

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ  
ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ  
ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ  
ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑΣ ΚΩΝΟΥ ΚΑΙ ΟΒΙΔΑΣ**

**ΡΕΝΙΕΡΗ ΣΤΥΛΙΑΝΗ (Α.Μ. 7279)**

**ΣΙΚΟΤΑΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ (Α.Μ. 7073)**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δρ. ΓΙΑΝΝΑΔΑΚΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2021**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονείται στα πλαίσια των σπουδών μας στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών (πρώην Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε) του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (πρώην Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας (Πάτρα)) και πραγματεύεται για τον πειραματικό προσδιορισμό ιδιοτήτων αντίδρασης στη φωτιά βιομάζας με τη χρήση των μεθόδων θερμιδομετρίας Κώνου και Όβιδας.

Οι λόγοι που μας οδήγησαν στην επιλογή του παρόντος θέματος ήταν η δυνατότητα μας να εκπαιδευτούμε σε δυο πειραματικές τεχνικές, οι οποίες είναι σημαντικές σε θέματα μελέτης αντίδρασης στη φωτιά αλλά και στο προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης καύσιμων υλικών.

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Δρ. Γιανναδάκη Αθανάσιο που μας έδειξε εμπιστοσύνη για την διεκπεραίωση του παρόντος θέματος. Κατέλαβε κάθε δυνατή προσπάθεια να μας μεταδώσει μεγάλο μέρος των γνώσεων του με απώτερο σκοπό την πλήρη κατανόηση του θέματος. Σημαντική ήταν η καθοδήγηση και οι συμβουλές του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας. Επιπλέον, ευχαριστούμε πολύ το Πανεπιστήμιο Πατρών και συγκεκριμένα το εργαστήριο Τεχνικής Θερμοδυναμικής του Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Αεροναυπηγών Μηχανικών, που μας φιλοξένησε με στόχο τη διεκπεραίωση των πειραμάτων.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας που ήταν δίπλα μας και μας στήριξαν με κάθε τρόπο δείχνοντας μας την αγάπη τους και την κατανόηση τους. Ακόμα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους μας που ήταν συνοδοιπόροι στο ταξίδι των φοιτητικών μας εμπειριών και μας έδειχνα έμπρακτα την αγάπη τους σε κάθε ευκαιρία.

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

Ρενίερη Στυλιανή

Σικοτάκης Παναγιώτης

.....

.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στοχεύει στην πειραματική διερεύνηση των θερμιδικών ιδιοτήτων του ελαιοπυρήνα καθώς και η μελέτη της αντίδρασής του στη φωτιά. Μέσα από μια βιβλιογραφική ανασκόπηση δίνονται πληροφορίες για την βιομάζα και την χρήση της, καθώς επίσης και για το ενεργειακό ισοζύγιο σε παγκόσμιο επίπεδο. Αναλύεται εκτενέστερα η παραγωγή, η επεξεργασία και οι φυσικοχημικές ιδιότητες του ελαιοπηρύνα. Στην συνέχεια με στόχο τον χαρακτηρισμό των θερμικών ιδιοτήτων του ελαιοπηρύνα δίνεται περιγραφή του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί με στόχο την διεξαγωγή των πειραμάτων. Ο εργαστηριακός εξοπλισμός αποτελείται από θερμιδόμετρο κώνου και θερμιδόμετρο οβίδας. Δίνεται περιγραφή των μεθόδων δοκιμών του ξηρού ελαιοπυρήνα και πραγματοποιείται η διεξαγωγή των αποτελεσμάτων μέσα από πλήθος διαγραμμάτων. Ολοκληρώνοντας συντάσσονται τα συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας όπου προκύπτει η αντίδραση και η συμπεριφορά του ελαιοπυρήνα στη φωτιά καθώς και η θερμογόνος δύναμη του.

Λέξεις κλειδιά: Ελαιοπυρήνας, θερμιδόμετρο κώνου, θερμιδόμετρο οβίδας, αντίδραση στη φωτιά.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	2
1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ .....	5
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	5
1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ .....	5
1.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	7
1.4. ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	7
1.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	9
1.6. ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ .....	11
2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ.....	13
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	13
2.2. ΞΗΡΑΝΣΗ-ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΑ .....	15
2.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ.....	18
2.3.1. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ ΑΠΟ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	18
2.3.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ ΑΠΟ ΔΙΦΑΣΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	21
2.4. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ .....	25
3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΔΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ.....	27
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	27
3.2. ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ.....	27
3.2.1. ΜΕΡΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΚΩΝΟΥ.....	29
3.2.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΚΩΝΟΥ .....	31
3.2.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ ....	32
3.2.4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΚΩΝΟΥ .....	32
3.2.5. ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ - ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ.....	33
3.3. ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΟΒΙΔΑΣ .....	39
3.3.1. ΜΕΡΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΟΒΙΔΑΣ .....	40
3.3.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΟΒΙΔΑΣ.....	41
3.3.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΞΗΡΟΥ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ ΜΕ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΟΒΙΔΑΣ.....	42
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	43
4.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ - ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ 43	
4.3.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗ ΥΓΡΟΥ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ.....	43

4.3.5.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ.....	47
4.4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ - ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΟΒΙΔΑΣ	51
4.4.4.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ.....	51
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	52
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Βιομάζα [8].	6
Εικόνα 2: Ελαιοπυρήνας (α) τριφασική επεξεργασία ελαιοκάρπου (ξηρός) (β) διφασικής επεξεργασία ελαιοκάρπου (υγρός) [22]	14
Εικόνα 3: Αποθήκευση ελαιοπυρήνα από τριφασική επεξεργασία σε εξωτερικούς χώρους πυρηνελαιουργείου [16]	18
Εικόνα 4: Ξηραντήριο πυρηνελαιουργείου	19
Εικόνα 5: Εκχυλιστήρες διατεταγμένοι σε σειρά [22]	20
Εικόνα 6: (α) Καζάνι απόσταξης [22], (β) Αποστακτήρες [16]	20
Εικόνα 7: Δεξαμενές αποθήκευσης πυρηνελαίου [24]	21
Εικόνα 8: Δεξαμενή αποθήκευσης ελαιοπυρήνα από διφασική επεξεργασία	22
Εικόνα 9: Διαχωριστήρας διφασικού ελαιοπυρήνα [22]	22
Εικόνα 10: Μαλακτήρας διφασικού ελαιοπυρήνα [22]	23
Εικόνα 11: Επιμέρους διατάξεις ξηραντηρίου [23]	24
Εικόνα 12: Αναλυτική περιγραφή επιμέρους διατάξεων θερμιδόμετρου κώνου [27]	30
<i>Εικόνα 14: Φρέσκος ελαιοπολτός προς εργαστηριακή ζήρανση</i>	34
<i>Εικόνα 15: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα βιομηχανικής ζήρανσης ελαιοπυρήνα</i>	35
Εικόνα 13: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα καύσης πυρηνόξυλου στις εγκαταστάσεις του πυρηνελαιουργείου	36
Εικόνα 14: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα πριν και μετά την καύση εμπορικού ξηρού ελαιοπυρήνα (ξυλοπυρήνας)	37
Εικόνα 15: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα πριν και μετά την καύση εργαστηριακού ξηρού ελαιοπυρήνα (ξυλοπυρήνας)	38
Εικόνα 16: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα πριν και μετά την καύση εργαστηριακού αλλοιωμένου ξηρού ελαιοπυρήνα (ξυλοπυρήνας)	39
Εικόνα 17: Θερμιδόμετρο Οβίδας [36]	40
Εικόνα 18: Γραφική Απεικόνιση Θερμιδομετρίας Οβίδας (Isoperibolic Calorimetry)	42

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύς βιομάζας – βιοαερίου .....	3
Σχήμα 2: Γεωγραφική κατανομή εγκατεστημένης ισχύς βιομάζας – βιοαερίου .....	3
Σχήμα 3: Κατηγοριοποίηση βιομάζας σύμφωνα με προέλευσή [6].....	7
Σχήμα 4: Αξιοποίηση βιομάζας με αεριοποίηση, καύση και πυρόλυση [14] .....	8
Σχήμα 5: Αξιοποίηση βιομάζας με αναερόβια χώνευση[14] .....	9
Σχήμα 6: Παγκόσμιες εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2017 [9] .....	9
Σχήμα 7: Παραγωγή κεντρικής θέρμανσης και ψύξης από ανανεώσιμες πηγές στην ΕΕ-28 ανά πηγή [13] .....	11
Σχήμα 8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ΕΕ-28 ανά πηγή [13] .....	12
Σχήμα 9: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις μεταφορές στην ΕΕ-28 ανά πηγή [13] .....	12
Σχήμα 10: (α) Παράσταση φυγοκεντρικού συστήματος (α) τριών φάσεων και (β) δύο φάσεων [20] .....	13
Σχήμα 11: Διάγραμμα ροής (α) τριών φάσεων και (β) δύο φάσεων [21] .....	14
Σχήμα 12: Φτερά ανάδευσης του περιστρεφόμενου κλιβάνου του ξηραντήριου [4]. .....	15
Σχήμα 13: Κυκλωνικό Σύστημα [4] .....	16
Σχήμα 14: Ενδεικτικό ξηραντήριο πηρυελαιουργείου [4] .....	17
Σχήμα 15: Μέρη θερμιδόμετρου κώνου [30] .....	31
Σχήμα 16: Διάγραμμα θερμότητας που απελευθερώνεται συναρτήσει του χρόνου [26] .....	33
Σχήμα 17: Θερμιδόμετρο οβίδας [37] .....	42



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Γραφική παράσταση της μεταβολής της μάζας ελαιοπολτού συναρτήσει του χρόνου .....	45
Διάγραμμα 2: Γραφική παράσταση της σχετικής μεταβολής της μάζας ελαιοπολτού συναρτήσει του χρόνου .....	45
Διάγραμμα 3: Γραφική παράσταση της απώλειας υγρασίας του ελαιοπολτού συναρτήσει του χρόνου. ....	46
Διάγραμμα 4: Γραφική παράσταση της μεταβολής της σχετικής υγρασίας του ελαιοπολτού συναρτήσει του χρόνου. ....	46
Διάγραμμα 5: Χρονοσειρές του ρυθμού έκλυσης της θερμότητας - HRR ( $\text{kW/m}^2$ ) .....	47
Διάγραμμα 6: Χρονοσειρές της συνολικής έκλυσης θερμότητας-THR ( $\text{MJ/m}^2$ ) .....	47
Διάγραμμα 7: Χρονοσειρές του ρυθμού παραγωγής καπνού-SPR ( $\text{m}^2/\text{sec}$ ).....	48
Διάγραμμα 8: Χρονοσειρές έκλυσης CO ( $\text{gr}/\text{sec}$ ).....	48
Διάγραμμα 9: Χρονοσειρές Έκλυσης CO <sub>2</sub> ( $\text{gr}/\text{sec}$ ) .....	49
Διάγραμμα 10: Χρονοσειρές της σχετικής απώλειας μάζας ( $\text{gr}/\text{gr}$ ).....	49

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πηγές – Μορφές ενέργειας [5]. .....	5
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά παραπροϊόντων τριφασικής και διφασικής διαδικασίας [16] .....	25
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά ελαιοπολτού διφασικής επεξεργασίας [16] .....	25
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά πυρήνα ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής [16] .....	26
Πίνακας 5: Σύσταση στερεού υπολείμματος ανάλογα με την μέθοδο επεξεργασίας [23] .....	26
Πίνακας 6: Μέθοδοι πειραματικού προσδιορισμού θερμικών και θερμιδικών ιδιοτήτων ελαιοπυρήνα .....	27
Πίνακας 7: Αποτελέσματα διαδικασίας εργαστηριακής ξήρανσης για φρέσκο ελαιοπολτό, Θερμοκρασία Κώνου: 772 °C .....	43
Πίνακας 8: Αποτελέσματα διαδικασίας εργαστηριακής ξήρανσης για αλλοιωμένο ελαιοπολτό, Θερμοκρασία Κώνου: 772 °C .....	44
Πίνακας 9: Αποτελέσματα διαδικασίας εργαστηριακής ξήρανσης για φρέσκο ελαιοπολτό, Θερμοκρασία Κώνου: 550°C .....	44
Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός Πίνακας Δοκιμών ανά Υλικό .....	50
Πίνακας 11: Αποτελέσματα δοκιμών θερμιδόμετρου οβίδας .....	51

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση κατέχει το 75% του παγκόσμιου ποσοστού ελαιόλαδου. Η μεγαλύτερη ευρωπαϊκή παραγωγή λαμβάνει χώρα στη λεκάνη της Μεσογείου και τις τρεις πρώτες θέσεις καταλαμβάνουν Ισπανία, Ιταλία και Ελλάδα [1]. Όμως, όπως κάθε βιομηχανία γεωργικών τροφίμων παράγονται τεράστιες ποσότητες οργανικών αποβλήτων ως υποπροϊόντα. Η διαχείριση αυτών των υπολειμμάτων είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση του περιβάλλοντος και την αξιοποίηση αυτών των υποπροϊόντων [2].

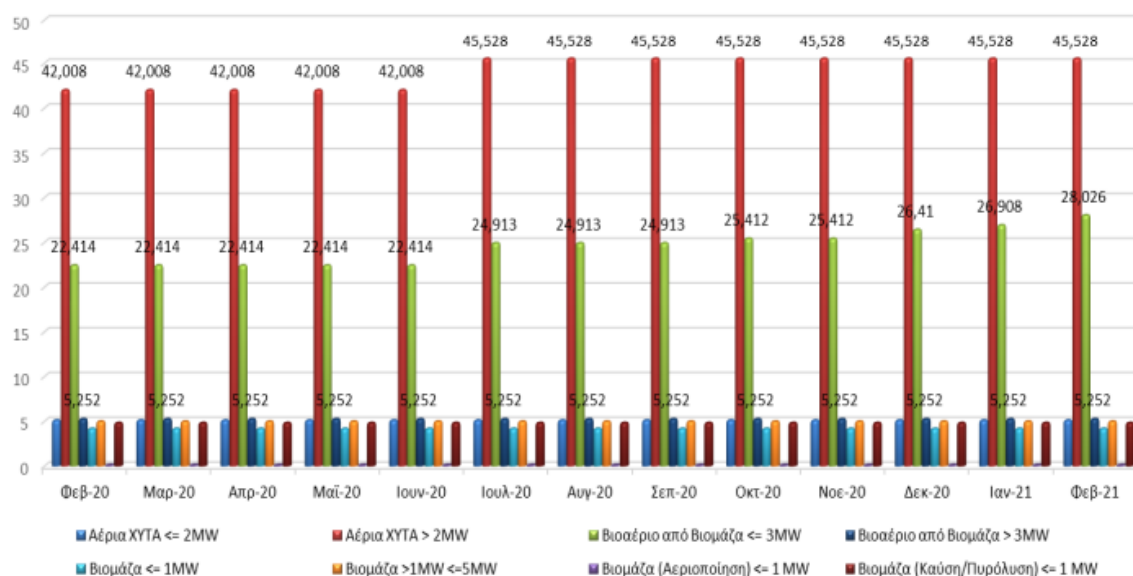
Κατά την επεξεργασία του ελαιοκάρπου και την εξαγωγή του ελαιόλαδου παράγονται δύο βασικά απόβλητα που είναι τα υγρά απόβλητα, καλούμενα και κατσίγαρος και τα στερεά απόβλητα που είναι ο ελαιοπυρήνας. Σημαντικό ρόλο στην παραγωγή των υπολειμμάτων παίζει η μέθοδος επεξεργασίας του ελαιολάδου που μπορεί να είναι παραδοσιακή, τριών φάσεων και δύο φάσεων. Ωστόσο, η συντριπτική πλειοψηφία των ελαιοτριβείων χρησιμοποιούν την μέθοδο της φυγοκέντρισης (δύο φάσεων και τριών φάσεων). Τα στερεά απόβλητα που παράγονται είναι μεταξύ των 330 έως 800 kg/tn καρπού ενώ τα υγρά κυμαίνονται από 250 έως 600 kg/tn καρπού [3].

Αναλύοντας περεταίρω τα υποπροϊόντα παρατηρείται ότι ο ελαιοπυρήνας είναι μείγμα πυρηνελαίου (~ 5%), πυρηνόξυλο (~ 45%) και νερού (~ 50%). Ακόμα, το απόβλητο του ελαιοπυρήνα περιέχει οργανικό και ανόργανο περιεχόμενο με συνέπεια τη μη άρτια διαχείριση του να δημιουργήσει σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η πιο διαδεδομένη χρησιμοποιούμενη μέθοδος επεξεργασίας υγρού ελαιοπυρήνα είναι η ξήρανση του, η οποία πραγματοποιείται σε ειδικές μονάδες όπου και πραγματοποιείται η απόσταξη του πυρηνελαίου. Η διαδικασία αυτή κάνει χρήση εξανίου ( $C_6H_{14}$ ), το οποίο «ξεπλένει» το υπολειπόμενο λάδι από τον ελαιοπυρήνα. Στην συνέχεια το μείγμα λαδιού και εξανίου προωθείται σε κατάλληλες δεξαμενές όπου πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του και ακολουθεί η αποθήκευση του.

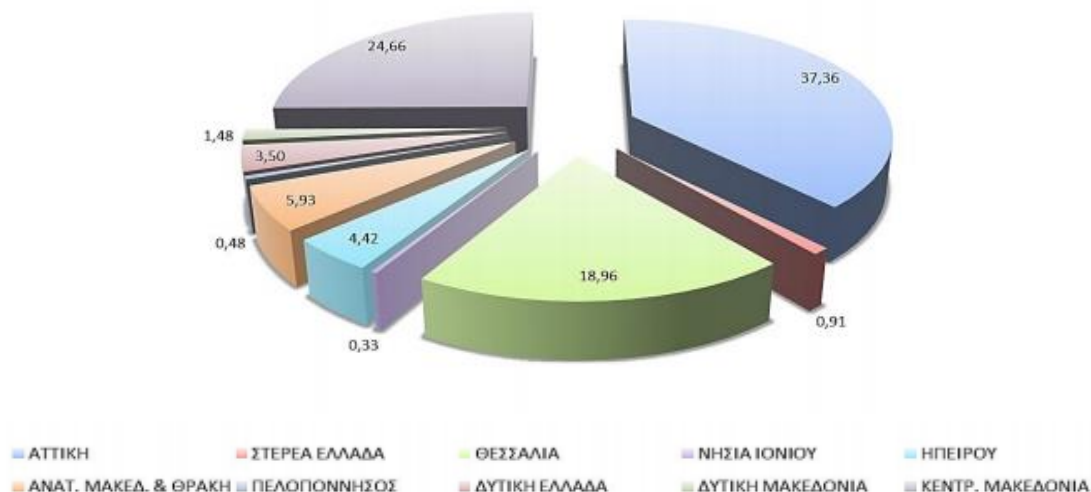
Το προϊόν που απομένει από τον πυρήνα είναι το πυρηνόξυλο το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη και κατατάσσεται στα βιοκαύσιμα. Το πυρηνόξυλο παρουσιάζει θερμοαντική ικανότητα η οποία προσδιορίζεται στο 1/3 της θερμοαντικής ικανότητας του πετρελαίου θέρμανσης. Σημειώνεται ότι το παραγόμενο πυρηνόξυλο χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη είτε για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων των πυρηνελαιουργιών, είτε συσκευάζεται και πωλείται [4].

Εδώ και δεκαετίες η βιομάζα χρησιμοποιείται με στόχο την μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Σύμφωνα με τα δεδομένα που δίνονται από το συνοπτικό δελτίο ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ της εταιρίας «Διαχειριστής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ ΑΕ)» η χρήση της βιομάζας στην Ελλάδα απεικονίζεται στο Σχήμα 1 όπου δίνεται η εγκατεστημένη ισχύς έως και τον Φεβρουάριο του 2021 και στο Σχήμα 2 όπου δίνεται η γεωγραφική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύς .

02\_2021 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ & ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (MW) ΒΙΟΜΑΖΑ-ΒΙΟΑΕΡΙΟ (Άρθρο 9 Ν.3468/2006)



Σχήμα 1: Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύς βιομάζας – βιοαερίου [39]



Σχήμα 2: Γεωγραφική κατανομή εγκατεστημένης ισχύς βιομάζας – βιοαερίου [39]

Σύμφωνα με τα ανωτέρω η παραγωγή ηλεκτρική ενέργεια από βιομάζα - βιοαέριο από διασυνδεδεμένα συστήματα για τον Ιανουάριο του 2021, η παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται στις 40.868 MWh, η εγκατεστημένη ισχύς στα 96,91 MW και ο συντελεστής φόρτισης στο 56,68% ενώ για τον μήνα Φεβρουάριο του ίδιου έτους η παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται στις 34.942 MWh, η εγκατεστημένη ισχύς στα 98,02 MW και ο συντελεστής φόρτισης στο 53,04% αντίστοιχα.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των θερμιδικών ιδιοτήτων ενός σημαντικού τύπου βιομάζας, ο οποίος χρησιμοποιείται ως καύσιμο στη

παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παραπροϊόν του πρωτογεννούς τομέα στην Ελλάδα.

Αναλυτικότερα η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη:

Στο πρώτο Κεφάλαιο δίνονται βασικά στοιχεία για την βιομάζα. Αρχικά πραγματοποιείται μια σύντομη αναφορά για της ΑΠΕ δίνοντας πληροφορίες για την πηγή, το φορέα και την μορφή που έχει κάθε ανανεώσιμη ενέργεια. Ακολουθεί ο ορισμός της βιομάζας, οι κατηγορίες που διαχωρίζεται, οι τρόποι αξιοποίησης της καθώς και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται κατά την χρήση της. Επιπλέον, δίνεται έμφαση στο ρόλο της βιομάζας στο ενεργειακό ισοζύγιο σε Ευρωπαϊκό και Εγχώριο επίπεδο.

Στο Δεύτερο Κεφάλαιο αναλύεται ο ελαιοπυρήνας, όπου υλοποιείται μια εισαγωγή των μεθόδων επεξεργασίας του ελαιοκάρπου δίνοντας έμφαση στις μεθόδους φυγοκέντρισης όπου και χρησιμοποιούνται στις μέρες μας. Στην συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή των μεθόδων επεξεργασίας του ελαιοπυρήνα που έχει προκύψει είτε από τριφασική, είτε από διφασική διεργασία. Τέλος αναλύονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες του ελαιοπυρήνα που προκύπτουν και από τις δύο προαναφερόμενες διεργασίες.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται η πειραματική διαδικασία για το ελαιοπυρήνα. Αρχικά δίνονται βασικές πληροφορίες για το θερμοιδόμετρο κώνου και την λειτουργία του και ακολουθεί ο πειραματικός προσδιορισμός του ξηρού ελαιοπυρήνα ως προς την αντίδραση του στην φωτιά και αναλύεται η εργαστηριακή ξήρανση του. Στην συνέχεια περιγράφεται το θερμοιδόμετρο οβίδας, όπου και σε αυτή την περίπτωση δίνονται βασικά στοιχεία του και ακολουθεί ο ανάλυση και η περιγραφή των δοκιμών.

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας. Αρχικά δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το θερμοιδόμετρο κώνου από την εργαστηριακή ξήρανση του υγρού ελαιοπυρήνα και στη συνέχεια τα αποτελέσματα των επιδόσεων του ξηρού ελαιοπυρήνα ως προς την αντίδραση της φωτιάς. Έπειτα αναλύονται τα αποτελέσματα από το θερμοιδόμετρο της οβίδας όπου προέκυψαν τα αποτελέσματα για την θερμογόνο δύναμη των ελαιοπυρήνων.

Τέλος, συντάσσονται τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας που αφορούν την πειραματική διερεύνηση των θερμοιδικών ιδιοτήτων του ελαιοπυρήνα καθώς και την μελέτη της αντίδρασής του στη φωτιά.

# 1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

## 1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με το πέρασμα των χρόνων η ανάγκη για χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) γίνεται ολοένα μεγαλύτερη, διότι είναι ενέργειες που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον και παρουσιάζουν ελάχιστες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι ΑΠΕ συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας, ενός οργανισμού ή ενός απομονωμένου συστήματος [5]. Στην συνέχεια παρατίθεται ο Πίνακας 1 όπου καταγράφονται βασικότερες πηγές ενέργειας.

Πίνακας 1: Πηγές – Μορφές ενέργειας [5].

Πηγή	Φορέας	Μορφή
Ήλιος	Ηλιακή ακτινοβολία	Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
Θερμό εσωτερικό Γης	Έδαφος – Υπόγεια ύδατα	Θερμική
Έλξη ουράνιων σωμάτων	Επιφανειακά ύδατα της Γης	Δυναμική
Άνεμος	Κινούμενες αέριες μάζες	Κινητική
Κατακρημνίσεις ύδατος	Κινούμενο νερό	Δυναμική – Κινητική
Βιομάζα	Οργανική ύλη	Χημική
Αποθέματα ορυκτών καυσίμων	Άνθρακες Υδρογονάνθρακες	Χημική
Πυρηνικά ορυκτά	Ακτινοβολία σωματιδίων	Κινητική

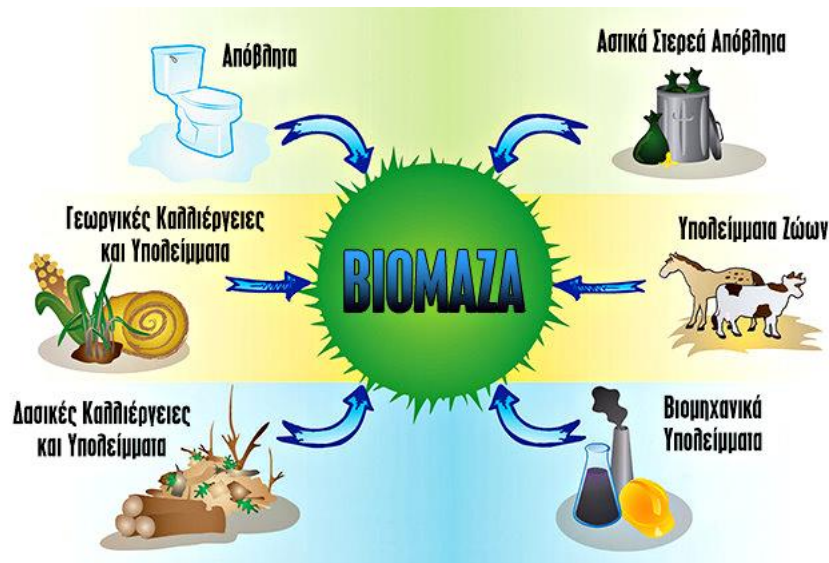
Ωστόσο, στην παρούσα εργασία δίνεται έμφαση στη βιομάζα, όπου είναι η αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων που προέρχεται από υλικά φυσικής και ζωικής προέλευσης. Το ενεργειακό τους περιεχόμενο οφείλεται στη φωτοσύνθεση των φυτικών οργανισμών χερσαίας και υδρόβιας προέλευσης [5]. Στην ουσία η φωτοσύνθεση είναι η διεργασία όπου τα φυτά μπορούν να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Σημειώνεται ότι με τα μέχρι σήμερα δεδομένα η αποθηκευτική δυναμικότητα ενέργειας φωτοσύνθεσης της βιομάζας αποτελεί μεγάλο μέρος της παγκόσμιας ετήσιας χρήσης ενέργειας. Αναφέρεται ότι η βιομάζα θα είναι μια μορφή ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο ποσοστό σε πλήθος ενεργειακών συστημάτων [6].

Στην συνέχεια του Κεφαλαίου θα δοθεί ο ορισμός της βιομάζας, τα πλεονεκτήματα που παρέχει η χρήσης της, καθώς επίσης θα αναφερθούν και οι σύγχρονες εφαρμογές βιοενέργειας. Επιπλέον, θα αναλυθεί η διείδυση της βιομάζας στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο.

## 1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Σύμφωνα με το Άρθρο 2 Οδηγίας 2009/28/EK και Άρθρο 2 Οδηγίας 98/70/EK όπως τροποποιήθηκε από το Άρθρο 1 περ. 2 της Οδηγίας 2009/30/EK, βιομάζα ορίζεται «το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων (residues) βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τους συναφείς κλάδους βιομηχανικών δραστηριοτήτων (related industries),

συμπεριλαμβανομένης της αλείας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών αποβλήτων και των οικιακών απορριμμάτων» [7].



Εικόνα 1: Βιομάζα [8].

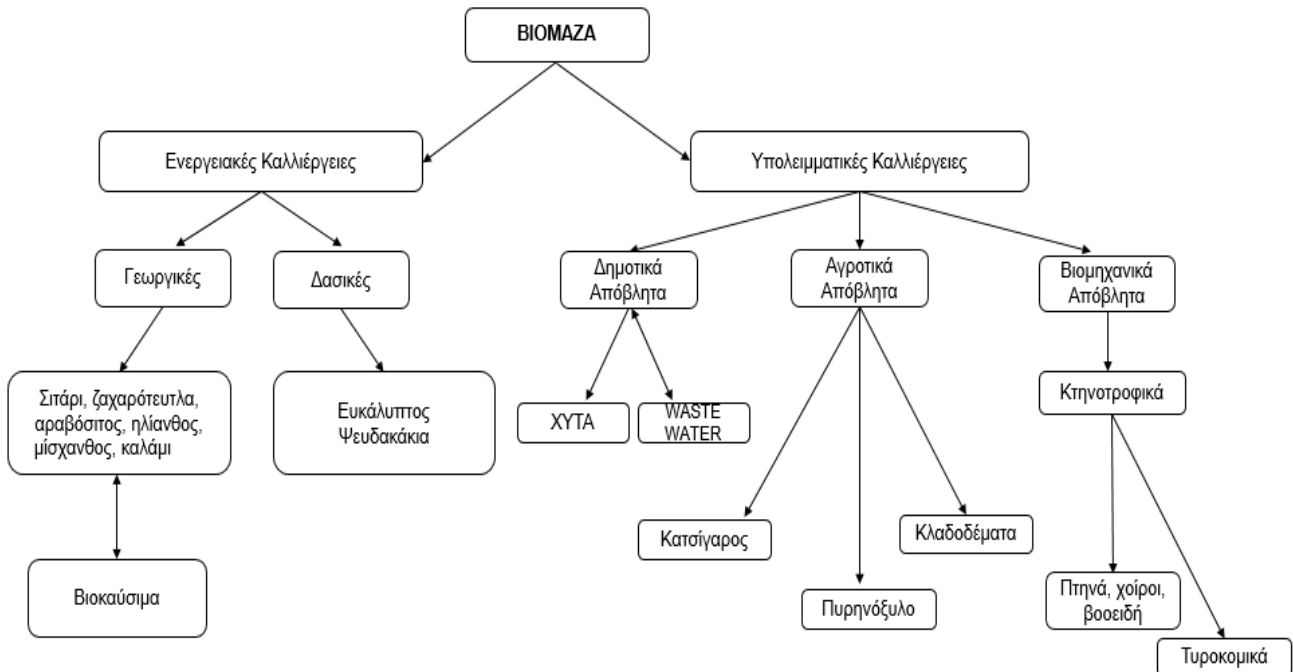
Όπως προαναφέρθηκε η βιομάζα είναι μια εξαιρετική πηγή ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον, η οποία κατατάσσεται στις ανανεώσιμες πηγές με την έννοια ότι μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναδημιουργείται [6]. Ωστόσο λόγω των πολυάριθμων τεχνικών χρήσης χρησιμοποιούνται και επιπρόσθετοι όροι όπως [6 -7]:

- Βιοσχύς: αναφέρεται στα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή.
- Βιοκαύσιμα: τα υγρά ή αέρια καύσιμα κίνησης (for transport), τα οποία παράγονται από βιομάζα.

Η μορφή της βιομάζας είναι στερεή και με κατάλληλη επεξεργασία δίνεται η δυνατότητα διαχείρισης της με στόχο τον διαχωρισμό της και τη δημιουργία των παραγωγών της.

### 1.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η κατηγοριοποίηση των τύπων της βιομάζας διακρίνεται στο Σχήμα 3, ο οποίος έχει πραγματοποιηθεί σύμφωνα με την προέλευση της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται.



Σχήμα 3: Κατηγοριοποίηση βιομάζας σύμφωνα με προέλευσή [6].

### 1.4. ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

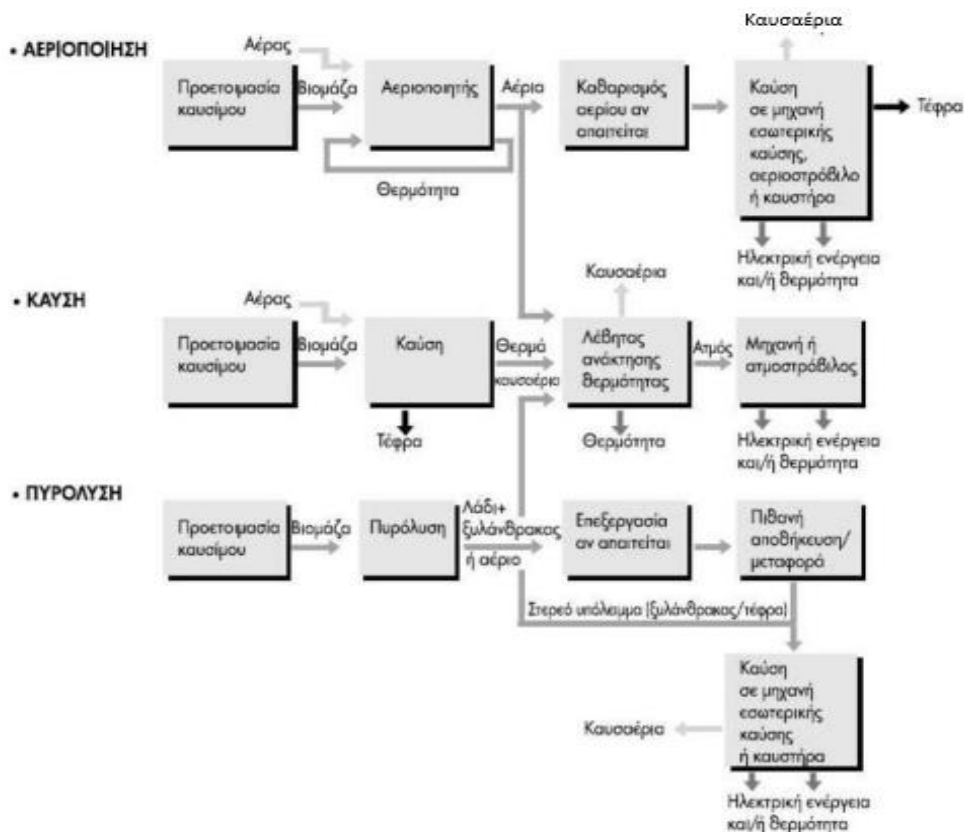
Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί με ποικίλους τρόπους, όπου βασικές τεχνολογικές εφαρμογές που χρησιμοποιείται είναι οι ακόλουθες [6], [11], [14]:

- Καύση: είναι ο συνηθέστερος τρόπος μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια είτε θερμική, είτε ηλεκτρική. Συγκρινόμενη με τις άλλες θερμοχημικές διεργασίες (αεριοποίηση και πυρόλυση) είναι η απλούστερη και η πιο διαδεδομένη. Η επιλογή της εστίας καύσης ή του λέβητα στοχεύει στην καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της μάζας δίνοντας την μέγιστη ενέργεια. Για την καύση της στερεής βιομάζας απαιτείται κάποια σειρά διεργασιών, αρχικά γίνεται η εξάτμιση της υγρασίας από το καύσιμο (ξήρανση), ακολουθεί η είσοδος του καυσίμου στο θάλαμο καύσης, όπου γίνεται άμεσα η θέρμανση του λόγω της ακτινοβολίας των τοιχωμάτων και της συναγωγής από τα θερμά αέρια που υπάρχουν στο θάλαμο. Ωστόσο, το καύσιμο αποτελείται από πτητικά συστατικά τα οποία κατά την θέρμανση απομακρύνονται και αναφλέγονται με συνέπεια να παραμένει ο καθαρός άνθρακας όπου και καίγεται. Η διάρκεια καύσης εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα του καυσίμου και το μέγεθος των σωματιδίων που το



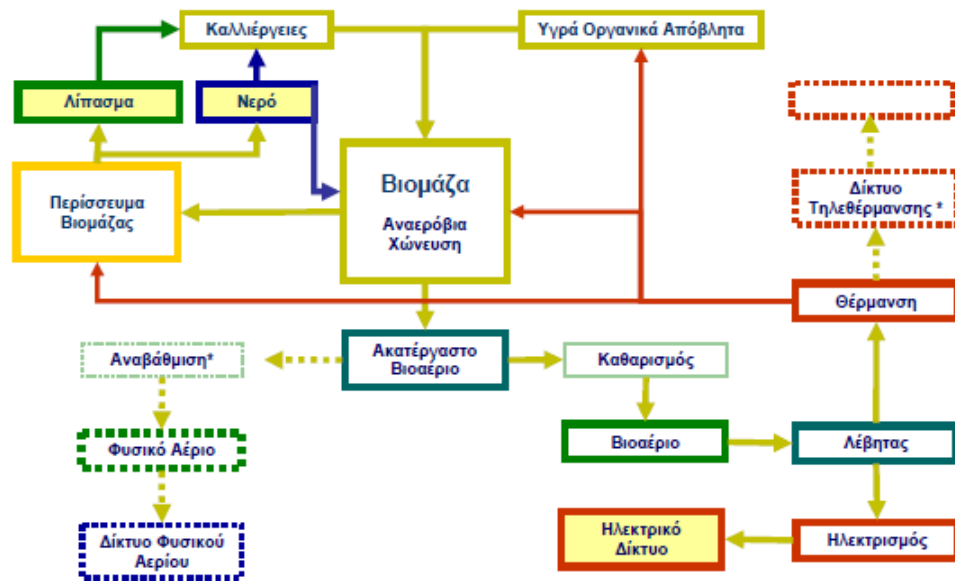
αποτελούν. Σημαντικός παράγοντας για την πλήρη καύση είναι η ροή του αέρα, η οποία θα πρέπει να είναι ελεγχόμενη, διότι μικρή ποσότητα οξυγόνου οδηγεί σε ατελή καύση και παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα ενώ η περίσσεια αέρα είναι ενεργοβόρα αφού μεταφέρει θερμότητα στο ρεύμα καυσαερίων.

- **Πυρόλυση:** μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον δίνεται στη παραγωγή πυρολυτικών λαδιών τα οποία παρουσιάζουν υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο για τον ίδιο όγκο βιομάζας. Βασικό πλεονέκτημα αυτών των λαδιών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ως καύσιμα αλλά έχουν και κάποια μειονεκτήματα όπως είναι χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, υψηλό ιξώδες και αστάθεια κατά τη θέρμανσή τους. Η αποδόμηση της βιομάζας πραγματοποιείται απουσία αέρα, το οποίο παίζει το ρόλο του οξειδωτικού μέσου και η θερμοκρασία που επικρατεί κατά την διεργασία κυμαίνεται από 500 °C - 800 °C. Ταυτόχρονα παράγονται αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, οι σχετικές αναλογίες των οποίων, εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, το χρόνο παραμονής, το είδος της πρώτης ύλης βιομάζας και τη χρήση καταλυτών.
- **Αεριοποίηση:** είναι μια ενδόθερμη θερμική διαδικασία, όπου η στερεή βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο, το οποίο αποτελεί μείγμα πλήθος καυσίμων (αερίων και μη). Το παραγόμενο αέριο καύσιμο καλείται αέριο σύνθεσης. Σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των καυσίμων είναι ότι στη περίπτωση που αντί για αέρα χρησιμοποιείται οξυγόνο, η θερμογόνος δύναμη του αερίου καυσίμου μπορεί να τετραπλασιαστεί. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση από τις ανωτέρω το αέριο καύσιμο παρουσιάζει θερμογόνο δύναμη ικανή να παράξει θερμότητα και ηλεκτρισμό.



Σχήμα 4: Αξιοποίηση βιομάζας με αεριοποίηση, καύση και πυρόλυση [14]

- Αναερόβια χώνευση: σε αυτή την μέθοδο πραγματοποιείται η αποσύνδεση της οργανικής ύλης από ένα μείγμα μικροοργανισμών (βακτήρια) με στόχο την παραγωγή αερίου καυσίμου πλούσιο σε μεθάνιο.

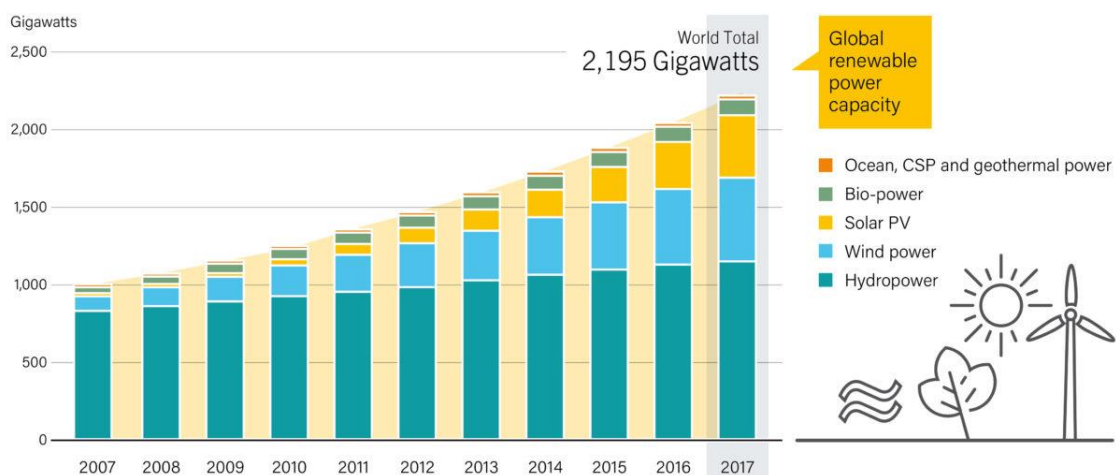


Σχήμα 5: Αξιοποίηση βιομάζας με αναερόβια χώνευση[14]

## 1.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η βιομάζα είναι ένας από τους βασικότερους ενεργειακούς πόρους παγκοσμίως και κατέχει την τέταρτη θέση (Σχήμα 6). Ωστόσο, η βιομάζα συμμετέχει σε ποσοστό 2% στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ευρώπης και είναι αξιόλογο ότι στην Αυστρία, Φιλανδία και Σουηδία κατέχει σημαντική θέση στην κατάταξη και χρήση των ενεργειακών πόρων.

Global Renewable Power Capacity, 2007-2017



Σχήμα 6: Παγκόσμιες εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2017 [9]

Η βιομάζα είναι μια ενέργεια αποθηκεύσιμη και όχι κυμαινόμενη, δηλαδή στην περίπτωση της εγχώριας παραγωγής δεν παρουσιάζονται διακυμάνσεις κόστους και αβεβαιότητας όπως τα ορυκτά καύσιμα. Στην συνέχεια δίνονται τα βασικά πλεονεκτήματα που καθιστούν την βιομάζα ελκυστική πηγή ενέργειας [10]:

- Η βιομάζα μπορεί να αντικαταστήσει τα συμβατικά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και ατμού.
- Η βιομάζα παρουσιάζει μεγάλη διαθεσιμότητα αφού μπορεί να παράγεται διαρκώς ως ανανεώσιμος πόρος.
- Η βιομάζα ως επί το πλείστον είναι εγχώρια πηγή ενέργειας με συνέπεια να μην παρουσιάζεται διακύμανση τιμής (όπως διακρίνεται στο φυσικό αέριο και πετρέλαιο) και η αξιοποίηση της συμβάλει σημαντικά στην μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα.
- Η παραγωγή βιομάζας βελτιώνει το εμπορικό ισοζύγιο μιας χώρας και εξασφαλίζει σημαντικό μέρος κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας συμβάλλει στην ανάπτυξη τόσο σε οικονομικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο μια χώρας. Παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την συνθήκη είναι η χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών και αγορών καθώς και η συγκράτηση του πληθυσμού στις αγροτικές περιοχές.
- Η περιβαλλοντική επιβάρυνση των ενεργειακών φυτειών είναι μικρότερη συγκρινόμενη με αυτή των τροφίμων που αφαιρούν τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους.
- Οι αναπτυσσόμενες καλλιέργειες βιομάζας παράγουν οξυγόνο και καταναλώνουν – χρησιμοποιούν διοξείδιο του άνθρακα
- Η αξιοποίηση των αποβλήτων και των απορριμμάτων μειώνει την περιβαλλοντική επιβάρυνση αφού μειώνεται ο όγκος διάθεσης τους, έχοντας ως βασικό αντίκτυπο την μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης (εδάφους, υπόγειων υδάτων κ.ά.).
- Η βιομάζα κατατάσσεται στις ΑΠΕ και η χρήση της δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται κατά την καύση δεσμεύεται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.

Ωστόσο, από την σκοπιά της βιομάζας ως βιοκαύσιμο συγκεντρώνονται κάποια πλεονεκτήματα τα οποία είναι τα ακόλουθα [10]:

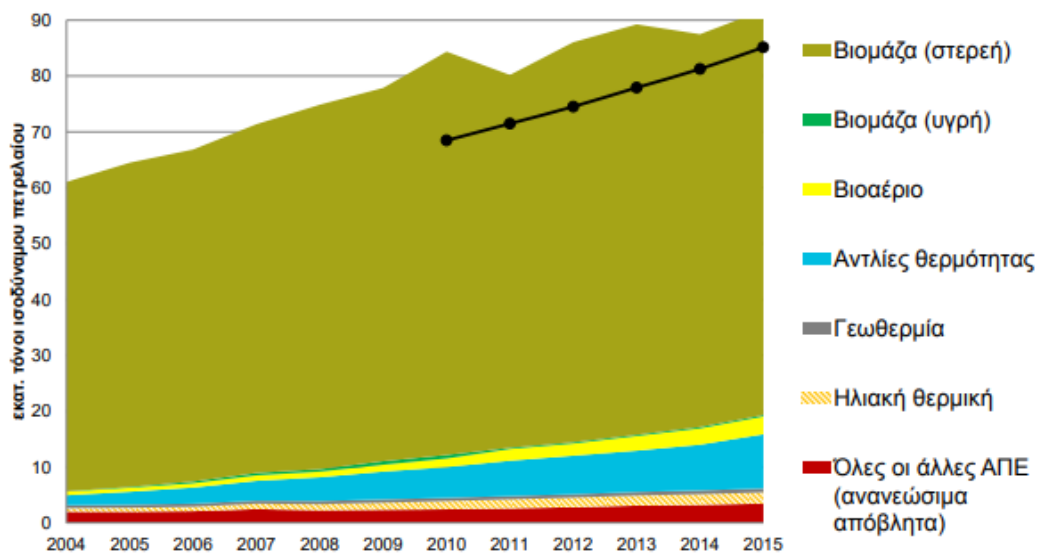
- Μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου: α) η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο στο διοξείδιο του άνθρακα, β) στα βιοκαύσιμα η ποσότητα θείου θεωρείται αμελητέα άρα δεν υπάρχει και εκπομπή διοξειδίου του θείου που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή και γ) μειώνονται αισθητά τα αιωρούμενα σωματίδια.

- Παραγόμενα βιοκαύσιμα από γεωργικά υπολείμματα οδηγούν στην παραγωγή δευτερευόντων προϊόντων και αυξάνοντας την προστιθέμενη αξία της εκάστοτε καλλιέργειας
- Εξασφάλιση των ενεργειακών αναγκών αφού υπάρχει τοπική παραγωγή.

## 1.6. ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

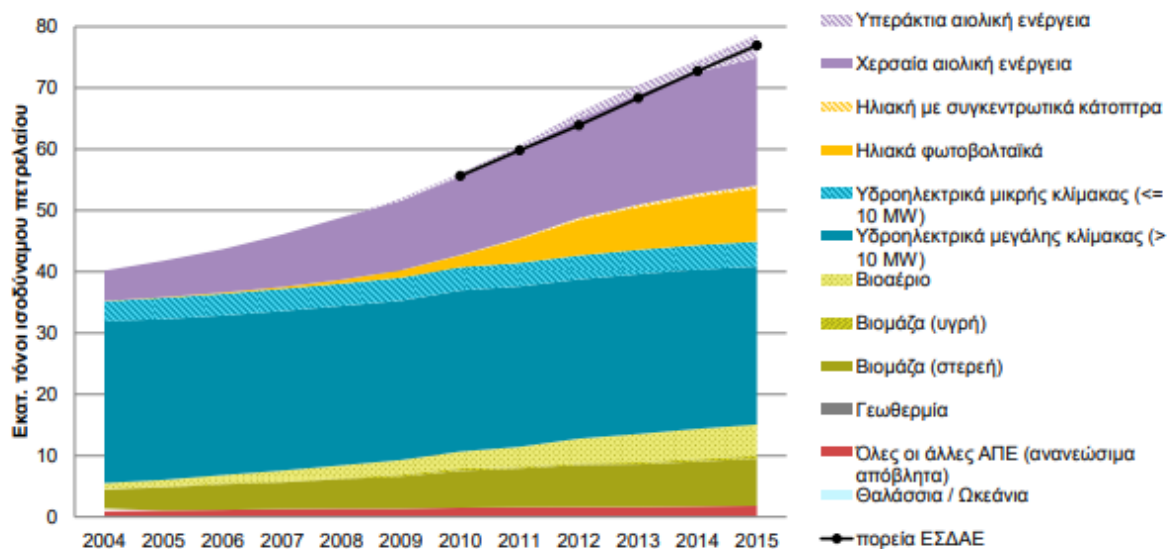
Η βιομάζα καλύπτει έως και το 1/3 των ενεργειακών αναγκών μιας χώρας. Όπως προαναφέρθηκε η βιομάζα που χρησιμοποιείται παγκοσμίως είναι μικρότερη από την δυναμική που παρουσιάζει στις περισσότερες περιοχές. Στην Ελλάδα, τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, η βιομάζα κατέχει το 3 έως 5% του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας [6], [11]. Ωστόσο, με στόχο μια πιο σφαιρική εικόνα για την χρήση της βιομάζας σε ευρωπαϊκό επίπεδο [12] διακρίνεται ότι η παραγωγή ενέργειας με την εκμετάλλευση της είναι αρκετά διαδεδομένη.

Οι ΑΠΕ χρησιμοποιούνται ευρύτατα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανση και ψύξη καθώς και στις μεταφορές. Ακολουθούν τα Διαγράμματα σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία που έχουν δοθεί από την Eurostat καταγράφοντας την κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ για τους προαναφερόμενους τομείς. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στην χρήση της βιομάζας όπου είναι η μορφή ενέργειας που μελετά η παρούσα πτυχιακή εργασία. Αρχικά στο Σχήμα 4 απεικονίζεται η ενέργεια που καταναλώνεται από ΑΠΕ για την κάλυψη των αναγκών της ΕΕ για θέρμανση και ψύξη και διακρίνεται ότι η στερεή βιομάζα κατέχει με διαφορά το μεγαλύτερο μερίδιο (82 %) στην παραγωγή θέρμανσης από τις άλλες μορφές ΑΠΕ (72 Mtoe).



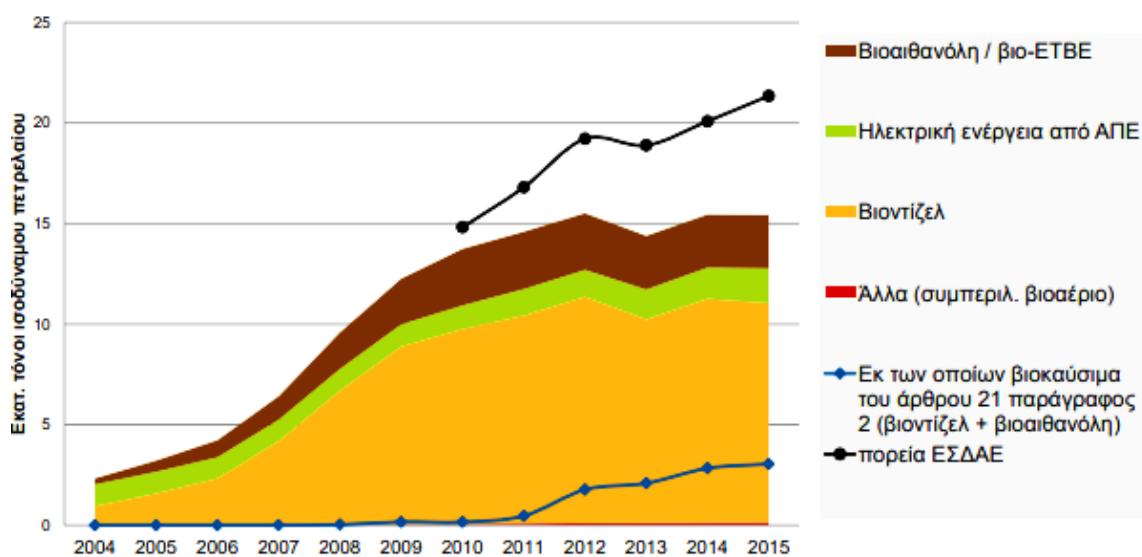
Σχήμα 7: Παραγωγή κεντρικής θέρμανσης και ψύξης από ανανεώσιμες πηγές στην ΕΕ-28 ανά πηγή [13]

Στην συνέχεια ακολουθεί το Σχήμα 8 όπου απεικονίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα σε επίπεδο ΕΕ-28 όπου διακρίνεται αύξηση από 9 Μtoe (2010) σε 13 Μtoe (2015).



Σχήμα 8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ΕΕ-28 ανά πηγή [13]

Οι μεταφορές είναι ο τομέας όπου δεν διακρίνεται τόσο μεγάλη εξέλιξη. Η ενέργεια από ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών προέρχεται από τα βιοκαύσιμα σε ποσοστό 88%. Το βιοντίζελ θεωρείται το βασικότερο βιοκαύσιμο που χρησιμοποιείται για τις μεταφορές στην ΕΕ, καθώς κάλυπτε ποσοστό 79 % της συνολικής χρήσης βιοκαυσίμων και ακολουθεί η βιοαιθανόλη όπου καλύπτει το ποσοστό 20 % των βιοκαυσίμων (Σχήμα 9) [13].

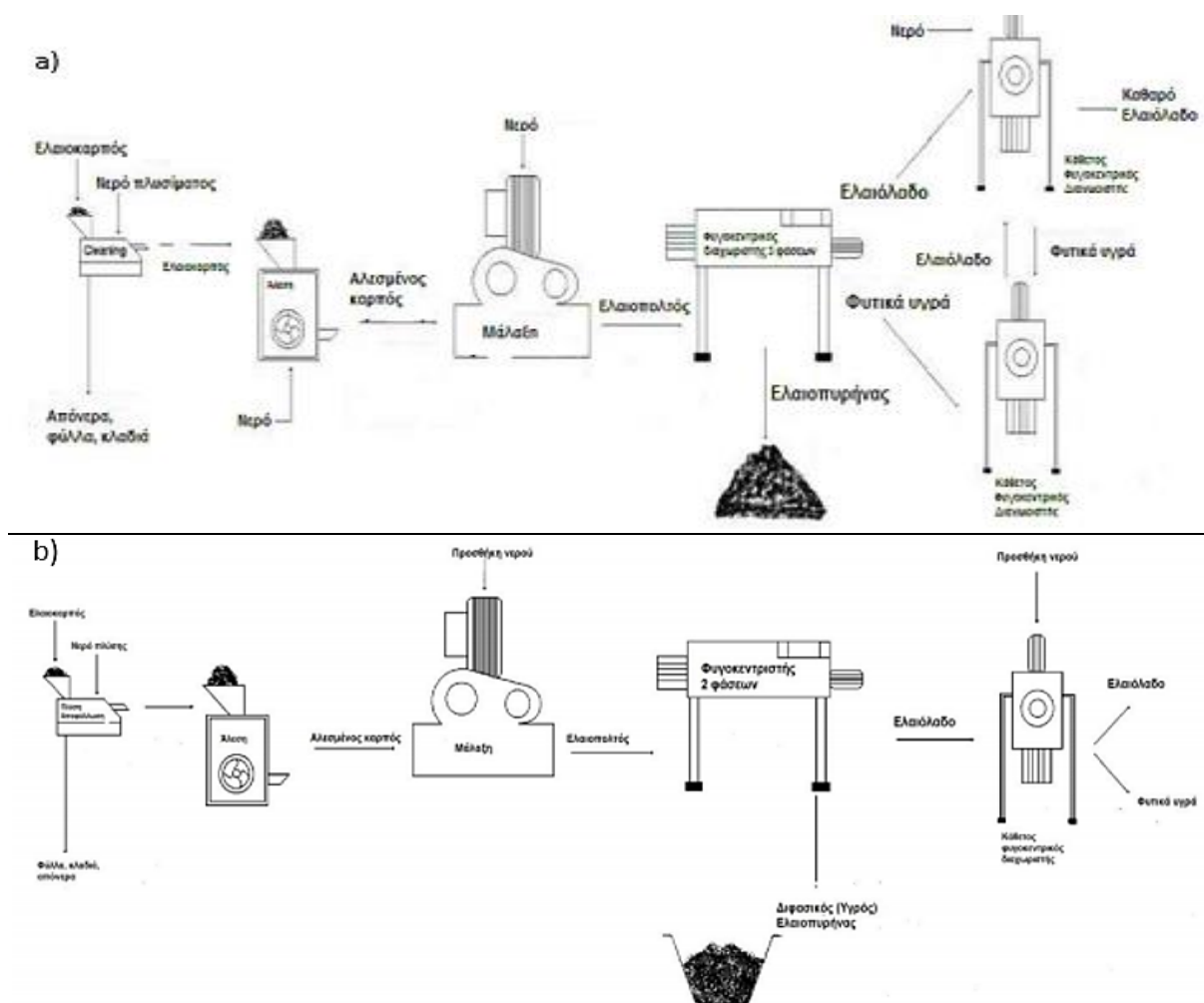


Σχήμα 9: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις μεταφορές στην ΕΕ-28 ανά πηγή [13]

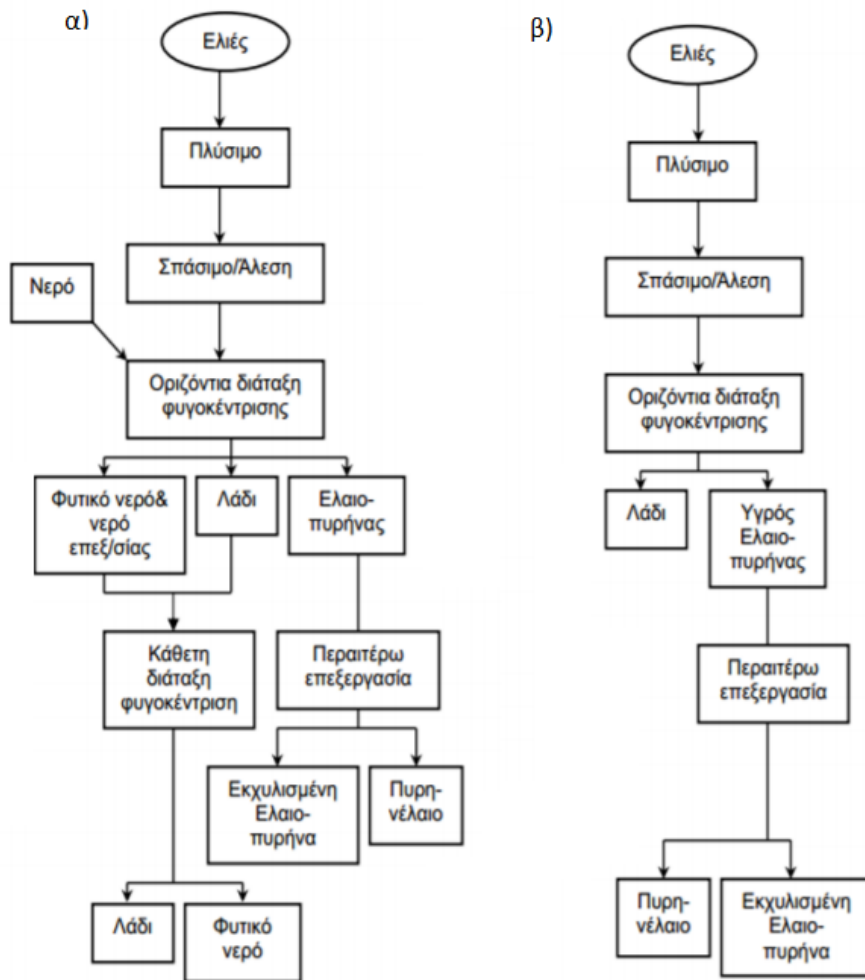
## 2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ

### 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

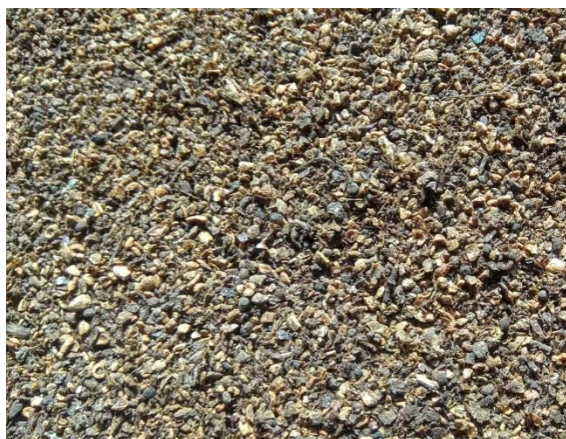
Κατά την επεξεργασία του ελαιοκάρπου παράγονται μεγάλες ποσότητες παραπροϊόντος που αποτελείται από την επιδερμίδα, την ψίχα (πούπλα) και τον πυρήνα της ελιάς. Ωστόσο ο πυρήνας της ελιάς (ελαιοπυρήνας) διαφοροποιείται ανάλογα με την επεξεργασία του ελαιοκάρπου και συγκεκριμένα αν πραγματοποιείται σε τριφασικό ελαιοτριβείο ο ελαιοπυρήνας είναι στεγνός με μικρή ποσότητα υγρασίας, ενώ αν η επεξεργασία πραγματοποιείται σε διφασικό ελαιοτριβείο ο ελαιοπυρήνας είναι υγρός. Σε κάθε περίπτωση επεξεργασίας, το παραπροϊόν που παράγεται έχει μικρή ποσότητα ελαίου, η οποία δεν μπορεί να διαχωριστεί από τα ελαιοτριβεία με συνέπεια να παραδίδεται στα πυρηνελευργεία με στόχο την απόληψη αυτού του ελαίου το οποίο καλείται πυρηνέλαιο.



Σχήμα 10: (α) Παράσταση φυγοκεντρικού συστήματος (α) τριών φάσεων και (β) δύο φάσεων [20]



Σχήμα 11: Διάγραμμα ροής (α) τριών φάσεων και (β) δύο φάσεων [21]



(α)



(β)

Εικόνα 2: Ελαιοπυρήνας (α) τριφασική επεξεργασία ελαιοκάρπου (ξηρός) (β) διφασικής επεξεργασία ελαιοκάρπου (υγρός) [22]

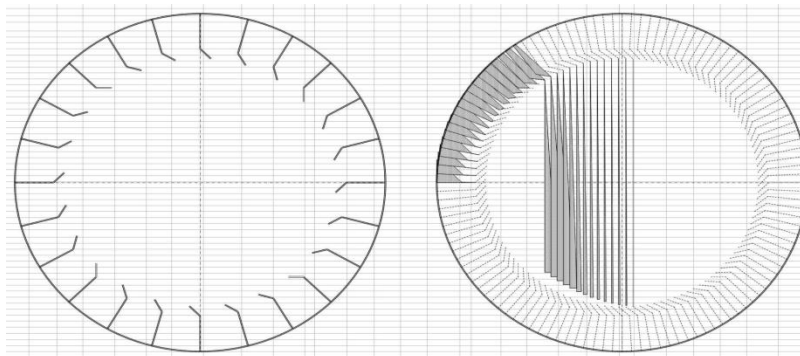
Η διαφορά της υγρασίας που παρουσιάζεται μεταξύ ελαιοπυρήνα τριφασικής και διφασικής επεξεργασίας έχει κάποιες προεκτάσεις σε πρακτικό επίπεδο. Ο ελαιοπυρήνας από τριφασική επεξεργασία θεωρείται καλύτερης ποιότητας και παρουσιάζει καλύτερη εμπορική αξία έναντι του υγρού ελαιοπυρήνα που η ποιότητα του υποβαθμίζεται λόγω της υδαρής υφής του. Ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις η μεταφορά του ελαιοπυρήνα από τα ελαιοτριβεία στα πυρηνελαιουργεία παίζει σημαντικό ρόλο για την μη υποβάθμιση του προϊόντος [15]. Επιπροσθέτως, η ποιότητα του προϊόντος εξαρτάται από τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό του εκάστοτε πυρηνελαιουργείου, καθώς απαιτεί συγκεκριμένες προδιαγραφές φύλαξης και αποθήκευσης πριν την επεξεργασία του.

Βασικό κόστος των πυρηνελαιουργείων είναι η ξήρανση του υγρού ελαιοπυρήνα, όπου απαιτεί τεράστιες ποσότητες ενέργειας συγκρινόμενο με τον ξηρό ελαιοπυρήνα. Σημειώνεται ότι πολλές φορές για να μειωθεί η υγρασία του υγρού ελαιοπυρήνα στο 50% γίνεται ανάμειξη με τον ξηρό με απώτερο στόχο η επεξεργασία του από τα πυρηνελαιουργεία να γίνεται πιο εύκολη. Η επεξεργασία διφασικού ελαιοπυρήνα είναι γενικά μια δύσκολη διαδικασία από τα πυρηνελαιουργεία διότι απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και κατάλληλες εγκαταστάσεις [18].

## 2.2. ΞΗΡΑΝΣΗ-ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΑ

Η ξήρανση είναι η διαδικασία όπου το πτητικό υγρό αφαιρείται από ένα στερεό με την διαδικασία της εξάτμισης. Τα στερεά μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες, α) μη υγροσκοπικά τριχοειδή – πορώδη υλικά όπως ο πυρήνας του καρπού της ελιάς και της άμμου, β) υγροσκοπικά πορώδη όπως άργιλος και ξύλο και γ) κολλοειδή όπως σαπούνι και κόλλα [38]. Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα η ξήρανση είναι μια από τις βασικότερες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα πυρηνελαιουργείο, αφού απαιτείται η ξήρανση του υγρού ελαιοπυρήνα με στόχο την χρησιμοποίησή του και εκμετάλλευση του ως βιοκαύσιμο.

Ωστόσο, η ξήρανση για να πραγματοποιηθεί σωστά απαιτεί και ανάλογες εγκαταστάσεις, οι οποίες θα κατασκευάσουν μετά από εκτενέστερη μελέτη. Αρχικά απαιτείται ο υπολογισμός του περιστρεφόμενου κλιβάνου ξήρανσης όπου περιλαμβάνει τον σχεδιασμό των φτερών ανάδευσης του υλικού, την ποσότητα υλικού που μπορεί να «φορτωθεί» το φτερό καθώς και της ποσότητας που «πέφτει» από αυτό, την θερμή επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το υλικό και τις γωνίες α) γωνία περιστροφής που αρχίζει η πτώση και β) γωνία που ολοκληρώνεται η πτώση του υλικού [4].

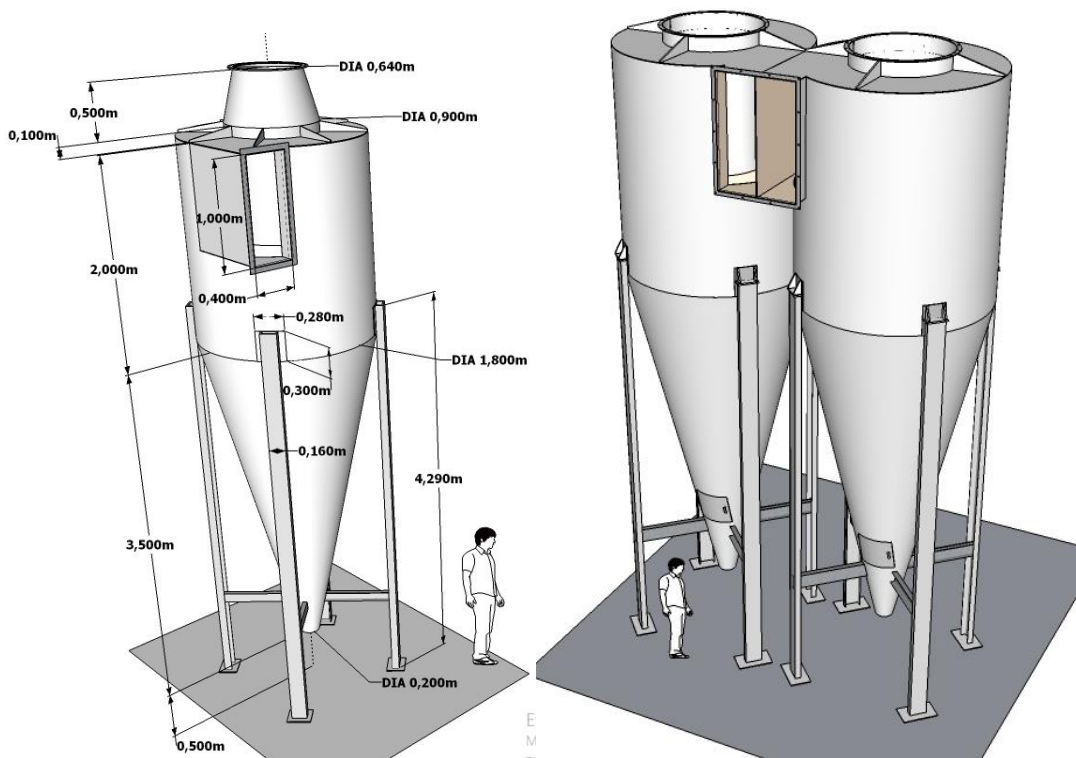


Σχήμα 12: Φτερά ανάδευσης του περιστρεφόμενου κλιβάνου του ξηραντήριου [4].



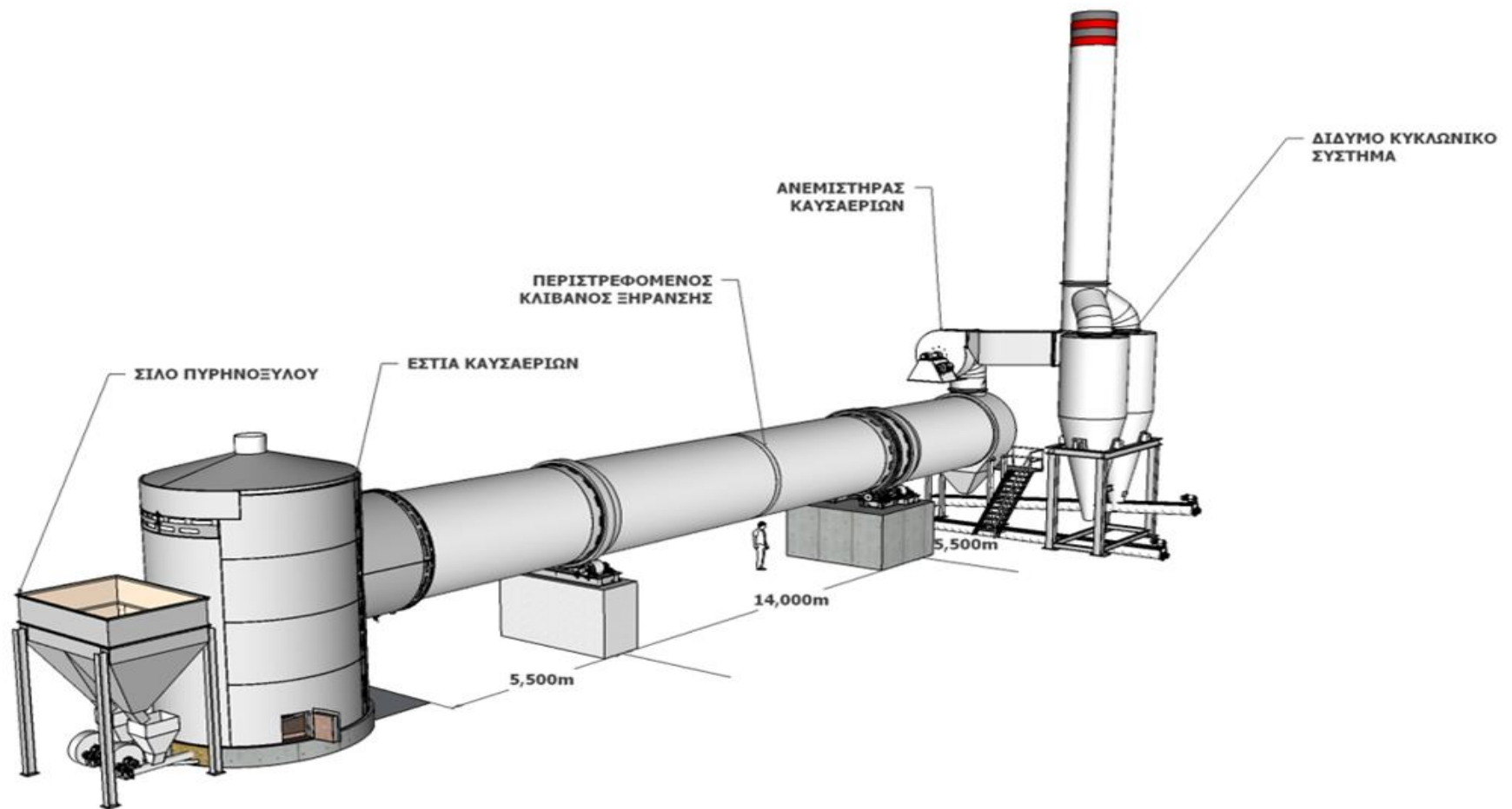
Επιπλέον, μέσα στο ξηραντήριο μελετώνται και οι τύποι μετάδοσης θερμότητας που είναι η επαφή συσσώρευσης χύδην υλικού με θερμή μεταλλική επιφάνεια, η διαρροή συσσώρευσης χύδην υλικού από θερμό ρεύμα αέρα και η περιρρέουσα σφαίρα σε θερμό ρεύμα αέρα. Ακόμα, γίνεται ο υπολογισμός και σχεδίαση της «κουρτίνας» πτώσης του υλικού κατά την περιστροφή του ξηραντηρίου για κάθε τύπο φτερού.

Επιπροσθέτως στους βασικούς υπολογισμούς συμπεριλαμβάνονται τα παρελκόμενα στοιχεία και παράμετροι όπου απαιτείται η διαθεσιμότητα της στοιχειακής ανάλυσης του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί για το υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου, του απαιτούμενου αέρα καύσης, της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου ανά ώρα, της ποσότητας και της σύστασης των παραγομένων καυσαερίων και του απαιτούμενου ανεμιστήρα αναρρόφησης απαερίων ξήρανσης (παροχή - πίεση). Στην συνέχεια εφόσον είναι διαθέσιμη η κοκκομετρία του υλικού που ξηραίνεται πραγματοποιείται ο υπολογισμός και τα κατασκευαστικά σχέδια του απαιτούμενου κυκλωνικού συστήματος (Σχήμα 13) [4].



Σχήμα 13: Κυκλωνικό Σύστημα [4]

Στη συνέχεια ακολουθεί το Σχήμα 14 όπου απεικονίζεται ένα ενδεικτικό ξηραντήριο πυρηνελαιουργείου.



Σχήμα 14: Ενδεικτικό ξηραντήριο πυρηνελαιουργείου [4]

## 2.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ

### 2.3.1. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ ΑΠΟ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Όπως προαναφέρθηκε ο ελαιοπυρήνας από την τριφασική διαδικασία επεξεργασίας του ελαιοκάρπου περιέχει ένα ποσοστό ελαίου της τάξης του 5%. Με την θερμική επεξεργασία πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του υγρού και του στερεού τμήματος του ελαιοπυρήνα και με την χρήση εξανίου γίνεται η εκχύλιση του πυρηνελαίου. Στην συνέχεια δίνεται αναλυτική περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας των πυρηνελαιουργιών που λαμβάνουν ελαιοπυρήνα από τριφασική επεξεργασία.

#### ➤ Παραλαβή – αποθήκευση ελαιοπυρήνα:

Μετά την επεξεργασία του ελαιοκάρπου από τριφασική διαδικασία το υποπροϊόν που παράγεται, ο ελαιοπυρήνας, μεταφέρεται με φορτηγά στα πυρηνελαιουργεία και τοποθετείται στους εξωτερικούς χώρους είτε πλήρως ανοικτούς, είτε με κάποιο στέγαστρο. Αυτό έχει ως επακόλουθο να αυξάνεται η υγρασία του υποπροϊόντος λόγω των καιρικών συνθηκών και αυτό έχει σαν συνέπεια την δημιουργία δυσάρεστων οσμών. Κάποια πυρηνελαιουργεία πραγματοποιούν τον διαχωρισμό του ελαιοπυρήνα σε ψίχα και ξυλάκι πριν υλοποιηθεί η ξήρανση διότι το ξυλάκι έχει πολύ μικρή περιεκτικότητα σε έλαιο. Ο διαχωρισμός αυτός αυξάνει την απόδοση της μονάδας αφού επεξεργάζεται προϊόν με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε έλαιο. Ωστόσο, τα περισσότερα πυρηνελαιουργεία πραγματοποιούν τον διαχωρισμό αμέσως μετά την ξήρανση με χρήση ρεύματος αέρα διαχωρίζοντας τα υλικά με την βοήθεια του βάρους τους [16], [24].



Εικόνα 3: Αποθήκευση ελαιοπυρήνα από τριφασική επεξεργασία σε εξωτερικούς χώρους πυρηνελαιουργείου [16]

### ➤ Ξήρανση

Η ξήρανση του ελαιοπυρήνα πραγματοποιείται σε θερμαινόμενους μεταλλικούς κυλίνδρους, όπου στο μπροστινό του τμήματος υπάρχει ένας θάλαμος καύσης εκ του οποίου εξέρχονται οι θερμαινόμενες μάζες που κυκλοφορούν στο εσωτερικό των μεταλλικών κυλίνδρων. Η θερμοκρασία των αερίων μπορεί να ξεπεράσει τους 400 °C και εξαρτάται άμεσα από την υγρασία του τελικού προϊόντος, η οποία θα πρέπει να κυμαίνεται περίπου στο 8%. Η ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία του θαλάμου καύσης προέρχεται από το τελικό παραγόμενο προϊόν το πυρηνόξυλο [24].



*Εικόνα 4: Ξηραντήριο πυρηνελαιουργείου*

Άξιο να τονισθεί είναι ότι στο τέλος του συστήματος ξήρανσης, δηλαδή στο τέλος του μεταλλικού κυλίνδρου υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα επεξεργασίας των αερίων και των ατμών που παράγονται από την καύση, που με τη δημιουργία και χρήση κυκλώνων απομακρύνει τα υπάρχοντα αιωρούμενα σωματίδια και καθιστά τον ατμό και τα αέρια της ξήρανσης κατάλληλα για εκπομπή στην ατμόσφαιρα. Σε αυτό το στάδιο της διαδικασίας της επεξεργασίας του ελαιοπυρήνα πραγματοποιείται μεγάλη εκπομπή υδρατμών όπου χαρακτηρίζονται από έντονη οσμή [24].

### ➤ Εκχύλιση ελαιοπυρήνα - απόληψη πυρηνελαίου

Αφού πραγματοποιηθεί η ξήρανση του ελαιοπυρήνα στην συνέχεια προωθείται στα εκχυλιστήρια όπου γίνεται η απόληψη του πυρηνελαίου. Σε αυτό το σημείο χρησιμοποιείται το εξάνιο ως διαλύτης, κάτι που κάνει την διαδικασία αρκετά επικίνδυνη και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω της ευφλεκτότητας του εξανίου. Από την διαδικασία της εκχύλισης λαμβάνεται ο εκχυλισμένος ελαιοπυρήνας (πυρηνόξυλο) και ένα μείγμα πυρηνελαίου και εξανίου (βενζινόλαδο ή μισέλα). Το μείγμα αυτό στην συνέχεια οδηγείται για απόσταξη και διαχωρισμό του πυρηνελαίου από το εξάνιο, όπου ως προϊόν κορυφής είναι οι ατμοί του εξανίου, ενώ στο κάτω μέρος του αποστακτήρα απομένει το καθαρό πυρηνέλαιο. Όσον αφορά τον εκχυλισμένο ελαιοπυρήνα δέχεται περαιτέρω επεξεργασία με στόχο την απομάκρυνση του εξανίου και την ταυτόχρονη ανάκτηση του [15], [24].



*Εικόνα 5: Εκχυλιστήρες διατεταγμένοι σε σειρά [22]*

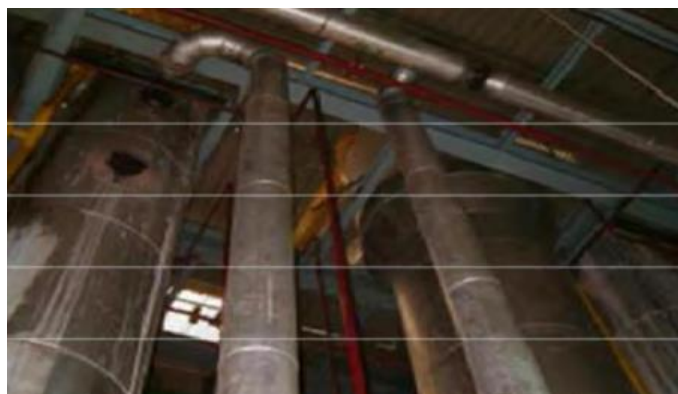
➤ *Απόσταξη και ανάκτηση εξανίου*

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία εκχύλισης, η μισέλα χρησιμοποιείται για την συγκράτηση των αιωρούμενων στερεών που περιέχει και προωθείται στους πύργους απόσταξης. Ωστόσο, πριν την διαδικασία της απόσταξης αφαιρούνται τα πτητικά οργανικά συστατικά της μισέλας γιατί σε υψηλές θερμοκρασίες προσδίδουν στο πυρηνέλαιο χαρακτηριστικά που υποβαθμίζουν την ποιότητά του. Η απόσταξη πραγματοποιείται με τη βοήθεια ατμού, όπου στο ανώτερο τμήμα συλλέγεται το προϊόν που αποτελείται από υδρατμούς και εξάνιο, ενώ το πυρηνέλαιο παραλαμβάνεται από τον πυθμένα του αποστακτήρα [22].

Στην συνέχεια το μείγμα ατμών νερού και εξανίου ψύχεται με στόχο την συμπύκνωση του και κατ' επέκταση την αποθήκευση του σε ειδικές δεξαμενές καθίζησης με σκοπό τον περαιτέρω διαχωρισμό του εξανίου από το νερό, όπου πραγματοποιείται λόγω της διαφορετικής τους πυκνότητας. Σημειώνεται ότι η συμπύκνωση του ατμού απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού με συνέπεια να απαιτείται να υπάρχει στον εξοπλισμό του πυρηνελαιουργείου πύργος ψύξης κλειστού τύπου [24].



*(α)*



*(β)*

*Εικόνα 6: (α) Καζάνι απόσταξης [22], (β) Αποστακτήρες [16]*

➤ Τελική επεξεργασία προϊόντων και αποθήκευση

Το πυρηνέλαιο ψύχεται και αποθηκεύεται σε δεξαμενές για να μεταφερθεί για περαιτέρω επεξεργασία στις εγκαταστάσεις εξευγενισμού του (ραφινάρισμα). Ωστόσο, ο εκχυλισμένος ελαιοπυρήνας περιέχει ακόμα κάποια ποσότητα εξανίου, η οποία ανακτάται μέσω θέρμανσης του μείγματος και εξάτμισης του εξανίου. Στη συνέχεια το εξάνιο που έχει εξατμιστεί απομακρύνεται με την ώθηση ατμού που το παρασύρει και ο εκχυλισμένος ελαιοπυρήνας οδηγείται στους χώρους αποθήκευσής ως τελικό προϊόν [16].



*Εικόνα 7: Δεξαμενές αποθήκευσης πυρηνελαίου [24]*

### **2.3.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ ΑΠΟ ΔΙΦΑΣΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

Ο ελαιοπυρήνας που προέρχεται από την διφασική διαδικασία επεξεργασίας ελαιοκάρπου, διαφέρει σημαντικά ως προς την περιεχόμενη υγρασία του συγκρινόμενου με τον ελαιοπυρήνα που προέρχεται από την τριφασική επεξεργασία. Αυτό συνεπάγεται ότι απαιτείται διαφορετικός εξοπλισμός καθώς και διαφορετική ακολουθία διεργασιών για τον διαχωρισμό των υποπροϊόντων και δίνοντας στο τέλος πυρηνέλαιο και πυρηνόζυλο. Στην συνέχεια ακολουθεί η αναλυτική διαδικασία επεξεργασίας του διφασικού ελαιοπυρήνα [16].

➤ Παραλαβή, μεταφορά και αποθήκευση

Ο διφασικός ελαιοπυρήνας μεταφέρεται από τα ελαιοτριβεία στα πυρηνελαιουργεία με ειδικά στεγανά φορτηγά και τοποθετείται σε ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές, που απαιτείται να έχουν καλή στεγάνωση λόγω της υψηλής υγρασίας που χαρακτηρίζει το προϊόν. Τονίζεται ότι πρέπει να ελέγχεται η δεξαμενή αποθήκευσης υγρού ελαιοπυρήνα με στόχο να αποφευχθούν διαρροές που μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση στην περιοχή [24].



*Εικόνα 8: Δεξαμενή αποθήκευσης ελαιοπυρήνα από διαφασική επεξεργασία*

➤ Εκτυρήνωση

Ο διαφασικός ελαιοπυρήνας με την χρήση αντλιών μεταφέρεται από την δεξαμενή αποθήκευσης στον φυγοκεντρικό διαχωριστήρα, τον εκτυρηνωτή, ο οποίος διαχωρίζει το πυρηνόξυλο από τον υπόλοιπο διαφασικό ελαιοπυρήνα. Ωστόσο, υπάρχουν πυρηνελαιουργεία που χρησιμοποιούν κόσκινα διαμέτρου 3mm και διαχωρίζουν το ξυλάκι το οποίο έχει μεγαλύτερο πάχος συγκρινόμενο με τον υπόλοιπο ελαιοπυρήνα [24].



*Εικόνα 9: Διαχωριστήρας διαφασικού ελαιοπυρήνα [22]*

➤ *Απόληψη ελαίου με φυγοκέντριση*

Ο εκπυρηνωμένος διφασικός ελαιοπυρήνας μαλάσσεται σε μαλακτήρες και οδηγείται σε φυγοκεντρικούς διαχωριστές όπου γίνεται απόληψη σε ποσοστό 40-60% του περιεχόμενου ελαιολάδου. Το ελαιολάδο αυτό καλείται *perasso* ή ελαιολάδο δεύτερης φυγοκέντρισης, το οποίο στη συνέχεια περνά από κάθετο φυγοκεντρικό διαχωριστή για τον τελικό καθαρισμό, δηλαδή την διαύγαση του, και ακολουθεί η αποθήκευση του με στόχο την προώθηση του στο εμπόριο [24].



*Εικόνα 10: Μαλακτήρας διφασικού ελαιοπυρήνα [22]*

➤ *Ξήρανση*

Το υπολειπόμενο προϊόν από την ανωτέρω διαδικασία προωθείται στο ξηραντήριο με σκοπό την μείωση της υγρασίας του. Σε αυτή την περίπτωση, το παραγόμενο προϊόν έχει υγρασία που κυμαίνεται από 15-17% αν και η επιβαλλόμενη υγρασία πρέπει να είναι περίπου 8%. Το ξηραντήριο είναι όμοιο με αυτό που επεξεργάζεται τον τριφασικό ελαιοπυρήνα, δηλαδή αποτελείται από έναν θερμαινόμενο μεταλλικό κύλινδρο στον οποίο διέρχονται θερμά αέρια που παράγονται στον θάλαμο καύσης. Τα αέρια αυτά μέσω συστήματος κυκλώνων καθαρίζονται από αιωρούμενα στερεά. Το παραγόμενο προϊόν μπορεί να διατεθεί στο εμπόριο ως πυρηνόξυλο ή να υποστεί εκ νέου διαδικασία εκχύλισης για απόληψη περεταίρω πυρηνελαίου το οποίο δε λαμβάνεται από τη φυγοκέντριση [16].





Τροφοδοσία νωπού ελαιοπυρήνα  
(εξωτερικά)



Τροφοδοσία νωπού ελαιοπυρήνα  
(εσωτερικά)



Κίνηση Ξηραντήρα



Ισομετρική όψη ξηραντήρα



Θάλαμος καύσης ξηραντήρα



Γραμμή μεταφοράς ξηρού ελαιοπυρήνα



Χώρος εναπόθεσης ξηρού  
ελαιοπυρήνα



Κυκλωνιστές

Εικόνα 11: Επιμέρους διατάξεις ξηραντηρίου [23]

## 2.4. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ

Σε αυτό το σημείο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αναλύονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία του ελαιοπυρήνα. Αρχικά δίνεται ο Πίνακας 2 όπου καταγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των παραπροϊόντων από τη τριφασική και διφασική φυγοκεντρική επεξεργασία του ελαιοκάρπου.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά παραπροϊόντων τριφασικής και διφασικής διαδικασίας [16]

Επεξεργασία παραγωγής του ελαιολάδου	3 Φάσεων	2 Φάσεων
Δυναμικότητα ανάκτησης (%)	85	86
<b>Στερεό υπόλειμμα</b>		
Ποσότητα (kg/100 kg καρπού)	50,7	72,5
Υγρασία (%)	50,7	57,5
Λάδι	3,16	3,16
Λάδι (% ανά ξηρό υλικό)	6,68	7,44
Λάδι (kg/100 kg καρπού)	1,60	2,28
Ξηρό στερεό υπόλειμμα(kg/100 kg καρπού)	23,9	30,7
<b>Υγρά απόβλητα</b>		
Ποσότητα (gr/lit)	97.2	8.3
Λάδι (gr/lit)	12.6	13.4
Λάδι (kg/100 kg καρπού)	1,20	0,14
Ξηρό στερεό υπόλειμμα (kg/100 kg καρπού)	8.30	1.20
Λάδι στα παραπροϊόντα (kg/100 kg καρπού)	2,80	2,42

Ωστόσο, το μεγαλύτερο πρόβλημα στα παραπροϊόντα που παράγονται από τα ελαιοτριβεία είναι σε αυτά που χρησιμοποιούν διφασική φυγοκέντριση. Στον Πίνακα 3 δίνονται τα χαρακτηριστικά του ελαιοπολτού διφασικής επεξεργασίας.

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά ελαιοπολτού διφασικής επεξεργασίας [16]

Μέγεθος	% κατά βάρος
Υγρασία	55-70
Λιγνίτης	13-15
Κυτταρίνη – ημικυτταρίνη	18-20
Πυρηνέλαιο	2-3
Ανόργανα στοιχεία	2,5
<b>Οργανικά στοιχεία</b>	
Σάκχαρα	3
Πτητικά λιπαρά οξέα	1
Πολυαλκοόλες	0,2
Πρωτεΐνες	1,5
Λίπη	3
Πολυφαινόλες	0,2
Χρωματικές ουσίες	0,5

Όπως έχει προαναφερθεί, ο τριφασικός ελαιοπυρήνας έχει μικρότερη ποσότητα υγρασίας έναντι του διφασικού ελαιοπυρήνα. Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση η επεξεργασία του ελαιοκάρπου σε τριφασικά ελαιοτριβεία δίνει ελαιοπυρήνα με ποσοστό υγρασία που κυμαίνεται από 45-55% [15 - 19]. Από ελαιοτριβεία τριφασικής διαδικασίας νέας γενιάς η Oliveoilproduction αναφέρει ότι ο ελαιοπυρήνας διαθέτει υγρασία από 35-45% [15], [18]. Γίνεται άμεσα διακριτό ότι το ποσοστό υγρασίας του παραγόμενου ελαιοπυρήνα από τριφασική επεξεργασία εξαρτάται άμεσα από τον εξοπλισμό που διαθέτει το εκάστοτε ελαιοτριβείο. Όσον αφορά τον υγρό ελαιοπυρήνα που προκύπτει από την διφασική επεξεργασία του ελαιοκάρπου δίνεται υψηλό ποσοστό υγρασίας, το οποίο κυμαίνεται από 55-75% [15 - 19]. Ομοίως και σε αυτή την περίπτωση ο εξοπλισμός του ελαιοτριβείου είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την υγρασία του παραπροϊόντος.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά πυρήνα ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής [16]

Επεξεργασία παραγωγής του ελαιολάδου	3 Φάσεων	2 Φάσεων
Υγρασία (%)	48.3	59.5
Περιεκτικότητα σε ελαιόλαδο (%)	3-7	2.5-4.65
Ποσοστό λιπών στο ξηρό δείγμα (%)	5.1	6.3
Ποσοστό λιπών στο υγρό δείγμα (%)	2.6	2.9
Κουκούτσια (%)	40	15
Θερμική αξία πυρηνόξυλου (Kcal/Kg)	2500-2800	3500

Από τον Πίνακα 4 διακρίνεται ότι ο ελαιοπυρήνας από επεξεργασία 3 φάσεων έχει ενδεικτικό ποσοστό υγρασίας 50% από την τριφασική επεξεργασία και 60% από την διφασική επεξεργασία [16]. Η παραδοσιακή μέθοδος επεξεργασίας ελαιοκάρπου δεν αναφέρεται στην παρούσα πτυχιακή εργασία διότι δεν χρησιμοποιείται στις μέρες μας. Στην συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 5 όπου συγκεντρώνονται τα χαρακτηριστικά των στερεών υπολειμμάτων.

Πίνακας 5: Σύσταση στερεού υπολείμματος ανάλογα με την μέθοδο επεξεργασίας [23]

Παράμετροι	Τριφασική επεξεργασία (%)	Διφασική επεξεργασία (%)
Υγρασία	3.89 ± 1.449	4.65 ± 1.736
Λίπη και έλαια	3.89 ± 1.449	4.65 ± 1.736
Πρωτεΐνες	3.43 ± 0.017	2.87 ± 0.014
Ολικά σάκχαρα	0.99 ± 0.012	0.83 ± 0.010
Κυτταρίνη	17.37 ± 0.203	14.54 ± 0.170
Ημικυτταρίνη	7.92 ± 0.438	6.63 ± 0.366
Στάχτη (Τέφρα)	1.70 ± 0.105	1.42 ± 0.088
Λιγνίνη	10.21 ± 0.209	8.54 ± 0.175
N Kjendahl	0.51 ± 0.007	0.43 ± 0.006
Φαινολικά συστατικά	0.326 ± 0.035	2.43 ± 0.15
Κάλιο σαν K <sub>2</sub> O	0.39 ± 0.033	0.32 ± 0.027
Ασβέστιο ως CaO	0.44 ± 0.043	0.37 ± 0.036
Ολικός άνθρακας	29.03 ± 2.317	25.37 ± 2.025
Λόγος C/N	57.17 ± 5.033	59.68 ± 5.254
Λόγος C/P	552.9 ± 48.20	577.2 ± 50.31

### 3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΔΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ

#### 3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πειραματικές μετρήσεις για το θερμιδικό χαρακτηρισμό του ελαιοπυρήνα, έγιναν με τη χρήση διατάξεων και θερμιδόμετρου κώνου (Cone Calorimeter) και θερμιδόμετρου οβίδας (Bomb Calorimeter). Πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία ξήρανσης μέσω της έκθεσης του υγρού ελαιοπυρήνα σε θερμική ακτινοβολία. Για την πληρέστερη προσέγγιση των συνθηκών λειτουργίας της μονάδας πυρηνελαιουργείου, χρησιμοποιήθηκε φρέσκος ελαιοπολτός αλλά και ελαιοπολτός ο οποίος είχε εκτεθεί σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες (υγρασία, θερμοκρασία), ώστε να προκύψει η αλλοίωση του (οργανική ζύμωση).

*Πίνακας 6: Μέθοδοι πειραματικού προσδιορισμού θερμικών και θερμιδικών ιδιοτήτων ελαιοπυρήνα*

Τύπος δοκιμής	Μέθοδος δοκιμής	Πειραματική διάταξη	Υλικό προς δοκιμή	Προσδιοριζόμενα μεγέθη
Εργαστηριακή Ξήρανση ελαιοπολτού	Έκθεση σε θερμική ακτινοβολία	Θερμιδόμετρο Κώνου	Φρέσκος/ Αλλοιωμένος ελαιοπολτός	Ρυθμός ξήρανσης
Μέτρηση Θερμογόνου Δύναμης	Θερμιδομετρία	Θερμιδόμετρο οβίδας	Φρέσκος/ Αλλοιωμένος ελαιοπολτός	Θερμογόνος Δύναμη
Αντίδραση υλικού σε φωτιά	Ελεγχόμενη εξαναγκασμένη καύση	Θερμιδόμετρο Κώνου	Ξηρός ελαιοπυρήνας Εμπορικός/ Εργαστηριακής ξήρανσης	Έκλυση Θερμότητας, Καπνού, CO/CO <sub>2</sub> , Ρυθμός απώλειας Μάζας, MAHRE

#### 3.2. ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ

Το 1980 εμφανίστηκε έντονο το ενδιαφέρον για την κατασκευή ενός αξιόπιστου μηχανικού εργαλείου όπου θα παρέχει την δυνατότητα μέτρησης του ρυθμού απελευθέρωσης της θερμότητας, μεταβλητή σημαντική για την περιγραφή της ευφλεκτότητας των υλικών. Η κατασκευή αυτή καλείται «θερμιδόμετρο κώνου» και μέχρι και την σημερινή της μορφή έχει περάσει από πλήθος ενεργειών βελτίωσης έχοντας όμως αναλλοίωτη την αρχή λειτουργίας του. Το όνομά του προέρχεται από το κωνικό σχήμα του θερμαντήρα ακτινοβολίας που παράγει μια

σχεδόν ομοιόμορφη ροή θερμότητας στην επιφάνεια του υπό μελέτη δείγματος. Τονίζεται ότι η βασική βελτίωση, που πραγματοποιήθηκε το 1982, είναι η εισαγωγή των συστημάτων που αφορούν τη μέτρηση καπνού και αιθάλης και διευκρινίζεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των βελτιώσεων αφορούν την ευχρηστία του συστήματος και όχι την βελτίωση της λειτουργίας του [26], [31].

Τα βασικά οφέλη που προσφέρει ένα θερμιδόμετρο κώνου είναι η δυνατότητα να πραγματοποιούνται δοκιμές είτε σε χαμηλά επίπεδα οξυγόνου, είτε καθαρού αζώτου με αποτέλεσμα να λαμβάνονται σημαντικές πληροφορίες για τα υλικά, τη μελέτη αναφλεξιμότητας υλικών για εφαρμογές στην αεροδιαστημική που μπορούν να πραγματοποιηθούν κάτω από επικίνδυνες συνθήκες καθώς και τη μελέτη φάσεων φωτιάς επηρεασμένης από ρεύματα αέρα δίνοντας την ποσοτικοποίηση της συμπεριφοράς της καύσης. Οι φυσικοχημικές και οι θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών επηρεάζουν άμεσα την διαδικασία ανάφλεξης και εξάπλωσης της φωτιάς. Το θερμιδόμετρο κώνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως είναι α) παροχή στοιχείων που απαιτούνται για την state-of-the-art φωτιά, β) παροχή δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της φωτιάς, με τη βοήθεια απλών τύπων ή συσχετίσεων και γ) για την κατάταξη των προϊόντων ανάλογα με τις επιδόσεις τους.

Με σκοπό την διεξαγωγή άρτιων πληροφοριών και δεδομένων των υλικών απαιτείται η επαναληπτική διαδικασία δοκιμών με απώτερο στόχο τη σύγκριση τους. Όμως και η διεξαγωγή πλήθος δεδομένων είναι βασικό πλεονέκτημα για την μελέτη των υλικών. Συγκεκριμένα με το θερμιδόμετρο κώνου τα δεδομένα που προκύπτουν είναι οι καμπύλες της απελευθέρωσης θερμότητας, καπνού, μονοξειδίου του άνθρακα(CO), διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και άλλων αερίων απόδοσης καθώς επίσης και την απώλεια μάζας.

Το θερμιδόμετρο κώνου είναι ένα σύστημα το οποίο παρουσιάζει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον αφού μπορεί να λάβει μέρος σε πλήθος εφαρμογών και με το πέρασμα των χρόνων αναμένεται να χρησιμοποιηθεί ακόμα περισσότερο. Πρόκειται για μια συσκευή η οποία έχει αποδείξει έμπρακτα την χρησιμότητα της τόσο στη βιομηχανία όσο και στις εργαστηριακές δοκιμές. Στις εφαρμογές που ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά το θερμιδόμετρο κώνου είναι [31]:

- Χρήση με στόχο την ανάπτυξη των υλικών και ιδιαίτερα των πολυμερών
- Έγκριση των οικοδομικών κωδίκων και άλλων εφαρμογών που απαιτείται η προσέγγιση του ρυθμού έκλυσης της θερμότητας.
- Αύξηση του αριθμού των τύπων του προϊόντος για το οποίο είναι διαθέσιμες συσχετίσεις ή αλγόριθμοι.
- Αυξημένο επιστημονικό ενδιαφέρον για τα δεδομένα του θερμιδόμετρου κώνου από μηχανικούς που διερευνούν την μοντελοποίηση της φωτιάς.

Συνοψίζοντας, το θερμιδόμετρο κώνου είναι μια σύγχρονη συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μελέτη της συμπεριφοράς μικρών δειγμάτων διαφόρων υλικών σε συμπυκνωμένη φάση. Συγκεντρώνει δεδομένα σχετικά με τον χρόνο ανάφλεξης, την απώλεια μάζας, τα προϊόντα καύσης, τον ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας και άλλες παραμέτρους που σχετίζονται με τις ιδιότητες καύσης του δείγματος.

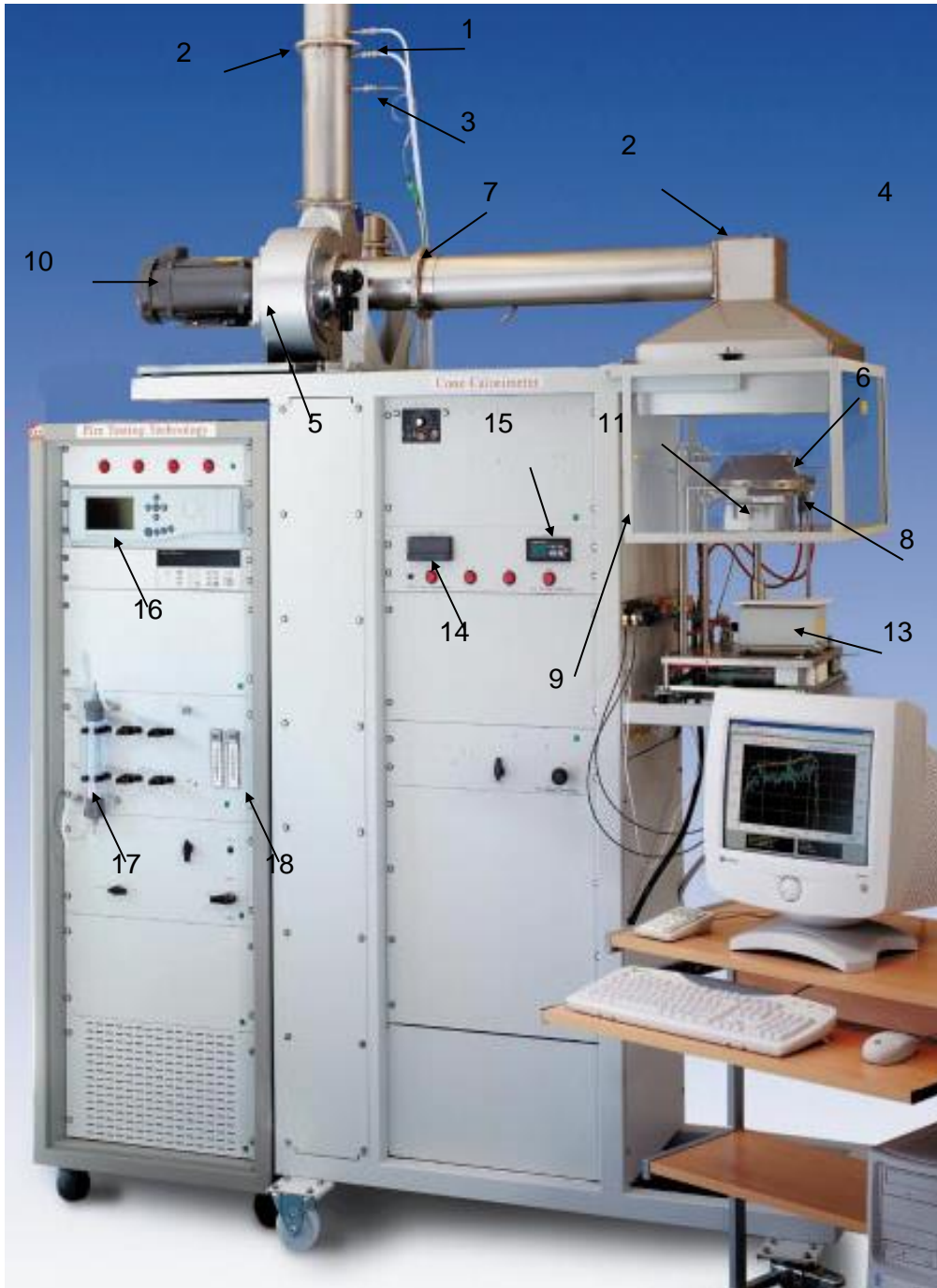
### 3.2.1. ΜΕΡΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΚΩΝΟΥ

Το θερμιδόμετρο κώνου, όπως προαναφέρθηκε, είναι ένα εργαλείο εργαστηριακής κλίμακας που παρέχει την δυνατότητα μετρήσεων σημαντικών παραμέτρων της καύσης υλικών, η οποία πραγματοποιείται σε συγκεκριμένες και ελεγχόμενες συνθήκες. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις πειραματικές διαδικασίες με το θερμιδόμετρο κώνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των θερμικών ιδιοτήτων του υλικού, της θερμικής ροής ανάφλεξης και της θερμοκρασίας αυτής [27], [28].

Τα βασικότερα μέρη του θερμιδόμετρου κώνου είναι [27]:

- θερμαντήρας κώνου με μέγιστη εκλυόμενη θερμότητα  $100 \text{ kW/m}^2$ , που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο προσανατολισμό
- σπινθηριστής ή αναφλεκτήρας (igniter) 10kV, για την ανάφλεξη του υλικού
- μετρητής ροής θερμότητας (heatfluxmeter) για την ρύθμιση – βαθμονόμηση της παρεχόμενης θερμότητας στο υπό εξέταση δοκίμιο
- σύστημα απαγωγής καυσαερίων το οποίο αποτελείται από μία καμινάδα και όργανα καταγραφής των αερίων της καύσης
- αναλυτής αερίων ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ )
- μετρητής πυκνότητας καπνού στον οποίο χρησιμοποιείται δέσμη laser με ένα ζεύγος φωτοдиодων (πομπός-δέκτης)
- ζυγός ακριβείας για τον προσδιορισμό του ρυθμού απώλειας μάζας του υπό δοκιμή υλικού.

Ένα σύστημα θερμιδόμετρου κώνου παρουσιάζεται στην Εικόνα 12.

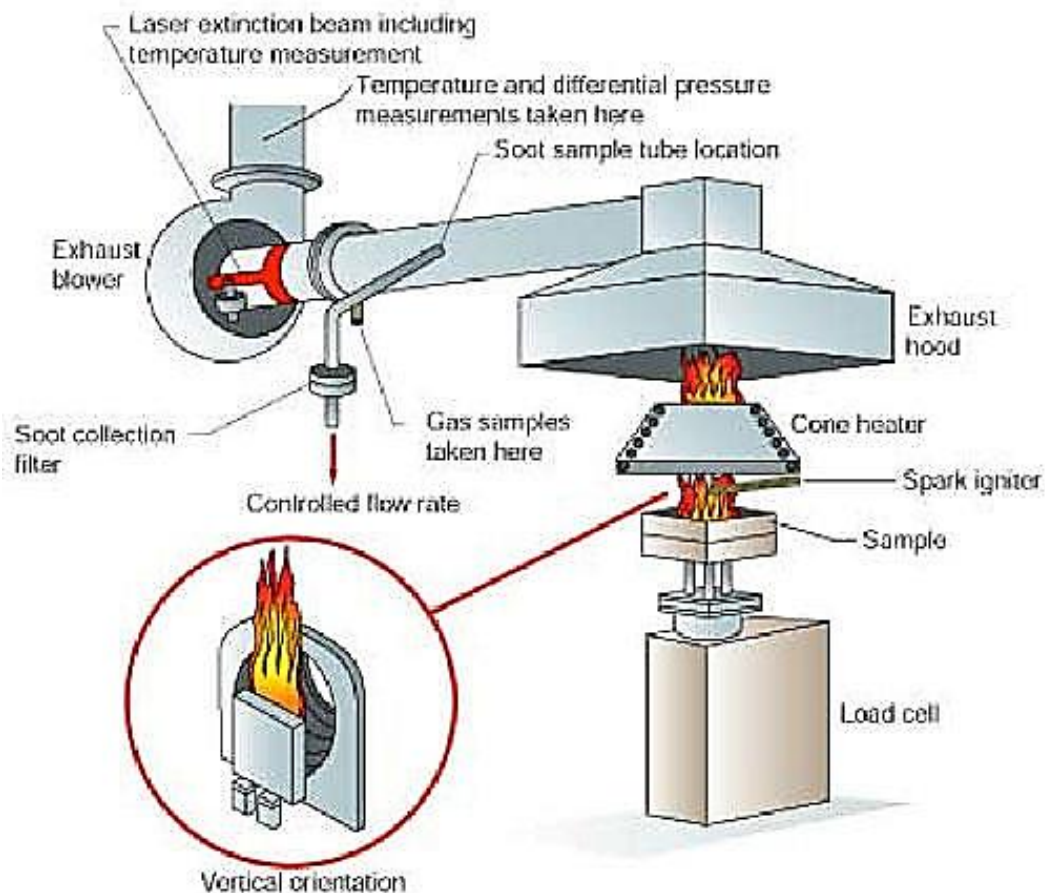


Εικόνα 12: Αναλυτική περιγραφή επιμέρους διατάξεων θερμιδόμετρου κώνου [27].

- |  |  |
|--|--|
| 1. Μέτρηση διαφορικής πίεσης                     | 10. Κινητήρας φυσητήρα                       |
| 2. Μετρητικό διάφραγμα ακροφυσίου (orificeplate) | 11. Πλαίσιο τοποθέτησης δοκιμίου             |
| 3. Θερμοζεύγος                                   | 12. Βάση στήριξης δοκιμίου                   |
| 4. Κάλυπτρο Κώνου                                | 13. Ζυγός                                    |
| 5. Φυσητήρας                                     | 14. Ψηφιακή ένδειξη ζυγού                    |
| 6. Θερμική Αντίσταση κώνου                       | 15. Όργανο ελέγχου θερμικής αντίστασης κώνου |
| 7. Δακτυλιοειδής καθετήρας δειγματοληψίας αερίων | 16. Αναλυτής αερίων                          |
| 8. Ηλεκτρικός Σπινθηριστής                       | 17. Αφυγραντής                               |
| 9. Πλευρικά προστατευτικά τοιχώματα              | 18. Ροόμετρα ελέγχου αερίων                  |

### 3.2.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΚΩΝΟΥ

Το θερμιδόμετρο κώνου αποτελείται από πλήθος συσκευών και εξαρτημάτων (Εικόνα 12), τα οποία παρέχουν δυνατότητες καταγραφής και ρύθμισης παραμέτρων όπως θερμοκρασία, ροή μάζας αερίων, συγκέντρωση αερίων κ.ά. η αρχή λειτουργίας του θεωρείται απλή [29]. Αρχικά τοποθετείται το δοκίμιο σε μια υποδοχή δείγματος κατασκευασμένη από μέταλλο, το οποίο με την σειρά του τοποθετείται στο κελί φόρτωσης. Η υποδοχή δειγμάτων μπορεί να είναι είτε με ανοικτές, είτε με κλειστές άκρες εξαρτάται από την φύση του δοκιμίου που μελετάται. Επιπλέον, στην περίπτωση που το δείγμα είναι διωκτικού τύπου μπορεί να τοποθετηθεί ένα ενσύρματο πλέγμα με στόχο την συγκράτηση του δείγματος σε σταθερή θέση (μόνο στην περίπτωση που το δοκίμιο βρίσκεται σε οριζόντια θέση). Πάνω από την περιοχή της υποδοχής του δείγματος και κάτω από τον θερμαντήρα κώνου υπάρχει ένας αναφλεκτήρας σπινθήρων, όπου ανάβει τα εύφλεκτα αέρια που εξέρχονται από το δείγμα κατά την θέρμανση του. Όταν γίνεται καύση του δείγματος ο αναφλεκτήρας σβήνει και μετακινείται προς τα πλάγια[31]. Ωστόσο, πριν από την διεξαγωγή των περαμάτων και κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης, τοποθετείται μια συσκευή μέτρησης της ροής θερμότητας η οποία ψύχεται με νερό. Στην συνέχεια ακολουθεί η ρύθμιση της θερμοκρασίας του θερμαντήρα που είναι υπεύθυνος για την επιθυμητή ροή θερμότητας που πρέπει να αναπτύσσεται στην επιφάνεια του δοκιμίου [27] (Σχήμα 15).



Σχήμα 15: Μέρη θερμιδόμετρου κώνου [30]



Ο θερμαντήρας είναι τυλιγμένος σε κωνικό σχήμα, όπου και οφείλεται το όνομα της συσκευής. Ο κώνος μπορεί να είναι τοποθετημένος είτε οριζόντια, είτε κάθετα. Το τύλιγμα του θερμαντήρα είναι από συρματόσχοινο θερμαντικής αντίστασης μήκους πάνω από 3 m, συσκευασμένο σε πυρίμαχο οξειδίο του μαγνησίου. Όσον αφορά τα καυσαέρια που δημιουργούνται από την καύση του δείγματος συλλέγονται από το καπό εξαγωγής το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω από τον θερμαντήρα. Επιπλέον, η χρήση ανεμιστήρα στη γραμμή καυσαερίων ρυθμίζει την παροχή των προϊόντων καύσης.

Η δειγματοληψία των αερίων πραγματοποιείται με έναν δακτύλιο δειγματοληψίας αερίων που βρίσκεται πριν τον ανεμιστήρα στη γραμμή καυσαερίων. Ωστόσο πριν φτάσει το αέριο σε αυτόν έχει φιλτραριστεί από δύο συνεχόμενα φίλτρα με στόχο την απομάκρυνση των σωματιδίων και από μια ψυχρή παγίδα και έναν παράγοντα ξήρανσης για την απομάκρυνση κάθε ίχνους υγρασίας. Σημειώνεται ότι μεταξύ του δακτυλίου δειγματοληψίας αερίου και του ανεμιστήρα υπάρχει επίσης καπνός [26].

### **3.2.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ**

Η Μέθοδο Θερμιδομετρίας Κώνου πραγματοποιείται σύμφωνα με τα πρότυπα δοκιμών ISO 5660 [28]. Η δοκιμή του προϊόντος διαστάσεων 100 mm x 100 mm πραγματοποιείται με την υποβολή του σε συγκεκριμένο επίπεδο ακτινοβολίας. Η επιφάνεια του δείγματος θερμαίνεται με συνεπεία να εκπέμπονται αέρια πυρόλυσης, τα οποία και αναφλέγονται με ανάφλεξη του σπινθήρα. Τα αέρια που εκπέμπονται συλλέγονται σε ειδικό μηχανισμό συλλογής αερίων και με κατάλληλο εξαερισμό απομακρύνονται. Η απελευθέρωση θερμότητας μετράται κάνοντας χρήση των δεδομένων για τη μετρούμενη συγκέντρωση οξυγόνου στον εκπεμπόμενο καπνό. Η παραγωγή καπνού μετράται καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (καύση δοκιμίου) με ένα σύστημα λείζερ [16] [32].

### **3.2.4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΚΩΝΟΥ**

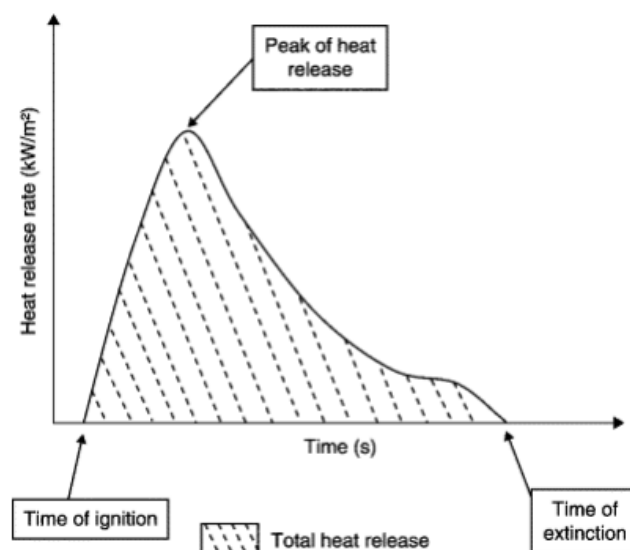
Το σύστημα μέτρησης του θερμιδόμετρου κωνικού τύπου μετρά την ποσότητα καπνού που παράγεται με την χρήση φωτομετρικής δέσμης λείζερ. Υπάρχουν κάποιοι αναλυτές όπως αναλυτής οξυγόνου, μονοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του άνθρακα. Ο βασικότερος είναι του οξυγόνου, όπου είναι απαραίτητος για την διεξαγωγή των βασικών πειραμάτων με την θερμιδομετρία κώνου. Ωστόσο οι υπόλοιποι αναλυτές χρησιμοποιούνται για την μείωση των αβεβαιοτήτων των αποτελεσμάτων. Για περαιτέρω ανάλυση αερίων των προϊόντων καύσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον συστήματα (π.χ. φασματόμετρο υπέρυθρων μετασχηματισμού Fourier (FTIR)).

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται για την ροή του αερίου καθώς και για την συγκέντρωση του οξυγόνου χρησιμοποιούνται με στόχο τον υπολογισμό της ποσότητας απελευθέρωσης θερμότητας ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας. Μια έκφραση που χρησιμοποιείται για την ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται είναι ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας (HeatReleaseRate – HRR), δηλαδή η θερμότητα που απελευθερώνεται από ένα υλικό

ομαλοποιημένη με την απώλεια μάζας. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί για κάθε χρονική στιγμή δίνοντας την καμπύλη διάδοσης θερμότητας ή διαφορετικά την καμπύλη ρυθμού έκλυσης θερμότητας γνωστή ως «HRR» και εκφράζεται σε  $\text{kW} / \text{m}^2$  [33] (Σχήμα 16). Η ολοκλήρωση της καμπύλης HRR έναντι του χρόνου δίνει την ολική απελευθέρωση θερμότητας (TRR) εκφραζόμενη σε  $\text{kJ} / \text{m}^2$ . Επιπλέον, η ανωτέρω δοκιμή επιτρέπει επίσης τον χαρακτηρισμό των ακολούθων [26]:

- Χρόνος ανάφλεξης (TOI)
- Χρόνος καύσης ή εξαφάνισης (TOF)
- Απώλεια μάζας κατά την καύση,
- Μέτρηση ποσοτήτων CO και CO<sup>2</sup>
- Μέτρηση συνολικού καπνού που απελευθερώνεται (TSR)

Στην συνέχεια ακολουθεί διαγραμματική απεικόνιση της θερμότητας που απελευθερώνεται συναρτήσει του χρόνου.



Σχήμα 16: Διάγραμμα θερμότητας που απελευθερώνεται συναρτήσει του χρόνου [26]

### 3.2.5. ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ - ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ

#### 3.2.5.1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΥΓΡΟΥ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ

Αρχικά πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία ξήρανσης μέσω της έκθεσης του υγρού ελαιοπυρήνα (ελαιοπολτού) σε θερμική ακτινοβολία. Για τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε η διάταξη του θερμιδόμετρου κώνου (Παράγραφος 3.1, Κεφάλαιο 3), ώστε

να είναι εφικτή η ρύθμιση της ροής θερμικής ακτινοβολίας καθώς και η καταγραφή επιμέρους μεγεθών όπως η απώλεια μάζας, οι εκπομπές αερίων κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στις παρακάτω φωτογραφίες, παρουσιάζονται χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από τις διαδικασίες εργαστηριακής και βιομηχανικής ξήρανσης (Εικόνες 14).



Φρέσκος ελαιοπολτός  
(α)



Αλλοιωμένος ελαιοπολτός  
(β)

*Εικόνα 13: Φρέσκος ελαιοπολτός προς εργαστηριακή ξήρανση*

Στη συνέχεια ακολουθούν στιγμιότυπα βιομηχανικής ξήρανσης του ελαιοπυρήνα.



Φρέσκος ελαιοπολτός προς βιομηχανική ξήρανση



Αλλοιωμένος ελαιοπολτός προς εργαστηριακή ξήρανση



Βιομηχανικός ξηρός ελαιοπυρήνας (ξυλοπυρήνας)





Παραγόμενος εργαστηριακός ξηρός  
ελαιοπυρήνας



Παραγόμενος βιομηχανικός ξηρός  
ελαιοπυρήνας (ξυλοπυρήνας)

*Εικόνα 14: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα βιομηχανικής ξήρανσης ελαιοπυρήνα*

Για την υλοποίηση της εργαστηριακή ξήρανσης χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές πειραματικές συνθήκες οι οποίες όμως με το συνδυασμό απόστασης και θερμοκρασίας του κώνου είχαν ισοδύναμο θερμικό αποτέλεσμα ( $Q_{\text{ακτινοβολίας}} = 20 \text{ kW/m}^2$ ). Με αυτόν τον τρόπο ήταν εφικτός και ο έλεγχος της επαναληψιμότητας των πειραμάτων. Ο χρόνος της διαδικασίας ξήρανσης ρυθμίστηκε, ώστε στο τέλος της διαδικασίας, η υγρασία του ξηρού ελαιοπυρήνα να είναι της τάξης του 8%. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας γίνονταν περιοδική ανάδευση του υγρού ελαιοπολτού, ώστε να διασφαλίζεται η ομοιόμορφη ξήρανση του προϊόντος αλλά και η αποφυγή πυρόλυσης της άνω ελεύθερης επιφάνειας. Τα αποτελέσματα διαδικασία της εργαστηριακής ξήρανσης παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

### **3.2.5.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ**

Για τον πειραματικό προσδιορισμό των επιδόσεων του ξηρού ελαιοπυρήνα ως προς την αντίδραση του στη φωτιά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για βιομηχανικό και εργαστηριακό ξηρό πυρήνα σε ροή θερμότητας  $50 \text{ kW/m}^2$ . Η συγκεκριμένη ροή θερμότητας επιλέχθηκε, από κοινού ως μία τυπική ένταση φωτιάς η οποία προσεγγίζει ικανοποιητικά τις συνθήκες εντός του θαλάμου καύσης του ξηραντήρα. Οι διαστάσεις του άνω επιπέδου του ξηρού ελαιοπυρήνα ήταν  $100_2^0 \times 100_2^0 \text{ mm}^2$ , σύμφωνα με το πρότυπο δοκιμών για αντίδραση σε φωτιά ISO 5660.

Στην Εικόνα 13 (α και β), απεικονίζονται χαρακτηριστικές εικόνες καύσης ξηρού ελαιοπυρήνα στη μονάδα ξήρανσης του πυρηνελαιουργείου αλλά και της παραγωγής τέφρας από την καύση αυτού.



(α)



(β)

*Εικόνα 15: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα καύσης πυρηνόξυλου στις εγκαταστάσεις του πυρηνελαιουργείου*

Στην συνέχεια ακολουθεί φωτογραφικό υλικό της καύσης του ελαιοπυρήνα στο θερμιδόμετρο κώνου και συγκεκριμένα:

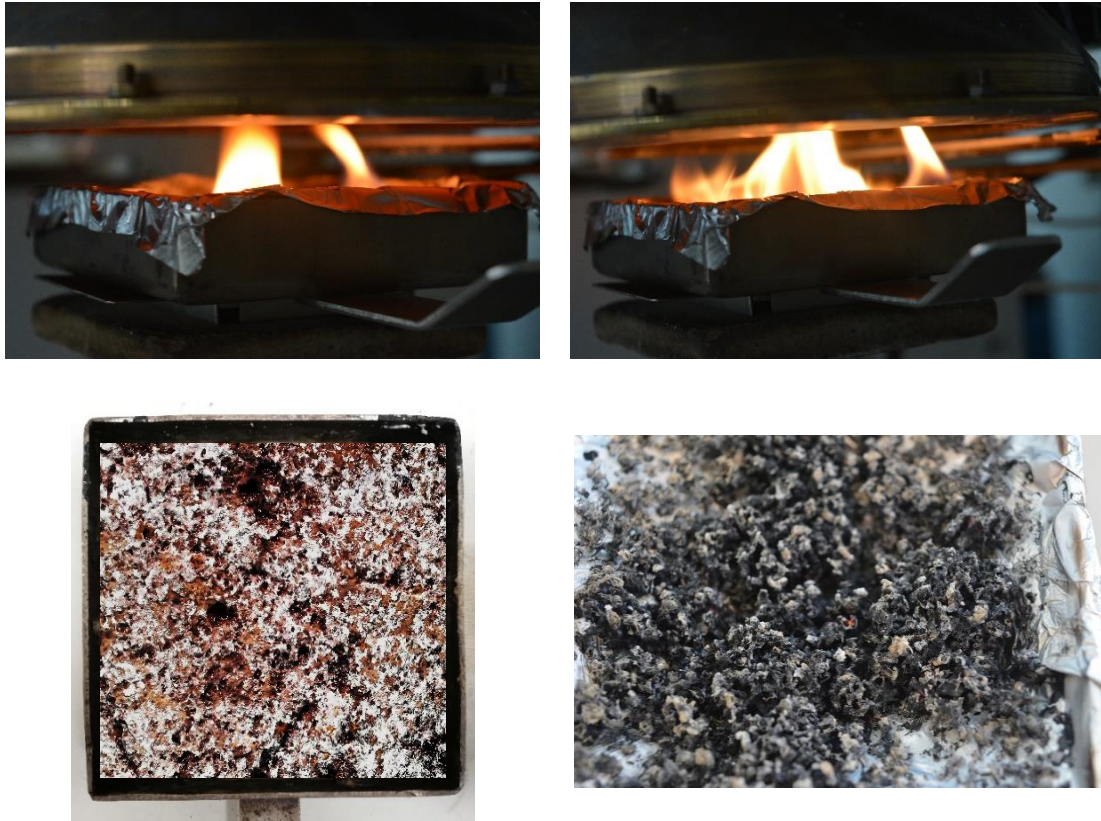
- Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα πριν και μετά την καύση εμπορικού ξηρού ελαιοπυρήνα (ξύλοπυρήνας).
- Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα πριν και μετά την καύση εργαστηριακού ξηρού ελαιοπυρήνα (ξύλοπυρήνας).
- Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα πριν και μετά την καύση εργαστηριακού αλλοιωμένου ξηρού ελαιοπυρήνα (ξύλοπυρήνας).



*Εικόνα 16: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα πριν και μετά την καύση εμπορικού ξηρού ελαιοπυρήνα (ξύλοπυρήνας)*



*Εικόνα 17: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα πριν και μετά την καύση εργαστηριακού ξηρού ελαιοπυρήνα (ζυλοπυρήνας)*



*Εικόνα 18: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα πριν και μετά την καύση εργαστηριακού αλλοιωμένου ξηρού ελαιοπυρήνα (ζυλοπυρήνας)*

### **3.3. ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΟΒΙΔΑΣ**

Το θερμιδόμετρο οβίδας (Bomb Calorimeter - ISO 1716) (Εικόνα 17) αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές μέτρησης της θερμογόνου δύναμης τόσο σε εργαστηριακό όσο και σε βιομηχανικό περιβάλλον. Με το θερμιδόμετρο Οβίδας δίνεται η δυνατότητα μέτρησης της θερμογόνου δύναμης, η οποία βασίζεται στην έκλυση θερμότητας που δημιουργείται κατά την πλήρη καύση του δείγματος. Οι συνθήκες που επικρατούν στην εξέταση του δείγματος είναι η υψηλή πίεση. Η ανάφλεξη πραγματοποιείται σε ατμόσφαιρα καθαρού οξυγόνου μέσα στην συσκευή του θερμομέτρου όπου περιμετρικά υπάρχει νερό. Κατά την χρονική διάρκεια της καύσης μετράται η θερμοκρασία του νερού με την οποία υπολογίζεται η θερμογόνος δύναμη [34].

Οι τεχνικές προδιαγραφές του θερμιδόμετρου οβίδας είναι οι ακόλουθες [28]:

- Μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος: 25°C
- Θερμοκρασία λειτουργίας: 25°C
- Ελάχιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος: 20°C
- Δυναμική αναπαραγωγικότητα (1g benzoicacid NBS39i): 0.1%RSD



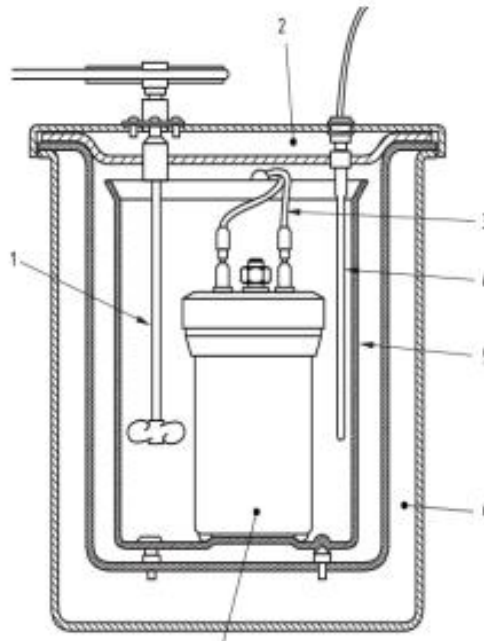
- Διακριτότητα μέτρησης θερμοκρασίας: 0.0001K
- Εύρος μέτρησης: 40000J
- Αναπαραγωγικότητα (isoperibol) (1g benzoicacid NBS39i): 0.1%RSD



*Εικόνα 19: Θερμιδόμετρο Οβίδας [36]*

### 3.3.1. ΜΕΡΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΟΒΙΔΑΣ

Τα βασικά μέρη ενός θερμιδόμετρο οβίδας είναι τα εξής, αρχικά αποτελείται από την οβίδα η οποία είναι κατασκευασμένη από χάλυβα υψηλής θερμικής αγωγιμότητας. Στο εσωτερικό τμήμα της οβίδας πραγματοποιείται η καύση η οποία στηρίζεται σε μια μεταλλική στεφάνη. Για την έναυση γίνεται χρήση σύρματος νικελίου, του οποίου τα άκρα του συνδέονται με πηγή συνεχούς ρεύματος ενώ τα άλλα δύο βρίσκονται βυθισμένα στο εσωτερικό της οβίδας. Η οβίδα όπως έχει προαναφερθεί βρίσκεται εντός του μεταλλικού δοχείου το οποίο είναι γεμάτο με απιονισμένο νερό. Η πλήρωση με το υδάτινο στοιχείο περιορίζει την μεταφορά θερμότητας με το περιβάλλον κάτι που οφείλεται στη θερμοχωρητικότητα του. Το μεταλλικό δοχείο βρίσκεται στο εσωτερικό ενός περιβλήματος, το οποίο απαρτίζεται από αδιαβατικά τοιχώματα ανάμεσα στα οποία κυκλοφορεί νερό σταθερής θερμοκρασίας με σκοπό την περαιτέρω ελαχιστοποίηση ανταλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον. Στη διάταξη μέτρησης χρησιμοποιείται αναδευτήρας, ο οποίος λαμβάνει την κίνηση του από ηλεκτροκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος. Η κίνηση που εκτελεί ο αναδευτήρας είναι παλινδρομική και στοχεύει στην ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας του νερού εξωτερικά της οβίδας. Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται με θερμόμετρο υψηλής ακρίβειας. Ωστόσο, τονίζεται ότι το σύστημα του θερμιδόμετρου οβίδας ασφαλίζει με ένα καπάκι το οποίο βασίζεται στον αναδευτήρα και στο θερμόμετρο [35].

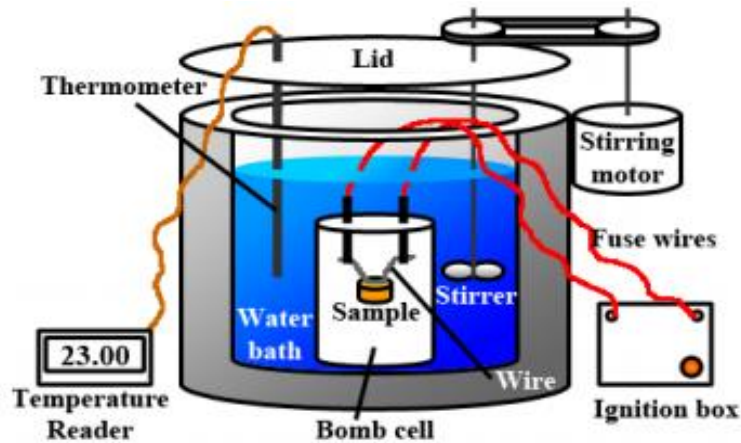


Σχήμα 15: Αναλυτική περιγραφή επιμέρους διατάξεων θερμιδομέτρου οβίδας [35]

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| 1. Αναδευτήρας        | 5. Μεταλλικό δοχείο θερμιδομέτρου (Bucket) |
| 2. Καπάκι οβίδας      | 6. Εξωτερικό περίβλημα (Jacket)            |
| 3. Ηλεκτρόδια έναυσης | 7. Θερμιδομετρική οβίδα                    |
| 4. Θερμόμετρο         |  |

### 3.3.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ ΟΒΙΔΑΣ

Η αρχή λειτουργίας ενός θερμιδομέτρου οβίδας στηρίζεται στη μέτρηση της εκλυόμενης θερμότητας ενός δείγματος από την πλήρη καύση μέσα σε ένα περιβάλλον οξυγόνου. Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται σε ένα ασφαλισμένο δοχείο σταθερού όγκου (οβίδα). Η οβίδα βρίσκεται βυθισμένη σε νερό, άρα αυτά τα στοιχεία έρχονται σε άμεση επαφή μεταξύ τους δημιουργώντας το σύστημα μέτρησης του θερμιδομέτρου (Σχήμα 17). Το σύστημα αυτό αποτελείται από μονωμένα τοιχώματα με συνέπεια να διασφαλίζονται αδιαβατικές συνθήκες λειτουργίας. Επιπλέον, η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση του δείγματος μπορεί να υπολογισθεί σύμφωνα με την μέτρηση της αύξησης της θερμοκρασίας του νερού. Σημειώνεται ότι στόχος των θερμομέτρων είναι η μείωση της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του συστήματος μέτρησης και του περιβάλλοντος [35].

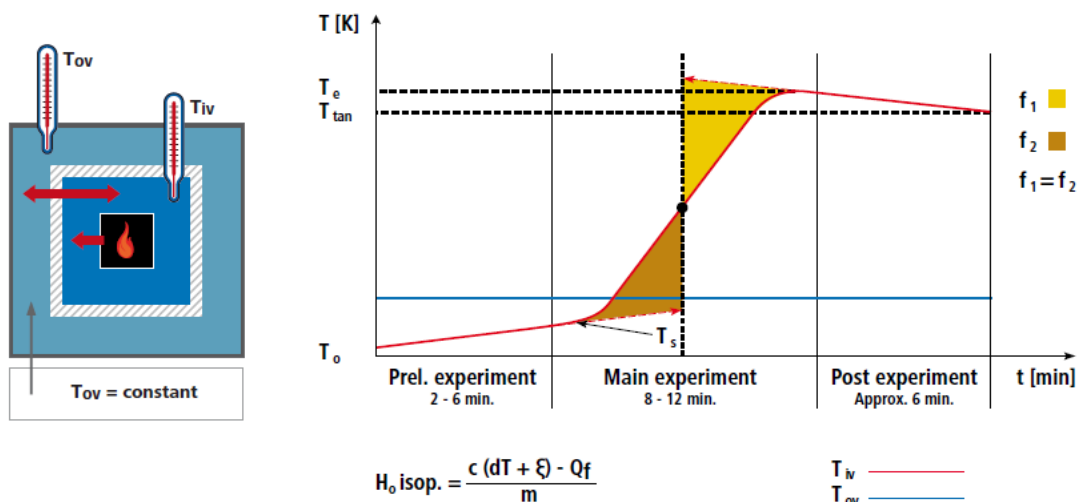


Σχήμα 17: Θερμιδόμετρο οβίδας [37]

### 3.3.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΞΗΡΟΥ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ ΜΕ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΟΒΙΔΑΣ

Οι μετρήσεις θερμογόνου δύναμης έγιναν με θερμιδόμετρο οβίδας σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 1716. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της Θερμογόνου Δύναμης των υλικών υπό δοκιμή χαρακτηρίζεται από τη διατήρηση του εξωτερικού περιβάλλοντος του θαλάμου αντίδρασης σε σχεδόν σταθερή θερμοκρασία (Isoperibolic Calorimetry). Κατά τη διάρκεια της καύσης η μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος είναι πολύ μικρή (1.5-2.5 °C). Παρόλα αυτά η μεταβολή της θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα με μεγάλη κλίση.

Στην Εικόνα 18 παρατίθεται γραφική απεικόνιση της μεθόδου θερμιδομετρίας που ακολουθήθηκε. Για τη βαθμονόμηση της πειραματικής διάταξης χρησιμοποιήθηκαν πέλετ βενζοϊκού οξέος, μάζας 0.5 gr και θερμογόνου δύναμης  $H=26.461 \text{ MJ/kg}$ . Ο μέσος συνολικός συντελεστής θερμοχωρητικότητας της διάταξης κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν  $C=9919 \text{ J/}^\circ\text{C}$ .



Εικόνα 20: Γραφική Απεικόνιση Θερμιδομετρίας Οβίδας (Isoperibolic Calorimetry)

## 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 4.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ - ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ

#### 4.3.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗ ΥΓΡΟΥ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ

Σε αυτό το σημείο παρατίθενται τα αποτελέσματα από την εργαστηριακή ξήρανση του υγρού ελαιοπυρήνα όπου καταγράφηκε η αρχική μάζα του ελαιοπολτού, το κλάσμα μάζας του ελαιοπολτού, η απώλεια μάζας, η περιεκτικότητα σε νερό, η υγρασία και η σχετική μεταβολή υγρασίας για χρόνο από 0 έως 25 min με βήμα 5 min.

Τα αποτελέσματα προέκυψαν από την ξήρανση α) φέρσου ελαιοπολτού, σε θερμοκρασία κώνου 772 °C, με απόσταση δοκιμίου 11.5 cm και ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 20 kW/m<sup>2</sup> (Πίνακας 7), β) αλλοιωμένου ελαιοπολτού, σε θερμοκρασία κώνου, 772 °C, απόσταση δοκιμίου 11.5 cm και ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 20 kW/m<sup>2</sup> (Πίνακας 8) και γ) φρέσκου ελαιοπολτού, σε θερμοκρασία κώνου 550°C, με απόσταση δοκιμίου 11.5 cm και ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 20 kW/m<sup>2</sup> (Πίνακας 9).

*Πίνακας 7: Αποτελέσματα διαδικασίας εργαστηριακής ξήρανσης για φρέσκο ελαιοπολτό, Θερμοκρασία Κώνου: 772 °C*

Φρέσκος ελαιοπολτός Θερμοκρασία Κώνου: 772 °C - Απόσταση δοκιμίου: 11.5 cm - Ροή Ακτινοβολούμενης Θερμότητας 20 kW/m <sup>2</sup>						
t(min)	Μάζα Ελαιοπολτού (gr)	Κλάσμα Μάζας Ελαιοπολτού (%)	Απώλεια Μάζας (gr)	Περιεκτικότητα σε νερό (gr)	Υγρασία X <sub>t</sub> (%)	Σχετική μεταβολή υγρασίας (X <sub>R</sub> ) (%)
0	187.56	100%	0.00	125.67	67%	100%
5	172.42	92%	15.14	110.53	64%	96%
10	146.15	78%	26.27	84.26	58%	86%
15	120.20	64%	25.95	58.31	49%	72%
20	93.40	50%	26.80	31.51	34%	50%
25	67.20	36%	26.20	5.31	8%	12%

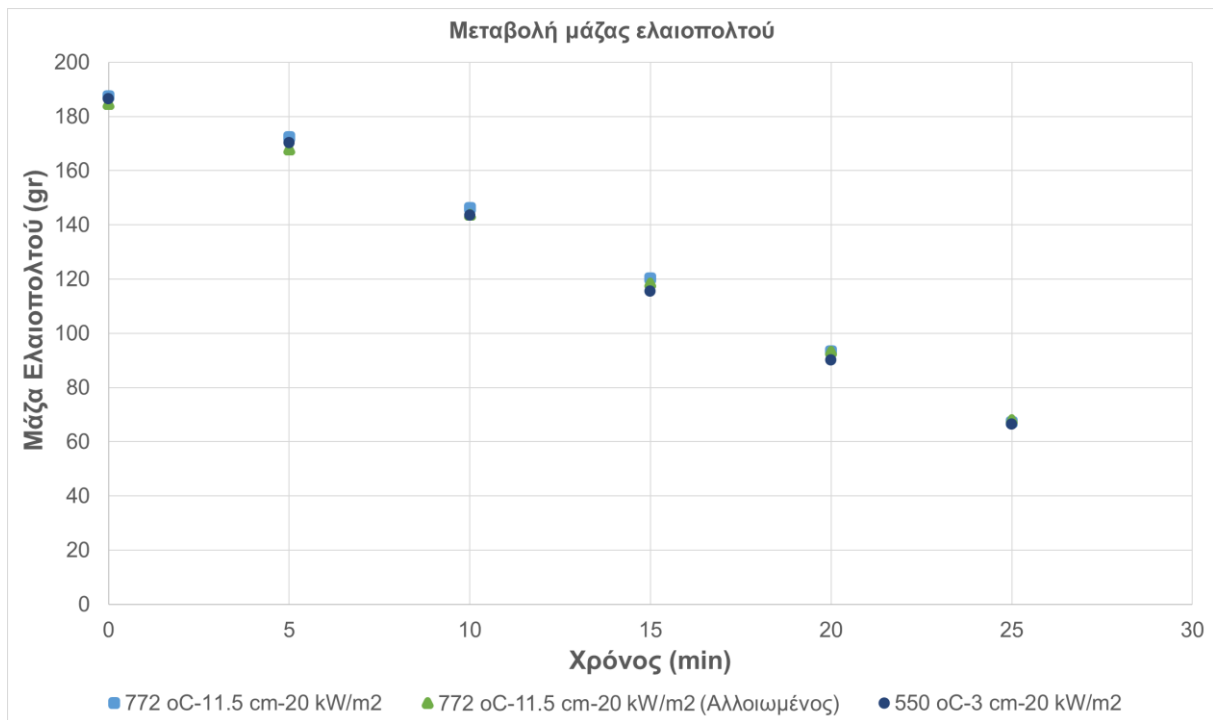
Πίνακας 8: Αποτελέσματα διαδικασίας εργαστηριακής ξήρανσης για αλλοιωμένο ελαιοπολτό, Θερμοκρασία Κώνου: 772 °C

Αλλοιωμένος ελαιοπολτός						
Θερμοκρασία Κώνου: 772 °C - Απόσταση δοκιμίου: 11.5 cm						
- Ροή Ακτινοβολούμενης Θερμότητας 20 kW/m <sup>2</sup>						
t(min)	Μάζα Ελαιοπολτού (gr)	Κλάσμα Μάζας Ελαιοπολτού (%)	Απώλεια Μάζας (gr)	Περιεκτικότητα σε νερό (gr)	Υγρασία X <sub>t</sub> (%)	Σχετική μεταβολή υγρασίας (X <sub>R</sub> ) (%)
0	184.70	100%	0.00	121.90	66%	100%
5	167.80	91%	16.90	105.00	63%	95%
10	143.80	78%	24.00	81.00	56%	85%
15	118.30	64%	25.50	55.50	47%	71%
20	93.20	50%	25.10	30.40	33%	49%
25	68.00	37%	25.20	5.20	8%	12%

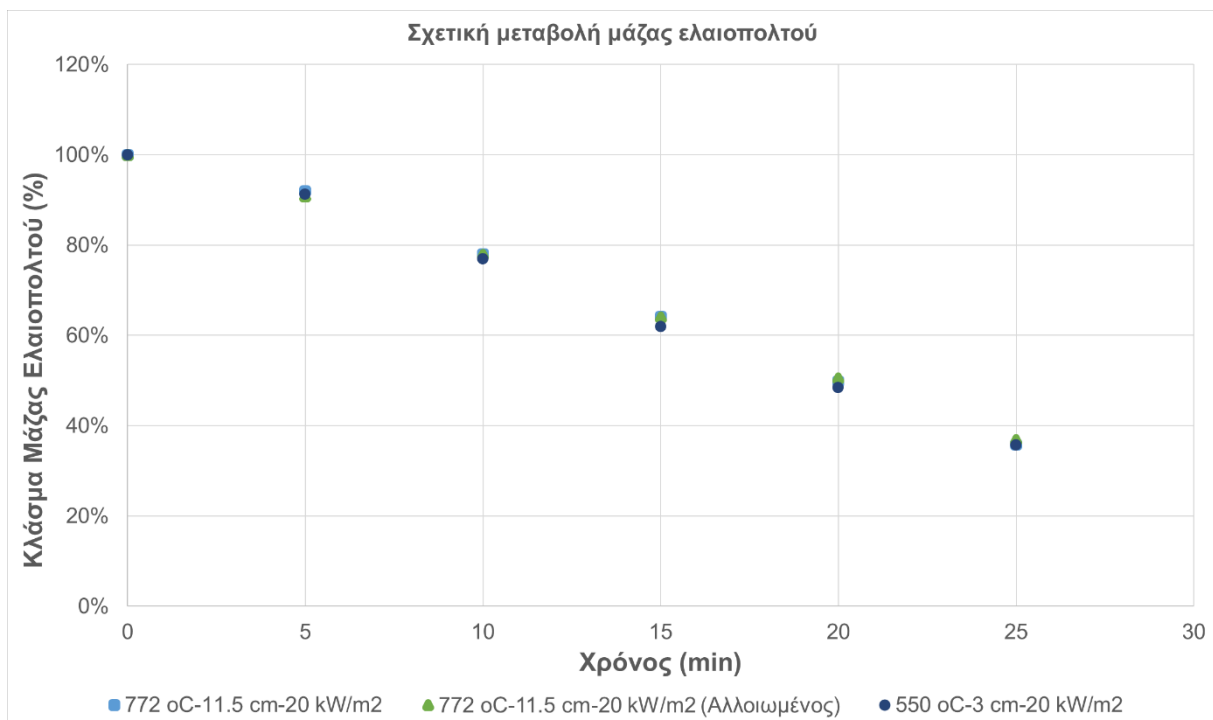
Πίνακας 9: Αποτελέσματα διαδικασίας εργαστηριακής ξήρανσης για φρέσκο ελαιοπολτό, Θερμοκρασία Κώνου: 550°C

Φρέσκος ελαιοπολτός						
Θερμοκρασία Κώνου: 550 °C - Απόσταση δοκιμίου: 3.0 cm						
- Ροή Ακτινοβολούμενης Θερμότητας 20 kW/m <sup>2</sup>						
t(min)	Μάζα Ελαιοπολτού (gr)	Κλάσμα Μάζας Ελαιοπολτού (%)	Απώλεια Μάζας (gr)	Περιεκτικότητα σε νερό (gr)	Υγρασία X <sub>t</sub> (%)	Σχετική μεταβολή υγρασίας (X <sub>R</sub> ) (%)
0	186.44	100%	0.00	124.91	67%	100%
5	170.20	91%	16.24	108.67	64%	95%
10	143.50	77%	26.70	81.97	57%	85%
15	115.50	62%	28.00	53.97	47%	70%
20	90.20	48%	25.30	28.67	32%	47%
25	66.50	36%	23.70	4.97	7%	11%

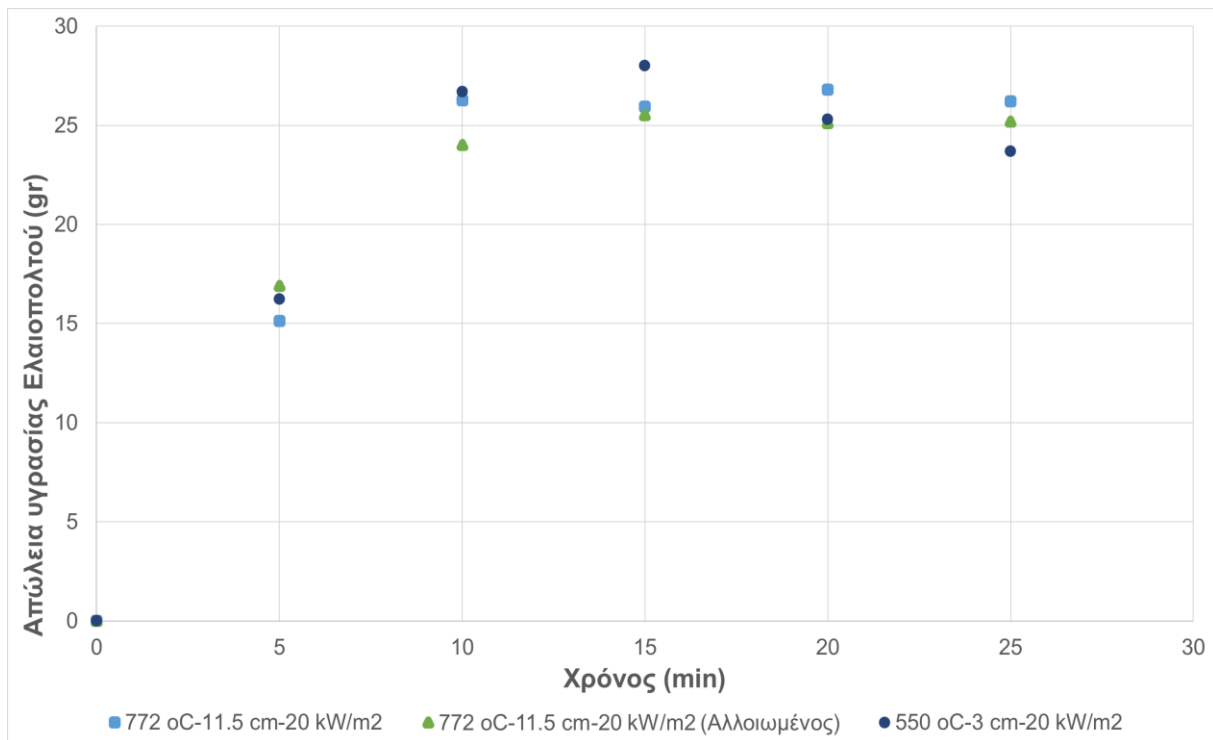
Στην συνέχεια ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις για την απεικόνιση της χρονικής εξέλιξης της μάζας του ελαιοπολτού (Διάγραμμα 1 & 2) καθώς και της χρονικής εξέλιξης της υγρασίας του ελαιοπολτού (Διάγραμμα 3 και 4).



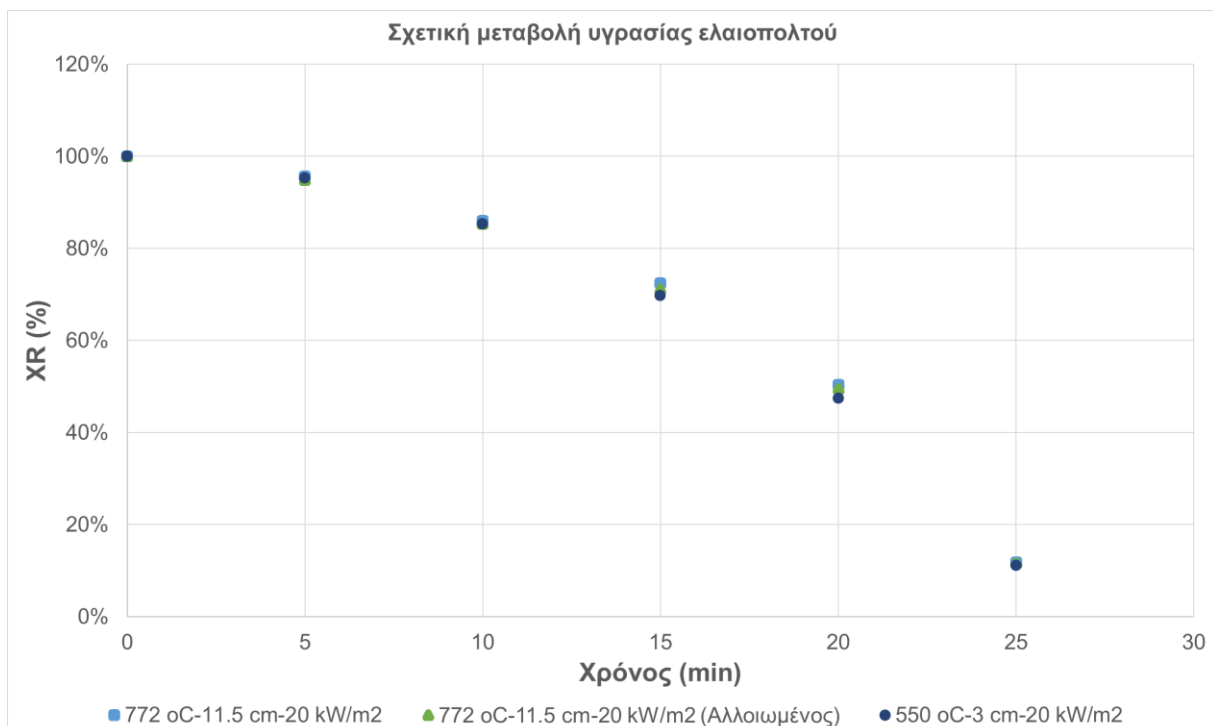
Διάγραμμα 1: Γραφική παράσταση της μεταβολής της μάζας ελαιοπολτού συναρτήσει του χρόνου



Διάγραμμα 2: Γραφική παράσταση της σχετικής μεταβολής της μάζας ελαιοπολτού συναρτήσει του χρόνου



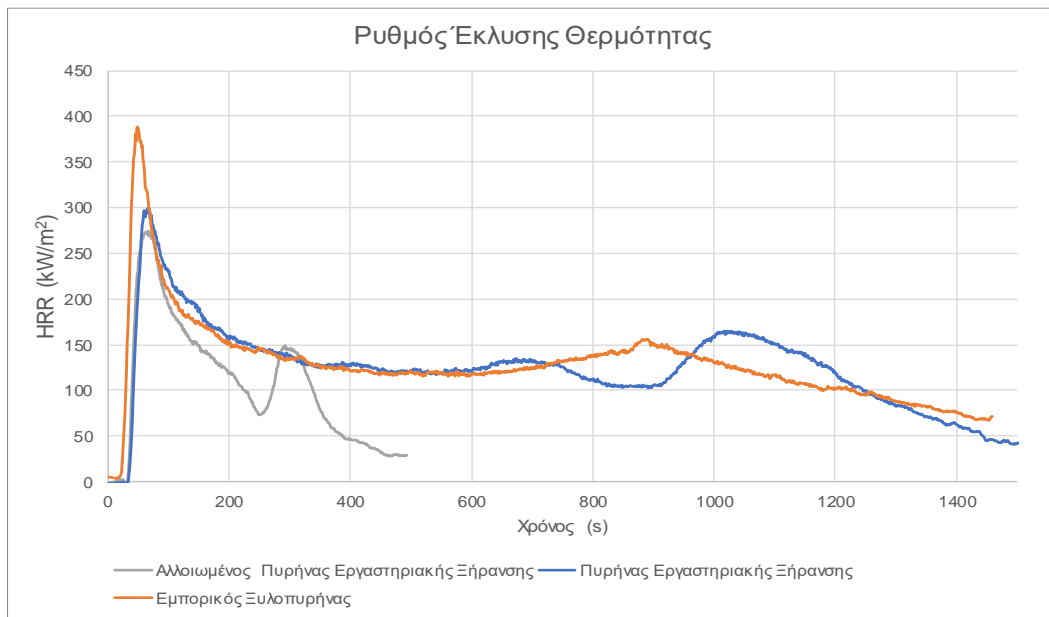
Διάγραμμα 3: Γραφική παράσταση της απώλειας υγρασίας του ελαιοπολλτού συναρτήσει του χρόνου.



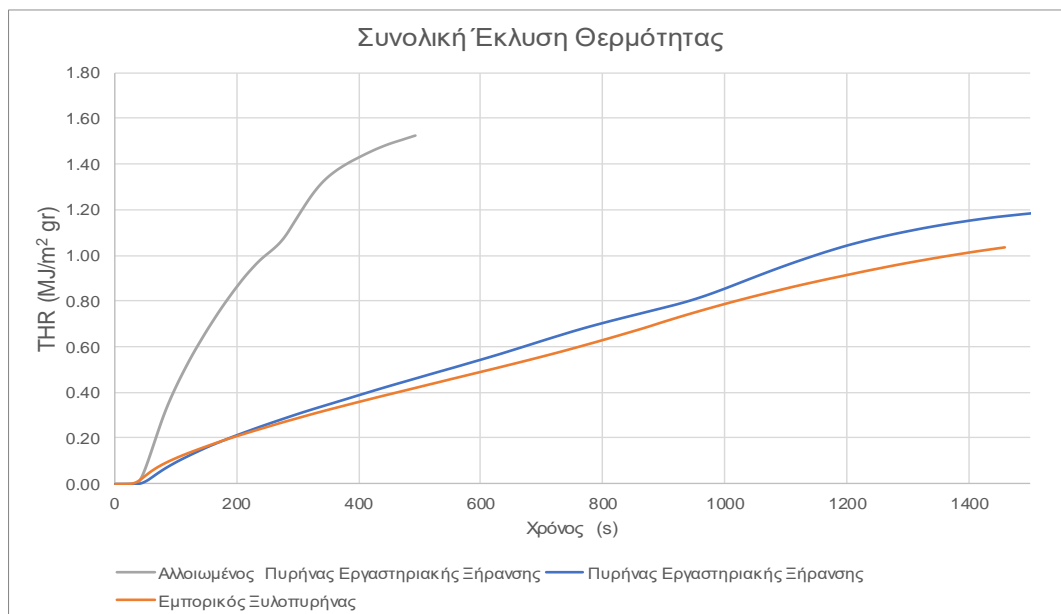
Διάγραμμα 4: Γραφική παράσταση της μεταβολής της σχετικής υγρασίας του ελαιοπολλτού συναρτήσει του χρόνου.

#### 4.3.5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ

Ακολουθούν τα αποτελέσματα του πειραματικού προσδιορισμού των επιδόσεων του ξηρού ελαιοπυρήνα ως προς την αντίδραση του στη φωτιά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για βιομηχανικό και εργαστηριακό ξηρό πυρήνα σε ροή θερμότητας  $50 \text{ kW/m}^2$ . Αρχικά δίνονται οι χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών, που είναι του ρυθμού έκλυσης θερμότητας-HRR ( $\text{kW/m}^2$ ) (Διάγραμμα 5), της συνολική έκλυσης θερμότητας-THR ( $\text{MJ/m}^2$ ) (Διάγραμμα 6) και της παραγωγής καπνού-SPR ( $\text{m}^2/\text{sec}$ )(Διάγραμμα 7).

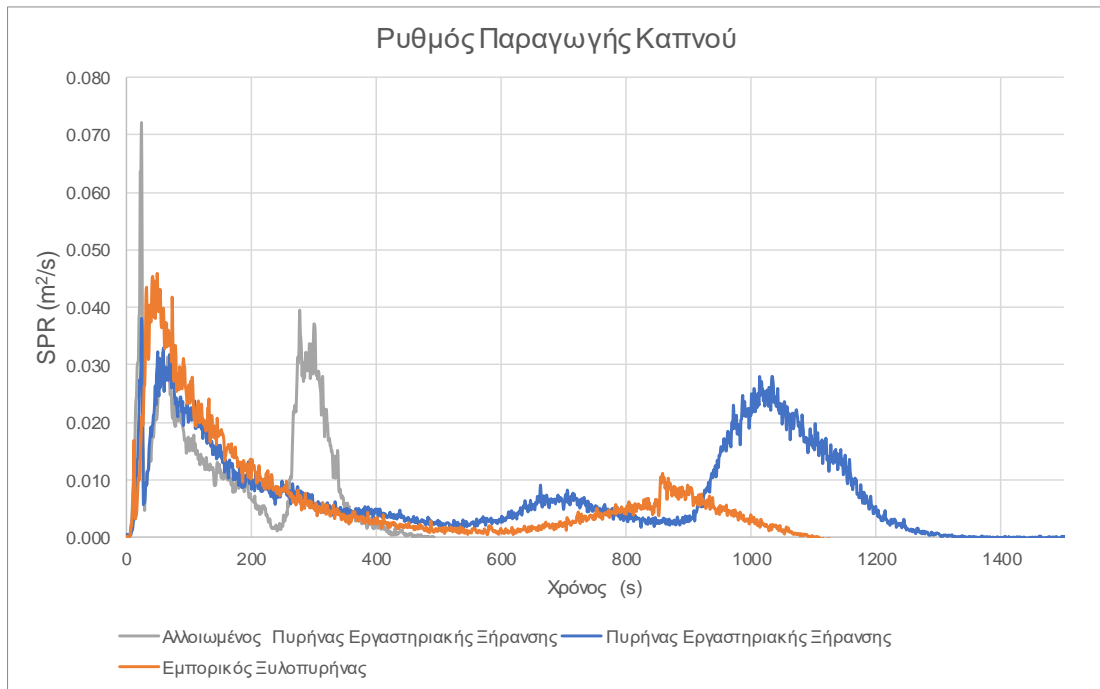


Διάγραμμα 5: Χρονοσειρές του ρυθμού έκλυσης της θερμότητας - HRR ( $\text{kW/m}^2$ )



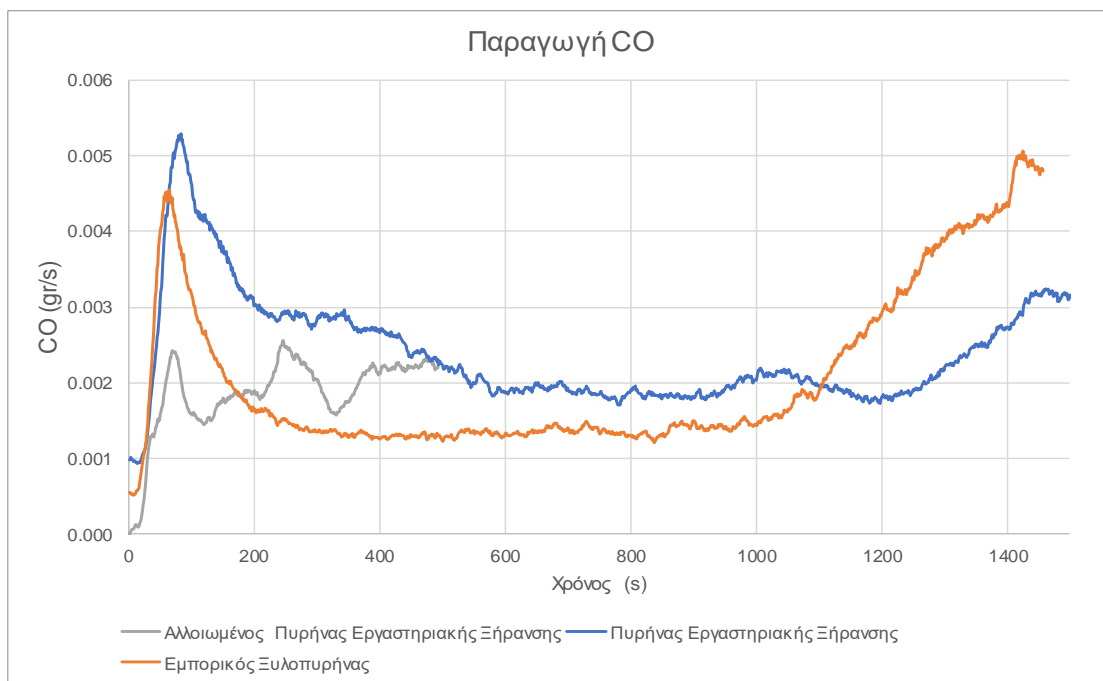
Διάγραμμα 6: Χρονοσειρές της συνολικής έκλυσης θερμότητας-THR ( $\text{MJ/m}^2$ )



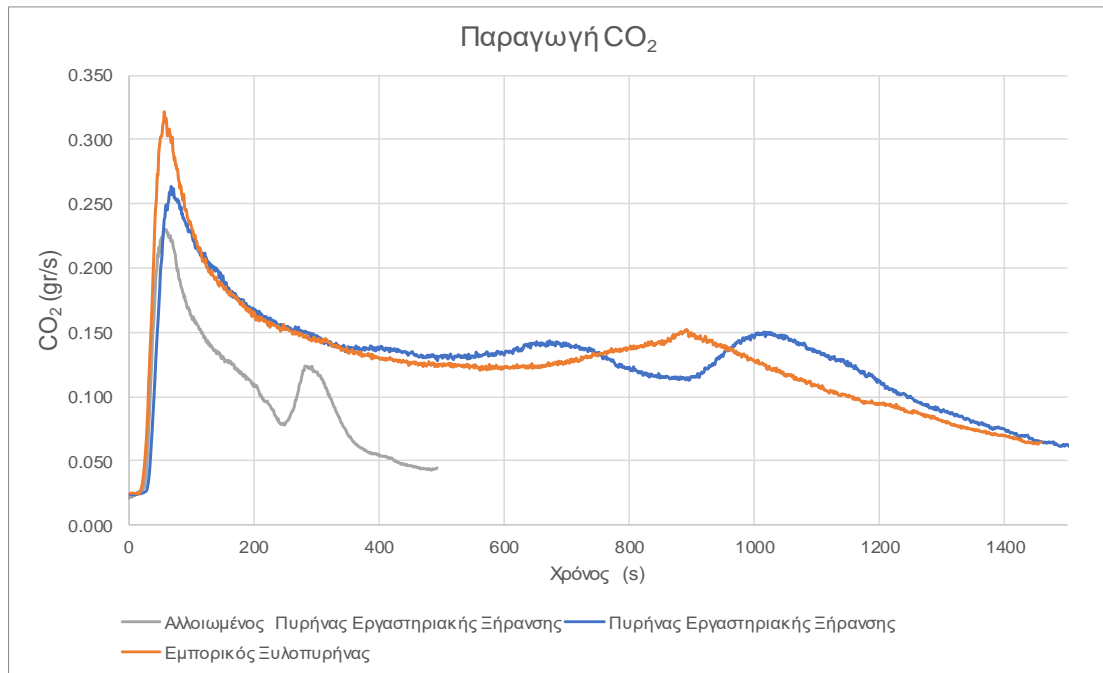


Διάγραμμα 7: Χρονοσειρές του ρυθμού παραγωγής καπνού-SPR ( $m^2/sec$ )

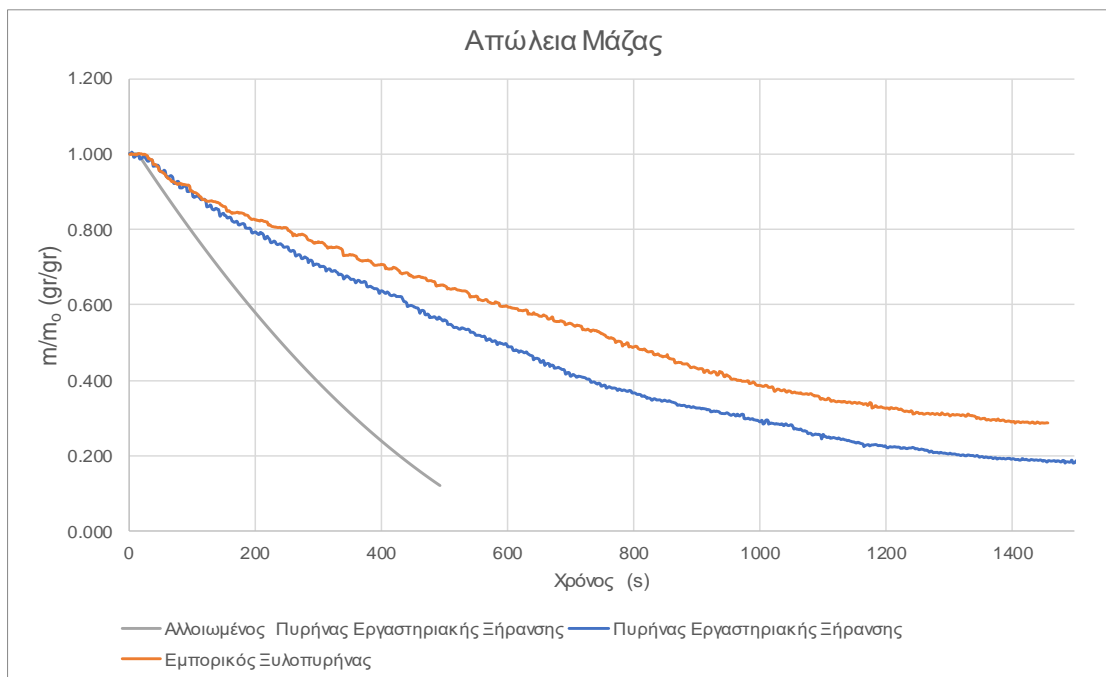
Στην συνέχεια ακολουθούν οι χρονοσειρές που αφορούν την έκλυση του μονοξειδίου του άνθρακα ( $CO$ ) ( $gr/sec$ ) (Διάγραμμα 8), την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) ( $gr/sec$ ) (Διάγραμμα 9), και της σχετικής απώλειας μάζας ( $gr/gr$ ) (Διάγραμμα 10).



Διάγραμμα 8: Χρονοσειρές έκλυσης  $CO$  ( $gr/sec$ )



Διάγραμμα 9: Χρονοσειρές Έκλυσης CO<sub>2</sub> (gr/sec)



Διάγραμμα 10: Χρονοσειρές της σχετικής απώλειας μάζας (gr/gr)

Στην συνέχεια ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των δοκιμών ανά υλικό (Πίνακας 10).

Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός Πίνακας Δοκιμών ανά Υλικό

Υλικό	Αρχική Μάζα $m_0$ (gr)	Χρόνος Έναυσης $t_{ign}$ (sec)	Χρόνος Εμφάνισης Μέγιστου Ρυθμού Έκλυσης Θερμότητας $t_{PHRR}$ (s)	Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας $HRR_{mean}$ (kW/m <sup>2</sup> )	Μέγιστος Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας $PHRR$ (kW/m <sup>2</sup> )	Συνολική Έκλυση Θερμότητας $THR$ (MJ/m <sup>2</sup> )
Ξηρός Ελαιοπυρήνας Εργαστηριακής Ξήρανσης	158	24	64	126.6	299.4	186.9
Εμπορικός Ξηρός Ελαιοπυρήνας	180	10	47	128.9	388.5	186.5
Αλλοιωμένος Ξηρός Ελαιοπυρήνας Εργαστηριακής Ξήρανσης	34.09	22	67	110.4	274.0	52.0

Υλικό	Παραγωγή Καπνού $SP$ (m <sup>2</sup> )	Έκλυση $CO$ (gr/gr)	Έκλυση $CO_2$ (gr/gr)	Ενεργή Θερμότητα Καύσης $EHC$ (MJ/kg)	$MAHRE$ (kW/m <sup>2</sup> )	Ρυθμός Απώλειας Μάζας $MLR$ (gr/s)
Ξηρός Ελαιοπυρήνας Εργαστηριακής Ξήρανσης	11.12	0.0280	1.52	14.7	170.3	0.0864
Εμπορικός Ξηρός Ελαιοπυρήνας	7.71	0.0237	1.46	14.6	206.4	0.0886
Αλλοιωμένος Ξηρός Ελαιοπυρήνας Εργαστηριακής Ξήρανσης	5.3	0.0311	1.66	15.6	151.0	0.0625

#### 4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ - ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΟΒΙΔΑΣ

##### 4.4.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ

Στον Πίνακα 11, παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διενεργήθηκαν σε θερμιδόμετρο οβίδας, για τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης ελαιοπυρήνα.

*Πίνακας 11: Αποτελέσματα δοκιμών θερμιδόμετρου οβίδας*

Κωδικός Υλικού	Μάζα υλικού υπό δοκιμή (gr)	Θερμογόνος Δύναμη (Heat of Combustion) (MJ/kg)
Εμπορικός Ξηρός Ελαιοπυρήνας (ξυλοπυρήνας)	0.5020	19.427
Εργαστηριακός Ξηρός Ελαιοπυρήνας (νωπής προέλευσης)	0.4950	18.441
Εργαστηριακός Ξηρός Ελαιοπυρήνας (αλλοιωμένης προέλευσης)	0.5090	17.093
Μέση ανώτερη τιμή από βιβλιογραφία		19.700
Μέση κατώτερη τιμή από βιβλιογραφία		18.000

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η πειραματική διερεύνηση των θερμιδικών ιδιοτήτων του ελαιοπυρήνα καθώς και η μελέτη της αντίδρασής του στη φωτιά. Προς τούτο χρησιμοποιήθηκε δείγμα από ξυλοπυρήνα που διατίθεται στο εμπόριο αλλά και δείγμα νωπού και αλλοιωμένου νωπού ελαιοπυρήνα που υπέστη εργαστηριακή ξήρανση μέσω ακτινοβολίας. Βασικός λόγος για την επιλογή των δειγμάτων ελαιοπυρήνα ήταν η διερεύνηση της αλλοίωσης του ελαιοπυρήνα στις θερμιδικές του ιδιότητες αλλά και στην αντίδραση του στη φωτιά. Μέσω των διεξαχθέντων πειραμάτων κατέστη δυνατή, όσο το δυνατόν, πληρέστερος χαρακτηρισμός της βιομάζας που προκύπτει από το διφασικό ελαιοπυρήνα ως καύσιμη ύλη.

Από τη διεργασία της ξήρανσης προκύπτει η γραμμική εξέλιξη της απώλειας υγρής μάζας από το διφασικό πυρήνα στο χρόνο. Κριτήριο για την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας ήταν το κλάσμα που απομένει να έχει υγρασία περίπου 8%, όση δηλαδή έχει και ο νωπός ελαιοπυρήνας μετά το πέρας της διαδικασίας βιομηχανικής ξήρανσης όπου ο κύριος μηχανισμός είναι αυτός της εξάτμισης της υγρής φάσης μέσω θερμού ρεύματος αέρα στους 500-800 °C. Δεδομένου ότι η αρχική υγρασία του διφασικού ελαιοπυρήνα είναι περίπου 65-70% αυτό επιβεβαιώνεται και από τον υπολογισμό κλάσματος μάζας του πυρήνα στο πέρας των πειραμάτων όπου ήταν περίπου 35-37%. Η σχετική μεταβολή της υγρασίας του ελαιοπυρήνα ακολουθεί μια πολυωνυμομική κατανομή. Οι τρεις καμπύλες για τα διαφορετικά δείγματα ελαιοπυρήνα παρουσιάζουν σχετική ταύτιση, ως προς τη μεταβολή της μάζας τους κατά τη διαδικασία ξήρανσης.

Από τα πειράματα με τη μέθοδο θερμιδομετρίας τύπου οβίδας προκύπτει ότι ο εμπορικός ξυλοπυρήνας έχει θερμογόνο δύναμη σχεδόν ταυτόσημη με την ανώτερη τιμή που καταγράφεται στη βιβλιογραφία, γεγονός το οποίο παραπέμπει σε πολύ ικανοποιητική ξήρανση, σε αντίθεση με τον πυρήνα που υπέστη εργαστηριακή ξήρανση όπου εμφανίζει 5% (νωπός) και 12% (αλλοιωμένος νωπός) από τον εμπορικό, γεγονός το οποίο παραπέμπει σε ελλειπή ξήρανση. Σαφής είναι και η θερμιδική υποβάθμιση του αλλοιωμένου νωπού πυρήνα.

Στα ειδικότερα χαρακτηριστικά του ελαιοπυρήνα ως καύσιμο μέσω της μελέτης της αντίδρασής του στη φωτιά προκύπτουν αρκετά συμπεράσματα. Ο ξηρός εργαστηριακός πυρήνας παρουσιάζει υπερδιπλάσιο χρόνο έναυσης, γεγονός το οποίο οφείλεται στην ύπαρξη μεγαλύτερης αρχικής υγρασίας και ως εκ τούτου χρειάζεται μεγαλύτερο ποσό ενέργειας (και χρόνος) για την απομάκρυνση της ποσότητας νερού εντός του δείγματος καύσης. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα επιβεβαιώνεται και από το χρόνο κατά τον οποίο εκδηλώνεται η μέγιστη έκλυση θερμότητας ( $t_{PHRR}$ ). Παρ' όλα αυτά ο μέσος ρυθμός έκλυσης θερμότητας ( $kW/m^2$ ) μεταξύ του εμπορικού και του εργαστηριακού ξηρού ελαιοπυρήνα είναι, πρακτικά, ίδιος, σε αντίθεση με τον μέγιστο ρυθμό όπου αυτός του εργαστηριακού είναι κατά 23% μικρότερος. Επιπλέον, το γεγονός ότι μέσα στον εργαστηριακό ξυλοπυρήνα υπάρχει ποσότητα λαδιού πιθανά οδηγεί σε μεγαλύτερη παραγωγή καπνού κατά 44% σε σχέση με τον εμπορικό. Τέλος, τα δύο δείγματα (εμπορικός και εργαστηριακός) παρουσιάζουν την ίδια συνολική

έκλυση θερμότητας ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ). Η γενική εικόνα σύγκρισης είναι μεταξύ του εργαστηριακού και του εμπορικού δείχνει πολύ μεγάλη σύγκλιση μιας και η απομάκρυνση τυχόν ποσότητας λαδιού μέσω εκχύλισης εξανίου δεν ήταν δυνατή για τον εργαστηριακό ξυλοπυρήνα. Ο αλλοιωμένος ελαιοπυρήνας παρουσιάζει αρκετά μεγάλη σύγκλιση με τα χαρακτηριστικά του μη αλλοιωμένου ξηρού ελαιοπυρήνα.

Συμπερασματικά, από την υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας κατέστη δυνατή η εξοικείωση των συγγραφέων στην διεξαγωγή σύνθετων πειραμάτων ρευστοθερμοδυναμικής και καύσης. Σε κάθε περίπτωση, παρουσιάζεται, ενδεχομένως για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία, μια πλήρης καταγραφή των θερμιδικών ιδιοτήτων αλλά και των ιδιοτήτων αντίδρασης στη φωτιά για μια ευρέως διαδεδομένη καύσιμη ύλη βιομάζας όπως αυτή του ξηρού ελαιοπυρήνα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Νασιούλα Χ., 2010, Αξιολόγηση τριφασικής και διφασικής μεθόδου ελαιοποίησης του ελαιοκάρπου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
2. Mohammad N. Alhamad, Taha M. Rababah, Muhammad Al-u'datt, Khalil Ereifej, RanyaEsoh, Hao Feng, Wade Yang, 2012, The physicochemical properties, total phenolic, antioxidant activities, and phenolic profile of fermented olive cake, King Saud, University Arabian Journal of Chemistry
3. Καρυτσιώτης Γ., 2018, Ο κλάδος του ελαιόλαδου και η συμβολή του στην οικονομία της Ελλάδος, Ανοικτό Ελληνικό Πανεπιστήμιο, Αθήνα
4. Στοφύλας Α. Το πυρηνόξυλο σαν καύσιμο,  
<https://sites.google.com/site/pyrhnoxylo/pyrenelaiourgeia-1/to-pyrenoxylo-san-kausimo>
5. Ασημακόπουλος Δ., Αραμπατζής Γ., Δημάκης Αγγελής Α., Καρταλίδης Α. και Τσιλιγκιρίδης Γ., 2015, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Δυναμικό και Τεχνολογίες, Εκδόσεις σοφία, Αθήνα.
6. Ρογκάκου Σ., 2012, Αξιοποίηση βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας και δυνατότητα ανατροφοδότησης στο δίκτυο φυσικού αερίου, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
7. Άρθρο 2 Οδηγίας 2009/28/EK και άρθρο 2 Οδηγίας 98/70/EK όπως τροποποιήθηκε από το άρθρο 1 περ. 2 της Οδηγίας 2009/30/EK:  
<http://www.opengov.gr/minenv/?p=3421>
8. Βιομάζα: <https://www.energyregister.gr/ananeosimes/viomaza/>
9. <https://www.pv-magazine.com/2018/06/04/ren21-report-record-pv-growth-but-soaring-energy-demand-leaves-renewables-playing-catch-up/>
10. Κουφούδης Α., 2010, Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Καβάλα.

11. Τσεπλετίδου Α., 2013, χρήση βιομάζας για θέρμανση στο αστικό περιβάλλον: τάσεις και προοπτικές, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
12. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017, Έκθεση της επιτροπής προς το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, το συμβούλιο, την ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική επιτροπή και την επιτροπή των περιφερειών, Βρυξέλλες
13. <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/partners/oko-institut-ev-institut-fur-angewandte-okologie>
14. Ρομπολας Α., 2008, Βιβλιογραφική επισκόπηση τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας από οργανικά απορρίμματα και βιομάζα, με καύσης και βιοαερίου ή βιομάζας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Καβάλα.
15. Ντόλια Σ., 2006, Διαχείριση αποβλήτων ελαιουργείων, ανασκόπηση έρευνα και προβλήματα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
16. Κάλφας Χ., 2007, Παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση προεπεξεργασμένου και μη ελαιοπολτού, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
17. Φωτεινοπουλος Ι., 2016, Διαχείριση των αποβλήτων της ελαιουργικής δραστηριότητας στο Νομό Μεσσηνίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
18. Κωτσάκης Π. και Καπόρης Π., 2020, Λειτουργία και διαχείριση αποβλήτων πυρηνελαιουργείου, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα
19. Αντωνόπουλος Α., 2013, Πυρηνελαιουργεία, [http://meropitopik.blogspot.com/2013/10/blog-post\\_12.html](http://meropitopik.blogspot.com/2013/10/blog-post_12.html)
20. Regional Activity Centre for Cleaner Production (RAC/CP) Mediterranean Action Plan (2001). Pollution Prevention in olive oil production, Regional Activity Centre for Cleaner Production (RAC/CP) C/ París, 184 – 3<sup>a</sup> planta 08036 Barcelona (Spain)
21. Morillo J.A., Antizar-Ladislao B., Monteoliva-Sánchez M., RamosCormenzana A., Russell N.J. (2009). Bioremediation and biovalorisation of olive-mill wastes
22. Ράλλης Β., 2020, Ενεργειακός Έλεγχος Πυρηνελαιουργείου, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα
23. Vlyssides A.G., Loizides M., Karlis P.K. 2004, Integrated strategic approach for reusing olive oil extraction by-products, Journal of Cleaner Production 12, 603–611
24. Regional Energy Agency of Central Macedonia (2008). Market of Olive Residues for Energy, Intelligent Energy Europe



25. Γεωργιάκης Δ., 2017, Δυο τεχνικές επεμβάσεις που φαίνεται πως μπορούν να λούσουνε το πρόβλημα των αποβλήτων των 2φασικών ελαιοτριβείων, <https://slideplayer.gr/slide/16716713/>
26. Ογκρενι Ε., Σαλιαϊ Γ., 2020, Μέτρηση θερμογόνου δύναμης αέριων καυσίμων με τη μέθοδο θερμιδομετρίας κώνου, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα
27. [Πηγή: Αρχείο κ. Γιανναδάκη]
28. <http://www.lat.upatras.gr/el/services-el/reaction-to-fire-el/>
29. [http://www.motis-tech.com/index.php/product/index\\_en.html?id=19](http://www.motis-tech.com/index.php/product/index_en.html?id=19)
30. [https://www.researchgate.net/figure/Representation-schematique-du-cone-calorimetre-Cet-appareil-de-mesure-permet-dacceder\\_fig66\\_313498145](https://www.researchgate.net/figure/Representation-schematique-du-cone-calorimetre-Cet-appareil-de-mesure-permet-dacceder_fig66_313498145)
31. <https://doctorfire.com/the-cone-calorimeter/>
32. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cone\\_calorimeter](https://en.wikipedia.org/wiki/Cone_calorimeter)
33. Ιωάννου Σ., 2019, Μελέτη Περιπτώσεων Διάδοσης Πυρκαγιάς σε Κοινόχρηστους Χώρους Κρουαζιερόπλοιου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
34. Αποστολοπούλου Ν. 2016, Επιδόσεις υλικών ως προς την αντίδραση στη φωτιά, Κατάταξη υλικών ως προς την αντίδραση στη φωτιά σύμφωνα με το σύστημα EUROCLASS με βάση δοκιμές σε θερμιδόμετρο κώνου. Εφαρμογή σε μονωτικά υλικά από αφρώδες πολυαιθυλένιο, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα
35. <http://iek-tripol.ark.sch.gr/autosch/joomla15/images/simeioseis/Fylladio3.pdf>
36. <https://scientificservices.eu/item/calorimeter-c200>
37. [https://skarmakar.weebly.com/uploads/4/3/8/0/43806379/manual\\_for\\_experiment\\_with\\_bomb\\_calorimeter.pdf](https://skarmakar.weebly.com/uploads/4/3/8/0/43806379/manual_for_experiment_with_bomb_calorimeter.pdf)
38. Κυραλάκης Ε., 2003, Μοντελοποίηση και έλεγχος διαδικασίας ξήρανσης ελαιοπυρήνα, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
39. <https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/DAPE/2021/>