



**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**«Πειραματικός προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης (ΑΘΔ) στερεών  
καυσίμων βιομάζας με θερμιδόμετρο τύπου οβίδας οξυγόνου, χρήση σε  
συστήματα θέρμανσης.»**

---

**Γκίνης Ευάγγελος  
ΑΜ: 47349**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΑΖΟΣ  
ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2022**

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
[Γκίνησ Ευάγγελος]  
© [2022] – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος



**SCHOOL OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF MECHANICAL**  
**ENGINEERING**

**DIPLOMA THESIS**

---

**« Experimental determination of Higher Heating Values (HHVs) of solid biomass fuels by employing an oxygen bomb calorimeter for heating applications »**

---

**Gkinis Evaggelos**  
**AM: 47349**

**Supervisor: Nazos Antonios**

**ATHENS**  
**September 2022**

University of West Attica, Department of Mechanical Engineering,  
[Gkinis Evaggelos]  
© [2022] – All rights reserved

**Πειραματικός προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης (ΑΘΔ) στερεών καυσίμων βιομάζας με θερμιδόμετρο τύπου οβίδας οξυγόνου, χρήση σε συστήματα θέρμανσης.**

**Μέλη εξεταστικής επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

| <b>A/α</b> | <b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>         | <b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b> |
|------------|------------------------------|-------------------------|
| <b>1</b>   | <b>ΝΑΖΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ</b>         |                         |
| <b>2</b>   | <b>ΜΑΙΤΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ</b>        |                         |
| <b>3</b>   | <b>ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ</b> |                         |

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Γκίνης Ευάγγελος του Προκοπίου, με αριθμό μητρώου 47349 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





Αφιερωμένο στους  
γονείς μου  
Προκόπιο & Βασιλική  
και στις αδερφές μου  
Ισιδώρα & Αθηνά.



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Θέρμανσης Ψύξης Κλιματισμού.

Ολοκληρώνοντας την διπλωματική μου εργασία θέλω να ευχαριστήσω εγκάρδια τον Καθηγητή κ. Νάζο Αντώνιο, για την πολύτιμη υποστήριξή του, την καθοδήγησή του, κατά την διάρκεια της συνεργασίας μας καθώς και σαν μέλος της εξεταστικής επιτροπής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Χρόνη Ιωάννη για την άριστη συνεργασία που είχαμε στο εργαστήριο Οικολογίας & Περιβαλλοντικής Χημείας, για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε κατά την διάρκεια του πειραματικού μέρους και που μου επέτρεψε να χρησιμοποιήσω τον εξοπλισμό του εργαστηρίου. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κ. Πανταζοπούλου Παρασκευή για την επίβλεψη κατά την διεκπεραίωση των πειραματικών μετρήσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Μαϊτό Αντώνιο και κ. Σακελλαρίου Ευάγγελο για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο πειραματικός προσδιορισμός της Ανώτερης Θερμογόνου Δύναμης (ΑΘΔ) διαφόρων στερεών καυσίμων βιομάζας τα οποία δεν έχουν αξιολογηθεί ενεργειακά. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν δείγματα από πυρήνες ροδάκινου, βερίκοκου και τσόφλια από καρύδι, αμύγδαλο, φυστίκι και ηλιόσπορο.

Η Ανώτερη Θερμογόνο Δύναμη υπολογίστηκε με τη βοήθεια μίας συσκευής θερμιδομέτρησης τύπου οξυγόνου (Oxygen Bomb Calorimeter). Τα πειραματικά αποτελέσματα που λήφθηκαν, αξιολογήθηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Επίσης έγινε μελέτη των δειγμάτων ως προς την υγρασία που περιείχαν και επαναξιολογήθηκαν εκ νέου, ως προς την ΑΘΔ.

Τέλος τα ενεργειακά αποτελέσματα εφαρμόστηκαν σε συστήματα θέρμανσης και συγκρίθηκαν με αντίστοιχο σύστημα θέρμανσης καυσίμου πετρελαίου με σκοπό την λήψη συμπερασμάτων που θα βοηθήσει στην μελλοντική αξιοποίηση τους.

### **Λέξεις κλειδιά :**

*Βιομάζα, Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη, Θερμιδομέτρηση, Θερμιδόμετρο τύπου οξυγόνου, Υγρασία, Συστήματα Θέρμανσης*

## **ABSTRACT**

In the present thesis aimed to the experimental determination of the Higher heating value (HHV) of various solid biomass fuels that have not been energetically evaluated. More specifically, samples from peach, apricot kernels and walnut, almond, peanut and sunflower shells were studied.

Higher heating value was calculated using an Oxygen Bomb Calorimeter. The experimental results obtained were evaluated and compared with each other. The samples were also studied in terms of the moisture contained and re-evaluated again, in terms of HHV.

Finally, the energy results were applied to heating systems and compared with a corresponding oil fuel heating system in order to draw conclusions that will help in their future utilization.

### **Keywords :**

Biomass, Higher heating value, Calorimeter, Oxygen Bomb Calorimeter, Moisture, Heating systems

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΟΙ

**CCE:** Circular Carbon Economy

**ΑΠΕ:** Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας

**ΑΘΔ:** Ανώτερης Θερμογόνου Δύναμης

**HHV:** Higher Heating Value

**HHV<sub>d</sub>:** Higher Heating Value dry biomass

**GHV:** Gross Heating Value

**LHV:** Lower Heating Value

# **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

|  |     |
|--|-----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....   | iii |
| ABSTRACT.....  | iv  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....                               | 7   |
| 1.1 Εισαγωγή .....   | 7   |
| 1.2 Βιομάζα.....   | 9   |
| 1.3 Δομή βιομάζας.....   | 12  |
| 1.4 Βασικές ιδιότητες βιομάζας.....                            | 15  |
| 1.5 Μέθοδοι για τη μετατροπή βιομάζας σε ενέργεια .....        | 18  |
| 1.6 Συστήματα θέρμανσης βιομάζας .....                         | 21  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ.....                    | 24  |
| 2.1 Εισαγωγή .....   | 24  |
| 2.2 Χαρακτηριστικά θερμιδόμετρων βόμβας .....                  | 25  |
| 2.3 Προετοιμασία οργάνου .....                                 | 26  |
| 2.4 Δοκιμή καυσίμου .....                                      | 27  |
| 2.5 Ακρίβεια οργάνου .....                                     | 27  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....                               | 29  |
| 3.1 Συλλογή και προεργασία δειγμάτων.....                      | 29  |
| 3.2 Προσδιορισμός υγρασίας δειγμάτων .....                     | 30  |
| 3.3 Θερμιδόμετρο οβίδας οξυγόνου Part 6050.....                | 32  |
| 3.4 Έλεγχος οργάνου .....                                      | 34  |
| 3.5 Ζύγιση δειγμάτων .....                                     | 36  |
| 3.6 Πειραματική διαδικασία .....                               | 37  |
| 3.7 Επεξεργασία μετρήσεων .....                                | 41  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....                       | 42  |
| 4.1 Αποτελέσματα υγρασίας.....                                 | 42  |
| 4.2 Ζυγίσεις δειγμάτων .....                                   | 42  |
| 4.3 Βαθμονόμηση οργάνου.....                                   | 43  |
| 4.4 Αποτελέσματα καύσης δειγμάτων .....                        | 45  |
| 4.5 Υπολογισμός ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (HHV) .....        | 47  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....                | 56  |
| 5.1 Υπολογισμός τιμή kWh βιομάζας σε συστήματα θέρμανσης.....  | 56  |
| 5.2 Σύγκριση βιομάζας - πετρελαίου σε συστήματα θέρμανσης..... | 58  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                                  | 59  |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....   | 60  |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

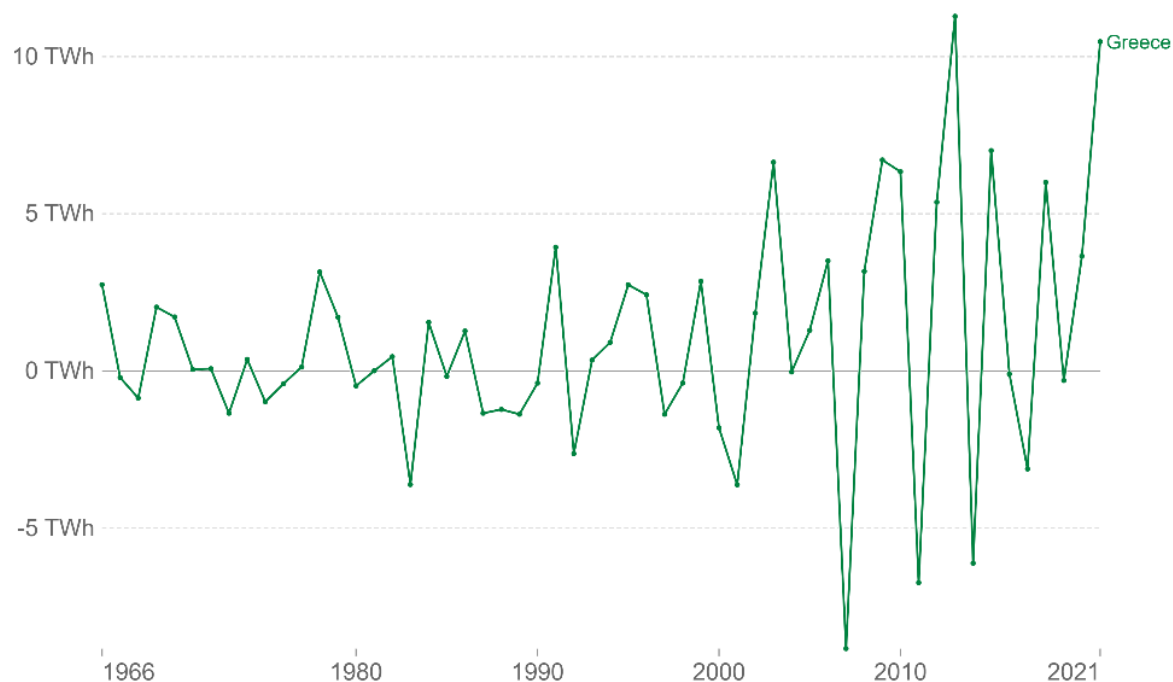
## 1.1 Εισαγωγή

Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα ζητήματα παγκοσμίως που συνεχίζει να παραμένει και γίνεται όλο και πιο έντονο με το πέρασμα των ετών, είναι η ενεργειακή κρίση. Ο πλανήτης βρίσκεται εν μέσω μιας ταχείας παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης. Στόχος είναι η εύρεση νέων μορφών ενέργειας που θα μπορούσε να συμβάλλει θετικά στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων έχει προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές ανησυχίες εδώ και δεκαετίες. <sup>[1]</sup> Η συνεχής ανάπτυξη της βιώσιμης οικονομίας και βιομηχανίας οδηγεί σε σημαντικά αυξανόμενη ζήτηση παραγωγής ενέργειας. Αυτή η σύγκρουση μεταξύ των συστημάτων παραγωγής ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος ενίσχυσε τη δυναμική ενός παγκόσμιου ενεργειακού μετασχηματισμού καθιστώντας την **Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας (ΑΠΕ)** και την **κυκλική οικονομία άνθρακα (Circular Carbon Economy, CCE)** πιο ελκυστικές ως προς την εφαρμογή τους. <sup>[2,3]</sup> Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε σχέση με το προηγούμενο έτος, μετρούμενη σε τεραβάτρες (TWh), στην Ελλάδα. Η ενέργεια είναι το άθροισμα από υδροηλεκτρική, ηλιακή, αιολική, γεωθερμική, κυματική και παλιρροϊκή και βιοενέργεια.

## Annual change in renewable energy generation

Shown is the change in renewable energy generation relative to the previous year, measured in terawatt-hours. This is the sum of energy from hydropower, solar, wind, geothermal, wave and tidal, and bioenergy.

Our World  
in Data



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy

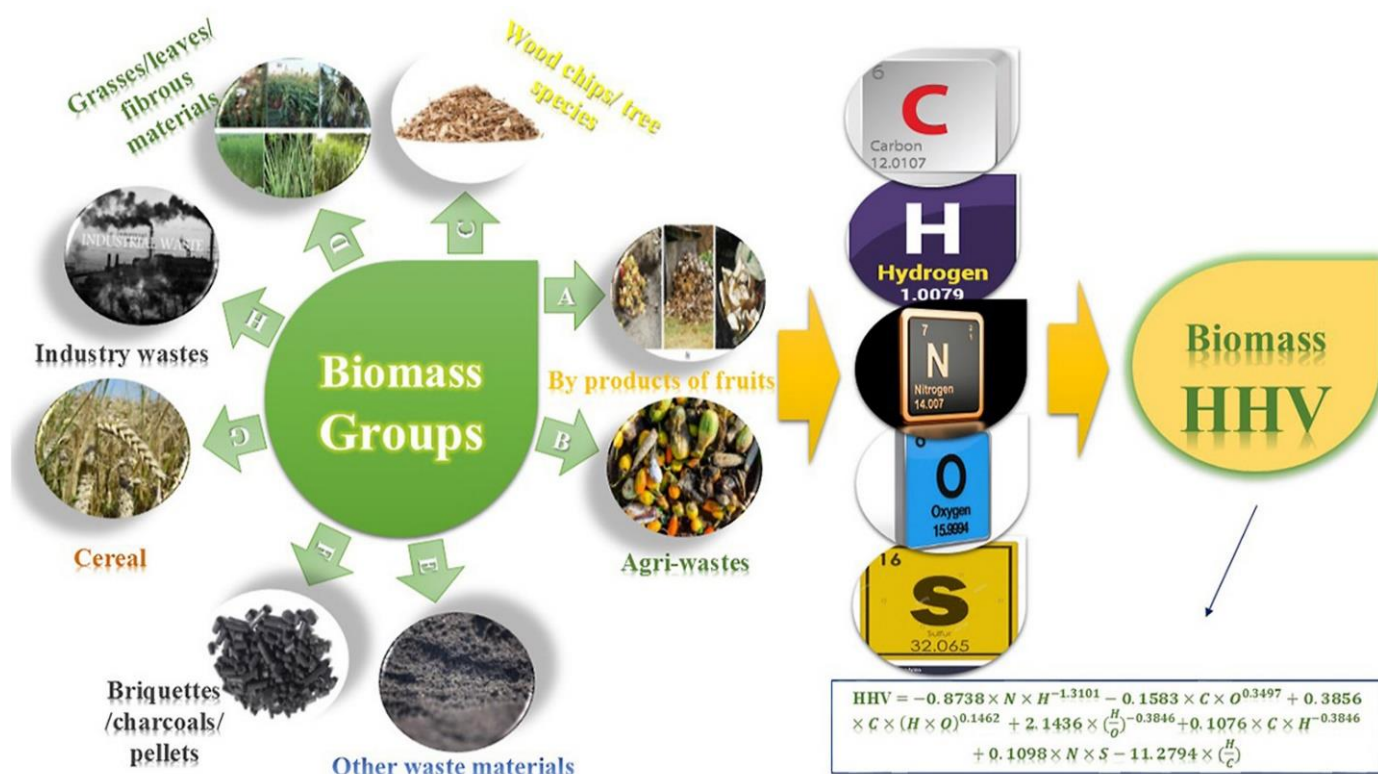
OurWorldInData.org/energy • CC BY

**Σχήμα 1.1:** Διάγραμμα μεταβολής της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε σχέση με το προηγούμενο έτος, μετρούμενη σε τεραβατώρες (TWh), στην Ελλάδα. Η εικόνα αναπαρήχθη με την άδεια του κατόχου "[ourworldindata.org](https://ourworldindata.org)"<sup>[4]</sup>.

Μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας θεωρούνται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή ήπιες μορφές ενέργειας ή νέες πηγές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια όπου δημιουργούνται από διάφορες φυσικές διαδικασίες της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση, για παράδειγμα η υδραυλική, η ηλιακή ενέργεια, η ενέργεια από βιομάζα, η γεωθερμική ενέργεια και η αιολική ενέργεια. Η ενέργεια βρίσκεται σε ισορροπία, ανανεώνεται συνεχώς και δεν μειώνεται. Έντονο ερευνητικό πεδίο αποτελεί η μετατροπή των ανανεώσιμων πηγών βιομάζας σε ενέργεια και χημικά προϊόντα. Ο ποσοτικός προσδιορισμός της Ανώτερης Θερμογόνου Δύναμης (ΑΘΔ) διαφορετικών καυσίμων βιομάζας θα μπορούσε να βοηθήσει πολύ στην ανάπτυξη πιο κατάλληλων συστημάτων θερμοχημικής μετατροπής βιομάζας. Τέλος ο υπολογισμός της θερμογόνου δύναμης υποδεικνύει τα θερμοχημικά χαρακτηριστικά των καυσίμων βιομάζας, επομένως, είναι ένα από τα σημαντικότερα σημεία αναφοράς ποιότητας. <sup>[5]</sup>

## 1.2 Βιομάζα

Σύμφωνα με τον όρο βιομάζα ονομάζεται κάθε προϊόν ή υποπροϊόν και υπόλειμμα το οποίο δημιουργείται από οργανική ύλη.<sup>[6]</sup> Ειδικότερα το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τους συναφείς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών αποβλήτων και των οικιακών απορριμμάτων. Συνολικό ξηρό βάρος όλων των έμβιων οργανισμών που μπορούν να υποστηριχθούν σε κάθε επίπεδο της τροφικής αλυσίδας ή του τροφικού δικτύου. Ξηρό βάρος του συνόλου της οργανικής ύλης φυτών και ζώων ενός οικοσυστήματος. Φυτικό υλικό και απόβλητα ζώων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμο.<sup>[7]</sup> Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε παραδείγματα βιομάζας.<sup>[8]</sup>



**Σχήμα 1.2:** Γραφική απεικόνιση διαφόρων ομάδων βιομάζας. Η εικόνα αναπαρήχθη με την άδεια του κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων RSC.<sup>[8]</sup>



Η βιομάζα εμπεριέχει αποθηκευμένη ενέργεια από τον ήλιο και όταν καίγεται, η ενέργεια απελευθερώνεται ως θερμότητα. Η βιομάζα περιέχει αποθηκευμένη χημική ενέργεια από τον ήλιο. Τα φυτά παράγουν βιομάζα μέσω της φωτοσύνθεσης. Η βιομάζα μπορεί απευθείας να καεί για θερμότητα ή να μετατραπεί σε ανανεώσιμα υγρά και αέρια καύσιμα μέσω διαφόρων διεργασιών. Η διεργασία της φωτοσύνθεσης, περιγράφεται με την παρακάτω αντίδραση:



Διαφορετικά είδη βιομάζας όπως ροκανίδια, καλαμπόκι, κορμοί, σκουπίδια-απόβλητα, φλοιοί δέντρων, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης της στερεής βιομάζας:

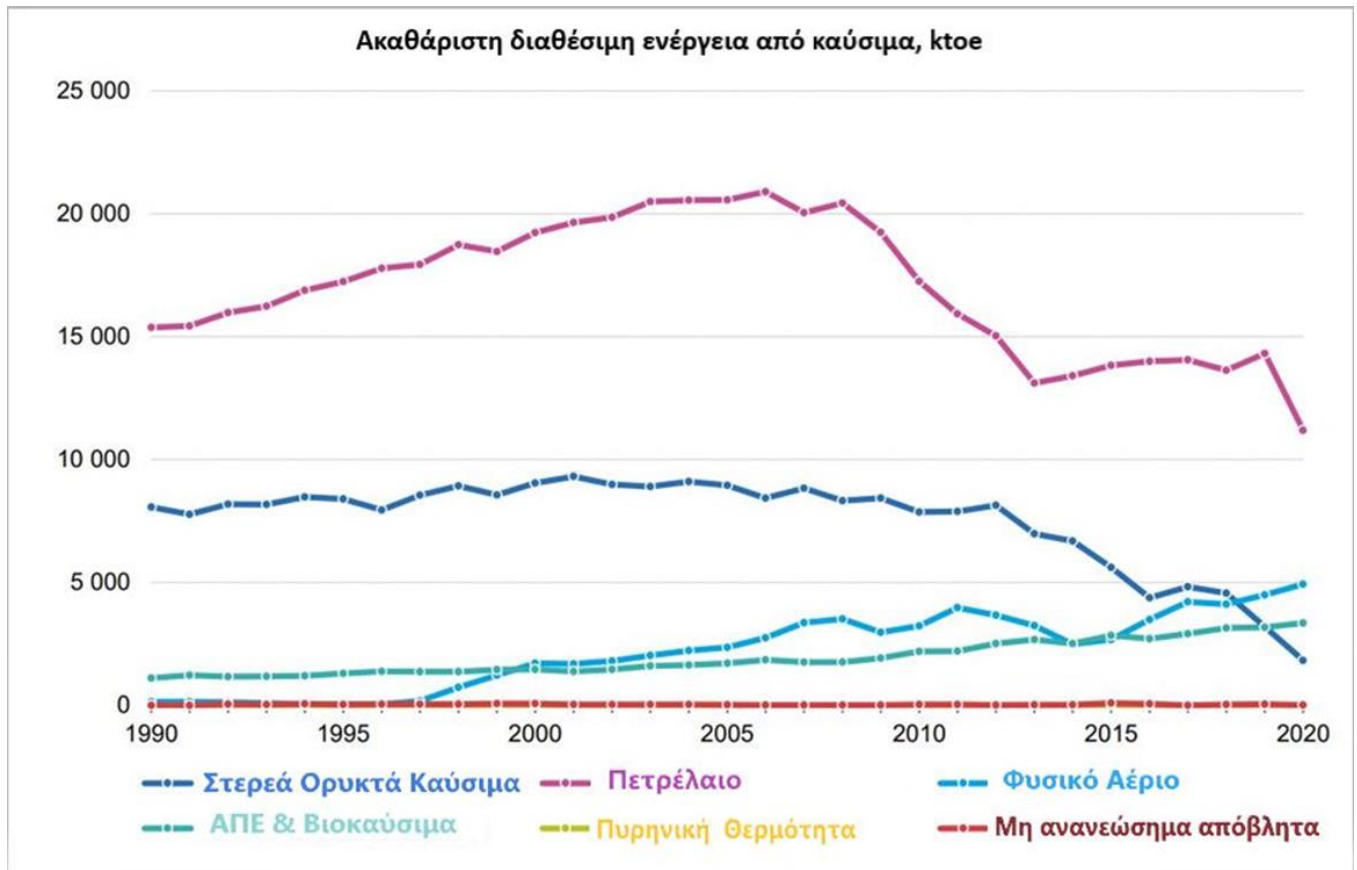
- Ευρέως διαθέσιμη σε ορισμένες περιοχές
- Μέτριο κόστος
- Μεσαία καθαρή ενεργειακή απόδοση
- Μηδενική καθαρή αύξηση CO<sub>2</sub>, σε περίπτωση συγκομιδής, καύσης και επαναφύτευσης με αειφόρο τρόπο
- Η δημιουργία φυτειών με σκοπό την αξιοποίησή τους ως παραγωγή βιοκαυσίμων, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη αποκατάσταση υποβαθμισμένων εδαφών

Τα μειονεκτήματα της αξιοποίησης της στερεής βιομάζας συνοψίζονται παρακάτω:

- Συμβάλλει στην αποδάσωση
- Η αποψιλωτική υλοτομία μπορεί να προκαλέσει διάβρωση του εδάφους, ρύπανση των υδάτων
- Μπορεί να αυξήσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> σε περίπτωση συγκομιδής και καύσης με μη αειφόρο τρόπο

Η πιο συνήθης βιομάζα για καύση και χρήση σε μαγειρική και θέρμανση είναι τα δέντρα. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και για την παραγωγή καυσίμων σε συμβατικές μηχανές αυτοκινήτων γίνεται χρήση πιο εξελίξιμων μορφών βιομάζας, αυτές είναι η αλκοόλη και το μεθάνιο (τα λεγόμενα βιοκαύσιμα).<sup>[7]</sup> Τα βιοκαύσιμα έχουν τρία σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της βενζίνης και του ντίζελ που παράγονται από το πετρέλαιο. Πρώτον, οι καλλιέργειες που προορίζονται για παραγωγή βιοκαυσίμων μπορούν να αναπτυχθούν σε ολόκληρο τον πλανήτη και έτσι μπορούν να βοηθήσουν τις χώρες να μειώσουν την εξάρτηση τους από το εισαγόμενο πετρέλαιο. Δεύτερον, αν οι καλλιέργειες αυτές δεν συγκομίζονται ταχύτερα από τον ρυθμό αύξησης των νέων φυτών, δεν υπάρχει

καθαρή αύξηση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, εκτός αν υφιστάμενα λιβάδια ή δάση έχουν αποφυλωθεί για την καλλιέργεια φυτικών ειδών που προορίζονται για βιοκαύσιμα. Τρίτον, τα βιοκαύσιμα είναι εύκολο να μεταφερθούν και να αποθηκευτούν, μέσω των υφιστάμενων δικτύων μεταφοράς καυσίμων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανοκίνητα οχήματα με μικρό πρόσθετο κόστος. Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε ελαττωμένη τάση ακαθάριστης διαθέσιμης ενέργειας σε πετρέλαιο και αυξημένη τάση ακαθάριστης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) καθώς και βιοκαύσιμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.



**Σχήμα 1.3:** Διάγραμμα ακαθάριστης ενέργειας από διαφορετικά είδη καυσίμων το χρονικό διάστημα από 1990 έως 2020 στην Ελλάδα. Η εικόνα αναπαρήχθη με την άδεια του κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων ΥΠΕΝ<sup>[9]</sup>

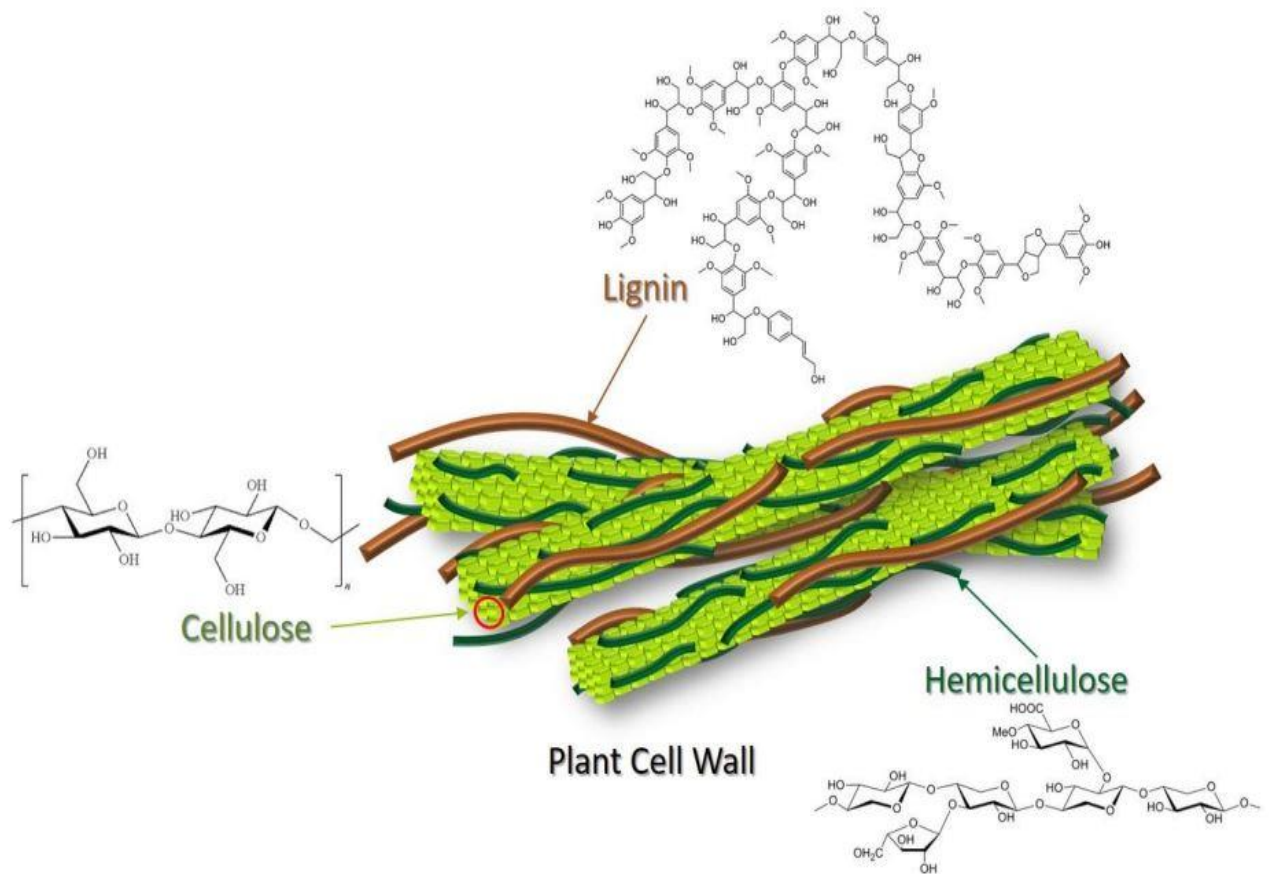
### 1.3 Δομή βιομάζας

Τα κύρια συστατικά βιομάζας είναι τα παρακάτω, όπως φαίνονται και στο σχήμα που ακολουθεί:

- Κυτταρίνη
- Ημικυτταρίνη
- Λιγνίνη

Η κυτταρίνη είναι ένας μη διακλαδισμένος ομοπολυσακχαρίτης που αποτελείται από επαναλαμβανόμενες μονάδες κυτταροβιόζης (διμερές γλυκόζης), οι οποίες είναι συνδεδεονται μεταξύ τους με  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) γλυκοσιδικούς δεσμούς.<sup>[14-15]</sup> Αποτελεί δομικό υδατάνθρακα που αφθονεί ανάμεσα στα φυτικά είδη. Τα τοιχώματα των φυτικών κυττάρων περιέχουν ίνες κυτταρίνης οι οποίες εξασφαλίζουν τη δομική αρτιότητα των κυττάρων που περιβάλλουν. Ένα μεγάλο ποσοστό της κυτταρίνης είναι κρυσταλλική λόγω διαμόρφωσης στην οποία οι αλυσίδες κυτταρίνης είναι ευθυγραμμισμένες παράλληλα η μία με την άλλη για να επιτρέπουν μια πολύ σφιχτή δίκτυο δια- και ενδομοριακών δεσμών υδρογόνου. Αυτό καθιστά την κρυσταλλική κυτταρίνη πολύ ανθεκτική στη χημική ή βιολογική αποσύνθεση. Ωστόσο, αυτή η κρυσταλλικότητα δεν αναμένεται να επηρεάσει τη βιομάζα αποσύνθεση σε υπερκρίσιμες συνθήκες, καθώς έχει αναφερθεί ότι η κυτταρίνη υφίσταται κρυσταλλική σε άμορφη μετατροπή σε νερό περίπου στους 320 °C και στα 250 bar. Παρομοίως, είναι γνωστά αλκαλικά υδατικά διαλύματα παρεμποδίζουν την κρυσταλλικότητα της κυτταρίνης, καθιστώντας έτσι τις αλυσίδες κυτταρίνης πιο προσιτές στην αποικοδόμηση.<sup>[15-16]</sup>

Οι ημικυτταρίνες, σε αντίθεση με την κυτταρίνη, είναι μια συλλογή από πλήρως άμορφους, διακλαδισμένους ετεροπολυσακχαρίτες με μικρότερα μήκη αλυσίδας.<sup>[17-18]</sup> Αποτελούνται από συνδυασμούς εξόζης (C6) και πεντόζης (C5) καθώς και ουρονικών οξέων και ομάδες ακετυλίου και οι συνδυασμοί ποικίλλουν χαρακτηριστικά μεταξύ των φυτικών ειδών ή ακόμη και των φυτικών ιστών.



**Σχήμα 1.6:** Σύσταση βιομάζας. <sup>[10]</sup> Η εικόνα αναπαρήχθη με την άδεια του κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων Springer Nature.

Τέλος η λιγνίνη είναι ένα πολύπλοκο μη γραμμικό μακρομόριο που προκύπτει από τον πολυμερισμό/διασταυρούμενη σύνδεση (μέσω C-C και C-O-C αιθερικοί δεσμοί) τριών φαινοπροπανοειδών μονάδων: π-κουμαρυλική, κωνφερυλική και σιναυλική αλκοόλη. Παρόμοια με την ημικυτταρίνη, η αναλογία αυτών των μονομερών λιγνίνης εξαρτάται από τα φυτικά είδη και τους ιστούς.<sup>[19]</sup>

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται πηγές βιομάζας και διάφορες συστάσεις λιγνίνης, κυτταρίνης και ημικυτταρίνης που περιέχονται από διάφορα δείγματα.

**Πίνακας 1.1:** Περιεκτικότητα σε λιγνίνη, κυτταρίνη και ημικυτταρίνη επιλεγμένης βιομάζας<sup>[20-25,42-47]</sup>

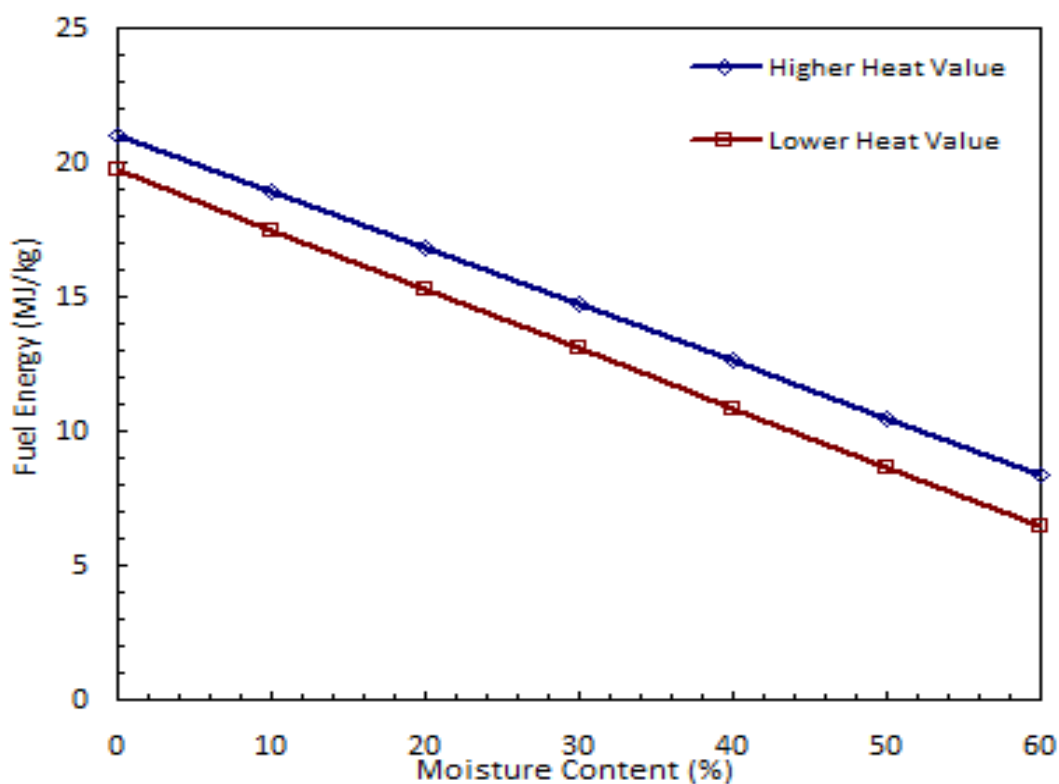
| Δείγματα                 | Λιγνίνη (%) | Κυτταρίνη (%) | Ημικυτταρίνη (%) |
|--------------------------|-------------|---------------|------------------|
| Ξύλο                     | 25-30       | 35-50         | 20-30            |
| Άχυρο σίτου              | 15-20       | 33-40         | 20-25            |
| Αλλαγή χόρτου            | 5-20        | 30-50         | 10-40            |
| Βαγάσας ζαχαροκάλαμου    | 23-32       | 19-24         | 32-48            |
| Μίσκανθος                | 17          | 24            | 44               |
| Σόβερ καλαμποκιού        | 16-21       | 28            | 35               |
| Κέλυφος φουντουκιού      | 42.9        | 28.8          | 30.4             |
| Φλοιός ελιάς             | 48.4        | 24            | 23.6             |
| Βότσαλο αραβοσίτου       | 15          | 50.5          | 31               |
| Απορρίμματα τσαγιού      | 40          | 30.20         | 19.9             |
| Κέλυφος καρυδιάς         | 52.3        | 25.6          | 22.7             |
| Κέλυφος αμυγδαλού        | 20.4        | 50.7          | 28.9             |
| Κοχύλι ηλιάνθου          | 17          | 48.4          | 34.6             |
| Κέλυφος ξηρών καρπών     | 30-40       | 25-30         | 25-30            |
| Χαρτί                    | 0-15        | 85-99         | 0                |
| Κόκκος ρυζιού            | 18          | 32.1          | 24               |
| Αποθηκευμένα απορρίμματα | 20          | 60            | 20               |
| Φύλλα                    | 0           | 15-20         | 80-85            |
| Τρίχες βαμβακόσπορου     | 0           | 80-95         | 5-20             |
| Φυστίκι                  | 26.4        | 40.5          | 14.7             |
| Ηλιοσπορος               | 26.4        | 30            | 38.5             |
| Κουκούτσι βερίκοκου      | 19.48       | 34.2          | 21.29            |
| Αμυγδαλο                 | 29.54       | 38.48         | 28.82            |
| Καρυδι                   | 35          | 30            | 24.9             |
| Κουκούτσι ροδάκινου      | 27.46       | 30.80         | 22.22            |

## 1.4 Βασικές ιδιότητες βιομάζας

Οι βασικές ιδιότητες της βιομάζας που θεωρούνται περισσότερο καθοριστικές και πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν με στόχο την βέλτιστη αξιοποίησή της είναι <sup>[10]</sup>:

Περιεκτικότητα σε υγρασία

Περιεκτικότητα σε υγρασία θεωρείται η ποσότητα νερού που υπάρχει στη βιομάζα και υπολογίζεται ως ποσοστό επί του βάρους του υλικού. Η περιεκτικότητα σε υγρασία καθορίζεται εύκολα πειραματικά και μπορεί να διακρίνει τη διαφορά μεταξύ ενός καλού και ενός κακού καυσίμου. Η περιεκτικότητα σε υγρασία πειραματικά γίνεται εφικτή ξηραίνοντας ένα δείγμα στους 100-105°C σε ατμοσφαιρική πίεση ή σε μικρότερη πίεση και χαμηλότερη θερμοκρασία. Με την διαδικασία αυτή κάποια οργανικά συστατικά μπορεί να μειωθούν, λόγω της πτητικότητας, αλλά τα αποτελέσματα είναι κατάλληλα για τον χαρακτηρισμό της βιομάζας. Τα καύσιμα υψηλής υγρασίας καίγονται λιγότερο εύκολα και παρέχουν λιγότερη χρήσιμη θερμότητα ανά μονάδα μάζας. Αυτό συμβαίνει επειδή το ίδιο το νερό δεν παρέχει ενεργειακή αξία και μεγάλο μέρος της ενέργειας του καυσίμου χρησιμοποιείται για τη θέρμανση και την εξάτμιση του νερού.



**Σχήμα 1.5:** Τυπικό διάγραμμα ανώτερης και κατώτερης θερμογόνος δύναμη (MJ/ Kg) σε σχέση με την περιεκτικότητα σε υγρασία (%). <sup>[12]</sup>

Όπως μπορούμε να δούμε και από το παραπάνω διάγραμμα, το καύσιμο με υψηλότερα επίπεδα υγρασίας περιέχει πολύ λιγότερη ενέργεια ανά κιλό. Επίσης το ξηρότερο καύσιμο είναι γενικά πολύ πιο εύκολο να καεί. Ο εξοπλισμός εμπορικής κλίμακας είναι συχνά ικανός να καίει καύσιμα που έχουν υγρασία έως και 50% περίπου, αλλά ο οικιακός εξοπλισμός καύσης δεν λειτουργεί καθόλου καλά όταν τα επίπεδα υγρασίας είναι υψηλά. Συνεπώς η υγρασία πρέπει να κρατείται σε χαμηλά επίπεδα ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που υπάρχουν και επιπλέον να μην αυξάνεται το κόστος μεταφοράς εξαιτίας του αυξημένου βάρους που φέρουν τα υψηλά επίπεδα υγρασίας. Η περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να υπολογιστεί σε δύο βάσεις: υγρή ή ξηρή. Αν η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι προσδιορισμένη σε υγρή βάση, το βάρος του νερού εκφράζεται σαν ένα ποσοστό του αθροίσματος του βάρους του νερού, της τέφρας και ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού, όπως αναγράφεται στην παρακάτω εξίσωση<sup>[13]</sup>.

$$\text{Humidity (Υγρασία)} = \% (W_{H_2O} + W_{\text{τέφρας}} + W_{\text{ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού}}) \quad (2)$$

όπου W = Βάρος (Kg)

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται η περιεκτικότητα σε υγρασία σε ξηρή βάση, το βάρος του νερού εκφράζεται σαν ένα ποσοστό του βάρους της τέφρας και ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού.

$$\text{Humidity (Υγρασία)} = \% (W_{\text{τέφρας}} + W_{\text{ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού}}) \quad (3)$$

όπου W = Βάρος (Kg)

Τέλος, η περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να εκφραστεί σαν ένα ποσοστό της περιεκτικότητας του ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού.

$$\text{Περιεκτικότητα (Υγρασία)} = \% \text{ Περιεκτικότητα}_{\text{ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού}} \quad (4)$$

➤ Περιεκτικότητα σε τέφρα

Το υπόλειμμα που απομένει μετά την καύση της βιομάζας είναι η τέφρα. Τα ανόργανα συστατικά, όπως SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, μπορούν να εκφραστούν με τον ίδιο τρόπο με την περιεκτικότητα σε υγρασία σε υγρή, ξηρή, ή ξηρή και απαλλαγμένης τέφρας βάση. Συνήθως εκφράζεται σε υγρή βάση. Η μικρή θερμογόνο δύναμη της βιομάζας προέρχεται από μεγάλη περιεκτικότητα σε τέφρα. Σημαντικά στοιχεία της βιομάζας είναι η περιεκτικότητα σε τέφρα αλλά και η χημική σύστασή της. Η σύσταση της τέφρας επηρεάζει τη συμπεριφορά της στις υψηλές θερμοκρασίες της καύσης και της αεριοποίησης. Η τέφρα δεν καίγεται κατά τη καύση της βιομάζας, αντιθέτως δημιουργεί

προβλήματα στις μηχανές καύσης, ενώ υπάρχει και το πρόβλημα διάθεσης της. Συνεπώς, καλές καύσιμα θεωρούνται υλικά με χαμηλή τέφρα και υψηλή θερμαντική αξία.

➤ Περικτικότητα σε πτητικά στερεά

Πτητικά στερεά απελευθερώνονται κατά την θέρμανση βιομάζας στους 400-500 °C. Κατά τη διάρκεια αυτής της διεργασίας, η βιομάζα διασπάται σε στερεό εξανθράκωμα και σε πτητικά αέρια. Αυξημένη περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά δημιουργεί προβλήματα στους καυστήρες καθώς αφήνουν υπολείμματα. Συνήθως, η βιομάζα έχει περιεκτικότητα σε πτητικά έως και 80%, ενώ ο γαιάνθρακας έχει περιεκτικότητα σε πτητικά λιγότερο από 40%.

➤ Περιεκτικότητα σε αλκαλικά μέταλλα

Στην βιομάζα περιέχονται τα αλκαλικά μέταλλα που δημιουργούν προβλήματα καθώς αντιδρούν με το πυρίτιο που υπάρχει στην στάχτη δημιουργώντας ένα κολλώδες υγρό το οποίο μπορεί να φράξει τους αεραγωγούς του λέβητα.

➤ Θερμογόνος δύναμη

Η θερμογόνος δύναμη είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός καυσίμου επειδή υποδεικνύει τη συνολική ποσότητα ενέργειας που είναι διαθέσιμη στο καύσιμο. Υποδηλώνει το ανώτερο όριο της διαθέσιμης θερμικής ενέργειας που παράγεται από την πλήρη καύση καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα είναι η θερμική ενέργεια που παράγεται κατά την πλήρη καύση ενός κιλού στερεού ή υγρού καυσίμου ή ενός κυβικού μέτρου αερίου καυσίμου που βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες. Διακρίνεται σε κατώτερα (ΚΘΔ ή LHV) και ανωτέρα θερμογόνο δύναμη (ΑΘΔ ή HHV). Στο επόμενο κεφάλαιο θα ακολουθήσει αναλυτική περιγραφή εννοιών καθώς και εξισώσεων που βοηθούν στον υπολογισμό της ανωτέρω θερμογόνου δύναμης μίας βιομάζας.

➤ Πυκνότητα και μέγεθος σωματιδίων

Το μέγεθος των σωματιδίων και η πυκνότητα των καυσίμων βιομάζας είναι επίσης σημαντικά καθώς επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά καύσης, δηλαδή τον ρυθμό θέρμανσης και ξήρανσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης. Το μέγεθος των σωματιδίων του καυσίμου καθορίζει τον τύπο του εξοπλισμού χειρισμού που απαιτείται. Το λάθος μέγεθος καυσίμου θα επηρεάσει αρνητικά την απόδοση της διαδικασίας καύσης και μπορεί να προκαλέσει εμπλοκή ή ζημιά στον εξοπλισμό χειρισμού. Το καύσιμο μικρότερου μεγέθους είναι πιο συνηθισμένο για συστήματα εμπορικής κλίμακας, επειδή τα μικρότερα καύσιμα είναι ευκολότερα στη χρήση σε συστήματα αυτόματης τροφοδοσίας και επιτρέπουν τον καλύτερο έλεγχο του ρυθμού καύσης ελέγχοντας τον ρυθμό με τον οποίο προστίθεται καύσιμο στο θάλαμο καύσης. Το μέγεθος και η πυκνότητα των σωματιδίων του καυσίμου επηρεάζουν την απόδοση του καυσίμου και θα πρέπει να λαμβάνονται προσεκτικά υπόψη



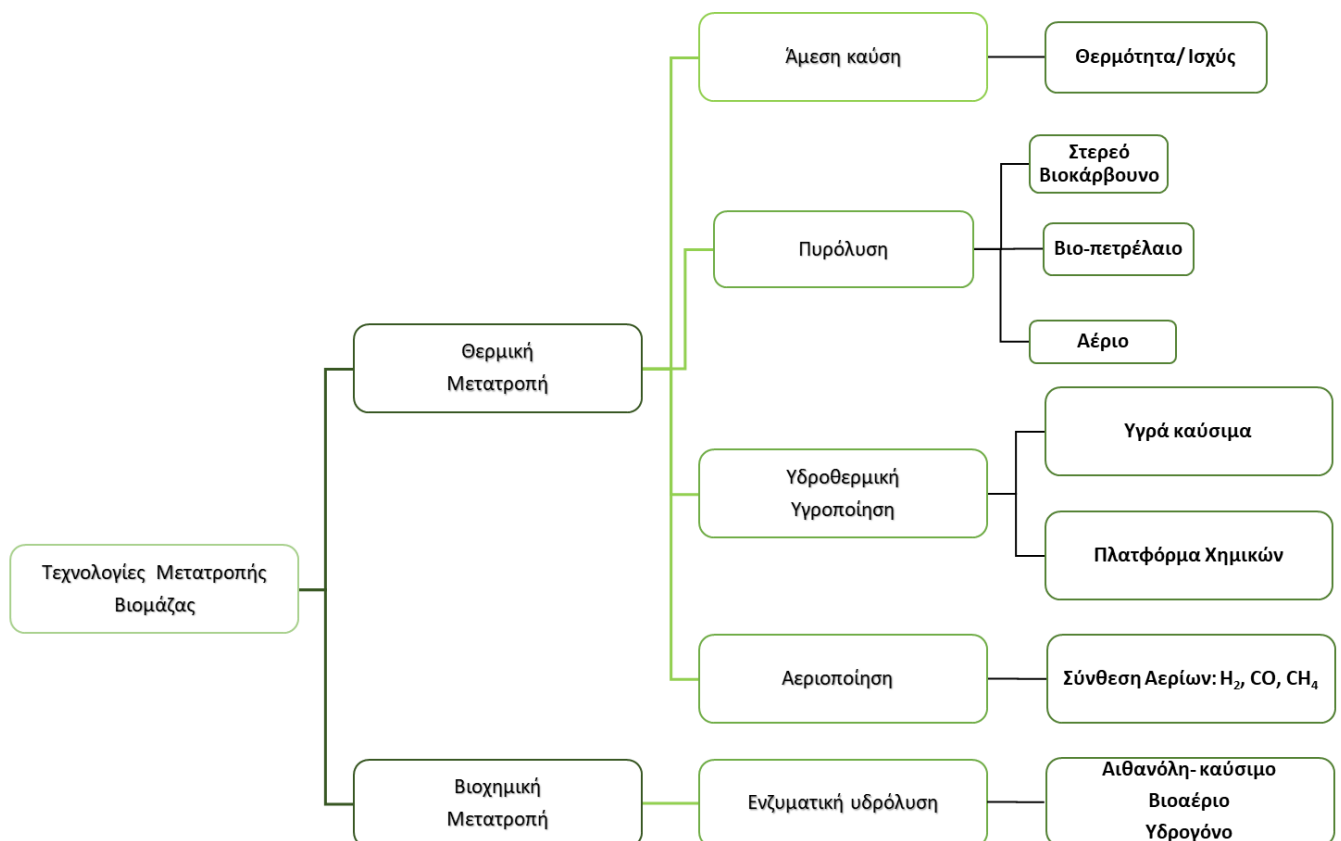
κατά την επιλογή ενός τύπου καυσίμου. Η χύδην πυκνότητα (είναι η μάζα ενός υλικού διαιρεμένη με τον όγκο που καταλαμβάνει. Η χύδην πυκνότητα (bulk) των κοκκωδών υλικών εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο χειρισμός τους. Η «χύδην» πυκνότητα σε σύνδεση με τη θερμογόνο πυκνότητα της βιομάζας απαρτίζουν την «ενεργειακή» της πυκνότητα. Σε σχέση με το πετρέλαιο, η βιομάζα εμπεριέχει σχεδόν το 10 % της ενεργειακής πυκνότητας.

## 1.5 Μέθοδοι για τη μετατροπή βιομάζας σε ενέργεια

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες τεχνικών για την επεξεργασία της βιομάζας σε βιοενέργεια:

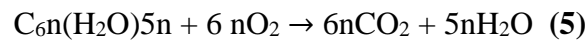
- i) τεχνικές θερμοχημικής μετατροπής
- ii) τεχνικές βιοχημικής αποσύνθεσης συμπεριλαμβανομένης της αναερόβιας αποσύνθεσης και ζύμωσης,

όπως συνοψίζονται στο παρακάτω σχήμα.<sup>[26]</sup>



**Σχήμα 1.6:** Θερμοχημικές και βιοχημικές οδοί μετατροπής για χρήση βιομάζας.<sup>[26]</sup>

Η άμεση καύση της βιομάζας αποτελεί τον πιο απλό τρόπο για την ενεργειακή αξιοποίησή της βιομάζας. Η διαίρεση της βιομάζας σε μικρότερα μεγέθη συμβάλλει θετικά και σε μερικές περιπτώσεις καθίσταται απαραίτητος, καθώς διευκολύνει την χρήση του σε κατάλληλους λέβητες για καύση.<sup>[26]</sup> Η βιομάζα στην μορφή πολύ λεπτών κόκκων οδηγεί σε θερμοκρασίες καύσης της βιομάζας που μπορεί να κυμαίνονται από 1000 έως 1500°C. Η τυπική χημική αντίδραση κατά τη καύση της βιομάζας είναι :



Σε μια διαδικασία πυρόλυσης βιομάζας, οργανικά υλικά στη βιομάζα τα μακρομόρια αποσυντίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες μέσω εξωτερικής παρεχόμενης θερμότητας υπό αδρανή ατμόσφαιρα ή απουσία οξυγόνου. Είναι η θεμελιώδης χημική αντίδραση που είναι ο πρόδρομος της αεριοποίησης και της καύσης και συμβαίνει φυσικά στα δύο πρώτα δευτερόλεπτα. Τα προϊόντα της πυρόλυσης βιομάζας ενσωματώνουν βιοκάρβουνο, βιοέλαιο και αέρια όπως μεθάνιο, υδρογόνο, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα. Η πυρόλυση θα δημιουργήσει κυρίως βιοάνθρακες σε χαμηλές θερμοκρασίες, κάτω από 450 °C ανάλογα με την τελική θερμοκρασία και το θερμικό περιβάλλον, όταν ο ρυθμός θέρμανσης είναι αρκετά αργός, και κυρίως αέρια σε υψηλές θερμοκρασίες, μεγαλύτερες από 800 °C, με γρήγορους ρυθμούς θέρμανσης. Σε ενδιάμεση θερμοκρασία και σε σχετικά υψηλούς ρυθμούς θέρμανσης, το κύριο προϊόν είναι το βιοέλαιο. Η πυρόλυση πραγματοποιείται σε σχετικά μικρή κλίμακα και σε απομακρυσμένες τοποθεσίες που ενισχύουν την ενεργειακή πυκνότητα του πόρου της βιομάζας και μειώνουν το κόστος μεταφοράς και χειρισμού. Η πυρόλυση προσφέρει έναν ευέλικτο και ελκυστικό τρόπο μετατροπής της στερεάς βιομάζας σε ένα υγρό που αποθηκεύεται και μεταφέρεται εύκολα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την παραγωγή θερμότητας, ενέργειας και χημικών ουσιών. Ένα ευρύ φάσμα πρώτων υλών βιομάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαδικασίες πυρόλυσης. Η διαδικασία πυρόλυσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα σε υγρασία της πρώτης ύλης, η οποία πρέπει να είναι περίπου 10%. Σε υψηλότερη περιεκτικότητα υγρασίας, παράγονται υψηλά επίπεδα νερού και σε χαμηλότερα επίπεδα υπάρχει κίνδυνος η διαδικασία να παράγει μόνο σκόνη αντί για λάδι. Ρεύματα αποβλήτων υψηλής υγρασίας, όπως η λάσπη και τα απόβλητα επεξεργασίας κρέατος, απαιτούν ξήρανση πριν υποβληθούν σε πυρόλυση.

Μία άλλη μέθοδος είναι η υδροθερμική υγροποίηση.<sup>[27]</sup> Οι θερμοκρασίες πραγματοποίησης τους είναι χαμηλές θερμοκρασίες (280–370°C) και σε υψηλές πιέσεις.

Η διαδικασία της αεριοποίησης πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες μεταξύ 800 και 1300°C και είναι φιλική προς το περιβάλλον για την παραγωγή ενέργειας.<sup>[28]</sup> Προς παραγωγή

του αερίου σύνθεσης (syngas) υπό περιορισμένη παρουσία οξειδωτικών μέσων (αέρα, οξυγόνο, ατμός ή και μείγμα αυτών). Ο κύριος σκοπός της διεργασίας είναι η ελαχιστοποίηση της απόδοσης του άνθρακα που δεν έχει αντιδράσει, των συμπυκνώσιμων υδρογονανθράκων και η μεγιστοποίηση της απόδοσης των αέριων προϊόντων. Η αεριοποίηση εφαρμόζεται ευρέως, καθώς είναι απαραίτητη για την παραγωγή θερμικής ισχύος, υδρογόνου και την σύνθεση χημικών και καυσίμων. Για την αεριοποίηση της βιομάζας ακολουθούνται τα εξής τέσσερα βήματα. Πρώτα απαιτείται θέρμανση και ξήρανση για την απομάκρυνση της περιεχόμενης υγρασίας με την απαιτούμενη ενέργεια να εξαρτάται από την σύσταση της βιομάζας. Η υψηλότερη υγρασία έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή συγκέντρωση  $CO_2$  και  $H_2O$  στο τελικό μείγμα, ενώ η χαμηλότερη υγρασία την υψηλότερη συγκέντρωση  $H_2$ ,  $CO$  και  $CH_4$ . Έπειτα, η βιομάζα πυρολύεται στους  $300-500^\circ C$ , μετατρέποντας το 70-90% σε ατμούς και αέρια. Ακολουθούν οι δευτερογενείς αντιδράσεις μεταξύ των στερεών προϊόντων της πυρόλυσης και των αερίων του μέσου σχηματίζοντας  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$  και  $CH_4$ . Τέλος ο άνθρακας αεριοποιείται περαιτέρω υπό περιορισμένο αέρα, οξυγόνο ή αρμό για την παραγωγή αέριων καυσίμων.

Φιλική μέθοδος για το περιβάλλον είναι οι βιοχημικές μέθοδοι.[29,30] Η διαδικασία αυτών τις κάνει να θεωρούνται διεργασίες αντίστροφες της φωτοσύνθεσης. Σε αυτές γίνεται η αξιοποίηση των μικροοργανισμών (βακτήρια και ένζυμα) για την αποσύνθεση της πρώτης ύλης και την παραγωγή υγρών και αέριων καυσίμων. Γίνεται χρήση για την μετατροπή οργανικών αποβλήτων, τα οποία είναι δύσκολα στην επεξεργασία τους και το χειρισμό τους. Κύριο μειονέκτημά τους είναι ο χρόνος επεξεργασίας τους ο οποίος διαρκεί και αντισταθμίζει το πλεονέκτημά τους την μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση.

## 1.6 Συστήματα θέρμανσης βιομάζας

Τα συστήματα θέρμανσης με βιομάζα είναι η καλύτερη εναλλακτική λύση τόσο για κατοικίες όσο και για επαγγελματικούς χώρους. Όπως περιγράφεται και παραπάνω τα συστήματα αυτά είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον αλλά και πιο οικονομικά από τα συνήθη συστήματα θέρμανσης με πετρέλαιο. Τα πιο σύνηθες συστήματα θέρμανσης βιομάζας είναι:

➤ Ενεργειακό τζάκι βιομάζας

Το ενεργειακό τζάκι βιομάζας έχει υψηλή απόδοση έως 84% και η ισχύς του εξαρτάται από την καύσιμη ύλη. Μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιαδήποτε συστήματα μεταφοράς θερμότητας όπως το δίκτυο των καλοριφέρ ή εξαναγκασμένη συναγωγή με χρήση ανεμιστήρων μέσω καναλιών σε όλο τον χώρο. <sup>[31]</sup>



Σχήμα 1.7: Ενεργειακό τζάκι βιομάζας. <sup>[31]</sup>

➤ Σόμπα βιομάζας

Οι σόμπες βιομάζας έχουν υψηλή απόδοση έως και 92% και η ισχύς του εξαρτάται από την καύσιμη ύλη. Η λειτουργία είναι απλή αφού υπάρχουν αεραγωγοί και εκλύεται θερμός αέρας στον χώρο. Συνήθως χρησιμοποιούνται για μικρούς χώρους.



*Σχήμα 1.8: Ενεργειακή σόμπα βιομάζας. <sup>[32]</sup>*

➤ Ενεργειακός λέβητας βιομάζας

Η λειτουργία του είναι ίδια με τους συνήθεις λέβητες πετρελαίου. Πιο συγκεκριμένα η παραγόμενη φλόγα από την καύσιμη ύλη εισέρχεται στο κύκλωμα νερού και στον εναλλάκτη θερμότητας λαμβάνοντας έτσι ζεστό νερό για το σύστημα. Για την αποθήκευση της βιομάζας (σφαιρίδια ξύλου, κελύφη από ξηρούς καρπούς, κλπ.) χρησιμοποιείται ένα δοχείο το οποίο συνδέεται με τον καυστήρα ώστε να τον τροφοδοτήσει με καύσιμο. Η απόδοσή τους φτάνει έως 94%.



*Σχήμα 1.9: Ενεργειακός λέβητας βιομάζας. <sup>[33]</sup>*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ

### 2.1 Εισαγωγή

Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη (HHV) είναι η θερμότητα που παράγεται σε πλήρη καύση υπό σταθερή πίεση με τα προϊόντα καύσης να ψύχονται σε τυπικές συνθήκες και το νερό στα προϊόντα καύσης να συμπυκνώνεται σε υγρή κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα τα προϊόντα που εμπεριέχουν νερό, προέρχεται από την καύση του υδρογόνου που είναι αποθηκευμένο στο καύσιμο και από την υγρασία. Κατά την μέτρηση της (HHV) στο θερμιδόμετρο το νερό που υπάρχει στα προϊόντα προέρχεται αποκλειστικά από το υδρογόνο του καυσίμου, το νερό συμπυκνώνεται αποδίδοντας την λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως. Η θερμογόνος δύναμη που δεν περιέχει την λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως ονομάζεται κατώτερη θερμογόνος δύναμη (LHV).<sup>[35]</sup>

Η υγρασία σε ένα καύσιμο μειώνει την ανώτερη θερμογόνος δύναμη (HHV). Η υγρασία στην βιομάζα αποθηκεύεται εντός των νεκρών κυττάρων και εντός των κυτταρικών τοιχωμάτων. Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη καυσίμων βιομάζας εκφράζεται ως (HHV<sub>d</sub>) και βρίσκεται μέσω της προκύπτουσας θερμογόνου δύναμης από το θερμιδόμετρο (HHV ή GHV).

Η θερμική ενέργεια που μετράται σε θερμιδικό εστέρα βόμβας μπορεί να εκφραστεί είτε ως θερμίδες (cal), βρετανικές θερμικές μονάδες (BTU) ή Joules (J), με τη θερμίδα του Διεθνούς Πίνακα Ατμού ως βασική μονάδα σε αυτό το σύστημα. Μία θερμίδα ισούται με 4,1868 απόλυτα Joules και είναι περίπου ισοδύναμη με τη θερμική ενέργεια που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός γραμμαρίου νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου στους 15 °C. Η βρετανική θερμική μονάδα ισούται με 251.996 θερμίδες και είναι περίπου ισοδύναμη με τη θερμική ενέργεια που απαιτείται για να αυξηθεί ένα κιλό νερού κατά ένα βαθμό Φαρενάιτ στους 60 °F. Αυτές και άλλες ενεργειακές σχέσεις φαίνονται στον παρακάτω πίνακα<sup>[40]</sup>:

**Πίνακας 2.1:** Ενεργειακές σχέσεις.

|            |                    |
|------------|--------------------|
| 1 Θερμίδα  | = 4,1868 joules    |
| 1 BTU      | =1055,06 joules    |
| 1 BTU      | = 251.996 Θερμίδες |
| 1 BTU/LB   | = 2.326 joules/gr  |
| 1,8 BTU/LB | = 1 Θερμίδες/gr    |

## 2.2 Χαρακτηριστικά θερμιδόμετρων βόμβας

Οι θερμότητες καύσης όπως προσδιορίζονται σε ένα θερμιδομετρητή βόμβας οξυγόνου μετρώνται με μια διαδικασία αντικατάστασης στην οποία η θερμότητα που λαμβάνεται από το δείγμα συγκρίνεται με τη θερμότητα που λαμβάνεται από την καύση παρόμοιας ποσότητας βενζοϊκού οξέος ή άλλου πρότυπου υλικού του οποίου η θερμογόνος δύναμη είναι γνωστή. Αυτές οι μετρήσεις λαμβάνονται με καύση αντιπροσωπευτικού δείγματος σε ατμόσφαιρα οξυγόνου υψηλής πίεσης μέσα σε μεταλλικό δοχείο πίεσης ή «βόμβα». Η ενέργεια που απελευθερώνεται από αυτή την καύση απορροφάται εντός του θερμιδόμετρου και σημειώνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας που προκύπτει εντός του απορροφητικού μέσου. Η θερμότητα της καύσης του δείγματος υπολογίζεται στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας την αύξηση της θερμοκρασίας στο θερμιδόμετρο με ένα προηγουμένως καθορισμένο ισοδύναμο ενέργειας ή θερμική χωρητικότητα που προσδιορίστηκε από προηγούμενες δοκιμές με ένα τυποποιητικό υλικό. Πρέπει να εφαρμοστούν διορθώσεις για την προσαρμογή αυτών των τιμών για οποιαδήποτε μεταφορά θερμότητας που συμβαίνει στο θερμιδόμετρο, καθώς και για τυχόν παράπλευρες αντιδράσεις που είναι μοναδικές στη διαδικασία καύσης της βόμβας.

Τέσσερα βασικά μέρη απαιτούνται σε οποιοδήποτε θερμιδόμετρο βόμβας:

- Βόμβα ή οβίδα στο οποίο τα εύφλεκτα υλικά μπορούν να καούν.
- Κάδος ή δοχείο για τη συγκράτηση της βόμβας σε μετρημένη ποσότητα νερού, μαζί με μηχανισμό δακτυλίου ανάδευσης.
- Ένα μονωτικό χιτώνιο για την προστασία του κάδου από παροδικές θερμικές καταπονήσεις κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης.
- Ένα θερμιόμετρο ή άλλος αισθητήρας για τη μέτρηση των αλλαγών θερμοκρασίας μέσα στον κάδο.

Η βόμβα πρέπει να είναι ένα ισχυρό μεταλλικό δοχείο με παχύ τοίχωμα, το οποίο μπορεί να ανοίξει για την εισαγωγή του δείγματος, για την αφαίρεση των προϊόντων της καύσης και για τον καθαρισμό. Πρέπει να υπάρχουν βαλβίδες για την πλήρωση της βόμβας με οξυγόνο υπό πίεση και για την απελευθέρωση υπολειμματικών αερίων στο τέλος μιας δοκιμής. Απαιτούνται επίσης ηλεκτρικά βήματα για τη μεταφορά ρεύματος ανάφλεξης σε ένα καλώδιο ασφάλειας. Εφόσον μπορεί να αναπτυχθεί εσωτερική πίεση έως και 1500 psig κατά την καύση, οι περισσότερες βόμβες οξυγόνου είναι κατασκευασμένες για να αντέχουν σε πιέσεις τουλάχιστον 3000 psig.

Στο υγρό περιβάλλον οξυγόνου υψηλής πίεσης μέσα σε μια βόμβα, το άζωτο που



υπάρχει θα οξειδωθεί σε νιτρικό οξύ, το θείο που υπάρχει θα οξειδωθεί σε θειικό οξύ και το παρόν χλώριο θα απελευθερωθεί ως μείγμα χλωρίου και υδροχλωρικού οξέος. Αυτά τα οξέα συνδυάζονται με το υπολειμματικό οξυγόνο υψηλής θερμοκρασίας για να σχηματίσουν έναν διαβρωτικό ατμό που θα χαράξει τα συνηθισμένα μέταλλα. Επομένως, η βόμβα πρέπει να είναι κατασκευασμένη από υλικά που δεν θα δεχτούν διάβρωση από αυτά τα προϊόντα καύσης. Οι βόμβες οξυγόνου συνήθως είναι κατασκευασμένες από σύνθετα κράματα υψηλής περιεκτικότητας σε χρώμιο-νικέλιο, τα οποία έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα κατάλληλα για το σκοπό αυτό.

### 2.3 Προετοιμασία οργάνου

Πριν από ένα υλικό με άγνωστη θερμογόνο δύναμη ακόμα, το οποίο μπορεί να δοκιμαστεί σε θερμιδόμετρο βόμβας, πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί το ισοδύναμο ενέργειας ή η θερμική χωρητικότητα του θερμιδόμετρου. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει το άθροισμα των θερμοχωρητικοτήτων των εξαρτημάτων στο θερμιδόμετρο, ιδίως της μεταλλικής βόμβας, του κάδου και του νερού στον κάδο. Δεδομένου ότι η ακριβής ποσότητα καθενός από τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στη βόμβα και τον κάδο είναι δύσκολο να προσδιοριστεί και αλλάζει συνεχώς με τη χρήση, τα ενεργειακά ισοδύναμα προσδιορίζονται εμπειρικά σε τακτά χρονικά διαστήματα με καύση δείγματος τυπικού υλικού με γνωστή θερμότητα καύσης υπό ελεγχόμενη και αναπαραγώγιμες συνθήκες λειτουργίας. Το βενζοϊκό οξύ χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά ως υλικό αναφοράς για τη θερμιδομετρία του καυσίμου επειδή καίγεται πλήρως σε οξυγόνο. Δεν είναι υγροσκοπικό και είναι άμεσα διαθέσιμο σε πολύ καθαρή μορφή.<sup>[36]</sup>

Η ποσότητα θερμότητας που εισάγεται από την αναφορά, το δείγμα προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας τη θερμότητα καύσης του τυπικού υλικού με το βάρος του δείγματος που καίγεται. Κατόπιν, διαιρώντας αυτήν την τιμή με την αύξηση της θερμοκρασίας που παράγεται στη δοκιμή, λαμβάνουμε ένα προκύπτον ισοδύναμο ενέργειας για αυτό το συγκεκριμένο θερμιδόμετρο. Για παράδειγμα:

Εξετάστε μια δοκιμή τυποποίησης στην οποία 1,651 γραμμάρια τυπικού βενζοϊκού οξέος (θερμότητα καύσης 6318 cal/g) παρήγαγαν αύξηση θερμοκρασίας 4,317 °C. Στη συνέχεια, το ενεργειακό ισοδύναμο (W) του θερμιδομέτρου υπολογίζεται ως εξής:

$$W = \frac{1,651 \times 6318}{4,317} = 2416 \text{ Cal/}^\circ\text{C} \quad (6)$$

Για απλότητα, οι διορθώσεις που εφαρμόζονται συνήθως για θερμότητες που εισάγονται από την ασφάλεια και από το σχηματισμό οξέος παραλείπονται από το παραπάνω παράδειγμα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το ενεργειακό ισοδύναμο για οποιοδήποτε θερμιδόμετρο εξαρτάται από ένα σύνολο συνθηκών λειτουργίας και αυτές οι συνθήκες πρέπει να αναπαραχθούν όταν ελέγχεται το δείγμα καυσίμου για να παραμείνει έγκυρο το ενεργειακό ισοδύναμο. Είναι προφανές ότι μια διαφορά ενός γραμμαρίου νερού στο θερμιδόμετρο θα αλλάξει αυτή την τιμή κατά μία θερμίδα ανά βαθμό Κελσίου. Λιγότερο προφανείς αλλά εξίσου σημαντικές είναι οι αλλαγές που προκύπτουν από διαφορετικές βόμβες ή κουβάδες με άνισες μάζες, διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας, διαφορετικά θερμόμετρα.

## 2.4 Δοκιμή καυσίμου

Στην συνέχεια αφού προσδιοριστεί το ισοδύναμο ενέργειας, το θερμιδόμετρο είναι έτοιμο για δοκιμή δειγμάτων καυσίμου. Δείγματα γνωστού βάρους καίγονται και η προκύπτουσα αύξηση της θερμοκρασίας μετράται και καταγράφεται. Η ποσότητα θερμότητας που λαμβάνεται από κάθε δείγμα προσδιορίζεται στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας την παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας με το ενεργειακό ισοδύναμο του θερμιδομέτρου. Στη συνέχεια, διαιρώντας αυτή την τιμή με το βάρος του δείγματος λαμβάνουμε τη θερμογόνο δύναμη (θερμότητα καύσης) του δείγματος σε βάση μοναδιαίου βάρους. Συνεχίζοντας το παραπάνω δείγμα:

Ας υποθέσουμε ότι ένα δείγμα καυσίμου βάρους 0,9936 γραμμαρίων παρήγαγε αύξηση θερμοκρασίας 3,234 °C σε θερμόμετρο με ισοδύναμο ενέργειας 2416 θερμίδες / °C.<sup>[41.34]</sup> Στη συνέχεια, η μικτή θερμότητα καύσης (Hg) προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας την αύξηση της θερμοκρασίας με το ισοδύναμο ενέργειας και διαιρώντας αυτό το προϊόν με το βάρος του δείγματος

$$Hg = \frac{3,234 \times 2416}{0,9936} = 7863 \text{ cal / gr (7)}$$

## 2.5 Ακρίβεια οργάνου

Η ακρίβεια στη θερμιδομετρία της βόμβας εξαρτάται από ένα επαναλαμβανόμενο σύνολο συνθηκών λειτουργίας, που εφαρμόζονται ομοιόμορφα σε όλες τις δοκιμές τυποποίησης και προσδιορισμού. Αυτοί οι παράγοντες που δεν μπορούν να διατηρηθούν σταθεροί θα απαιτήσουν διορθώσεις για να αντισταθμίσουν τις επιπτώσεις τους. Επιπλέον, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη τυχόν διαφορές μεταξύ της καύσης όπως λαμβάνει χώρα στη βόμβα σε σχέση με τη διαδικασία σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλη

εφαρμογή.

Το αναμμένο καλώδιο ασφάλειας στη βόμβα συμβάλλει επιπλέον θερμότητα στην καύση της βόμβας. Δεδομένου ότι η ποσότητα του καλωδίου ασφαλειών που καταναλώνεται σε κάθε δοκιμή μπορεί να ποικίλλει, η ενέργεια που συνεισφέρει η ασφάλεια πρέπει να προσδιορίζεται για κάθε δοκιμή και να εφαρμόζεται μια διόρθωση για να αντισταθμιστεί αυτή η απόκλιση. Ομοίως, εάν χρησιμοποιείται οποιοδήποτε υλικό αιχμής ή βοήθημα καύσης για την προώθηση της πλήρους καύσης ενός δείγματος που είναι δύσκολο να καεί, η θερμότητα που παράγεται από το βοήθημα καύσης πρέπει να αφαιρεθεί από τη συνολική απελευθέρωση ε.

Δεδομένου ότι η καύση στη βόμβα λαμβάνει χώρα σε μια ατμόσφαιρα σχεδόν καθαρού οξυγόνου σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, συμβαίνουν διάφορες αντιδράσεις που δεν θα αναπτυχθούν κατά την καύση του ίδιου υλικού υπό κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αυτές οι παράπλευρες αντιδράσεις είναι σημαντικές επειδή παράγουν μια αξιόλογη ποσότητα θερμότητας που δεν μπορεί να πιστωθεί στο δείγμα και για την οποία πρέπει να γίνει διόρθωση.

Στην κανονική καύση όλο το θείο σε ένα καύσιμο οξειδώνεται σε διοξείδιο του θείου και αποβάλλεται με τα αέρια στοίβας. Αλλά όταν το ίδιο υλικό καίγεται σε μια βόμβα οξυγόνου, η οξείδωση μεταφέρεται περαιτέρω σε τριοξείδιο το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με την υγρασία στη βόμβα για να σχηματίσει θειικό οξύ. Ομοίως, στην κανονική καύση το άζωτο στον αέρα δεν επηρεάζεται. Αλλά όταν ένα δείγμα καυσίμου καίγεται σε μια βόμβα οξυγόνου, μέρος του μοριακού αζώτου που έχει παγιδευτεί στη βόμβα οξειδώνεται και συνδυάζεται με υδρατμούς για να σχηματίσει νιτρικό οξύ. Οι μέθοδοι δοκιμής ASTM και ISO περιέχουν διαδικασίες για τον υπολογισμό της διόρθωσης που πρέπει να εφαρμοστεί για να ληφθεί υπόψη η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά το σχηματισμό αυτών των οξέων. Αν και αυτές οι μέθοδοι είναι συνεπείς από μόνες τους, δεν είναι ακριβώς οι ίδιες και οι χρήστες πρέπει να επανεξετάσουν την επιμέρους διαδικασία τους πριν κάνουν οποιοσδήποτε αλλαγές στη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό αυτών των διορθώσεων. Άλλα στοιχεία όπως ο φώσφορος και το χλώριο στο δείγμα μπορεί επίσης να προκαλέσουν παράπλευρες αντιδράσεις μοναδικές στη βόμβα, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις αυτά τα συστατικά δεν υπάρχουν σε επαρκείς ποσότητες ώστε να επηρεάσουν σημαντικά τα αποτελέσματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 3.1 Συλλογή και προεργασία δειγμάτων

Σε αυτή την διπλωματική εργασία τα δείγματα βιομάζας όπου χρησιμοποιήθηκαν για να μετρηθεί η ανωτέρα θερμογόνο δύναμή τους (HHVs) ήταν απορρίμματα ξηράς τροφής. Πιο συγκεκριμένα φλοιοί καρυδιού, ηλιόσπορου, αμυγδάλου και φυστικιού. Καθώς και απορρίμματα φρούτων, πιο συγκεκριμένα πυρήνας βερίκοκου και ροδάκινου.

Προτού ξεκινήσει η επεξεργασία τα δείγματα αφέθηκαν για ξήρανση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για δύο εβδομάδες. Όλα τα δείγματα αλέστηκαν μέχρι να έρθουν σε μορφή κόκκων ώστε να καούν καθώς το μικρό μέγεθος των κόκκων βοηθά στην διαδικασία της καύσης.

Η τελική μορφή των δειγμάτων πριν την έναρξη της διαδικασίας μέτρησης απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα 3.1.



*Σχήμα 3.1: Όλα τα δείγματα σε μορφή κόκκων έπειτα από την επεξεργασία τους.*

### 3.2 Υπολογισμός υγρασίας δειγμάτων

Για τον υπολογισμό της υγρασίας των δειγμάτων ζυγίστηκε αρκετή ποσότητα κάθε είδους σε αναλυτικό ζυγό τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων και θερμάνθηκαν για 1 ώρα σε κλίβανο σε περίπου 115°C.



*Σχήμα 3.2: Εργαστηριακός κλίβανος CARBOLITE.*

Αμέσως μετά τοποθετήθηκαν τα δείγματα σε ξηραντήρα για μισή ώρα, όπου περιείχε SILICA GEL (το οποίο είχε περάσει την διαδικασία της ξήρανσης, ώστε να έχει την δυνατότητα απορρόφησης υγρασίας). Τέλος αφαιρέθηκαν από τον ξηραντήρα και ζυγίστηκαν ώστε να

υπολογιστεί η υγρασία σύμφωνα με την εξίσωση 3.1.



*Σχήμα 3.3: Εργαστηριακός ξηραντήρας.*

$$\text{Υγρασία \%} = \frac{(W_{\text{αρχικό}} - W_{\text{τελικό}})}{W_{\text{αρχικό}}} \times 100 \quad (8)$$

Όπου,

$W_{\text{αρχικό}}$ : το αρχικό βάρος του δείγματος σε g

$W_{\text{τελικό}}$ : το τελικό βάρος του δείγματος σε g

### 3.3 Θερμιδόμετρο οβίδας οξυγόνου Parr 6050

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για να μετρηθεί η θερμογόνο δύναμη των δειγμάτων είναι το θερμιδόμετρο Parr 6050 τύπου οβίδας οξυγόνου.



*Σχήμα 3.4: Θερμιδόμετρο Parr 6050.*

Το θερμιδόμετρο 6050 έχει σχεδιαστεί για να παρέχει:

- Ένα θερμιδόμετρο παραδοσιακού σχεδιασμού με αφαιρούμενη βόμβα οξυγόνου και κουβά.
- Ένα θερμιδομετρητή μέτριας τιμής που χρησιμοποιεί μετρήσεις θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο για να προσδιορίσει τις διαρροές θερμότητας χωρίς τη χρήση ελεγχόμενου θερμιδόμετρου.

- Ένας πλήρως εξοπλισμένο θερμιδόμετρο που δεν απαιτεί κυκλοφορία νερού.
- Ένα συμπαγές θερμιδόμετρο που απαιτεί το ελάχιστο χώρο πάγκου εργαστηρίου.
- Θερμιδόμετρο που λειτουργεί με λογισμικό υπολογιστή συνδεδεμένο μέσω USB για εύκολο χειρισμό και επεξεργασία δεδομένων.



*Σχήμα 3.5: Μέρη θερμιδόμετρου Parr 6050.*

Το θερμιδόμετρο Model 6050 χρησιμοποιεί το δοχείο καύσης οξυγόνου Parr 1110. Προορίζονται για δείγματα που κυμαίνονται από 0,6 έως 1,2 γραμμάρια με μέγιστη απελευθέρωση ενέργειας 41,8 kJ (10.000 θερμίδες) ανά φόρτιση. Επίσης το 6050 θερμιδομετρικό σύστημα απαιτεί διαθεσιμότητα οξυγόνου, 99,5% καθαρότητας, 2500 psig (170 bar) maxi. Όπου ο ρυθμιστής έχει ρυθμιστεί στα 3000 kPa = 30 bar.





Σχήμα 3.6: Ρυθμιστής οξυγόνου.

### 3.4 Έλεγχος οργάνου

Κατά την εκκίνηση του οργάνου χρειάστηκε να ελέγξουμε το όργανο πριν ξεκινήσουμε την καύση των δειγμάτων. Η διαδικασία για μια δοκιμή τυποποίησης είναι στην πραγματικότητα η ίδια όπως και για τη δοκιμή ενός δείγματος καυσίμου. Χρησιμοποιήθηκε ένα σφαιρίδιο θερμιδικού βαθμού βενζοϊκού οξέος που ζυγίζει όχι λιγότερο από 0,9 ούτε μεγαλύτερο από 1,1 γραμμάρια. Η διορθωμένη αύξηση θερμοκρασίας,  $T$ , προσδιορίζεται από τα παρατηρούμενα δεδομένα δοκιμής και οι εκπλύσεις βόμβας τιλοδοτούνται για να προσδιοριστεί η διόρθωση του νιτρικού οξέος. Το ενεργειακό ισοδύναμο υπολογίζεται αντικαθιστώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$W = \frac{Hm + e1 + e2 + e3}{T} \quad (9)$$

Όπου :

W = Ενεργειακό ισοδύναμο (EE) του θερμιδομέτρου σε θερμίδες ανά °C.

m = Μάζα του δείγματος.

T = Διορθωμένη αύξηση θερμοκρασίας σε °C.

e1 = Διόρθωση για τη θερμότητα σχηματισμού νιτρικού οξέος σε θερμίδες.

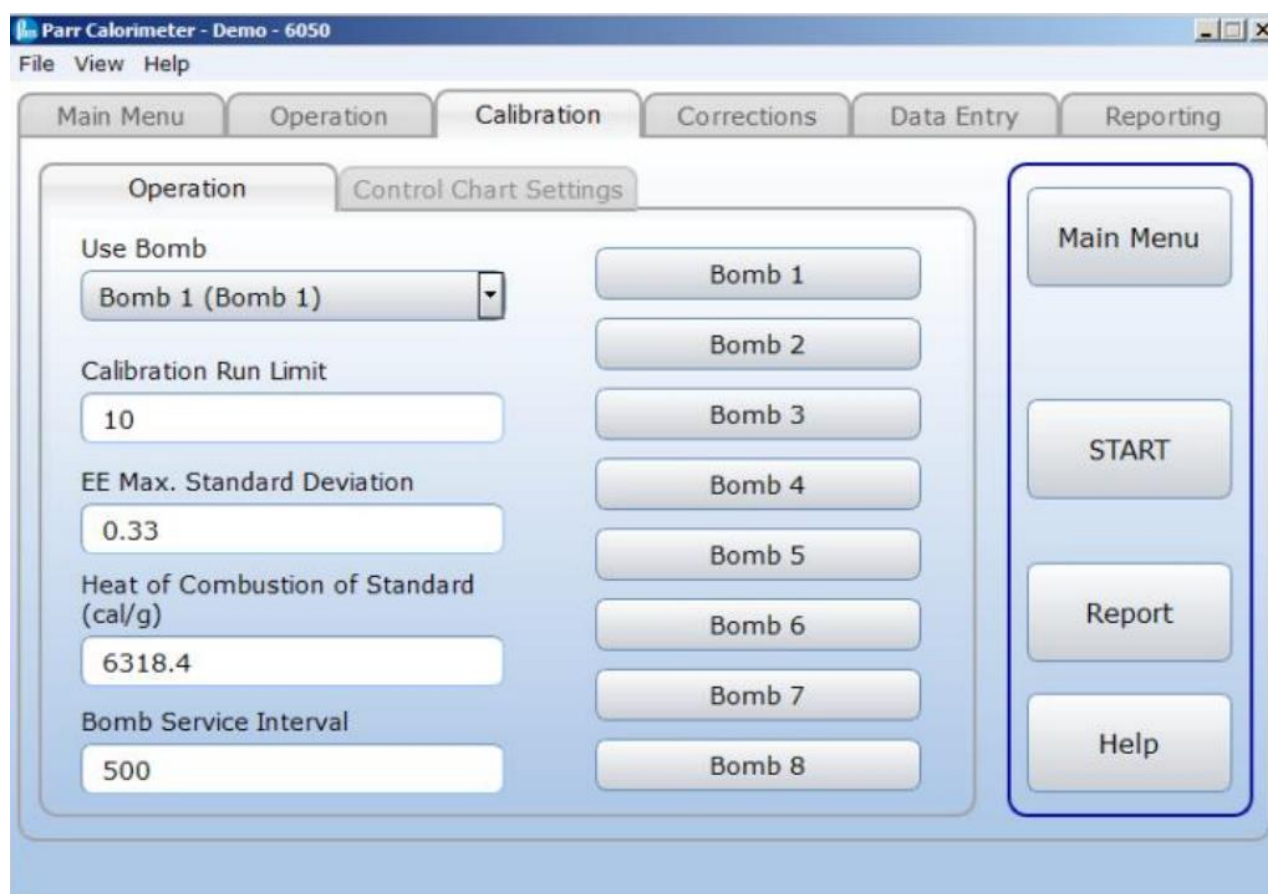
e2 = Διόρθωση για το θείο που είναι συνήθως 0.

e3 = Διόρθωση για το σύρμα θέρμανσης και την καύση βαμβακερού νήματος ή σύρματος ασφαλειών ανάλογα με την περίπτωση.

Ο υπολογισμός για τη μεικτή θερμότητα καύσης γίνεται από:

$$H_c = \frac{W \times T - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (10)$$

H<sub>c</sub> = Μεικτή θερμότητα καύσης.



Σχήμα 3.7: Λειτουργία βαθμονόμησης οργάνου.

### 3.5 Ζύγιση δειγμάτων

Αμέσως μετά την βαθμονόμηση του οργάνου όπως όριζε ο κατασκευαστής ζυγίστηκαν τα δείγματα σε αναλυτικό ζυγό τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων. Η διαδικασία είναι απλή, ανοίγουμε την θύρα, τοποθετούμε την κάψα και μηδενίζουμε τον ζυγό, έπειτα γεμίζουμε την κάψα με το δείγμα μας και τοποθετούμε ξανά μέσα στον ζυγό κλείνοντας την θύρα ώστε να μην επηρεάζεται από το εξωτερικό περιβάλλον ακριβώς όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.8.



*Σχήμα 3.8: Αναλυτικός ζυγός με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.*

### 3.6 Πειραματική διαδικασία

Η διαδικασία της καύσης ακολουθείται από τα παρακάτω βήματα:

- Τοποθέτηση της κάψας στην μεταλλική στεφάνη. Το σύρμα ανάφλεξης δεν πρέπει να ακουμπάει στα τοιχώματα της κάψας και τα ηλεκτρόδια όπως φαίνεται στην παρακάτω **εικόνα 3.9**.



*Σχήμα 3.9: Τοποθέτηση κάψας με το δείγμα στην βάση.*

- Τοποθέτηση εύφλεκτου νήματος (Πέλμα ανάφλεξης) το οποίο ακουμπά το δείγμα καθώς και το θερμικό καλώδιο (σπινθηριστή).
- Κατά το κλείσιμο της κεφαλής το O-RING δεν πρέπει να είναι ξηρό.
- Κλείσιμο της κεφαλής της οβίδας και βίδωμα καπακιού ασφαλείας.
- Πλήρωση του κάδου με 1L απεσταγμένο νερό (dd H<sub>2</sub>O) μετρημένο σε ογκομετρική φιάλη.
- Σταδιακή βύθιση της οβίδας εντός του κάδου. Προσπαθούμε να είναι όσο το δυνατόν πιο σταθερή η βύθιση ώστε να αποφευχθεί η ανατάραξη του δείγματος.

- Σύνδεση του σωλήνα εισαγωγής οξυγόνου με την βαλβίδα πλήρωσης του όλμου για την εισαγωγή καθαρού οξυγόνου στο εσωτερικό της οβίδας.



**Σχήμα 3.10:** Τοποθέτηση της οβίδας στον κάδο, σύνδεση ηλεκτροδίων και παροχή οξυγόνου.

- Σύνδεση USB καλώδιο με τον υπολογιστή.
- Άνοιγμα βάνας της μπουκάλας οξυγόνου με τον ρυθμιστή να βρίσκεται στα 30 bar.
- Μέσω του λογισμικού ξεκινάμε την καύση και αφού τελειώσει χρησιμοποιούμε το εργαλείο εξαέρωσης για την εξισορρόπηση της πίεσης.
- Αφαίρεση της οβίδας από τον κάδο.

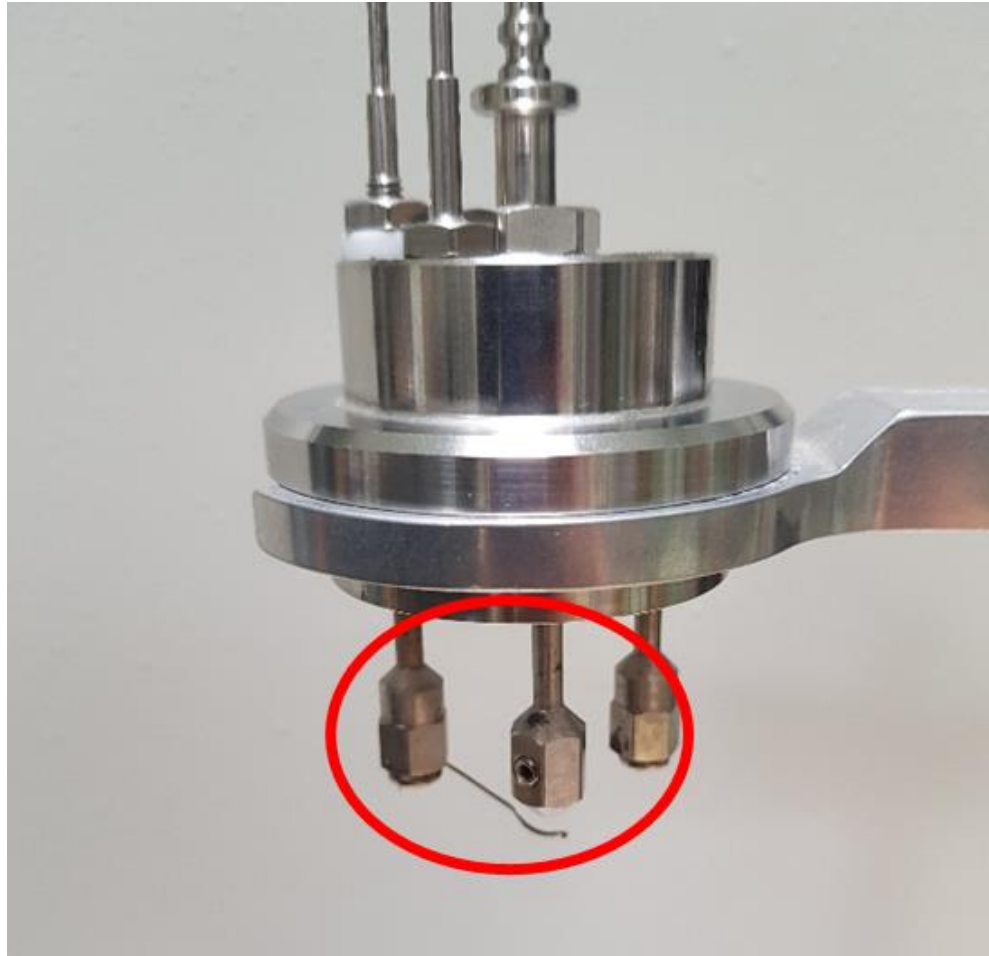
Κάποια προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναφέρονται

παρακάτω:

- ❖ Λιώσιμο του σύρματος ηλεκτροδίου όπως φαίνεται στην παρακάτω σχήμα 3.11 με αποτέλεσμα να κρυώσει πάνω στην κάψα και έπειτα να διακοπεί η καύση.

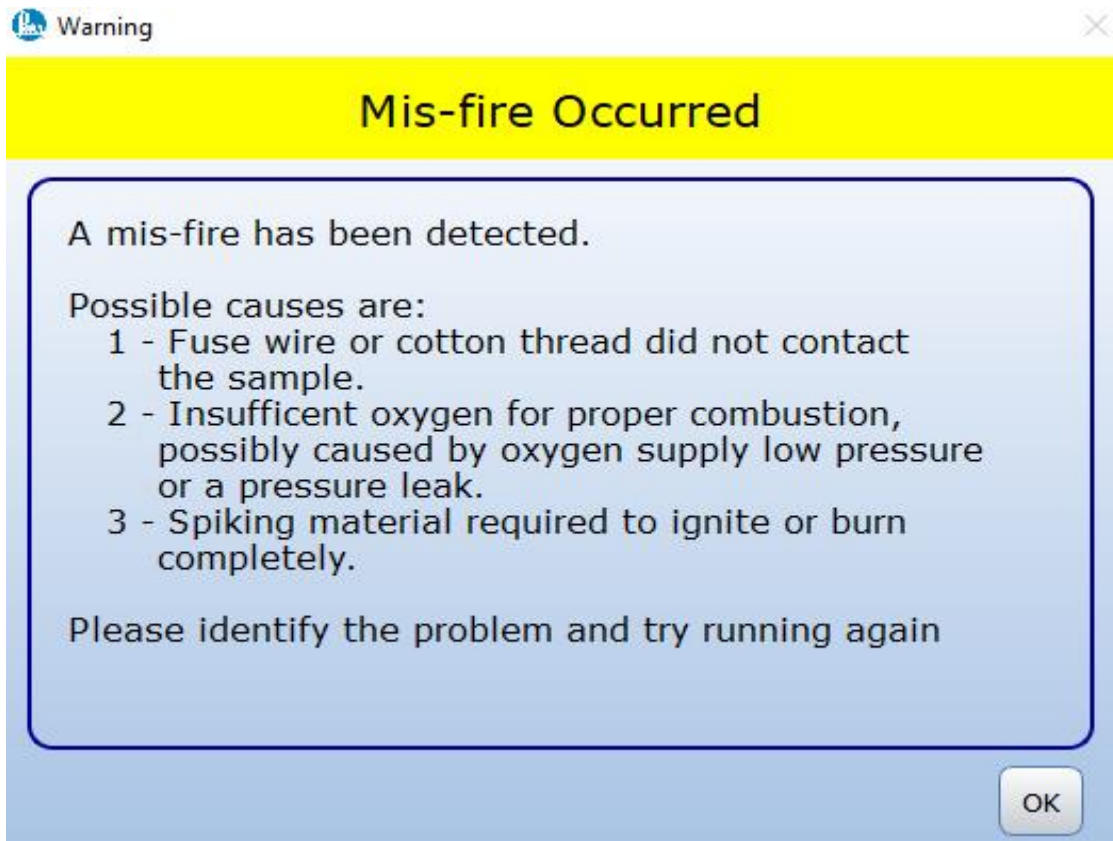


*Σχήμα 3.11: Αποτέλεσμα σφάλματος καύσης.*



*Σχήμα 3.12: Λιώσιμο σύρματος ηλεκτροδίου μέσα στην κάψουλα.*

- ❖ Μη εκκίνηση της καύσης στην βόμβα λόγω ανεπαρκούς οξυγόνου ή πιθανής διαρροής.
- ❖ Μη εκκίνηση της καύσης στην βόμβα λόγω κακής επαφής του νήματος με το δείγμα.
- ❖ Κακή επεξεργασία του δείγματος ώστε να καεί εντελώς.



*Σχήμα 3.13: Μη εκκίνηση της καύσης από το όργανο.*

### 3.7 Επεξεργασία μετρήσεων

$$HHV = HHVd \times \left(1 - \frac{M}{100}\right) \quad (11)$$

Όπου,

HHV<sub>d</sub>: η θερμογόνος δύναμη της βιομάζας λόγω υγρασίας (MJ/kg).

HHV ή GHV: η προκύπτουσα ανώτερη θερμογόνος δύναμη από το θερμιδόμετρο (MJ/kg).

M: η περιεκτικότητα σε υγρασία.

Πιο αναλυτικά η παραπάνω εξίσωση γίνεται <sup>[39]</sup>:

$$HHVd = \frac{HHV}{\left(1 - \frac{M}{100}\right)} \quad (12)$$



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Αποτελέσματα υγρασίας

Στο παρακάτω **πίνακα 4.1** επισυνάπτονται τα αποτελέσματα από την ζύγιση και εύρεση της υγρασίας:

**Πίνακας 4.1:** Αποτελέσματα υγρασίας των δειγμάτων που μελετήθηκαν.

|             | W <sub>ΑΡΧΙΚΟ</sub> (g) | W <sub>ΤΕΛΙΚΟ</sub> (g) | Υγρασία (%) |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ  | 17,1908                 | 16,1425                 | 6,098%      |
| Κ.ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ | 23,9281                 | 22,3720                 | 6,503%      |
| ΑΜΥΓΔΑΛΟ    | 15,1229                 | 14,2981                 | 5,454%      |
| ΚΑΡΥΔΙ      | 13,7673                 | 12,4930                 | 9,256%      |
| Κ.ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ | 19,2783                 | 18,1304                 | 5,954%      |
| ΦΥΣΤΙΚΙ     | 10,575                  | 10,0093                 | 5,349%      |

Παράδειγμα σχετικών υπολογισμών υγρασίας με δείγμα ηλιόσπορο:

$$\text{Υγρασία} = \frac{17,1908 \text{ g} - 16,1426 \text{ g}}{17,1908 \text{ g}} \times 100\% = 6,098\% \quad (13)$$

### 4.2 Ζυγίσεις δειγμάτων

Στον **πίνακα 4.2** παρουσιάζονται τα βάρη των δειγμάτων.

**Πίνακας 4.2:** Μετρούμενες μάζες δειγμάτων.

| A/A | ΔΕΙΓΜΑΤΑ    | 1 (kg) | 2 (kg) | 3 (kg) |
|-----|-------------|--------|--------|--------|
| 1   | ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ  | 1,0053 | 1,3160 | 1,2481 |
| 2   | Κ.ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ | 1,0430 | 1,2050 | 0,9474 |
| 3   | ΑΜΥΓΔΑΛΟ    | 0,9790 | 0,8354 | 0,8232 |
| 4   | ΚΑΡΥΔΙ      | 1,1073 | 0,9258 | 0,9419 |
| 5   | Κ.ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ | 0,8356 | 0,9878 | 0,7883 |
| 6   | ΦΥΣΤΙΚΙ     | 0,9707 | 0,919  | 0,8866 |

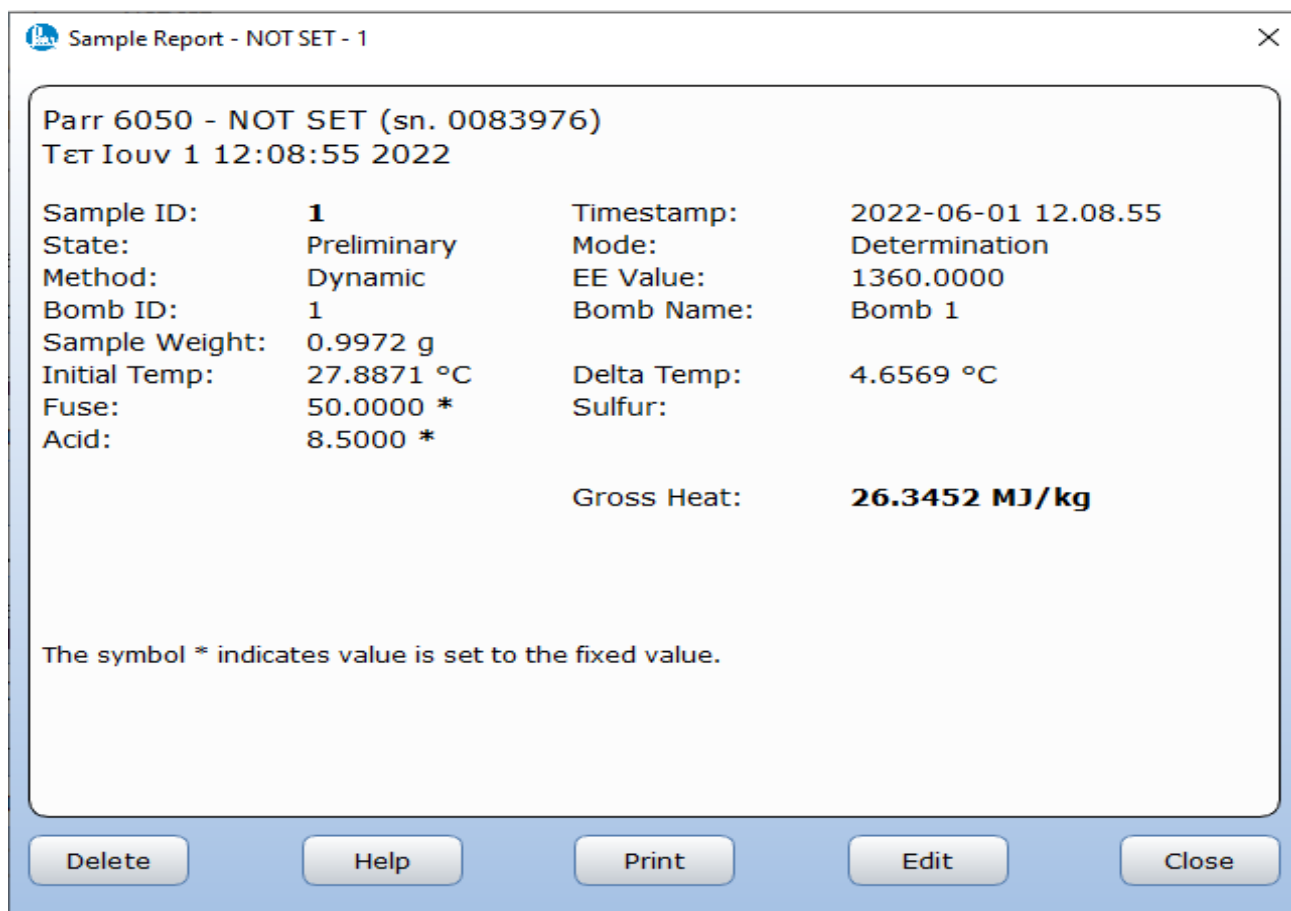
### 4.3 Βαθμονόμηση οργάνου

Η πρώτη καύση κάψουλας βενζοϊκού οξέος (έχοντας ζυγίσει σε ζυγό τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων) έδειξε τιμή θερμογόνου δύναμης ίση με 46.000 MJ/kg σχεδόν 20.000 MJ/kg παραπάνω καθώς η θερμογόνος δύναμη του βενζοϊκού οξέος ισούται με 6318,4 cal/g ή 26,4538 MJ/kg. Έτσι χρειάστηκε να τρέξουμε το λογισμικό του οργάνου σε Calibration mode ώστε να αναθεωρήσει αυτόματα το ενεργειακό ισοδύναμο (W) έχοντας ως δεδομένο την θερμογόνο δύναμη του προτύπου και το βάρος. Η διαδικασία αυτή έγινε δέκα φορές και οι τιμές ήταν στα ανεκτά όρια σύμφωνα με τον κατασκευαστή του οργάνου. Οι τιμές της θερμογόνου δύναμης δίνονται αναλυτικά στον **πίνακα 4.3**:

**Πίνακας 4.3:** Αποτελέσματα βαθμονόμηση οργάνου.

| A/A | GHV<br>(MJ/kg) | Θεωρητική GHVt<br>(MJ/kg) | GHV -<br>GHVt<br>(MJ/kg) | Τυπική<br>απόκλιση<br>(MJ/kg) |
|-----|----------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1   | 26,3452        | 26,4538                   | 0,1086                   | < 1,382                       |
| 2   | 25,9800        | 26,4538                   | 0,4738                   | < 1,382                       |
| 3   | 26,0116        | 26,4538                   | 0,4422                   | < 1,382                       |
| 4   | 26,1030        | 26,4538                   | 0,3508                   | < 1,382                       |
| 5   | 25,8371        | 26,4538                   | 0,6167                   | < 1,382                       |
| 6   | 26,0273        | 26,4538                   | 0,4265                   | < 1,382                       |
| 7   | 25,8272        | 26,4538                   | 0,6266                   | < 1,382                       |
| 8   | 25,6891        | 26,4538                   | 0,7647                   | < 1,382                       |
| 9   | 26,2368        | 26,4538                   | 0,2170                   | < 1,382                       |
| 10  | 25,7120        | 26,4538                   | 0,7418                   | < 1,382                       |

Στον **πίνακα 4.3** ως GHV έχουμε την θερμογόνο δύναμη που μετρήσαμε με το όργανο σε 10 ταμπλέτες βενζοϊκού οξέος, ενώ ως GHVt την θεωρητική θερμογόνο δύναμη 1gram βενζοϊκού οξέος. Η διαφορά της πραγματικής με την θεωρητική θερμογόνο είναι μικρότερη από την τυπική απόκλιση που έχει ορίσει ο κατασκευαστής και τις δέκα φορές. Συνεπώς το όργανο είναι έτοιμο να μετρήσει.



*Σχήμα 4.1: Μέτρηση βενζοϊκού οξέος για την βαθμονόμηση του οργάνου.*

#### 4.4 Αποτελέσματα καύσης δειγμάτων

Στον παρακάτω **πίνακα 4.4** βλέπουμε τις τιμές της ανώτερης θερμογόνου δύναμης (HHVs) που μέτρησε το όργανο, καθώς και με κόκκινους αριθμούς, μετρήσεις που δεν μπορούμε να τις εμπιστευτούμε. Σε αυτές τις μετρήσεις υπήρξε σφάλμα και πιο συγκεκριμένα:

- Στην μέτρηση *No:5* η τιμή της ανώτερης θερμογόνου δύναμης του πυρήνα από βερίκοκο μετρήθηκε πολύ χαμηλή λόγω διαρροής πίεσης στην οβίδα, το πρόβλημα λύθηκε με την αλλαγή O-RING που ήταν φθαρμένο.
- Στην μέτρηση *No:9* στην μέτρηση της ανώτερης θερμογόνου δύναμης του αμυγδαλού υπήρξε σφάλμα λόγω χαμηλότερης ποσότητας νερού στον κάδο.
- Στην μέτρηση *No:15* στην μέτρηση της ανώτερης θερμογόνου δύναμης του πυρήνα ροδάκινου υπήρξε σφάλμα λόγω χαμηλότερης ποσότητας νερού στον κάδο, συνεπώς η διαφορά της θερμοκρασίας όπως βλέπουμε ήταν μεγαλύτερη στην συγκεκριμένη μέτρηση.

**Πίνακας 4.4:** Μετρούμενη θερμογόνος δύναμη μετά την καύση των δειγμάτων.

| A/A | ΔΕΙΓΜΑΤΑ    | ΒΑΡΟΣ (gr) | GHV (MJ/kg) | ΔT (°C) |
|-----|-------------|------------|-------------|---------|
| 1   | ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ  | 1,0053     | 18,7021     | 3,3449  |
| 2   |             | 1,3160     | 17,9816     | 4,1989  |
| 3   |             | 1,2481     | 17,9397     | 3,9753  |
| 4   | Κ.ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ | 1,0430     | 17,7910     | 3,3019  |
| 5   |             | 1,2050     | 15,2083     | 3,2615  |
| 6   |             | 0,9474     | 18,2156     | 3,0738  |
| 7   | ΑΜΥΓΔΑΛΟ    | 0,9790     | 15,4603     | 2,7012  |
| 8   |             | 0,8232     | 17,6705     | 2,5511  |
| 9   |             | 0,8354     | 20,5137     | 2,5977  |
| 10  | ΚΑΡΥΔΙ      | 1,1073     | 16,5913     | 3,2695  |
| 11  |             | 0,9258     | 17,1371     | 2,8293  |
| 12  |             | 0,9419     | 17,0752     | 2,8676  |
| 13  | Κ.ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ | 0,9878     | 18,2139     | 3,2027  |
| 14  |             | 0,7883     | 17,7579     | 2,5015  |
| 15  |             | 0,8356     | 22,6131     | 3,3615  |
| 16  | ΦΥΣΤΙΚΙ     | 0,9707     | 20,0274     | 3,4572  |
| 17  |             | 0,919      | 19,9859     | 3,2687  |
| 18  |             | 0,8866     | 19,7259     | 3,1145  |

Συνεπώς οι μετρήσεις έπρεπε να επαναληφθούν και να αντικατασταθούν με νέες, η διαδικασία επαναλήφθηκε, πρώτα ζυγίστηκαν τα δείγματα και έπειτα θερμιδομετρήθηκαν από το θερμιδόμετρο. Στον παρακάτω **πίνακα 4.5** οι εσφαλμένες μετρήσεις αντικαταστάθηκαν με τις νέες.

**Πίνακας 4.5:** Πίνακας μετρημένης θερμογόνου δύναμης δειγμάτων.

| A/A | ΔΕΙΓΜΑΤΑ    | ΒΑΡΟΣ (gr) | GHV (MJ/kg) | ΔT (°C) |
|-----|-------------|------------|-------------|---------|
| 1   | ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ  | 1,0053     | 18,7021     | 3,3449  |
| 2   |             | 1,3160     | 17,9816     | 4,1989  |
| 3   |             | 1,2481     | 17,9397     | 3,9753  |
| 4   | Κ.ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ | 1,0430     | 17,7910     | 3,3019  |
| 5   |             | 1,1585     | 17,9660     | 3,6983  |
| 6   |             | 0,9474     | 18,2156     | 3,0738  |
| 7   | ΑΜΥΓΔΑΛΟ    | 0,9790     | 15,4603     | 2,7012  |
| 8   |             | 0,8232     | 17,6705     | 2,5977  |
| 9   |             | 0,8291     | 17,2251     | 2,5511  |
| 10  | ΚΑΡΥΔΙ      | 1,1073     | 16,5913     | 3,2695  |
| 11  |             | 0,9258     | 17,1371     | 2,8293  |
| 12  |             | 0,9419     | 17,0752     | 2,8676  |
| 13  | Κ.ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ | 0,9878     | 18,2139     | 3,2027  |
| 14  |             | 0,7883     | 17,7579     | 2,5015  |
| 15  |             | 0,8887     | 17,9851     | 2,8500  |
| 16  | ΦΥΣΤΙΚΙ     | 0,9707     | 20,0274     | 3,4572  |
| 17  |             | 0,919      | 19,9859     | 3,2687  |
| 18  |             | 0,8866     | 19,7259     | 3,1145  |

#### 4.5 Υπολογισμός ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (HHV)

Στον παρακάτω πίνακα 4.6 παρουσιάζονται οι τιμές της θερμογόνου δύναμης (GHV) καθώς και οι τιμές της ανώτερης θερμογόνου δύναμης (HHV<sub>d</sub>) μετά από τον υπολογισμό τους.

**Πίνακας 4.6:** Τελικές τιμές θερμογόνου δύναμης (GHV-HHV<sub>d</sub>).

| A/A | ΔΕΙΓΜΑΤΑ    | GHV (MJ/kg) | HHV <sub>d</sub> (MJ/kg) |
|-----|-------------|-------------|--------------------------|
| 1   | ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ  | 18,7021     | 19,9166                  |
| 2   |             | 17,9816     | 19,1493                  |
| 3   |             | 17,9397     | 19,1047                  |
| 4   | Κ.ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ | 17,7910     | 19,0285                  |
| 5   |             | 17,9660     | 19,2156                  |
| 6   |             | 18,2156     | 19,4826                  |
| 7   | ΑΜΥΓΔΑΛΟ    | 15,4603     | 16,3521                  |
| 8   |             | 17,6705     | 18,6898                  |
| 9   |             | 17,2251     | 18,2187                  |
| 10  | ΚΑΡΥΔΙ      | 16,5913     | 18,2836                  |
| 11  |             | 17,1371     | 18,8851                  |
| 12  |             | 17,0752     | 18,8169                  |
| 13  | Κ.ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ | 18,2139     | 19,3671                  |
| 14  |             | 17,7579     | 18,8822                  |
| 15  |             | 17,9851     | 19,1238                  |
| 16  | ΦΥΣΤΙΚΙ     | 20,0274     | 21,1593                  |
| 17  |             | 19,9859     | 21,1155                  |
| 18  |             | 19,7259     | 20,8408                  |

Παράδειγμα σχετικών υπολογισμών υγρασίας με δείγμα ηλιόσπορο:

$$HHVd = \frac{GHV}{\left(1 - \frac{M}{100}\right)} = \frac{18,7021}{\left(1 - \frac{6,098}{100}\right)} = 19,9166 \left(\frac{MJ}{kg}\right) \quad (13)$$

**Πίνακας 4.7:** Υπολογιζόμενοι μέσοι όροι πειραματικά μετρούμενης ανωτέρας θερμογόνου δύναμης.

| <b>ΔΕΙΓΜΑΤΑ</b>    | <b>GHV av.<br/>(MJ/kg)</b> | <b>HHV<sub>d</sub> av.<br/>(MJ/kg)</b> |
|--------------------|----------------------------|--|
| <b>ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ</b>  | 18,2078                    | 19,3902                                |
| <b>Κ.ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ</b> | 17,9909                    | 19,2422                                |
| <b>ΑΜΥΓΔΑΛΟ</b>    | 16,7853                    | 17,7536                                |
| <b>ΚΑΡΥΔΙ</b>      | 16,9345                    | 18,6619                                |
| <b>Κ.ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ</b> | 17,9856                    | 19,1244                                |
| <b>ΦΥΣΤΙΚΙ</b>     | 19,9131                    | 21,0385                                |

Στον **πίνακα 4.7** αναφέρονται μέσος όρος των μετρήσεων για θερμογόνος δύναμη GHV προκύπτουσα από το θερμιδόμετρο και HHV<sub>d</sub> κατόπιν επεξεργασίας αντίστοιχα και επισυνάπτονται φωτογραφίες από την καμπύλη θερμομέτρησης για καθένα από τα δείγματα ξεχωριστά.



**Σχήμα 4.2:** Διάγραμμα σύγκρισης θερμογόνου δύναμης των δειγμάτων.

Στο παραπάνω σχήμα 4.2 παρατηρείται διαφορά ανάμεσα στο τσόφλι φυσιτικού και στα υπόλοιπα δείγματα. Οι πυρήνες από ροδάκινο και βερίκοκο βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους ενώ το τσόφλι από καρύδι και αμύγδαλο δεν ξεπερνάνε τα 19 MJ/kg.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξάγει το θερμιδόμετρο μέσω του λογισμικού του και που λήφθηκαν υπόψιν για την λήψη συμπερασμάτων. Πιο συγκεκριμένα είναι ο πίνακας που φέρει στοιχεία από την θερμοκρασία του κάδου (Initial Temp.), την διαφορά θερμοκρασίας που παρατήρησε (Delta Temp.), τις σταθερές για το θερμικό ισοζύγιο (έχουν αναφερθεί στο κομμάτι της θερμιδομετρίας), βάρος δείγματος (Sample Weight) καθώς και η υπολογισμένη θερμογόνος δύναμη (GHV). Τέλος μέσω του διαγράμματος μπορούμε να παρατηρήσουμε την διαφορά θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο.

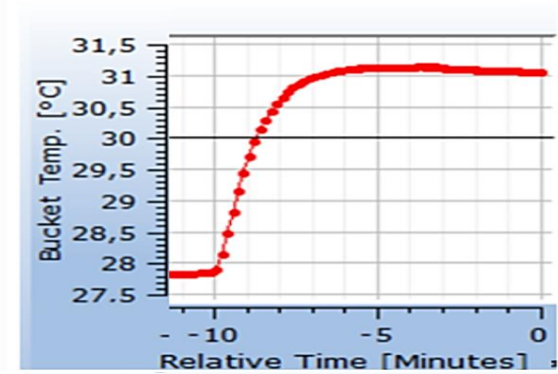




Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τετ Ιουβ 8 12:31:36 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | <b>11</b>   | Timestamp:  | 2022-06-08 12.30.54 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 1.0053 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 27.8278 °C  | Delta Temp: | 3.3449 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

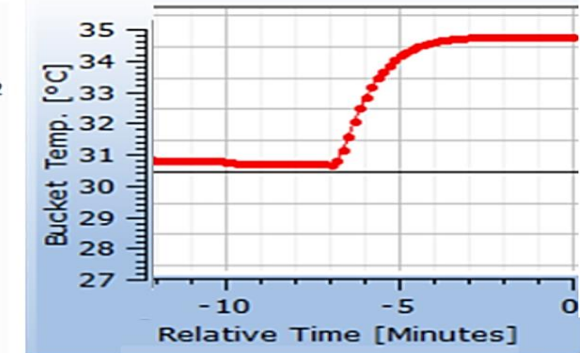
Gross Heat: **18.7021 MJ/kg**



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τετ Ιουβ 8 13:09:02 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | <b>12</b>   | Timestamp:  | 2022-06-08 13.09.02 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 1.3160 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 30.2064 °C  | Delta Temp: | 4.1989 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

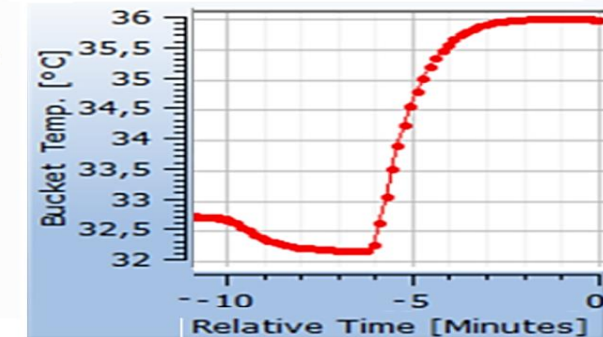
Gross Heat: **17.9816 MJ/kg**



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τετ Ιουβ 8 13:53:38 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | <b>13</b>   | Timestamp:  | 2022-06-08 13.53.38 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 1.2481 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 32.1648 °C  | Delta Temp: | 3.9753 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **17.9397 MJ/kg**



Σχήμα 4.3: Αποτελέσματα μετρήσεων από τσόφλι ηλιόσπορου και καμπύλες αύξησης θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο.



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Πεμ Ιουν 9 12:09:03 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | 17          | Timestamp:  | 2022-06-09 12.08.54 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.9474 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 26.8567 °C  | Delta Temp: | 3.0738 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **18.2156 MJ/kg**

Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Πεμ Ιουν 9 12:38:57 2022

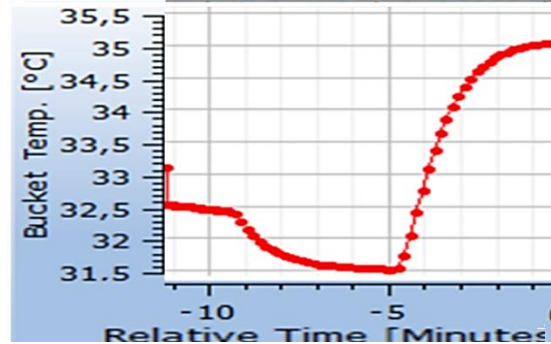
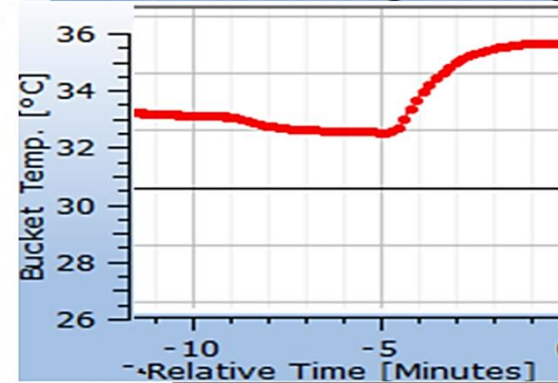
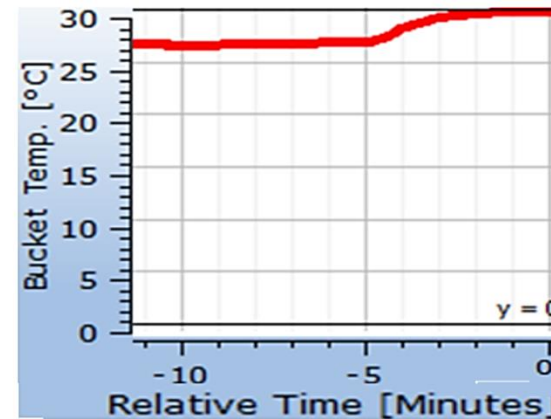
|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | 19          | Timestamp:  | 2022-06-09 12.38.46 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 1.0430 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 31.9312 °C  | Delta Temp: | 3.3019 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **17.7910 MJ/kg**

Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Πεμ Ιουν 9 13:29:53 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | 20          | Timestamp:  | 2022-06-09 13.29.53 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 1.1585 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 31.5095 °C  | Delta Temp: | 3.6983 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **17.9660 MJ/kg**



Σχήμα 4.4: Αποτελέσματα μετρήσεων από πυρήνα βερίκοκου και καμπύλες αύξησης θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο.



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Πεμ Ιουν 30 13:36:46 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | 33          | Timestamp:  | 2022-06-30 13.36.41 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.8232 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 30.8950 °C  | Delta Temp: | 2.5977 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **17.6705 MJ/kg**

Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τρι Ιουν 21 11:26:59 2022

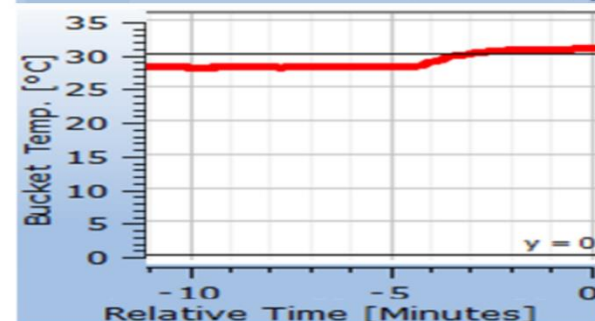
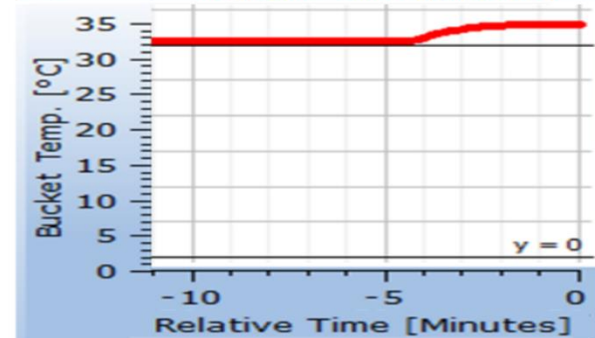
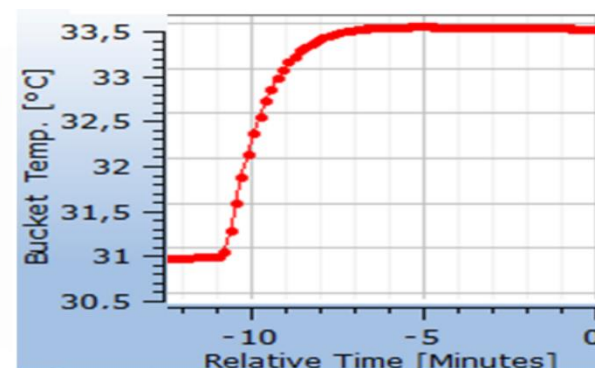
|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | 26          | Timestamp:  | 2022-06-21 11.26.41 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.8291 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 30.4785 °C  | Delta Temp: | 2.5511 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **17.2251 MJ/kg**

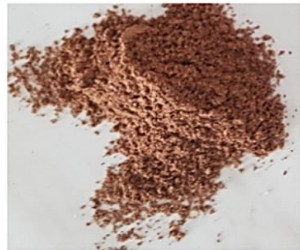
Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τρι Ιουν 21 11:13:06 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | 25          | Timestamp:  | 2022-06-21 11.12.48 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.9790 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 28.0444 °C  | Delta Temp: | 2.7012 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **15.4603 MJ/kg**



Σχήμα 4.5: Αποτελέσματα μετρήσεων από πυρήνα αμυγδάλου και καμπύλες αύξησης θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο.



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Πεμ Ιουν 16 12:07:26 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | 23          | Timestamp:  | 2022-06-16 12.07.20 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.9258 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 30.6180 °C  | Delta Temp: | 2.8293 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |
|                |             | Gross Heat: | 17.1371 MJ/kg       |



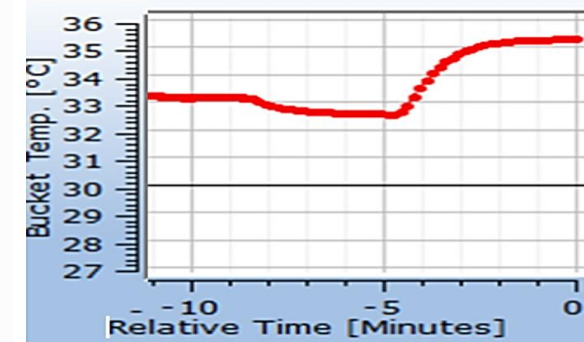
Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Πεμ Ιουν 9 13:44:02 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | 21          | Timestamp:  | 2022-06-09 13.43.42 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 1.1073 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 34.0905 °C  | Delta Temp: | 3.2695 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |
|                |             | Gross Heat: | 16.5913 MJ/kg       |



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Πεμ Ιουν 16 12:21:26 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | 24          | Timestamp:  | 2022-06-16 12.21.06 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.9419 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 32.5560 °C  | Delta Temp: | 2.8676 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |
|                |             | Gross Heat: | 17.0752 MJ/kg       |



Σχήμα 4.6: Αποτελέσματα μετρήσεων από τσόφλι καρδιού και καμπύλες αύξησης θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο.



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Πεμ Ιουν 30 12:20:41 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | <b>32</b>   | Timestamp:  | 2022-06-30 12.20.36 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.9878 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 29.4136 °C  | Delta Temp: | 3.2027 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **18.2139 MJ/kg**

Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τρι Ιουν 21 12:57:54 2022

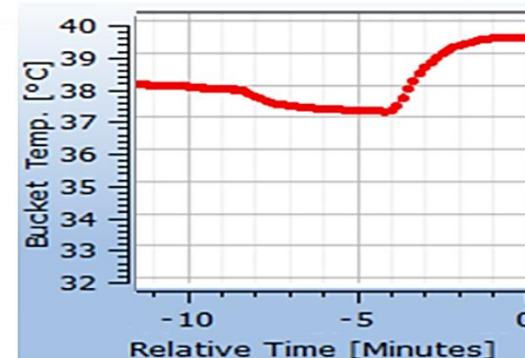
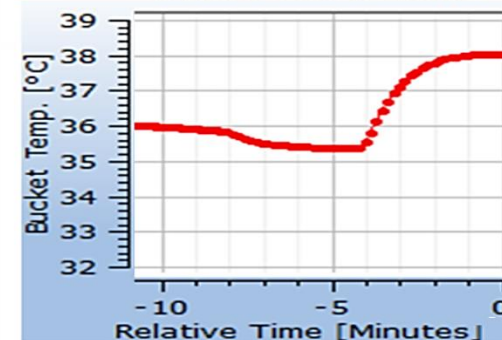
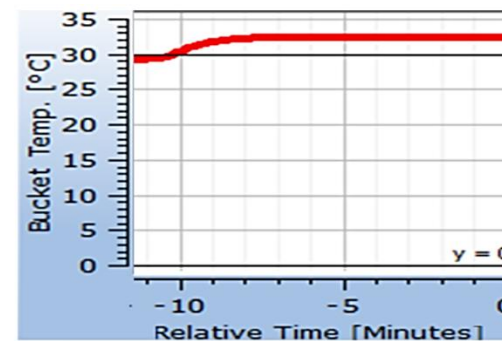
|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | <b>29</b>   | Timestamp:  | 2022-06-21 12.57.50 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.8887 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 35.3572 °C  | Delta Temp: | 2.8500 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **17.9851 MJ/kg**

Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τρι Ιουν 21 13:11:04 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | <b>30</b>   | Timestamp:  | 2022-06-21 13.10.59 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.7883 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 37.1821 °C  | Delta Temp: | 2.5015 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

Gross Heat: **17.7579 MJ/kg**



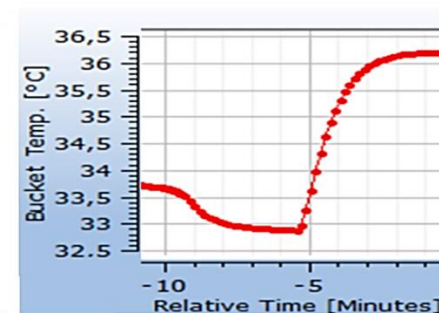
Σχήμα 4.7: Αποτελέσματα μετρήσεων από κουκούτσι ροδάκινου και καμπύλες αύξησης θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο.



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τετ Ιουβ 8 14:43:28 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | <b>14</b>   | Timestamp:  | 2022-06-08 14.42.53 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.9707 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 32.8758 °C  | Delta Temp: | 3.4572 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

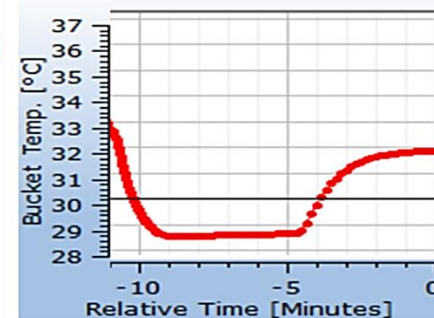
Gross Heat: **20.0274 MJ/kg**



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τετ Ιουβ 8 15:04:11 2022

|                |             |             |                     |
|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Sample ID:     | <b>15</b>   | Timestamp:  | 2022-06-08 15.04.03 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination       |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000           |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1              |
| Sample Weight: | 0.9190 g    |             |                     |
| Initial Temp:  | 28.6358 °C  | Delta Temp: | 3.2687 °C           |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                     |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                     |

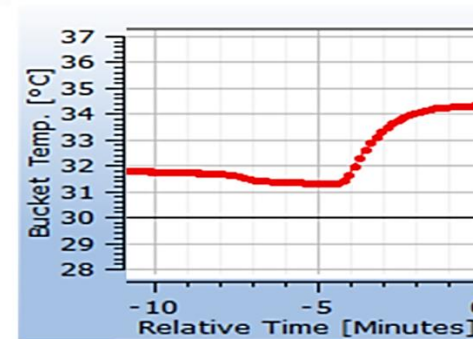
Gross Heat: **19.9859 MJ/kg**



Parr 6050 - NOT SET (sn. 0083976)  
Τετ Ιουβ 8 15:19:41 2022

|                |             |             |                  |
|----------------|-------------|-------------|------------------|
| Sample ID:     | <b>16</b>   | Timestamp:  | 2022-06-08 15.19 |
| State:         | Preliminary | Mode:       | Determination    |
| Method:        | Dynamic     | EE Value:   | 1360.0000        |
| Bomb ID:       | 1           | Bomb Name:  | Bomb 1           |
| Sample Weight: | 0.8866 g    |             |                  |
| Initial Temp:  | 31.3178 °C  | Delta Temp: | 3.1145 °C        |
| Fuse:          | 50.0000 *   | Sulfur:     |                  |
| Acid:          | 8.5000 *    |             |                  |

Gross Heat: **19.7259 MJ/kg**



Σχήμα 4.8: Αποτελέσματα μετρήσεων από τσόφλι κουκούτσι φυσικιού και καμπύλες αύξησης θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

### 5.1 Υπολογισμός τιμή kWh βιομάζας σε συστήματα θέρμανσης

Στον παρακάτω **πίνακα 5.1** υπολογίζετε η τιμή της kWh ανά είδος βιομάζας για την χρήση σε ενεργειακό τζάκι.

**Πίνακας 5.1:** Υπολογισμός τιμής kWh σε ενεργειακό τζάκι.

| ΚΑΥΣΙΜΟ     | ΗΗV <sub>d</sub> av.<br>(MJ/kg) | kWh/kg | ΒΑΘΜΟΣ<br>ΑΠΟΔΟΣΗΣ<br>ΛΕΒΗΤΑ | ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ<br>ΒΙΟΜΑΖΑΣ   | ΚΟΣΤΟΣ<br>(€/kWh) |
|-------------|---------------------------------|--------|------------------------------|-------------------------|-------------------|
| ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ  | 19,3902                         | 5,0577 | 84%                          | 320 €/tn ή<br>0,32 €/kg | 0,071             |
| Κ.ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ | 19,2422                         | 4,9975 | 84%                          |                         | 0,071             |
| ΑΜΥΓΔΑΛΟ    | 17,7536                         | 4,6626 | 84%                          |                         | 0,077             |
| ΚΑΡΥΔΙ      | 18,6619                         | 4,7040 | 84%                          |                         | 0,073             |
| Κ.ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ | 19,1244                         | 4,9960 | 84%                          |                         | 0,072             |
| ΦΥΣΤΙΚΙ     | 21,0385                         | 5,5314 | 84%                          |                         | 0,065             |

Για παράδειγμα:

Η θερμογόνος δύναμη του ηλιόσπορου είναι 19,3902 MJ/kg.

Το 1 MJ/kg ισούται με 0,27 kWh/kg τότε η θερμογόνος δύναμη του ηλιόσπορου είναι ίση με 5,3862 kWh/kg. Αυτό σημαίνει ότι 1 kg ηλιόσπορου αποδίδει 5,3862 kWh θερμικής ισχύς. Ωστόσο, η τελική αποδιδόμενη θερμική ενέργεια εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης του καυστήρα. Ο βαθμός απόδοσης του ενεργειακού τζακιού είναι 84% . Για κάθε kWh θέρμανσης που θα χρειαστούμε, απαιτούνται:

$$m = \frac{1}{(H_{\eta\eta\lambda} \times n)} = \frac{1}{5,3862 \times 0,84} = 0,22 \text{ kg} \quad (14)$$

Όπου m η συνολική μάζα που απαιτείται για κάθε kWh

$H_{\eta\eta\lambda}$  η θερμογόνος δύναμη του ηλιόσπορου

n η απόδοση του ενεργειακού τζακιού

Μέση τιμή της βιομάζας βρίσκεται στην τιμή 0,32 €/kg. Συνεπώς η τιμή της kWh ισούται με 0,32 €/kg × 0,22 kg/ kWh. = 0,071 €/kWh.

Εξίσου οι ίδιοι υπολογισμοί έγιναν για τον υπολογισμό της τιμής της kWh ανά είδος βιομάζας σε Σόμπα βιομάζας και Λέβητα βιομάζας και επισυνάπτονται στον **πίνακα 5.2** και **πίνακα 5.3**.

**Πίνακας 5.2:** Υπολογισμός τιμής kWh σε Σόμπα βιομάζας.

| <b>ΚΑΥΣΙΜΟ</b> | <b>HHV<sub>d</sub> av.<br/>(MJ/kg)</b> | <b>kWh/kg</b> | <b>ΒΑΘΜΟΣ<br/>ΑΠΟΔΟΣΗΣ<br/>ΛΕΒΗΤΑ</b> | <b>ΜΕΣΗ<br/>ΤΙΜΗ<br/>ΒΙΟΜΑΖΑΣ</b> | <b>ΚΟΣΤΟΣ<br/>(€/kWh)</b> |
|----------------|--|---------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ     | 19,3902                                | 5,0577        | 92%                                   | 320 €/tn ή<br>0,32 €/kg           | 0,065                     |
| Κ.ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ    | 19,2422                                | 4,9975        | 92%                                   |                                   | 0,065                     |
| ΑΜΥΓΔΑΛΟ       | 17,7536                                | 4,6626        | 92%                                   |                                   | 0,071                     |
| ΚΑΡΥΔΙ         | 18,6619                                | 4,7040        | 92%                                   |                                   | 0,067                     |
| Κ.ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ    | 19,1244                                | 4,9960        | 92%                                   |                                   | 0,065                     |
| ΦΥΣΤΙΚΙ        | 21,0385                                | 5,5314        | 92%                                   |                                   | 0,060                     |

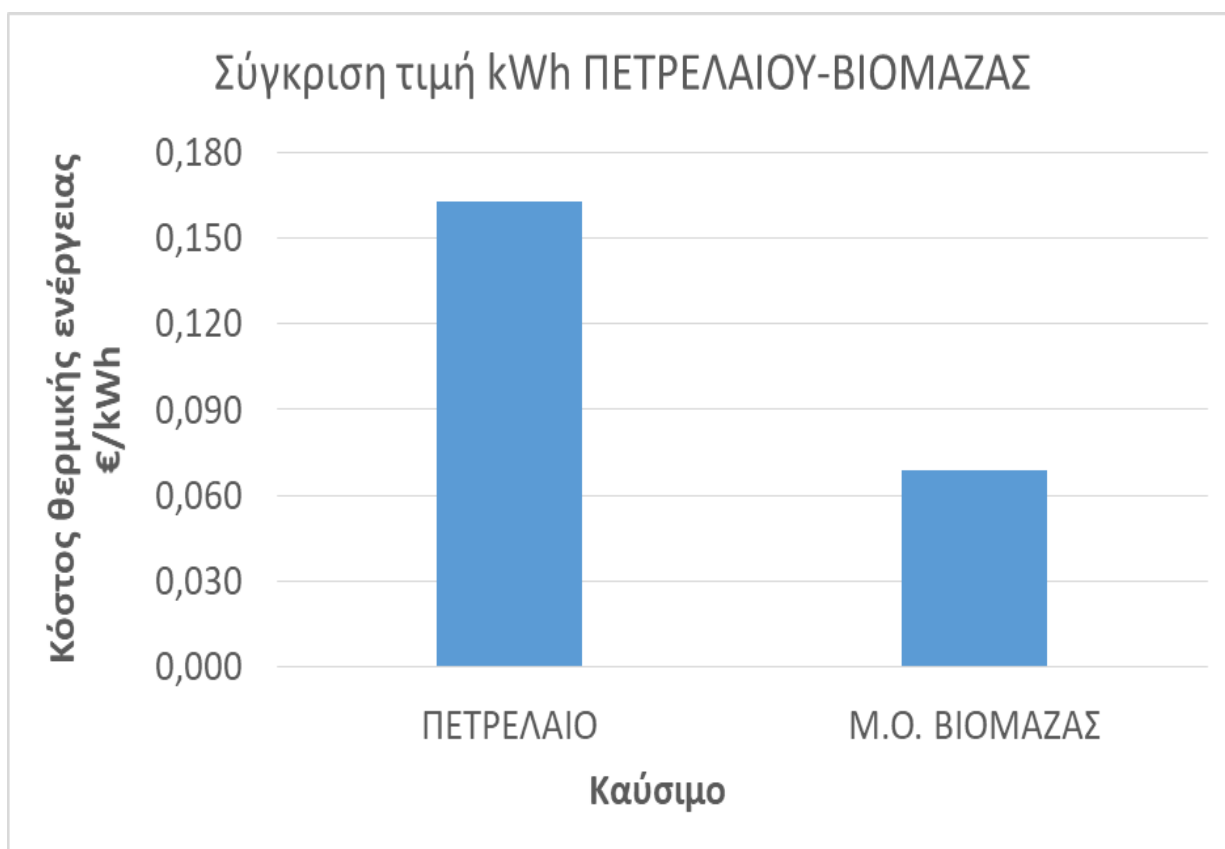
**Πίνακας 5.3:** Υπολογισμός τιμής kWh σε Λέβητα βιομάζας.

| <b>ΚΑΥΣΙΜΟ</b> | <b>HHV<sub>d</sub> av.<br/>(MJ/kg)</b> | <b>kWh/kg</b> | <b>ΒΑΘΜΟΣ<br/>ΑΠΟΔΟΣΗΣ<br/>ΛΕΒΗΤΑ</b> | <b>ΜΕΣΗ<br/>ΤΙΜΗ<br/>ΒΙΟΜΑΖΑΣ</b> | <b>ΚΟΣΤΟΣ<br/>(€/kWh)</b> |
|----------------|--|---------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ     | 19,3902                                | 5,0577        | 94%                                   | 320 €/tn ή<br>0,32 €/kg           | 0,063                     |
| Κ.ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ    | 19,2422                                | 4,9975        | 94%                                   |                                   | 0,064                     |
| ΑΜΥΓΔΑΛΟ       | 17,7536                                | 4,6626        | 94%                                   |                                   | 0,069                     |
| ΚΑΡΥΔΙ         | 18,6619                                | 4,7040        | 94%                                   |                                   | 0,066                     |
| Κ.ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ    | 19,1244                                | 4,9960        | 94%                                   |                                   | 0,064                     |
| ΦΥΣΤΙΚΙ        | 21,0385                                | 5,5314        | 94%                                   |                                   | 0,058                     |



## 5.2 Σύγκριση βιομάζας - πετρελαίου σε συστήματα θέρμανσης

Για έναν συνήθη λέβητα πετρελαίου γνωρίζουμε ότι ο βαθμός απόδοσης είναι 84% (ιδανικά στις καινούργιες εγκαταστάσεις) με θερμογόνο δύναμη πετρελαίου θέρμανσης 11,9 kWh/lt. Ο βαθμός απόδοσης του πετρελαίου θέρμανσης πάρθηκε σύμφωνα με το Άρθρο 5 του Π.Δ. 335/93(ΦΕΚ143/Α// /2-9-93). Για κάθε kWh θέρμανσης που θα χρειαστούμε, απαιτούνται  $1/(11,9 \times 0,84) = 0,100$  λίτρα πετρελαίου. Τιμή πετρελαίου στις 22/8/2022 βρίσκεται στην τιμή 1.606 €/lt. Συνεπώς η τιμή της kWh ισούται με  $1.606 \text{ €/lt} \times 0,100 \text{ lt/ kWh} = 0,160 \text{ €/kWh}$ .<sup>[37]</sup>



**Σχήμα 5.1:** Ραβδόγραμμα κόστους θερμικής ενέργειας σε €/ kWh έναντι της κατηγορίας καυσίμου..

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω διάγραμμα η τιμή της kWh ενός συνήθη λέβητα πετρελαίου στοιχίζει παραπάνω από το διπλάσιο σε σχέση με την τιμή της kWh ενός λέβητα βιομάζας.<sup>[38]</sup>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα απόβλητα μέρη που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας συμβάλλοντας:

- Στην μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα.
- Στην προστασία του περιβάλλοντος με την αξιοποίηση αγροτικών αποβλήτων, ακόμα και βιομηχανικών (εργοστάσιο κομπόστας ροδάκινου – βερίκοκου). Επίσης δεν συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Στην εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας σε μια περιοχή συμβάλει στην ανάπτυξή της εξασφαλίζοντας θέσεις εργασίας.

Τα τσόφλια από ηλιόσπορο, αμύγδαλο και φυστίκι καθώς και οι πυρήνες από βερίκοκο και ροδάκινο μπορούν να αξιοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας έναντι συμβατικών καυσίμων. Η ποσότητα υγρασίας είναι μικρότερη από 7%, συνεπώς χρειάζονται ευκολότερη επεξεργασία ώστε να αξιοποιηθούν σε αντίθεση με τον φλοιό καρυδιού που έχει υγρασία μεγαλύτερη από 9%. Τα συγκεκριμένα απόβλητα μπορούν να συλλεχθούν μαζικά από βιομηχανίες αποφλοιώσης ξηρών καρπών και φρούτων.

Σε συστήματα θέρμανσης η βιομάζα υπερτερεί σε σχέση με τον συνήθη λέβητα πετρελαίου. Όπως προαναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια η βιομάζα είναι οικονομικότερη λύση σε σχέση με το πετρέλαιο και πιο φιλική προς το περιβάλλον. Ωστόσο πρακτικά σε μια οικιακή εγκατάσταση ένας λέβητας βιομάζας μπορεί να φτάσει και την τετραπλάσια τιμή σε σχέση με τον λέβητα πετρελαίου αναλόγως την λειτουργία του (αυτόματος ανεφοδιασμός και καθαρισμός), ποσό βέβαια που θα γίνει απόσβεση στο πέρασμα του χρόνου.

Στην πειραματική διαδικασία το όργανο μέτρησης της ανώτερης θερμογόνου δύναμης (HHV), θερμιδόμετρο Parr 6050, είναι εξελιγμένο και βοηθά τον χρήστη για γρήγορη συλλογή δεδομένων. Σε σχέση με τα παλιά που χρειαζόταν συλλογή δεδομένων από τον χρήστη ανά τακτικό χρονικό διάστημα και επεξεργασία αυτών για την απόδοση της καμπύλης όσο και για την εύρεση της θερμογόνου δύναμης. Μια χρονοβόρα διαδικασία που έπρεπε να γίνει για κάθε μέτρηση ξεχωριστά.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] C. Li, X. Zhao, A. Wang, G.W. Huber, T. Zhang, Catalytic transformation of lignin for the production of chemicals and fuels, *Chem. Rev.* 115 (2015) 11559e11624, <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00155>.
- [2] Z. Si, X. Zhang, C. Wang, L. Ma, R. Dong, An overview on catalytic hydrodeoxygenation of pyrolysis oil and its model compounds, *Catalysts* 7 (2017) 169, <https://doi.org/10.3390/catal7060169>.
- [3] L. Zhang, Z. Bao, S. Xia, Q. Lu, K. Walters, Catalytic pyrolysis of biomass and polymer wastes, *Catalysts* 8 (2018) 659, <https://doi.org/10.3390/catal8120659>.
- [4] Hannah Ritchie, Max Roser and Pablo Rosado (2020) - "Energy". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/energy>' [Online Resource], [Cited: Αύγουστος 22, 2022.]
- [5] Vesna Krstić, Theoretical and experimental assessment of a novel method to establish the complete measurement range of the calorimeter and its limit of detection and quantification, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Volume 44, 2022, Pages 466-473, ISSN 1004-9541, <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2021.08.019>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1004954121004481>)
- [6] ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ, 2019, <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EL:PDF>
- [7] G. TYLLER MILLER, SCOTT E. SPOOLMAN «Περιβαλλοντική Επιστήμη», 15η έκδοση, 2018, Τζιόλα, ISBN 978-960-418-613-6
- [8] Abolfazl Sajadi Noushabadi, Amir Dashti, Farhad Ahmadijokani, Jinguang Hu, Amir H. Mohammadi, Estimation of higher heating values (HHVs) of biomass fuels based on ultimate analysis using machine learning techniques and improved equation, *Renewable Energy*, Vol. 179, 2021, Pages 550-562, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.003>.
- [9] Βασικά-Μεγέθη-Ενεργειακού-Ισοζυγίου, <https://ypen.gov.gr/energeia/statistika-stoicheia>[Cited: Αύγουστος 22, 2022.]
- [10] Jensen, C.U., Rodriguez Guerrero, J.K., Karatzos, S. et al. Fundamentals of Hydrofaction™: Renewable crude oil from woody biomass. *Biomass Conv. Bioref.* 7, 495–509 (2017). <https://doi.org/10.1007/s13399-017-0248-8>
- [11] Biorenewables Education Laboratory, «Biomass Properties and Handling», [https://www.engineering.iastate.edu/brl/files/2011/10/brl\\_biomassppop\\_instructor.pdf](https://www.engineering.iastate.edu/brl/files/2011/10/brl_biomassppop_instructor.pdf), Aug

2022

- [12] Carlin, N., Annamalai, K., Sweeten, J, and S. Mukhtar. 2007. Thermo-chemical conversion analysis on dairy manure-based biomass through direct combustion. *International journal of green energy*. 4(2):133-159. Taylor & Francis, Philadelphia, PA
- [13] Anonymous, 2009. Bioenergy Feedstock Development Program Conversion Factors. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- [14] Okuda K, Man X, Umetsu M et al (2004) Efficient conversion of lignin into single chemical species by solvothermal reaction in water-p-cresol solvent. *J. of Physics, Condensed Matter* 16, S1325-S1330
- [15] Saisu M, Sato T, Watanabe M et al (2003) Conversion of lignin with supercritical water-phenol mixtures. *Energy & Fuel* 17, 922-928
- [16] Deguchi S, Tsujii K, Horikoshi K (2006) Cooking cellulose in hot and compressed water. *Chem. Commu.* 31, 3293-3295
- [17] Bali G, Meng X, Deneff JI et al (2015) The effect of alkaline pretreatment methods on cellulose structure and accessibility. *Chem.Sus.Chem* 8, 2, 275-279
- [18] Klemm D, Philipp B, Heinze T, Heinze U, Wagenknecht W (1998) *Comprehensive Cellulose Chemistry, Vol. 1. Fundamentals and analytical methods*. Weinheim, GE, Wiley-VCH, ISBN 9783527294138
- [19] Sjöström E (1993) *Wood chemistry: fundamentals and applications*, 2nd edn. Academic press, San Diego, Ca,US, ISBN 9780080925899.
- [20] Abbasi, T.; Abbasi, S.A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010, 14, 919–937. 53.
- [21] Yang, H.; Yan, R.; Chen, H.; Lee, D.H.; Zheng, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel* 2007, 86, 1781–1788.
- [22] *Energies* 2012, 5 4992 54. Wang, J.; Wang, G.; Zhang, M.; Chen, M.; Li, D.; Min, F.; Chen, M.; Zhang, S.; Ren, Z.; Yen, Y. A comparative study of thermolysis characteristic and kinetics of seaweeds and fir-wood. *Proc. Biochem.* 2006, 41, 1883–1886.
- [23] Fahmi, R.; Bridgwater, A.V.; Donnison, I.; Yates, N.; Jones, J.M. The effect of lignin and inorganic species in biomass on pyrolysis oil yields, quality and stability. *Fuel* 2008, 87, 1230–1240.
- [24] Demirbas, A. Current technologies for the thermo-conversion of biomass into fuels and

chemicals. Energy Source Part A 2004, 26, 715–730.

[25] Demirbas, A. Calculation of higher heating values of biomass fuels. Fuel 1997, 76, 431–434.

[26] Yujian Wu, Haoyu Wang, Haoyang Li, Xue Han, Mingyuan Zhang, Yan Sun, Xudong Fan, Ren Tu, Yimin Zeng, Chunbao Charles Xu, Xiwei Xu, Applications of catalysts in thermochemical conversion of biomass (pyrolysis, hydrothermal liquefaction and gasification): A critical review, Renewable Energy, Volume 196, 2022, Pages 462-481, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.031>.

[27] Fortner, B., 2021. Biomass Conversion Technology Overview | Nexus PMG. [online] Nexus PMG. Available at: <<https://nexuspmg.com/biomass-conversion-technology-overview/>> [Accessed 15 July 2021].

[28] Davis, S.C., Hay, W., Pierce, J., 2014. Biomass in the energy industry: an introduction

[29] Bauen, A., Berndes, G., Junginger, M., Londo, M., Vuille, F., Ball, R., Bole, T., Chudziak, C., Faaij, A., & Mozaffarian, H., 2009. Bioenergy: a sustainable and reliable energy source. A review of status and prospects. IEA Bioenergy. pp. 1-108

[30] Pande, M. and Bhaskarwar, A., 2012. Biomass Conversion to Energy. Biomass Conversion, pp.1-90

[31] “Υδραυλικό τζάκι βιομάζας: Υψηλές αποδόσεις – Ανταγωνιστικό κόστος”, December 20, 2013, <https://thermansipress.gr/thermansipress> [Cited: Αύγουστος 22, 2022.]

[32] “ΣΟΜΠΙΑ PELLEΤ ΝΕΡΟΥ (ΚΑΛΟΡΙΦΕΡ) KALOR ALESSIA 14 HYDRO”, <https://www.toumazatos.gr>, [Cited: Αύγουστος 22, 2022.]

[33] “Λέβητες βιομάζας και η αντιπαράθεση του ισοζυγίου CO<sub>2</sub>” <https://www.renovablesverdes.com/el/calderas-biomasa/> [Cited: Αύγουστος 22, 2022.]

[34] Skinner, H.A. “Experimental Thermochemistry, Vol. 2”, Interscience-Wiley, New York (1962).

[35] A. Demirbas (2007) Effects of Moisture and Hydrogen Content on the Heating Value of Fuels, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 29:7, 649-655, DOI: 10.1080/009083190957801

[36] Przybylski, E., “A New Application of the Calorimetric Bomb for Quantitative Analysis”, Roczniki Pantwowego Zakladu Hig. 5, 170 (1954).

[37] Τιμές της πετρελαιο ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, [https://gr.globalpetrolprices.com/heating\\_oil\\_prices/?fbclid=IwAR2MwN-](https://gr.globalpetrolprices.com/heating_oil_prices/?fbclid=IwAR2MwN-)

47r0bPXLdFsf3BQ18gnlyzeDuRgRW\_jPxcFaxRUZMITHTpJTYaJc#hl197, [Cited: Αύγουστος 22, 2022.]

[38] “Συγκριτικό τεστ: Πώς θα διαλέξω το είδος θέρμανσης που με συμφέρει”  
<https://thermansipress.gr/thermansi>, , [Cited: Αύγουστος 22, 2022.]

[39] Wright, Lynn; Boundy, Bob; Perlack, Bob; Davis, Stacy; and Saulsbury, Bo, "Biomass Energy Data Book, Volume 1" (2011). US Department of Energy Publications. 4.  
<https://digitalcommons.unl.edu/usdoepub/4>

[40] Jessup, R.S., “Precise Measurement of Heat Combustion with a Bomb Calorimeter”, U.S. Bureau of Standards Monograph No. 7 (1970), US Government Printing Office, Washington, D.C.

[41] Rossini, F.D., “Experimental Thermochemistry – Measurement of Heats of Reaction”, Interscience-Wiley, New York(1956).

[42] Shrivastava, Preeti et al. “PEANUT SHELL AS RENEWABLE ENERGY SOURCE AND THEIR UTILITY IN PRODUCTION OF ETHANOL.” (2014).

[43] Li X, Liu Y, Hao J, Wang W. Study of Almond Shell Characteristics. Materials (Basel). 2018 Sep 19;11(9):1782. doi: 10.3390/ma11091782. PMID: 30235858; PMCID: PMC6163872.

[44] De'Nobili MD, Bernhardt DC, Basanta MF, Rojas AM. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seed Hull Waste: Composition, Antioxidant Activity, and Filler Performance in Pectin-Based Film Composites. Front Nutr. 2021 Dec 15;8:777214. doi: 10.3389/fnut.2021.777214. PMID: 34977120; PMCID: PMC8715094.

[45] Domingos, Idalina, Ferreira, José, Cruz-Lopes, Luísa P. and Esteves, Bruno. "Liquefaction and chemical composition of walnut shells" *Open Agriculture*, vol. 7, no. 1, 2022, pp. 249-256. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0072>

[46] Talita Szlapak Franco, Daniele C. Potulski, Lívia C. Viana, Eriel Forville, Alan S. de Andrade, Graciela Inês Bolzón de Muniz, Nanocellulose obtained from residues of peach palm extraction (*Bactris gasipaes*), Carbohydrate Polymers, Volume 218, 2019, Pages 8-19, ISSN 0144-8617, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.035>

[47] Saffe A, Fernandez A, Mazza G, Rodriguez R. Prediction of regional agro-industrial wastes characteristics by thermogravimetric analysis to obtain bioenergy using thermal process. Energy Exploration & Exploitation. 2019;37(1):544-557.  
doi:10.1177/0144598718793908