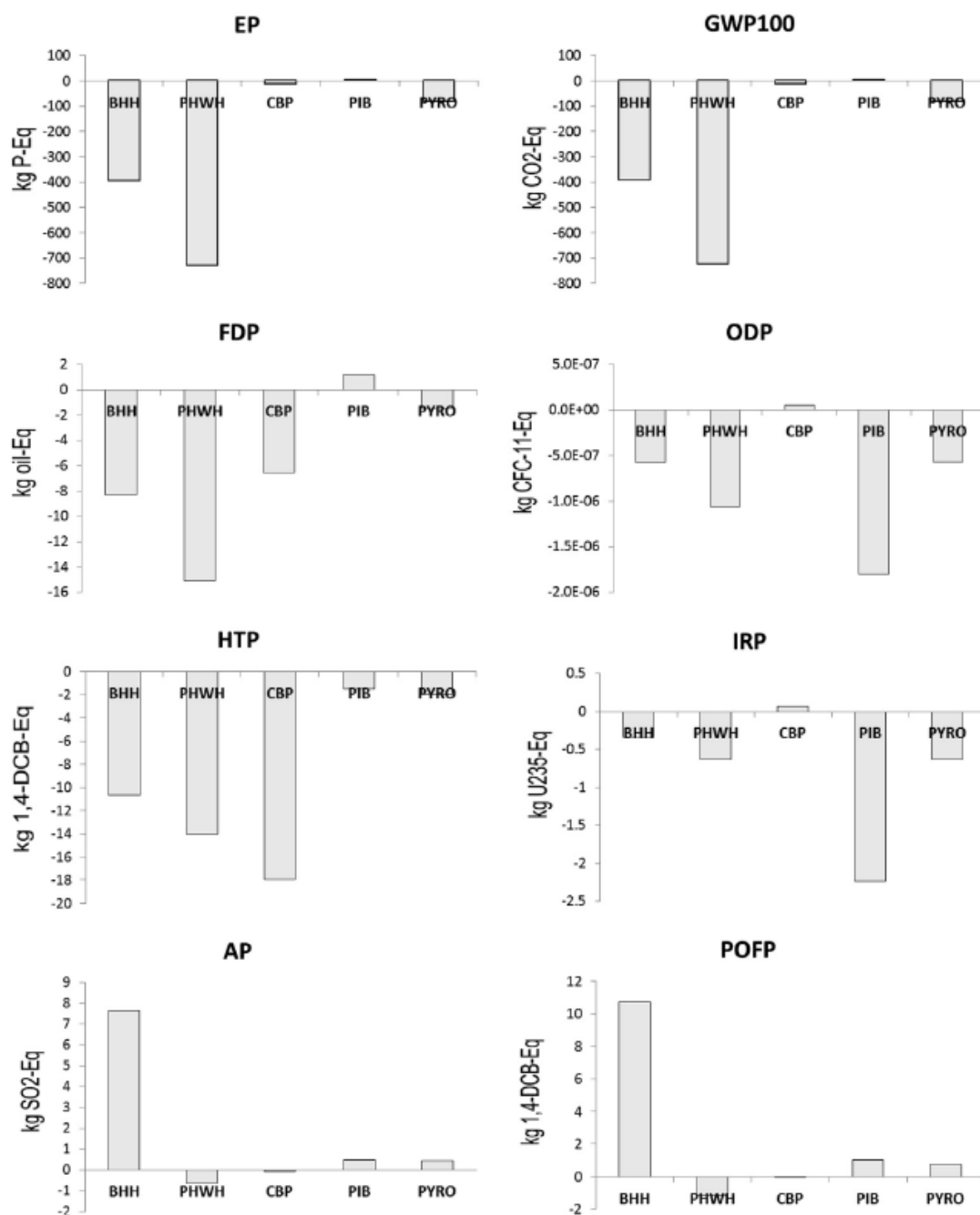
51 και καθιστούν καταφανές ότι τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα θα εμφανίζουν μείωση σε όλες τις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.



Σχήμα 50 Απόδοση των σεναρίων για κάθε κατηγορία ανά κιλό αποβλήτων ελαιοτριβείων. Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Για την μοντελοποίηση των συνθηκών, ορίστηκε στη μελέτη αυτή σαν μέση απόσταση μεταφοράς τα 300 χμ από τον τόπο παραγωγής μέχρι το σημείο κατανάλωσης της ενέργειας. Η ανάλυση ευαισθησίας έδειξε ότι η μεταφορά των προϊόντων μπορεί να αλλάξει σημαντικά τα δεδομένα των εκπομπών και συνεπώς να

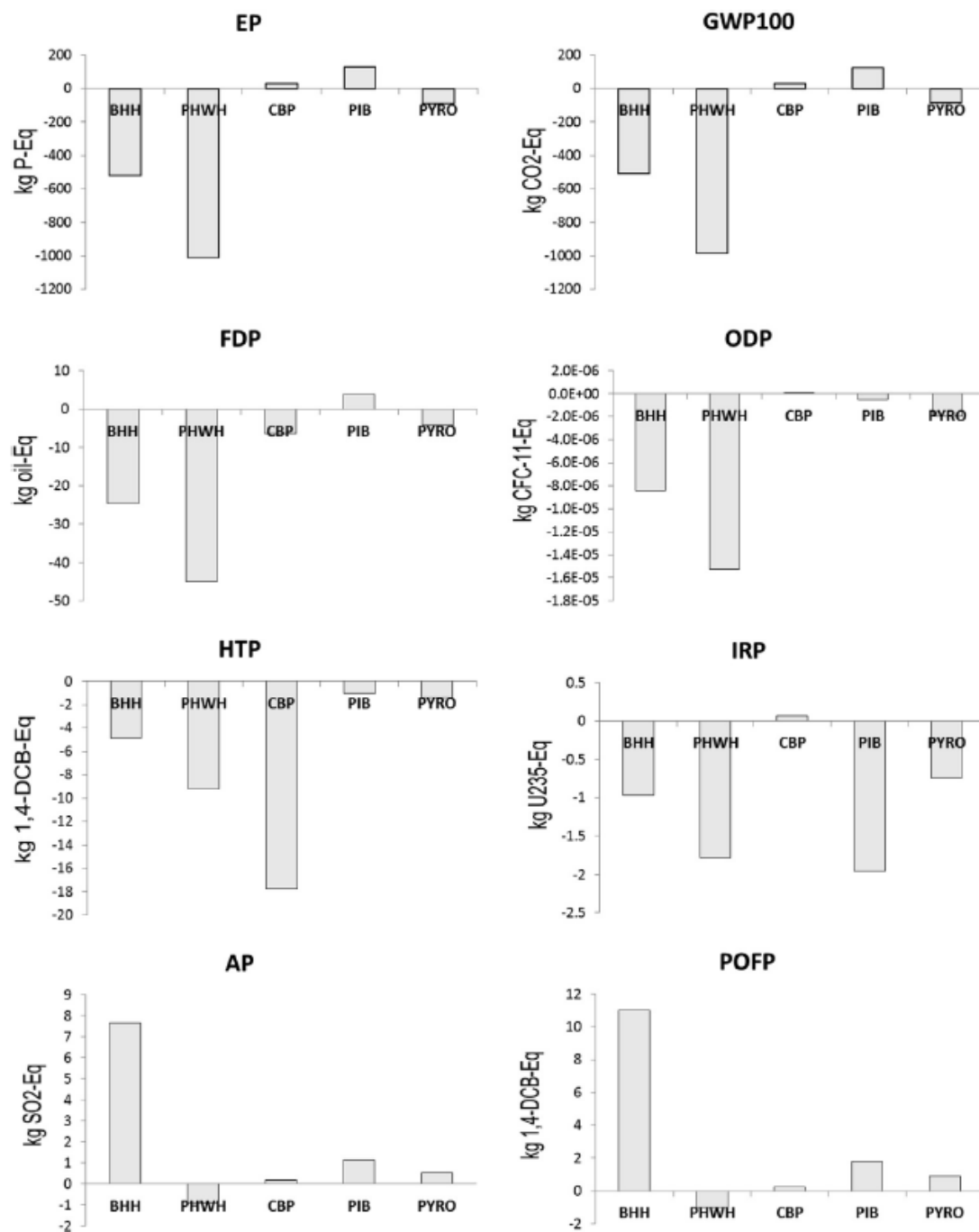
αλλάξει την συνολική εικόνα για ένα σενάριο. Έτσι χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη απόσταση μεταφοράς, ώστε να προκύψουν όσο το δυνατόν πιο αληθοφανή συμπεράσματα.



Σχήμα 51 Απόδοση εναλλακτικών λύσεων στο σενάριο καθαρής ενέργειας (4% φυσικό αέριο, 71% άνθρακας και 25% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.). Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής (μέγιστη απόσταση μεταφοράς) δίνονται στο Σχήμα 52. Τα δεδομένα αυτά απεικονίζουν ότι η απόδοση των σεναρίων (PIB, BHH, πυρόλυση και PHWH) δεν σημείωσε σημαντικές διαφορές, αφού σε καμία από

τις επιλεχθείσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις δε παρουσίασε μεταβολές. Παρόλα αυτά οι μεγάλες αποστάσεις στο σενάριο της κομποστοποίησης, (και πιο συγκεκριμένα στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις GWP, POFP και AP) σημειώνεται επιπλέον περιβαλλοντική επιβάρυνση.



Σχήμα 52 Απόδοση εναλλακτικών λύσεων στο σενάριο μεγάλων αποστάσεων μεταφοράς (1000 χλμ. Στην αγορά ενέργειας και 300 χλμ. εφαρμογής γης σαν κομπόστ). Πηγή: (El Hanandeh, 2015)

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδωσαν ικανοποιητικά δεδομένα για την ενεργειακή αξιοποίηση των ΥΑΕ και ΣΑΕ. Μέχρι πρότινος, στη περιοχή της Αυστραλίας η βέλτιστη μέθοδος επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων της ελιάς ήταν η χρήση στη δημιουργία κομπόστ. Ένα από τα κύρια συμπεράσματα που δίνει η μελέτη, είναι ότι τα ίδια απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή ενέργειας, κάνοντας περισσότερο αποδοτική των αξιοποίηση των αποβλήτων, αφού πλέον μειώνεται η χρήση ηλεκτρικού ρεύματος από συμβατικές, μη ανανεώσιμες πηγές

Τα δεδομένα που εξήχθησαν από την μελέτη LCA, έδωσαν ότι η παραγωγή πέλετ για χρήση σε λέβητες θέρμανσης νερού χρήσης (σενάριο PHWH) είναι η αποδοτικότερη λύση και μάλιστα αποφέρει τα βέλτιστα επιθυμητά οφέλη ως αφορά το φυσικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, το σενάριο GWP100 και ODP σημείωσε μείωση στις εκπομπές ίση με -1057 kg CO_2 και $-1,5 \cdot 10^5 \text{ kg CFC}$ σε σχέση με την μείωση $-12,4 \text{ kg CO}_2$ και $-5,3 \cdot 10^8 \text{ kg CFC}$ που παρουσίασε το σενάριο της κομποστοποίησης.

Την αποδοτικότητα των επιλογών φαίνεται ότι επηρεάζουν αρκετά οι αποστάσεις μεταφοράς, καθώς προσαυξάνουν το αποτύπωμα στη μελέτη κύκλου ζωής. Επιπλέον τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης μικρή ευαισθησία στις αποστάσεις μεταφοράς του ενεργειακού προϊόντος στην πολιτεία.

7. Συμπεράσματα – Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η εργασία τούτη αναφέρετε στα απόβλητα ελαιοτριβείου και την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Δεδομένου του όγκου των αποβλήτων που παράγονται κάθε έτος, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για την έρευνα μεθόδων αξιοποίησης τους, αφού η πετυχημένη διαχείριση τους προς απορρύπανση αυτών αποτελεί παρελθοντικό πλάνο. Πλέον με τις σύγχρονες τεχνολογίες και μεθόδους, είναι δυνατός ο σχεδιασμός ενός κόνσεπτ waste-to-energy, όπου από τα πλούσια σε χημικές ενώσεις υγρά και στερεά απόβλητα θα μπορούμε να ανακτούμε υλικά και ενέργεια. Με τον τρόπο αυτό η Κυκλική Οικονομία διαφεύγει από τις σελίδες των βιβλίων ως «ουτοπικό πλάνο» και γίνεται πράξη, καλύπτοντας το σύγχρονο πρόβλημα του παγκόσμιου ελλείματος ενέργειας με το επίσης σύγχρονο πρόβλημα των αποβλήτων.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας δόθηκε μία γενική εικόνα για την επεξεργασία του ελαιόκαρπου για την παραγωγή ελαιόλαδου. Η ελιά έπειτα από πλύσεις και απομάκρυνση των φύλλων οδηγείται στο σχηματισμό της ελαιοζύμης σε κατάλληλες διατάξεις. Η απομάκρυνση του φυλλώματος αποτελεί σημαντικό σημείο στη παραγωγή ελαιόλαδου, καθώς η παρουσία φύλλων αυξάνει την οξύτητα και αλλοιώνει την ποιότητα του ελαιόλαδου. Οι φυγοκεντρίτες αποτελούν την καρδιά της παραγωγής ελαιόλαδου, αφού εκεί γίνεται ο διαχωρισμός μεταξύ του λαδιού, του κασιόγαρου και των υπολειμμάτων ελαιοζύμης σε διφασικούς ή τριφασικούς φυγοκεντρίτες. Οι διφασικοί φυγοκεντρίτες παράγουν μικρότερη ποσότητα αποβλήτων. Στη συνέχεια το στερεό υπόλειμμα οδηγείται στα πυρηνελαιουργεία για την παραγωγή του πυρηνέλαιου.

Η διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου έχει σημαντικές ποσότητες αποβλήτων. Τα στερεά απόβλητα μπορούν να φτάσουν έως και το 30-40% κατά βάρος του επεξεργασμένου καρπού και περιέχουν δυνητικά ρυπογόνες ενώσεις, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν αφενός μεν στη ακούσια παραγωγή τοξικών συστατικών (HCl, φουράνια ή διοξίνες) και αφετέρου στην ρύπανση του pH του εδάφους σε επικίνδυνα όξινες τιμές. Τα υγρά απόβλητα της ελαιοτριβίσης είναι υγρά φυτικής προέλευσης, προσυζημένα στον όγκο τους με νερό επεξεργασίας (πλύση καρπού, αραίωση ελαιοζύμης, πρόσθετο νερό διαχωριστήρων, διεργασίες καθαριότητας στον εξοπλισμό του ελαιοτριβείου κ.λπ.). Τα υγρά απόβλητα από τα ελαιοτριβεία έχουν σκούρο χρώμα, χαρακτηριστική οσμή, υψηλή αγωγιμότητα και ελαφρώς όξινο pH. Περιέχουν μείγματα πολυφαινολών, πηκτίνη, σάκχαρα και σχετικά σταθερά γαλακτώματα. Η κατεργασία ενός τόνου ελιάς παράγει απόβλητα ρυπαντικού φορτίου, ισοδύναμο με αστικά λύματα 50-100 κατοίκων.

Η ανεξέλεγκτη απομάκρυνση των στερεών και υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων στο περιβάλλον υπήρξε έντονο πρόβλημα στο παρελθόν, καθώς η περιβαλλοντική ρύπανση μπορεί να είναι και μη αναστρέψιμη. Οι μέθοδοι επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνουν βιολογικές και θερμοχημικές μεθόδους, όπου αφενός μεν στις πρώτες συναντάται η αναερόβια χώνευση, όπου με θέρμανση παρουσία μικροοργανισμών έχουμε την βιολογική αποδόμηση των μακρομορίων του σκελετού των ΣΑΕ προς παραγωγή βιοαερίου και αφετέρου στη δεύτερη περίπτωση έχουμε διεργασίες όπως η καύση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση, όπου τα πλεονεκτήματα έχουν διττή φύση, αφού υπάρχει παραγωγή άμεσης ενέργειας

αλλά και άμεση μείωση του όγκου του αποβλήτου. Στην επεξεργασία συναντώνται περισσότερες από δύο τεχνικές. Πιο συγκεκριμένα τα ΥΑΕ επεξεργάζονται με μηχανικές, φυσικοχημικές, βιολογικές αλλά και με θερμικές μεθόδους.

Η επεξεργασία των αποβλήτων ελαιοτριβείου για την μείωση του ρυπαντικού φορτίου είναι μία διαδικασία που έχει μελετηθεί πολλάκις και για το λόγο αυτό η επιστήμη κάνει ένα βήμα μπροστά και προχωρά στην ενεργειακή αξιοποίηση. Ανάμεσα στις μεθόδους που αναζητήθηκαν, αυτές με την άμεση αλλά και ικανοποιητική ταυτόχρονα παραγωγή ενέργειας αποδείχθηκαν η καύση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση. Στις τεχνικές αυτές πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα σε άρθρα από το 2015 και έπειτα, δίνοντας την σύγχρονη σκοπιά επί του θέματος. Ανάμεσα στα αποτελέσματα διακρίνεται η αποδοτικότητα της πυρόλυσης, σε σχέση με τις άλλες δύο τεχνικές. Σε δεύτερο στάδιο μελετήθηκε η παραγωγή έμμεσης ενέργειας, όπου ευρέθηκε στη διεθνή βιβλιογραφία σύγχρονο υλικό για την αξιοποίηση αποβλήτων ελαιοτριβείων για την παραγωγή βιοαερίου, βιοντίζελ και βιοαιθανόλης. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικό, καθώς ο τομέας των καυσίμων την τελευταία 20ετία έχει στρέψει την προσοχή του στην εύρεση εναλλακτικών καυσίμων προς αντικατάσταση των συμβατικών πετρελαϊκών, αφού τα διαθέσιμα αποθέματα μειώνονται κάθε στιγμή. Συνεπώς η αξιοποίηση των αποβλήτων για τη παραγωγή καυσίμων αυτοκίνησης αλλά και καύσιμης ύλης για θέρμανση σπιτιών, δημοσίων χώρων και χώρων εργασίας αποτελεί επαναστατική λύση.

Στο πλαίσιο αυτό αναζητήθηκε μία μελέτη περίπτωσης όπου θα τεκμηριώνει και θα δίνει πραγματικά δεδομένα για την παραπάνω εργασία. Η μελέτη που επιλέχθηκε αφορά την αξιοποίηση των υγρών και στερών αποβλήτων ελαιοτριβείων στην Αυστραλία. Η παραγωγή ελαιόλαδου στην Αυστραλία άγγιξε το 2015 τα $25 \times 10^3 \text{ m}^3$, ενώ παράγονται ετησίως 62.500 τόνοι ΣΑΕ και $3,5 \times 10^5 \text{ m}^3$ ΥΑΕ. Στην παραπάνω μελέτη περίπτωσης πραγματοποιήθηκε ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) και ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis) για 5 σενάρια αξιοποίησης των αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Τα σενάρια ενεργειακής αξιοποίησης που εξετάστηκαν και μελετήθηκαν ήταν: α) η παραγωγή πέλετ από ΣΑΕ για οικιακή θέρμανση, β) η παραγωγή πέλετ από ΣΑΕ για αστική θέρμανση νερού, γ) η παραγωγή πέλετ από ΣΑΕ για βιομηχανική θέρμανση νερού, δ) η πυρόλυση ΣΑΕ και ε) η παραγωγή κομπόστ. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδωσαν ικανοποιητικά δεδομένα για την ενεργειακή αξιοποίηση των ΥΑΕ και ΣΑΕ. Ενώ λοιπόν μέχρι πρότινος, στη περιοχή της

Αυστραλία η βέλτιστη μέθοδος επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων της ελιάς ήταν η χρήση στη δημιουργία κομπόστ, φάνηκε ότι η αποδοτικότητα μπορεί να προσαυξηθεί με την παραγωγή ενέργειας και μείωσης της χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος από συμβατικές, μη ανανεώσιμες πηγές. Τα δεδομένα που εξήχθησαν από την μελέτη LCA, έδωσαν ότι η παραγωγή πέλετ για χρήση σε λέβητες θέρμανσης νερού χρήσης αποτελεί την αποδοτικότερη λύση με το ελάχιστο δυνατό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Πιο συγκεκριμένα, το σενάριο GWP100 και ODP σημείωσε μείωση στις εκπομπές ίση με -1057 kg CO₂ και -1,5 10⁵ kg CFC σε σχέση με την μείωση -12,4 kg CO₂ και - 5,3 10⁸ kg CFC που παρουσίασε το σενάριο της κομποστοποίησης.

Συμπερασματικά, η εργασία τούτη κλείνει με ενθαρρυντικά αποτελέσματα, αφού η επεξεργασία και η ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων ελαιοτριβείων μελετήθηκε και αξιολογήθηκε ως εφικτή και ενεργειακά αποδοτική. Στο μέλλον θα ήταν θεμιτή η βελτιστοποίηση των αποδόσεων στην παραγωγής ενέργειας αλλά και την μελέτη μείωσης δευτερευόντων εξόδων που επηρεάζουν άμεσα την χρήση ενέργειας από απόβλητα, όπως την αποθήκευση της ενέργειας αλλά και την ασφαλή και οικονομικότερη μεταφορά του. Επιπλέον θα πρέπει να μελετηθούν τα συστήματα ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι αέριες εκπομπές κατά τις θερμικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας, είτε να χρησιμοποιούνται σαν μέσω θέρμανσης επόμενης διεργασίας. Με τον τρόπο αυτό θα είναι εφικτός ο σχεδιασμός ενός πλήρους βιοδιωληστηρίου, από όπου τα απόβλητα της μίας διεργασίας θα είναι η πρώτη ύλη για την επόμενη, διαμορφώνοντας ένα πλέγμα κυκλικής οικονομίας με μηδενικά απόβλητα και κατ' επέκταση μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

8. Βιβλιογραφία

Abdullahi Lawal, A. και συν., 2020. One-step steam pyrolysis for the production of mesoporous biochar from oil palm frond to effectively remove phenol in facultatively treated palm oil mill effluent. *Environmental Technology & Innovation* 18.

Alam, M. Z., Kabbashi, N. A., Nahdatul, S. & Hussin, I. S., 2009. Production of bioethanol by direct bioconversion of oil-palm industrial effluent in a stirred-tank bioreactor. *J Ind Microbiol Biotechnol* 36, p. 801–808.

Alonso-Fariñas, B. και συν., 2020. Environmental Assessment of Olive Mill Solid Waste Valorization via Anaerobic Digestion Versus Olive Pomace Oil Extraction. *Processes*, 8, pp. 2-15.

Blázquez García, G. και συν., 2014. Characterization and modeling of pyrolysis of the two-phase olive mill solid waste. *Fuel Processing Technology* 126, pp. 104-111.

Boskou, D., 2006. *Olive Oil. Chemistry and Technology*.. 2nd edition επιμ. Thessaloniki: AOCS Press.

Budiman, P. M., Wu, T. Y., Ramanan, R. N. & Jahim, J. M., 2015. Improvement of biohydrogen production through combined reuses of palm oil mill effluent together with pulp and paper mill effluent in photofermentation. *Energy & Fuels*, pp. 1-35.

Campanari, S. και συν., 2017. Enhancing a multi-stage process for olive oil mill wastewater valorization towards polyhydroxyalkanoates and biogas production. *Chemical Engineering Journal* 317, p. 280–289.

Caputo, A. C., Scacchia, F. & Pelagagge, P. M., 2003. Disposal of by-products in olive oil industry: waste-to-energy solutions. *Applied Thermal Engineering* 23, p. 197–214.

Casademont, P. και συν., 2018. Gasification of Olive Oil Mill Waste by Supercritical Water in a Continuous Reactor. *Journal of Supercritical Fluids*.

Chong, M.-L., Rahim, R. A., Shirai, Y. & Hassan, M. A., 2009. Biohydrogen production by *Clostridium butyricum* EB6 from palm oil mill effluent. *International journal of hydrogen energy* 34, p. 764–771.

Chouchene, A. και συν., 2010. Combined process for the treatment of olive oil mill wastewater: Absorption on sawdust and combustion of the impregnated sawdust. *Bioresource Technology* 101, p. 6962–6971.

Dareioti, M. A. και συν., 2010. Exploitation of olive mill wastewater and liquid cow manure for biogas production. *Waste Management* 30 , p. 1841–1848.

De Leonardis, A., 2014. *Virgin olive oil. Production, composition, uses and benefits for man.* 1st edition επιμ. New York: Nova Science Publishers, Inc.

El Hanandeh, A., 2015. Energy recovery alternatives for the sustainable management of olive oil industry waste in Australia: life cycle assessment.. *Journal of Cleaner Production* 91, pp. 78-88.

Gelegenis, J. και συν., 2007. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure. *Applied Energy* 84, p. 646–663.

Guida, M. Y., 2017. Bio-oil and Bio-char Feedstocks From Pyrolysis of Olive Mill Wastes, Such as Olive Mill Solid Waste and Olive Mill Wastewater. *IJEP* 37, pp. 632-646.

Idris, A., Loh, S. K. & Lau, H. L. N., 2018. Palm oil mill effluent as algae cultivation medium for diesel production. *Journal of oil palm research* 30, pp. 141-149.

Jeguirim, M. και συν., 2012. A new valorisation strategy of olive mill wastewater: Impregnation on sawdust and combustion. *Resources, Conservation and Recycling* 59, pp. 4-8.

Kıpcak, E. & Akgün, M., 2012. Oxidative gasification of olive mill wastewater as a biomass source in supercritical water: Effects on gasification yield and biofuel composition. *The Journal of Supercritical Fluids* 69, p. 57– 63.

Kochany , J. & Lipczynska-Kochany , E., 2009. Utilization of landfill leachate parameters for pretreatment by Fenton reaction and struvite precipitation - a comparative study. *Journal of Hazardous Materials* 166, p. 248 – 254.

Kraiem, N. και συν., 2014. Impregnation of olive mill wastewater on dry biomasses: Impact on chemical properties and combustion performances. *Energy* 78, pp. 479-489.

Lajili, M., Guizani, C., Escudero Sanz, F. & Jeguirim, M., 2018. Fast pyrolysis and steam gasification of pellets prepared from olive oil mill residues. *Energy* 150, pp. 61-68.

Mainil, R. I. & Matsumura, Y., 2019. New application of supercritical water gasification to palm oil mill effluent: Gasification and phosphorus recovery. *Energy Fuels*, pp. 1-33.

Mamimin, C., Kongjan, P., O-Thong, S. & Prasertsan, P., 2019. Enhancement of biohythane production from solid waste by co-digestion with palm oil mill effluent in two-stage thermophilic fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy* 44, pp. 17224-17237.

Matinja, A. I., Zain, N. A. M., Suhaimi, M. S. & Alhassan, A. J., 2019. Optimization of biodiesel production from palm oil mill effluent using lipase immobilized in PVA-alginate-sulfate beads. *Renewable Energy* 135, pp. 1178-1185.

Mekki, A., Dhouib, A. & Sayadi, S., 2007. Polyphenols dynamics and phytotoxicity in a soil amended. *Journal of Environmental Management* 84, p. 134–140.

Metcalf & Eddy (rev. by Tchobanoglous, G., Burton, F. L. & Stensel, D. H., 2018. *Μηχανική Υγρών Αποβλήτων. Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση*. 4η Έκδοση επιμ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

Milos, J., 2017. *Handbook of olive oil. Phenolic compounds, production and health benefits*. New York: Nova Science Publishers, Inc.

Mitrakas, M., Papageorgiou, G. Z., Docoslis, A. & Sakellaropoulos, G., 1996. Evaluation of various pretreatment methods for olive oil mill wastewaters. *European water pollution control* 6, pp. 10-16.

Mohawesh, O. & Mahmoud, M., 2013. Effect of irrigation with olive mill wastewater on soil hydraulic and solute. *International Journal of Environmental Science and Technology* 11.

Norfadilah, N., Raheem, A., Harun, R. & Ahmadun, F.-R., 2016. Bio-hydrogen production from palm oil mill effluent (POME): A preliminary study. *International journal of hydrogen energy* 41 , pp. 11960-11964.

Ohimain, E. I. & Izah, S. C., 2017. A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70, p. 242–253.

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

Preedy, V. R. & Watson, R. R., 2021. *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*. 2nd Edition επιμ. Chennai, India: Elsevier.

Rusan, M. J. & Malkawi, H. I., 2016. Dilution of olive mill wastewater (OMW) eliminates its phytotoxicity and enhances plant growth and soil fertility. *Desalination and Water Treatment*, pp. 1-9.

Senkevich, S., Ntaikou, I. & Lyberatos, G., 2012. BIOETHANOL PRODUCTION FROM THERMOCHEMICALLY PRE-TREATED OLIVE MILL SOLID RESIDUES USING THE YEAST *Pachysolen tannophilus*. *Global NEST Journal* 14, pp. 118-124.

Singh, L. και συν., 2013. Biohydrogen production from palm oil mill effluent using immobilized mixed culture. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 19 , p. 659–664.

Suwanno, S. και συν., 2017. The production of biodiesel using residual oil from palm oil mill effluent and crude lipase from oil palm fruit as an alternative substrate and catalyst. *Fuel* 195 , p. 82–87.

Thangalazhy-Gopakumar, S. και συν., 2015. Utilization of palm oil sludge through pyrolysis for bio-oil and bio-char production. *Bioresource Technology* 178 , p. 65–69.

Vijayaraghavan, K., Ahmad, . D. & Aziz, M. E. B. A., 2007. Aerobic treatment of palm oil mill effluent. *Journal of Environmental Management* 82, p. 24–31.

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

Yusouf, A., Sannino, F., Addorisio, V. & Pirozzi, D., 2010. Microbial Conversion of Olive Oil Mill Wastewaters into Lipids Suitable for Biodiesel Production. *J. Agric. Food Chem.* 58,, p. 8630–8635.

Zirehpour, A., Rahimpour, A. & Jahanshahi, M., 2015. The filtration performance and efficiency of olive mill wastewater treatment by integrated membrane process. *Desalination and Water Treatment* 53, p. 1254–1262.

Αρβανιτογιάννης, Ι. & Τράικου, Α., 2002. Εφαρμογή της ανάλυσης επικινδυνότητας και κρίσημων σημείων ελέγχου (HACCP) στη παραγωγή ελαιολάδου. *Γεωργία-Κτηνοτροφία* 3, pp. 152-157.

Αυλωνίτης, Σ., 2013. *Περιβαλλοντική Μηχανική Ι - Εισαγωγή στη Τεχνολογία του Νερού και των Υγρών Αποβλήτων*. Αθήνα: Όμιλος Ιων.

Βλυσίδης, Α., Μπαραμπούτη, Έ. Μ. & Μάη, Σ., 2015. *Βιομηχανική Ρύπανση*. Αθήνα: Εκδόσεις Ι. Σιδέρης.

Θέριος, Ι. Ν., 2005. *Ελαιοκομία*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γαρταγάνης.

Κούγκολος, Α., 2017. *Περιβαλλοντική Μηχανική. Ρύπανση και Προστασία του Περιβάλλοντος*. Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.

Κυριτσάκης, Α., 2002. Το ελαιόλαδο. Παραγωγή Ιδιότητες Ποιοτικές Κατηγορίες. *Γεωργία-Κτηνοτροφία* 3, pp. 142-148.

Λυμπεράτος , Γ. & Βαγενάς, Δ., 2012. *Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

Νταρακάς, Ε., 2006. *Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος.

Ντόλια , Σ., 2006. *Διαχείριση αποβλήτων ελαιουργείων*. Μεταπτυχιακή διατριβή: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Πανεπιστήμιο Πειραιά.

Ποντίκης , Κ. Α., 2000. *Ειδική Δενδροκομία- Ελαιοκομία*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

Ποντίκης, Κ., 1994. *Ειδική Δενδροκομία - Ελαιοκομία*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

Τσώνης , Σ., 2004. *Επεξεργασία Λυμάτων*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου επιμ. Αθήνα: s.n.

Φωτεινόπουλος, . Ι. & Νταρακάς , Ε., 2018. Διαχείριση αποβλήτων ελαιοτριβείων-Η περίπτωση του νομού Μεσσηνίας. *Υδροτεχνικά* 27, pp. 15-28.