



ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Interreg
Ελλάδα-Κύπρος

Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης



BIOMA



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (ΕΚΕΤΑ) /
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ (ΙΔΕΠ)**

30/09/2020

**ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π.5.2.1 Έλεγχος ποιότητας του παραγόμενου
σταθεροποιημένου υλικού από το σύστημα διαχείρισης βιοαποβλήτων
στον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων**

<http://bioma-project.eu/el>



Συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΤΠΑ) και από Εθνικούς Πόρους της Ελλάδας και της Κύπρου

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ	6
3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	14
4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ	18
5. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ	20
6. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΠΟΞΗΡΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	27
7. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΛΛΕΤ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	31
7.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΕΛΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	32
7.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΕΛΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ	34
8. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΛΛΕΤ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	39
9. ΠΕΛΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟΣ ΝΑΞΟΥ ΚΑΙ ΜΙΚΡΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ.....	49
10. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΠΕΛΛΕΤ ΣΤΟ Δ. ΝΑΞΟΥ ΚΑΙ ΜΙΚΡΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ	51
11. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΕΛΛΕΤ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	53
12. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΛΕΤ.....	55
12.1. ΥΓΡΑΣΙΑ (ISO 18134).....	56
12.2. ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (ISO 17328).....	57
12.3. ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (ISO 17831-1)	57
12.4. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΣΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ (ISO 18846)	57
12.5. ΤΕΦΡΑ (ISO 18122)	58
12.6. ΘΕΡΜΙΔΙΚΗ ΑΞΙΑ (ISO 18125)	58
12.7. ΥΨΗΛΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ S - CL - N.....	58
13. ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΥΣΗΣ	59
13.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΥΣΗΣ	59
13.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ	62
13.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	65
13.3.1. Υπολογισμός της απόδοσης καύσης	65
13.3.2. Μέτρηση θερμοκρασίας καυσαερίων	66
13.3.3. Μονοξείδιο του Άνθρακα	67
13.3.4. Ποσότητα οξειδίων του Αζώτου.....	67
13.3.5. Ποσότητα διοξειδίου του θείου.....	67

13.3.6.	Συντελεστής Λ (Περίσσεια αέρα)	67
13.3.7.	Μέτρηση του δείκτη αιθάλης (Καπνός)	69
13.3.8.	Άλλες παράμετροι	69
13.4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ ΠΕΛΛΕΤ	70
14.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
15.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
16.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	84
16.1.	ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΛΕΤ.....	84
17.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	101
17.1.	ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	101

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα μελέτη συντάσσεται στο πλαίσιο του προγράμματος «Αποκεντρωμένη διαχείριση βιοαποβλήτων και αξιοποίησή τους με χρήση εναλλακτικών και καινοτόμων συστημάτων επεξεργασίας» με το ακρωνύμιο **ΒΙΟΜΑ**, στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος INTERREGV-A, Ελλάδα – Κύπρος 2014 -2020.

Βασικός στόχος του έργου είναι η προώθηση της διαλογής στην πηγή και η διαχείριση των βιοαποβλήτων από τα οικιακά οργανικά απορρίμματα και τα γεωργικά και κτηνοτροφικά υπολείμματα, με τη χρήση καινοτόμων τεχνολογικών συστημάτων. Με την εφαρμογή του έργου, οι επιλεγόμενες περιοχές σε Ελλάδα και Κύπρο θα μπορούν να διαχειριστούν ορθολογικά το οργανικό φορτίο των βιοαποβλήτων μετατρέποντάς το σε προστιθέμενης αξίας τελικά προϊόντα, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό την ολοκληρωμένη διαχείριση των βιοαποβλήτων μέσω της επεξεργασίας, την επαναχρησιμοποίησης τους καθώς και την εκτροφή ενός σημαντικού ποσοστού (της τάξης του 40%) του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής (Χ.Υ.Τ.Α.) εξοικονομώντας πόρους και ενέργεια.

Στο παρόν παραδοτέο συνοψίζονται οι εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις του ΕΚΕΤΑ, με σκοπό τον χαρακτηρισμό της ποιότητας αφενός των αποξηραμένων οικιακών βιοαποβλήτων και αφετέρου των γεωργικών υπολειμμάτων από τον Δήμο Νάξου και Μικρών και Κυκλάδων και της Κοινότητας της Παλώδιας (Κύπρος). Επιπλέον, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσπάθειας παραγωγής pellet από τις δύο αναφερθείσες πρώτες ύλες (βιοαπόβλητα και κλαδέματα), ενώ τέλος προσδιορίστηκαν ο βαθμός θερμικής απόδοσης και τα αέρια προϊόντα της καύσης του παραγομένου πέλλετ. Αναλυτικά, οι δράσεις που περιγράφονται στο συγκεκριμένο παραδοτέο συνοψίζονται στα εξής :

- Παραλαβή δειγμάτων σταθεροποιημένων, μέσω της οικιακής ξήρανσης, βιοαποδομήσιμων οικιακών αποβλήτων από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων και την Κοινότητα Παλώδιας της Κύπρου.

- Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της οικιακής ξήρανσης με βάση την ποιότητα (ποσοστό υγρασίας) του παραχθέντος σταθεροποιημένου βιοαπόβλητου.
- Παραλαβή δειγμάτων γεωργικών υπολειμμάτων ξυλώδους βιομάζας από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων καθώς και από την Κοινότητα Παλώδιας της Κύπρου.
- Πραγματοποίηση εργαστηριακών αναλύσεων για τον προσδιορισμό της ποιότητας των οικιακών βιοαποβλήτων καθώς και των γεωργικών υπολειμμάτων σύμφωνα με τα ισχύοντα διεθνή πρότυπα για στερεά βιοκαύσιμα και καύσιμα για ανάκτηση ενέργειας.
- Συστηματική μελέτη για τον έλεγχο της ποιότητας του παραγόμενου σταθεροποιημένου υλικού από αποξηραμένα οικιακά βιοαπόβλητα και τα υπολείμματα ξυλώδους βιομάζας με σκοπό τον προσδιορισμό της βέλτιστης αναλογίας τους για την παρασκευή βιομηχανικού πέλλετ (pellet) με τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες.
- Αξιολόγηση του βαθμού θερμικής απόδοσης και των εκπομπών καύσης των παραγόμενων pellets (CO, NOx, SOx, σωματίδια).

2. ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ

Για την παραγωγή των πέλλετ στο έργο αυτό χρησιμοποιήθηκαν σύμμικτα στερεά αστικά απόβλητα και συγκεκριμένα αποξηραμένα οργανικά βιοαπόβληματα (προερχόμενα από οικιακά απορρίμματα) έπειτα από την εφαρμογή της οικιακής ξήρανσης, σε συνδυασμό με γεωργικά υπολείμματα. Εξαιτίας της σημαντικής μεταβλητότητας που παρουσιάζουν τα οικιακά βιοαπόβλητα, ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, από περιοχή σε περιοχή θεωρήθηκε σκόπιμος ο αναλυτικός χαρακτηρισμός της ποιότητας των δύο επιμέρους συστατικών του πέλλετ (δηλαδή των βιοαποβλήτων και των κλαδεμάτων). Για τον σκοπό αυτό, παραλήφθηκαν για ανάλυση δείγματα σταθεροποιημένων βιοαποβλήτων και γεωργικών κλαδεμάτων προερχόμενα τόσο από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων, όσο Από την Κοινότητα της Παλώδιας Κύπρου. Εργαστηριακές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν επίσης και στα δείγματα πέλλετ, τα οποία παράχθηκαν από τα εν λόγω συστατικά της βιομάζας. Συνοπτικά, τα δείγματα, τα οποία αναλύθηκαν, μπορούν να ενταχθούν στις εξής τέσσερις βασικές κατηγορίες:

1. Κλαδέματα – γεωργικά υπολείμματα.
2. Αποξηραμένο σταθεροποιημένο βιοαπόβλητο (μετά την εφαρμογή της οικιακής ξήρανσης των υπολειμμάτων των τροφίμων).
3. Παραγόμενα πέλλετ από την ανάμειξη των βιοαποβλήτων και γεωργικών υπολειμμάτων σε διαφορετικές αναλογίες.
4. Πέλλετ που έχει παραχθεί στο Δ. Νάξου και Μικρών Κυκλάδων με χρήση εμπορικού πελλετοποιητή (στην ποσότητα των 200 Kg), αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της μελέτης για την ανεύρεση της βέλτιστης αναλογίας βιοαποβλήτων και κλαδεμάτων στην προηγούμενη κατηγορία.

Σημειώνεται επίσης ότι για να ληφθεί υπόψιν η εποχικότητα των βιοαποβλήτων (κατά κύριο λόγο) και των κλαδεμάτων (κατά δεύτερο) πραγματοποιήθηκε χαρακτηρισμός δειγμάτων που αφορούσαν περίοδο μεγαλύτερη των έξι (6) μηνών, έτσι ώστε να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά τους, τόσο κατά την καλοκαιρινή περίοδο, όπου λόγω της αυξημένης τουριστικής κίνησης ενδέχεται να καταγράφονται αξιόλογες μεταβολές της ποιότητας των βιοαποβλήτων, όσο και της χειμερινής

περιόδου. Πιο συγκεκριμένα, η παραλαβή των δειγμάτων αφορούσε δείγματα που λήφθηκαν κατά την περίοδο από τον Ιούλιο (2019) μέχρι τον Ιανουάριο (2020) και αφορούσε δείγματα που είχαν ληφθεί από τους οικιακούς ξηραντήρες των νοικοκυριών που επιλέχθηκαν. Σημειώνεται επίσης ότι η επιλογή των νοικοκυριών έγινε με τρόπο, έτσι ώστε να είναι τα δείγματα να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά του συνόλου των παραγόμενων βιοαποβλήτων του Δήμου Νάξου και Μικρών Κυκλάδων.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα δείγματα προς ανάλυση και χαρακτηρισμό, τα οποία παραλήφθηκαν από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων και από την Κοινότητα της Παλώδιας.

Πίνακας 2.1 Δείγματα τα οποία παραλήφθηκαν από την Κοινότητα της Παλώδιας και από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων

Προέλευση δειγμάτων	Σειρά δειγμάτων	Ημερομηνία παραλαβής	Είδος δείγματος
Κοινότητα Παλώδιας	<u>Δείγμα I</u>	27/05/2019	1. Βιοαπόβλητα 2. Γεωργικά υπολείμματα
Δήμος Νάξου και Μικρών Κυκλάδων	<u>Δείγμα I</u>	01/07/2019	1. Βιοαπόβλητα 2. Γεωργικά υπολείμματα (Αλμυρίκια, Γιούκα, Αμπέλωνες, Ελιές)
	<u>Δείγμα II</u>	12/11/2019	1. Βιοαπόβλητα 2. Γεωργικά υπολείμματα (Φοίνικας, Σολωμός, Ευκάλυπτος, Μουριά)
	<u>Δείγμα III</u>	23/12/2019	1. Βιοαπόβλητα 2. Γεωργικά υπολείμματα (Σκαμνιά, Σολωμός, Αλμυρίκια, Ευκάλυπτος)
	<u>Δείγμα IV</u>	07/01/2020	1. Βιοαπόβλητα 2. Γεωργικά υπολείμματα (Σκαμνιά, Σολωμός, Ευκάλυπτος)

Η μελέτη για τον προσδιορισμό της βέλτιστης αναλογίας βιοαποβλήτων και κλαδεμάτων με σκοπό την αξιοποίηση τους στην προσδιορισμό της βέλτιστης ποιότητας πέλλετ πραγματοποιήθηκε με τη χρήση σταθεροποιημένων βιοαποδομήσιμων οικιακών αποβλήτων και υπολειμμάτων ξυλώδους βιομάζας προερχόμενων από κλαδέματα του Δήμου Νάξου και Μικρών Κυκλάδων (Δείγμα Ι-Νάξος) σε 8 διαφορετικές αναλογίες. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε επιπρόσθετα και πυρηνόξυλο με σκοπό την αύξηση της συνοχής και την βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του πέλλετ. Οι ποσοστιαία αναλογία των επιμέρους συστατικών (βιοαπόβλητα : γεωργικά υπολείμματα : πυρηνόξυλο) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην προαναφερθείσα μελέτη παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2 Αναλογία συστατικών για την παραγωγή πέλλετ

A/A	Ποσοστιαία (%) αναλογία συστατικών		
Pellet 1	Βιοαπόβλητο 75%,	Κλαδέματα 25%	
Pellet 2	Βιοαπόβλητο 70%,	Κλαδέματα 15%,	Πυρηνόξυλο 15%
Pellet 3	Βιοαπόβλητο 60%,	Κλαδέματα 20%,	Πυρηνόξυλο 20%
Pellet 4	Βιοαπόβλητο 50%,	Κλαδέματα 20%,	Πυρηνόξυλο 30%
Pellet 5	Βιοαπόβλητο 30%,	Κλαδέματα 50%,	Πυρηνόξυλο 20%
Pellet 6	Βιοαπόβλητο 30%,	Κλαδέματα 40%,	Πυρηνόξυλο 30%
Pellet 7	Βιοαπόβλητο 20%,	Κλαδέματα 40%,	Πυρηνόξυλο 40%
Pellet 8	Βιοαπόβλητο 40%,	Κλαδέματα 20%	Πυρηνόξυλο 40%

Στην Εικόνα 2.1 παρατίθενται τυπικές φωτογραφίες ορισμένων δειγμάτων αποξηραμένων βιοαποβλήτων, καθώς και ξηλώδους βιομάζας, όπως αυτά παραλήφθηκαν στις εγκαταστάσεις του ΕΚΕΤΑ, από το Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων. Τα δείγματα που βρισκόταν σε συσκευασίες περίπου του 1 Kg, μετά την

παραλαβή τους αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία δωματίου, μέχρι την πραγματοποίηση των εργαστηριακών αναλύσεων για τον χαρακτηρισμό τους.



(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)



(στ)



Εικόνα 2.1 Φωτογραφίες δειγμάτων από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων. (α) Δείγμα I: Κλαδέματα (01/07/2019), (β) Δείγμα I: Βιοαπόβλητα (01/07/2019), (γ) Παρτίδα II: Φοίνικας (12/11/2019), (δ) Δείγμα II: Σολωμός (12/11/2019), (ε) Δείγμα II: Μουριά (12/11/2019), (στ) Δείγμα II: Βιοαπόβλητα (12/11/2019), (ζ) Δείγμα III: Σκαμνιά (23/12/2019), (η) Δείγμα III: Αλμυρίκια (23/12/2019), (θ) Δείγμα III: Ευκάλυπτος (23/12/2019), (ι) Δείγμα IV Βιοαπόβλητα (23/12/2019)

Επιπλέον στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες από την προσπάθεια πελλετοποίησης σε εργαστηριακή κλίμακα. Υπενθυμίζεται ότι οι αναλογίες των συστατικών που χρησιμοποιήθηκαν (κλαδέματα, σταθεροποιημένο βιοαπόβλητο και σε ορισμένες περιπτώσεις και πηρυνόξυλο) συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2. Από τις εικόνες αυτές γίνεται προφανές ότι δεν ήταν επιτυχής όλες οι προσπάθειες πελετοποίησης. Ειδικότερα στην περίπτωση απουσίας προσθήκης πηρυνόξυλου (Εικόνα 2.2.α), η προσπάθεια ήταν ανεπιτυχής μιας και δεν επιτεύχθηκε ο σχηματισμός της επιθυμητής μορφής πελλετ.



(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)



(στ)



(ζ)



(η)



(θ)

Εικόνα 2.2 Δείγματα παραγόμενων πέλλετ. (α) Δείγμα 1, (β) Δείγμα 2 (γ) Δείγμα 3, (δ) Δείγμα 4, (ε) Δείγμα 5, (στ) Δείγμα 6, (ζ) Δείγμα 7, (η) Δείγμα 8, (θ) Δείγμα παρασκευασθέν στον Δ. Νάξου

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών παραμέτρων των σταθεροποιημένων βιοαποβλήτων και των αγροτικών υπολειμμάτων (κλαδέματα) πραγματοποιήθηκε στο διαπιστευμένο, με πρότυπο ποιότητας ISO 9001 καθώς επίσης και κατά ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025:2005 (για συγκεκριμένες αναλύσεις) εργαστήριο του ΙΔΕΠ/ΕΚΕΤΑ.

Οι αναλύσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα που παραλήφθηκαν από την Κοινότητα της Παλώδιας και από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων, καθώς και οι μέθοδοι αναλύσεων παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 3.1. Για τις αναλύσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

1. Parr 1261 Isooperibolic Oxygen Bomb Calorimeter 1261EA για τον προσδιορισμό της ανώτερης και κατώτερης θερμογόνου δύναμης.
2. Drying Oven (MMM Medcenter™ Venticell™, Fisher Scientific) και αναλυτικός ζυγός ακριβείας (Mettler) για τον προσδιορισμό της υγρασίας.
3. High temperature furnace (Nabertherm P330, 30-3000 °C) και αναλυτικός ζυγός ακριβείας (Mettler) για τον προσδιορισμό της τέφρας.
4. Carbon/Hydrogen/Nitrogen Determinator, LECO CHN628 για τον προσδιορισμό του άνθρακα και του υδρογόνου.
5. Φασματοφωτόμετρο Ακτίνων Χ (ICP-OES - Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer") και Φθορισμού Ακτίνων Χ (XRF - X-Ray Fluorescence) (Model Optima 4300 Dv, PerkinElmer, USA) για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων (δηλαδή αρσενικού, καδμίου, χρωμίου, μόλυβδος, υδράργυρος).

Πίνακας 3.1 Μέθοδοι ανάλυσης σταθεροποιημένου βιοαπόβλητου και αγροτικών υπολειμμάτων

Παράμετρος	Μέθοδος Ανάλυσης	Μονάδες
Υγρασία, M	EN ISO 18134-1:2015 (αντικατέστησε το πρότυπο EN 14774-1:2009)	% w.w.
Τέφρα, A	EN ISO 18122:2015	% w.w. (επί ξηρού)

	(αντικατέστησε το πρότυπο EN 14775:2009)	
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (Gross Heat of combustion, HHV)	ASTM D 4809	MJ/kg
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (Net Calorific Value, LHV)	ASTM D 4809	MJ/kg
Άνθρακας, C	ASTM D 5291	% w.w.
Υδρογόνο, H	ASTM D 5291	% w.w.
As	ICP-OES	mg/kg τέφρας
Cd	ICP-OES	mg/kg τέφρας
Cr	ICP-OES	mg/kg τέφρας
Pb	ICP-OES	mg/kg τέφρας

Οι παράμετροι, οι οποίες προσδιορίστηκαν στα δείγματα πέλλετ που παρήχθησαν είναι αυτές που ορίζονται στο πρότυπο ISO 17225-1:2014 για την αξιολόγηση των πέλλετ, και οι μέθοδοι αναλύσεων τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Μέθοδοι προσδιορισμού των ιδιοτήτων των πέλλετ

Παράμετρος	Μέθοδος Ανάλυσης	Μονάδες
Προέλευση και πηγή	EN ISO 17225-1:2014 (6.1 και Πίνακας 1)	---
Εμπορική μορφή	EN ISO 17225-1:2014 (Πίνακας 2)	---
Διαστάσεις [Διάμετρος (D) και μήκος (L)]	EN ISO 17829-1:2015	mm
Υγρασία, M	EN ISO 18134-1:2015	% w.w.

	(αντικατέστησε το πρότυπο EN 14774-1:2009)	
Μερική Υγρασία*	EN ISO 18134-3:2015	% w.w.
Τέφρα, A	EN ISO 18122:2015 (αντικατέστησε το πρότυπο EN 14775:2009)	% w.w. (επί ξηρού)
Μηχανική αντοχή, DU	EN ISO 17831-1:2015	% w.w. του πέλλετ μετά την δοκιμασία
Λεπτόκκοκο υλικό, F	EN ISO 18846:2016	% w.w.
Πρόσθετα	EN ISO 17225-1:2014	% w.w.
Χύδην πυκνότητα, BD	EN ISO 17828:2015	kg/m ³
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (Higher Heating Value, HHV)*	EN ISO 18125:2017 (αντικατέστησε το πρότυπο EN 14918:2009)	cal/gr
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (Lower Heating Value, LHV)	EN ISO 18125:2017 (αντικατέστησε το πρότυπο EN 14918:2009)	cal/gr
Άζωτο, N	EN ISO 16948:2015	% w.w. (επί ξηρού)
Άνθρακας, C*	EN ISO 16948:2015	% w.w. (επί ξηρού)
Υδρογόνο, H*	EN ISO 16948:2015	% w.w. (επί ξηρού)
Θείο, S	EN ISO 16994:2015	% w.w. (επί ξηρού)

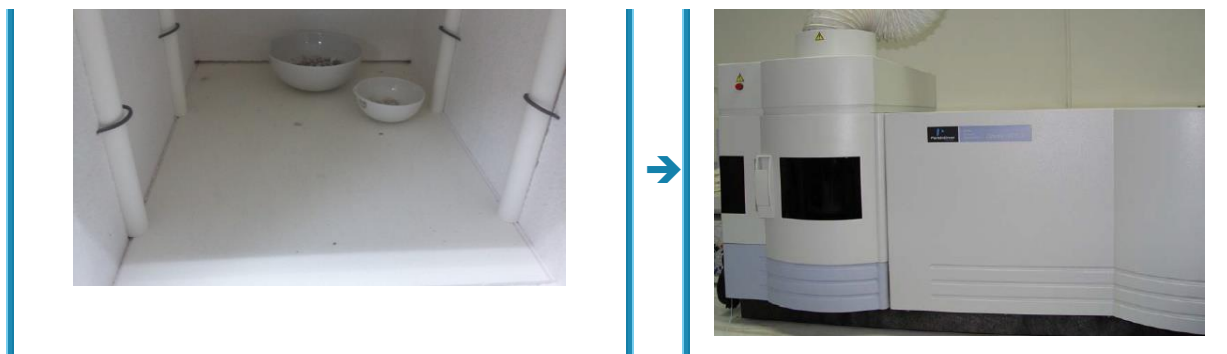
Χλώριο, Cl	EN ISO 16994:2015	% w.w. (επί ξηρού)
Μόνιμος άνθρακας, Cc	100 – [υγρασία (% w.w.) + τέφρα (% w.w.) + πτητικά στερεά (% w.w.)]	% w.w. (στο ίδιο επίπεδο υγρασίας)
Πτητικά στερεά, VM	EN ISO 18123:2015	% w.w. (επί ξηρού)
Κατανομή μεγέθους σωματιδίων των αποσυντιθέμενου πέλλετ	EN ISO 17830:2016	% w.w. (επί ξηρού)
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	CEN/TS 15370-1	°C
Αρσενικό, As*	ICP-OES	mg/kg τέφρας
Κάδμιο, Cd*	ICP-OES	mg/kg τέφρας
Χρώμιο, Cr*	ICP-OES	mg/kg τέφρας
Μόλυβδος, Pb*	ICP-OES	mg/kg τέφρας

* Δεν απαιτείται από το πρότυπο EN ISO 17225-1:2014 αλλά έχει προσδιορισθεί

4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ

Η διαδικασία προσδιορισμού υγρασίας, τέφρας και βαρέων μετάλλων στα αγροτικά υπολείμματα και στα σταθεροποιημένα βιοαπόβλητα παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 4.1. Σημειώνεται ότι τα δείγματα μετά την παραλαβή τους είχαν αποθηκευτεί σε χώρο προσωρινής αποθήκευσης, (όπου η θερμοκρασία δεν ξεπερνούσε τους 25 °C) μέχρι την ανάλυσή τους. Αρχικά, τα δείγματα αλέθονται και στη συνέχεια ξηραίνονται στους 105°C ± 2°C για τον προσδιορισμό της υγρασίας τους. Έπειτα, το ξηρό δείγμα υπόκειται πύρωση στους 550 ± 10°C για τον προσδιορισμό της τέφρας που περιέχει. Τέλος, στα δείγματα της παραγόμενης τέφρας γίνεται επίσης ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα (αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, μόλυβδος και υδράργυρος) με χρήση Φασματοφωτομετρίας Ακτίνων Χ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy, ICP-OES).





Εικόνα 4.1 Διαχείριση δειγμάτων από αγροτικά υπολείμματα και σταθεροποιημένα βιοαπόβλητα για τον προσδιορισμό υγρασίας, τέφρας και βαρέων μετάλλων.

Στα δείγματα των βιοαποβλήτων και των γεωργικών υπολειμμάτων προσδιορίστηκαν επίσης η Ανώτερη και η Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (HHV και LHV, αντίστοιχα), ενώ πραγματοποιήθηκε επίσης στοιχειακή ανάλυση. Σημειώνεται ότι οι παράμετροι των δειγμάτων προερχόμενα από την αγροτική βιομάζα (κλαδέματα) προσδιορίστηκαν έπειτα από ξήρανση (στους $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) και άλεση, ενώ στα σταθεροποιημένα βιοαπόβλητα δεν απαιτείται ξήρανση των δειγμάτων (μόνο άλεση). Στις Εικόνες 4.2 (α) και 4.2(β) παρατίθενται φωτογραφίες του εργαστηριακού εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε στις αναφερθείσες αναλύσεις.



Εικόνα 4.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός για τον προσδιορισμό της (α) Στοιχειακής ανάλυσης, (β) Ανώτερη και κατώτερη θερμογόνος δύναμη των δειγμάτων.

5. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων των δειγμάτων από γεωργικά υπολείμματα, τα οποία ελήφθησαν τόσο από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων όσο και από την Κοινότητα της Παλώδιας. Σε κάθε δείγμα που εστάλη στο ΕΚΕΤΑ έγιναν αναλύσεις προσδιορισμού του ποσοστού υγρασίας (σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο EN ISO 18134-1:2015) και της τέφρας (EN ISO 18122:2015). Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις προσδιορισμού της ανώτερης και κατώτερης θερμογόνου δύναμης (HHV, LHV) σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D 4809, καθώς και στοιχειακή ανάλυση για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε άνθρακα και υδρογόνο, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D5291. Οι αναλύσεις αυτές, για τα κλαδέματα που είχαν σημαντικό ποσοστό υγρασίας, έγιναν μετά την ξήρανση των δειγμάτων, λόγω του υψηλού ποσοστού υγρασίας που περιείχαν. Στην τέφρα των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε επίσης και προσδιορισμός των περιεχόμενων βαρέων μετάλλων (αρσενικού, καδμίου, χρωμίου και μολύβδου) με την μέθοδο της Φασματοσκοπίας οπτικής εκπομπής επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-OES).

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών για κάθε είδος κλαδεμάτων ξεχωριστά, προκειμένου να ταυτοποιηθούν αυτά με τα πιο επιθυμητά χαρακτηριστικά. Οι μετρήσεις έγιναν με το Δείγμα των καλδεμάτων της 2^{ης} Σειράς από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων. Στον Πίνακα 5.1 συνοψίζονται τα αποτελέσματα του φυσικοχημικού χαρακτηρισμού κάθε ενός είδους των γεωργικών υπολειμμάτων (κλαδέματα) για τη Σειρά II καθώς και οι μέσοι όροι για το σύνολο των κλαδεμάτων. Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, αυτή έχει προσδιοριστεί επίσης σε mg/kg επί ξηρού (mg/kg d). Παρατηρούμε από τα αποτελέσματα αυτά ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και για τα τέσσερα είδη κλαδεμάτων παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις μεταξύ τους εκτός από το ποσοστό υγρασίας και τέφρας. Όσον αφορά το ποσοστό υγρασίας, αυτό παρουσιάζεται αυξημένο για τα δείγματα του σολωμού και της μουριάς (≈30-40%), σε σχέση με τα δείγματα του φοίνικα και του ευκάλυπτου (≈15-17%). Η διακύμανση αυτή μπορεί να οφείλεται παραμέτρους όπως το είδος του φυτού, η περιοχή δειγματοληψίας, οι καιρικές συνθήκες, το χρονικό σημείο της δειγματοληψίας και ανάλυσης σε σχέση

με την σημείο κλαδέματος, κ.α. Όσον αφορά το ποσοστό τέφρας, αυτό παρουσιάζεται αυξημένο για τα κλαδέματα ευκάλυπτου σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δείγματα. Συμπερασματικά, οι διαφορές των χαρακτηριστικών μεταξύ των διάφορων ειδών γεωργικών υπολειμμάτων, όπως αυτά προκύπτουν από τις αναλύσεις χαρακτηρισμού που πραγματοποιήθηκαν είναι ελάχιστες και ως εκ τούτου στα επόμενα δείγματα που ακολούθησαν πραγματοποιήθηκε ανάμιξη σε ίσες ποσότητες των διαφορετικών ειδών κλαδεμάτων. Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι ο μέσος όρος των ποιοτικών χαρακτηριστικών στην περίπτωση των κλαδεμάτων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επικείμενες συγκρίσεις με τα χαρακτηριστικά των βιοπαβλήτων, δεδομένου ότι αποτελεί αντιπροσωπευτική τιμή για τα είδη των κλαδεμάτων που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Ειδικότερα, συγκρίνοντας τις τιμές των χαρακτηριστικών των κλαδεμάτων του ευκάλυπτου με τις αντίστοιχες ενδεικτικές τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα Β.4 του προτύπου EN ISO 17225-1:2014¹, το δείγμα που εξετάστηκε παρουσίασε αυξημένη περιεκτικότητα σε τέφρα ($7.0 \pm 0,4$ % w.w. d έναντι των 0,5-4,0 % w.w. d) και ελάχιστα μειωμένη HHV ($18,8$ MJ/kg d έναντι των 19,3-21,2 MJ/kg d), ενώ όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους (LHV, C, H, As, Cd, Cr) οι τιμές τους κυμαίνονται εντός του τυπικού εύρος τιμών. Η αυξημένη περιεκτικότητα σε τέφρα μπορεί να οφείλεται σε επιμόλυνση των δειγμάτων από χώμα, σκόνη ή άμμο, σε υψηλότερο περιεχόμενο σε φλοιό, σε ανόργανα πρόσθετα και ίσως σε χημική επεξεργασία (ασβέστωμα). Αξίζει να σχολιαστεί ωστόσο η ιδιαίτερα υψηλή τιμή της θερμογόνου δύναμης των κλαδεμάτων, η οποία είναι σχεδόν όμοια με τις προδιαγραφές της θερμογόνου δύναμης του αντίστοιχου προτύπου ENplus® για πελλέτες ξύλου.

Στις υπόλοιπες σειρές δειγμάτων που προήλθαν από το Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων (Σειρές I, III, IV) και το δείγμα από την Κοινότητα της Παλώδιας πραγματοποιήθηκε ισόποση ανάμιξη των δειγμάτων σε ένα τελικό δείγμα κλαδεμάτων και ακολούθησε ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων του. Στον Πίνακα 5.2 λοιπόν συνοψίζονται τα αποτελέσματα του φυσικοχημικού χαρακτηρισμού των γεωργικών υπολειμμάτων (κλαδέματα) από όλα τα δείγματα που παρελήφθησαν

¹ Η σύγκριση αυτή πραγματοποιήθηκε μόνο για τον ευκάλυπτο, επειδή στο πρότυπο εμφανίζονται δεδομένα μόνο για τον ευκάλυπτο, ο οποίος εντάσσεται στην κατηγορία 1.1.1.3 σύμφωνα με το πρότυπο.

καθώς επίσης και ο μέσος όρος αυτών. Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, αυτή έχει μετατραπεί και σε mg/kg επί ξηρού (mg/kg d), όπως ορίζει και το αντίστοιχο πρότυπο ποιότητας. Όμοια με την 2^η σειρά δειγμάτων και στις υπόλοιπες σειρές δειγμάτων η μεγαλύτερη διακύμανση εμφανίζεται στο ποσοστό υγρασίας, η οποία μπορεί να αποδοθεί στις αιτίες που προαναφέρθηκαν (είδος φυτού, καιρικές συνθήκες, συνθήκες δειγματοληψίας κ.α.).

Τα συγκεκριμένα δείγματα μπορούν να ενταχθούν στην κατηγορία 1.1.4 (Logging residues), η οποία αναφέρεται στον Πίνακα 1 του προτύπου EN ISO 17225-1:2014. Σύμφωνα με τον Πίνακα B.3 του προτύπου, ο οποίος αναφέρει ενδεικτικές τιμές για τις παραμέτρους χαρακτηρισμού υλικών ξυλώδους προέλευσης, κλαδεμάτων, το δείγμα από της Κοινότητας της Παλώδιας παρουσιάζει αυξημένη τιμή στο ποσοστό της τέφρας ($11,3 \pm 1$ % w.w. d έναντι των 2 - 10 % w.w. d). Ωστόσο, τα υπόλοιπα δείγματα βρίσκονται εντός του τυπικού εύρους τιμών, καθώς και ο μέσος όρος όλων των δειγμάτων. Τα δείγματα μάλιστα II, III και IV του Δήμου Νάξου και Μικρών Κυκλάδων εμφανίζουν ~ 5 % w.w.d τέφρα, η οποία αποτελεί τυπική τιμή των υλικών ξυλώδους προέλευσης. Επίσης, η τιμή της HHV ικανοποιεί τις προδιαγραφές του προτύπου ($19,1 \pm 1,4$ MJ/kg d έναντι των 19,5-20,0 MJ/kg d) ενώ η LHV παρουσιάζεται ελαφρώς πιο μειωμένη ($17,9 \pm 1,4$ MJ/kg d έναντι των 18,3-18,5 MJ/kg d με ενδεικτική τιμή 18,7 MJ/kg d). Πιο χαμηλή επίσης, παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα C ($46,7 \pm 2$ % w.w. d έναντι των 50-51 % w.w. d). Οι υπόλοιπες αναλύσεις παρουσιάζονται εντός του τυπικού εύρους τιμών του προτύπου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αυξημένη περιεκτικότητα σε τέφρα μπορεί να οφείλεται σε επιμόλυνση των δειγμάτων από χώμα, σκόνη ή άμμο, σε υψηλότερο περιεχόμενο σε φλοιό, σε ανόργανα πρόσθετα και ίσως σε χημική επεξεργασία (ασβέστωμα).

Τέλος, καταγράφεται η απουσία εποχικών διακυμάνσεων μεταξύ των δειγμάτων από γεωργικά κλαδέματα, όπως εξάλλου είναι αναμενόμενο, με δεδομένο ότι πρόκειται για τις ίδιες κατηγορίες δέντρων από τις οποίες συγκεντρώθηκαν τα δείγματα και ότι τα χαρακτηριστικά τους δεν μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους.

Πίνακας 5.1 Φυτικοχημικός χαρακτηρισμός δειγμάτων βιοαποβλήτων και γεωργικών υπολειμμάτων από Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων (Σειρά II)

Παράμετρος	Φοίνικας	Σολωμός	Ευκάλυπτος	Μουριά	Μ.Ο.
Υγρασία - M, % w.w.	14,8 ± 0,2	37,4 ± 0,5	17,4 ± 0,2	31,1	25,2 ± 9,4
Τέφρα - A, % w.w. (επί ξηρού δείγματος)	4,0	2,9 ± 0,2	7,0 ± 0,4	2,9	4,2 ± 1,7
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (Net Calorific Value, LHV), MJ/kg ξηρού δείγματος	17,2	18,5	17,6	17,8	17,8 ± 0,5
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (Gross Heat of combustion, HHV), MJ/kg ξηρού δείγματος	18,4	19,8	18,8	19,1	19,0 ± 0,5
Άνθρακας (C), % wt (επί ξηρού δείγματος)	46,8	50,0	48,2	48,6	48,4 ± 1,1
Υδρογόνο (H), % wt (επί ξηρού δείγματος)	5,9	6,20	5,7	6,18	6,0 ± 0,2
Αρσενικό (As), mg/kg τέφρας	< 10 (< 0,4 mg/kg d)	< 10 (< 0,29 mg/kg d)	< 10 (< 0,7 mg/kg d)	< 10 (< 0,29 mg/kg d)	< 10 (< 0,7 mg/kg d)
Κάδμιο (Cd), mg/kg τέφρας	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5

	<i>(< 0,1 mg/kg d)</i>	<i>(< 0,07 mg/kg d)</i>	<i>(< 0,18 mg/kg d)</i>	<i>(< 0,07 mg/kg d)</i>	<i>(< 0,18 mg/kg d)</i>
Χρώμιο (Cr), mg/kg τέφρας	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,1	4,0 ± 0,2	2,3 ± 0,15	2,63 ± 0,15
	<i>(0,08 ± 0,004 mg/kg d)</i>	<i>(0,06 ± 0,003 mg/kg d)</i>	<i>(0,28 ± 0,01 mg/kg d)</i>	<i>(0,07 ± 0,04 mg/kg d)</i>	<i>(0,1 ± 0,1 mg/kg d)</i>
Μόλυβδος (Pb), mg/kg τέφρας	< 15	< 15	< 15	<15	<15
	<i>(< 0,4 mg/kg d)</i>	<i>(< 0,44 mg/kg d)</i>	<i>(< 1,05 mg/kg d)</i>	<i>(< 0,44 mg/kg d)</i>	<i>(< 1,05 mg/kg d)</i>

Πίνακας 5.2. Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός δειγμάτων γεωργικών υπολειμμάτων από το Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων (Σειρές I-IV) και την Κοινότητα της Παλώδιας

Παράμετρος	Δ. Νάξου και Μικρών Κυκλάδων				Κ. Παλώδιας	
	Σειρά I	Σειρά II	Σειρά III	Σειρά IV	Σειρά I	Μέσος Όρος
Υγρασία - M, % w.w.	47,3 ± 7,6	25,2 ± 9,4	20,1 ± 0,4	20,6 ± 0,4	37,9 ± 1,3	31,0 ± 11,9
Τέφρα - A, % w.w. (επί ξηρού δείγματος)	7,5 ± 0,6	4,2 ± 1,7	5,8 ± 0,2	4,9 ± 0,7	11,3 ± 1,0	6,7 ± 2,4
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (Net Calorific Value, LHV), MJ/kg ξηρού δείγματος	18,3	17,8 ± 0,5	18,05	19,83	15,5	17,9 ± 1,4
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (Gross Heat of combustion, HHV), MJ/kg ξηρού δείγματος	19,5	19,0 ± 0,5	19,26	20,94	16,7	19,1 ± 1,4
Άνθρακας (C), % wt (επί ξηρού δείγματος)	45,9	48,4 ± 1,1	47,9	47,96	43,1	46,7 ± 2,0
Υδρογόνο (H), % wt (επί ξηρού δείγματος)	5,9	6,0 ± 0,2	5,71	5,27	5,6	5,7 ± 0,3

Αρσενικό (As), mg/kg τέφρας	< 10 (<i>< 0,75 mg/kg d</i>)	< 10 (<i>< 0,7 mg/kg d</i>)	< 10 (<i>< 0,58 mg/kg d</i>)	< 10 (<i>< 0,49 mg/kg d</i>)	< 50 (<i>< 5,65 mg/kg d</i>)	< 50 (<i>< 5,65 mg/kg d</i>)
Κάδμιο (Cd), mg/kg τέφρας	< 2,5 (<i>< 0,19 mg/kg d</i>)	< 2,5 (<i>< 0,18 mg/kg d</i>)	< 5 (<i>< 0,29 mg/kg d</i>)	< 0,5 (<i>< 0,02 mg/kg d</i>)	< 10 (<i>< 1,13 mg/kg d</i>)	< 10 (<i>< 1,13 mg/kg d</i>)
Χρώμιο (Cr), mg/kg τέφρας	14,93 ± 0,75 (<i>1,12±0,06 mg/kg d</i>)	2,63 ± 0,15 (<i>0,12±0,1 mg/kg d</i>)	3,4 ± 0,8 (<i>0,20±0,05 mg/kg d</i>)	4,3 ± 0,7 (<i>0,21±0,03 mg/kg d</i>)	< 10 (<i>< 1,13 mg/kg d</i>)	2,6 έως 14,9 (<i>< 1,13 mg/kg d</i>)
Μόλυβδος (Pb), mg/kg τέφρας	18 ± 3 (<i>1,35±0,23 mg/kg d</i>)	<15 (<i>< 1,05 mg/kg d</i>)	16,1 ± 3,2 (<i>0,93±0,19 mg/kg d</i>)	< 15 (<i>< 0,74 mg/kg d</i>)	< 100 (<i>< 11,30 mg/kg d</i>)	< 100 (<i>< 11,3 mg/kg d</i>)

6. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΠΟΞΗΡΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων των δειγμάτων που ελήφθησαν από αποξηραμένα βιοαπόβλητα (μετά την εφαρμογή της οικιακής ξήρανσης των υπολειμμάτων των τροφίμων που ελήφθησαν τόσο από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων όσο και από την Κοινότητα της Παλώδιας). Σε κάθε δείγμα που εστάλη στο ΕΚΕΤΑ έγιναν αναλύσεις προσδιορισμού του ποσοστού υγρασίας (σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN ISO 18134-1:2015) και της τέφρας (EN ISO 18122:2015). Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις προσδιορισμού της ανώτερης και κατώτερης θερμογόνου δύναμης (HHV, LHV) σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D 4809, καθώς και στοιχειακή ανάλυση για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε άνθρακα και υδρογόνο, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D5291. Οι προαναφερθείσες αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα των βιοαποβλήτων στη μορφή που ελήφθησαν (χωρίς καμία επεξεργασία) και όπου κρίθηκε σκόπιμο υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες παράμετροι επί ξηρού. Στην τέφρα των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός βαρέων μετάλλων (αρσενικού, καδμίου, χρωμίου και μολύβδου) με την μέθοδο της Φασματοσκοπίας οπτικής εκπομπής επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-OES).

Στον παρακάτω Πίνακα 6.1 συνοψίζονται τα αποτελέσματα του φυσικοχημικού χαρακτηρισμού, τα οποία αφορούν τα αποξηραμένα βιοαπόβλητα, μετά την εφαρμογή της οικιακής ξήρανσης. Σημειώνεται ότι όσον αφορά την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα και την ανώτερη και κατώτερη θερμογόνο δύναμη, έχουν προσδιοριστεί επίσης και ως συγκέντρωση επί ξηρής βάσης

Από την σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των γεωργικών υπολειμμάτων (Πινάκων 5.2) και των βιοαποβλήτων (Πίνακας 6.1) παρατηρείται ότι το αποξηραμένα βιοαπόβλητα όπως είναι και αναμενόμενο εμφανίζουν σημαντικά χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας από τα γεωργικά κλαδέματα, ωστόσο περιέχουν μεγαλύτερα ποσοστά τέφρας (~11%) που αποδίδονται σε ενδεχόμενα λάθη στην διαλογή των βιοαποβλήτων από τα νοικοκυριά.

Η θερμογόνος δύναμη των κλαδεμάτων και των βιοαποβλήτων είναι ιδιαίτερα υψηλές, όπως και η περιεκτικότητα σε άνθρακα και υδρογόνο. Αντιπαραβάλλοντας

τις τιμές της θερμογόνου δύναμης με τις προδιαγραφές των καυσίμων pellet σύμφωνα με το Enplus® προκύπτει ότι όχι μόνο αυτές πληρούνται ,αλλά είναι σημαντικά υψηλότερες από αυτές υποδηλώνοντας ότι τα βιοαπόβλητα (όπως και τα γεωργικά υπολλείματα) εμφανίζουν πολύ υψηλή θερμογόνο δύναμη και αποτελούν στερεά καύσιμα με εξαιρετικές ιδιότητες.

Τέλος, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων (αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο και μόλυβδος) που έχουν ανιχνευτεί στην τέφρα των βιοαποβλήτων και των κλαδεμάτων είναι σημαντικά χαμηλότερα από τις αυστηρές προδιαγραφές τους που έχουν θεσπιστεί για την χρησιμοποίηση των pellet ως καύσιμα, γεγονός που υποδηλώνει την ασφαλή χρησιμοποίησή τους. Επίσης, παρατηρείται ότι τα γεωργικά υπολείμματα εμφανίζουν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές σε περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων, οι οποίες στην περίπτωση των βιοαποβλήτων είναι ελαφρώς αυξημένες λόγω πιθανής παρουσίας τους σε συσκευασίες, αλλά και σε κατηγορίες τροφίμων όπως είναι τα ψάρια και τα λαχανικά.

Πίνακας 6.1 Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός δειγμάτων βιοαποβλήτων από το Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων (Παρτίδες 1-4) και την Κοινότητα της Παλώδιας.

Παράμετρος	Δ. Νάξου και Μικρών Κυκλάδων				Κ. Παλώδιας	
	Παρτίδα 1	Παρτίδα 2	Παρτίδα 3	Παρτίδα 4	Παρτίδα 1	Μέσος Όρος
Υγρασία - M, % w.w.	9,6 ± 0,3	8,4 ± 1,6	9,9 ± 0,1	11,3 ± 0,1	6,1 ± 0,3	9,4 ± 1,7
Τέφρα - A, % w.w. (επί ξηρού δείγματος)	6,1 ± 0,2	20,6 ± 0,7	15,1 ± 0,3	6,6 ± 0,4	6,8 ± 1,1	11,3 ± 5,5
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (Net Calorific Value, LHV), MJ/kg (ως έχει)	17,8 19,69 MJ/kg d	14,7 16,05 MJ/kg d	14,3 15,87 MJ/kg d	14,8 16,69 MJ/kg d	17,5 18,64 MJ/kg d	15,8 ± 1,7 17,44 ± 1,9 MJ/kg d
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (Gross Heat of combustion, HHV), MJ/kg (ως έχει)	19,4 21,46 MJ/kg d	16,1 17,58 MJ/kg d	15,6 17,31 MJ/kg d	16,2 17,34 MJ/kg d	19,0 17,8 MJ/kg d	17,3 ± 1,6 19,01 ± 1,77 MJ/kg d
Άνθρακας (C), % wt (ως έχει)	45,6 50,4 % wt d	42,9 46,8 % wt d	39,0 43,3 % wt d	42,1 47,5 % wt d	46,1 49,1 % wt d	43,1 ± 2,6 47,6 ± 2,9 % wt d
Υδρογόνο (H), % wt (ως έχει)	7,2 8,0 % wt d	6,4 7,0 % wt d	6,1 6,8 % wt d	6,6 7,4 % wt d	7,1 7,6 % wt d	6,7 ± 0,4 7,4 ± 0,4 % wt d

Αρσενικό (As), mg/kg τέφρας	<10 (<0,61 mg/kg d)	<10 (< 2,06 mg/kg d)	<10 (< 1,51 mg/kg d)	<10 (< 0,66 mg/kg d)	<50 (< 3,4 mg/kg d)	<50 (< 3,4 mg/kg d)
Κάδμιο (Cd), mg/kg τέφρας	<2,5 (< 0,15 mg/kg d)	<2,5 (< 0,52 mg/kg d)	<5,0 (< 0,76 mg/kg d)	<5,0 (< 0,33 mg/kg d)	<10 (< 0,68 mg/kg d)	<10 (< 0,8 mg/kg d)
Χρώμιο (Cr), mg/kg τέφρας	3,73 ± 0,6 (0,23±0,04 mg/kg d)	2,73 ± 0,15 (0,56±0,03 mg/kg d)	2,2 ± 1,0 (0,33±0,15 mg/kg d)	11,0±0,3 (0,73±0,02 mg/kg d)	< 10 (< 0,68 mg/kg d)	4,9 ± 3,6 (0,5 ± 0,2 mg/kg d)
Μόλυβδος (Pb), mg/kg τέφρας	< 15 (< 0,92 mg/kg d)	< 15 (< 3,09 mg/kg d)	< 15 (< 2,27 mg/kg d)	< 15 (< 0,99 mg/kg d)	< 100 (< 6,8 mg/kg d)	< 100 (< 6,8 mg/kg d)

7. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΛΛΕΤ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η διαδικασία παραγωγής πέλλετ από μίγμα βιοαποδομήσιμων οικιακών αποβλήτων και υπολειμμάτων ξυλώδους βιομάζας. Συγκεκριμένα ως πρώτες ύλες χρησιμοποιήθηκαν:

- ✂ Οικιακά βιοαπόβλητα από το Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων κατόπιν ξήρανσης σε οικιακούς ξηραντήρες (Δείγμα από Σειρά Ι).
- ✂ Υπολείμματα ξυλώδους βιομάζας (κλαδέματα) από το Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων (Δείγμα από Σειρά Ι).
- ✂ Πυρηνόξυλο ως συνδετικό υλικό.

Η ποσότητα που απαιτήθηκε από κάθε δείγμα ήταν της τάξης των 25-30 kg από κάθε ένα από τα παραπάνω είδη.

Για τον σκοπό αυτόν, παραλήφθηκαν 3 σάκοι κλαδεμάτων των 13 κιλών έκαστος καθώς και ένας σάκος βιοαποβλήτων των 14 κιλών. Τα κλαδέματα αντιμετωπίστηκαν ως ένα συνολικό δείγμα, δεδομένων των μικρών διακυμάνσεων που παρουσιάζουν, μετά από ανάμειξη και ομογενοποίηση. Το δείγμα θρυμματίστηκε σε κατάλληλο θρυμματιστή, ώστε να αποκτήσει μέγεθος περίπου 50 mm. Κατόπιν έγινε άλεση σε μύλο κοκκομετρίας 0,2 mm. Στην Εικόνα 7.1 παρουσιάζονται τα δείγματα κλαδεμάτων όπως αυτά παραλήφθηκαν, καθώς εικόνες και μετά τον τεμαχισμό και την άλεσή τους.



(α)



(β)



Εικόνα 7.1 Στάδια επεξεργασίας δείγματος κλαδεμάτων: (α) αρχικό δείγμα, (β) δείγμα μετά τον τεμαχισμό, (γ) δείγμα μετά την άλεση.

7.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΕΛΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η πελλετοποίηση πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακό πελλετοποιητή, του οποίου τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1

Πίνακας 7.1 Κύρια χαρακτηριστικά εργαστηριακού πελλετοποιητή

Είδος πρέσσας (Press)	Τύπος / Αρχή λειτουργίας (Type / Principle)	Δυναμικότητα / Ισχύς (Capacity / Power)	Επιπρόσθετες πληροφορίες (Additional information)
Kahl 14-175	Επίπεδη Μήτρα (flat die)	100 kg/h 3 kW	Εργαστηριακός πελλετοποιητής (Lab.-scale press)

Για την πελλετοποίηση/συσσωμάτωση της πρώτης ύλης της βιομάζας χρησιμοποιούνται κανονικοί μύλοι πελλετοποίησης ή αλλιώς πελλετοποιητές. Η πρώτη ύλη εισάγεται, σε μορφή σκόνης με το μέγιστο μέγεθος κόκκων 2,5 mm, στο

θάλαμο της μήτρας του πελλετοποιητή. Κατά τη συμπίεση της προετοιμασμένης πούδρας, η πρέσα συμπιέζει το υλικό μέσα από διάτρητη μεταλλική μήτρα κατάλληλης σκληρότητας, από την οποία εξέρχονται οι πελλέτες. Ρυθμιζόμενα κοπτικά εργαλεία εντός του θαλάμου είναι αυτά τα οποία κόβουν τα συσσωματώματα της βιομάζας στο επιθυμητό μήκος.

Ο πελλετοποιητής του Ινστιτούτου Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ) στο ΕΚΕΤΑ διαθέτει επίπεδου τύπου μήτρα, ο οποίος συναντάται σε μηχανές πελλετοποίησης μικρότερης παραγωγικής δυναμικότητας, συνήθως μέχρι 1 τόνο/ώρα. Σύμφωνα με αυτήν την τυπολογία, ένα ζευγάρι ράουλα περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα πάνω από μια στρογγυλή επίπεδη μήτρα, με οπές ανάλογης διαμέτρου προς το επιθυμητό τελικό προϊόν, σε απόσταση μερικών δεκάτων του χιλιοστού από την επιφάνεια της μήτρας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, συμπαρασύρεται υλικό και συμπιέζεται μέσω των οπών (Εικόνα 7.2).



Εικόνα 7.2 Περιστρεφόμενα ράουλα πάνω από την επίπεδη μήτρα

Κατά την πελλετοποίηση αυξάνεται η πίεση μεταξύ των ξυλωδών κόκκων μέχρι και άνω των 20 MPa, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι τριβές, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας (100-130°C).

Επιπλέον: α) αυξάνεται η πυκνότητα του υλικού β) μειώνεται η υγρασία του υλικού γ) πλαστικοποιείται μερικώς η λιγνίνη και δρα ως «συγκολλητική ουσία»

μεταξύ των μικροινιδίων της κυτταρίνης. Η λιγνίνη μαλακώνει προσωρινά και με την ψύξη στερεοποιείται.

7.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΕΛΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την πορεία της διαδικασίας της συσσωμάτωσης αλλά κυρίως μεταβάλλουν την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά των τελικών εξαγόμενων προϊόντων [1] είναι:

- ✂ Η υγρασία της εισερχόμενης στη μήτρα πούδρας
- ✂ Η θερμοκρασία λειτουργίας της μήτρας του πελλετοποιητή
- ✂ Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πρέσας του πελλετοποιητή

Συνεπώς προκύπτει ότι μείζον ζήτημα για τη σωστή διαδικασία της παραγωγής είναι ο προσδιορισμός της υγρασίας του δείγματος, πριν αυτό εισέλθει στη μηχανή από το κανάλι εισόδου.

Τα επιθυμητά ποσοστά υγρασίας πριν τη διαδικασία της συσσωμάτωσης είναι της τάξης 8-12 % [2, 3]. Το ποσοστό της υγρασίας εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη διαδικασία ξήρανσης που προηγήθηκε της πελλετοποίησης. Ειδικά υγρασιόμετρα ιόντων θα χρησιμοποιηθούν για την άμεση μέτρηση των επιπέδων της υγρασίας στο δείγμα, λίγο πριν αρχίσει η διαδικασία της συμπύκνωσης του δείγματος. Υπενθυμίζεται ότι η υγρασία των βιοαποβλήτων είναι περίπου 9% (w/w) ικανοποιώντας τις απαιτούμενες απαιτήσεις, ενώ χρειάστηκε να γίνει ξήρανση των γεωργικών υπολειμμάτων ώστε να μειωθεί η υγρασία τους από το 25% (w/w) στην επιθυμητή περιοχή τιμών πριν την πελλετοποίηση.

Γενικά, σε περιπτώσεις που τα ποσοστά υγρασίας των δειγμάτων δεν είναι τα επιθυμητά προς πελλετοποίηση, ακολουθούνται κάποιες εμπειρικές εργαστηριακές τεχνικές. Οι μέθοδοι που προτείνονται σε τέτοιου είδους περιπτώσεις είναι οι εξής:

- ✂ Για ποσοστά υγρασίας μεγαλύτερα του 12%, το δείγμα οδηγείται στο φούρνο ξήρανσης όπου και τοποθετείται για το πολύ 24 ώρες σε 105 ± 2 °C. Στη συνέχεια και αφού παραλάβουμε το δείγμα εκτός του φούρνου, επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία μέτρησης της υγρασίας με το υγρασιόμετρο ιόντων.

✎ Για ποσοστά υγρασίας μικρότερα του 8 % υπάρχουν 2 εμπειρικές μέθοδοι:

α) Ο ψεκασμός του δείγματος με απιονισμένο νερό και στη συνέχεια δοκιμές με το υγρασιόμετρο, μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό ποσοστά υγρασίας.

Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί μέχρι και 3 φορές.

β) Η ανάμειξη του δείγματος με κάποιο συνδετικό υλικό, για παράδειγμα μικρή σχετικά ποσότητα τριμμένης σόγιας ή αμύλου (αλεσμένα στα 2.5 mm).

Εναλλακτικά δύναται να χρησιμοποιηθεί το πυρηνόξυλο ως συνδετικό υλικό.

Στη συνέχεια το δείγμα, ήδη αναμεμειγμένο με σόγια ή άμυλο οδηγείται στη τράπεζα τετραμερισμού όπου ανακατεύονται και συσσωματώνονται πλήρως. Έπειτα εκτελούνται οι μετρήσεις των ποσοστών της υγρασίας και αν αυτή είναι στα επιθυμητά όρια, ξεκινά η διαδικασία της πελλετοποίησης.

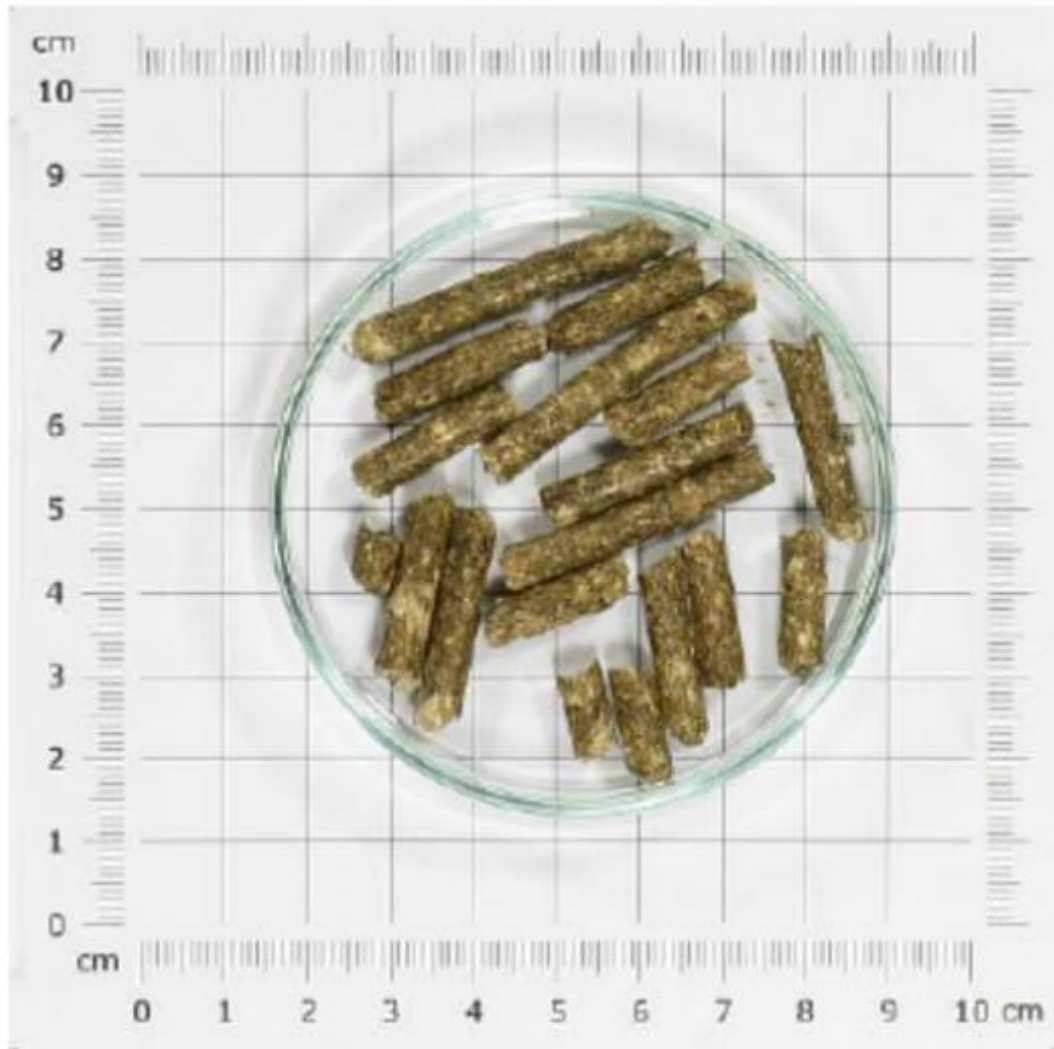
Σε περίπτωση που δεν πληρούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις και η υγρασία δεν βρίσκεται στα επιθυμητά όρια, δεν πραγματοποιείται η συσσωμάτωση για τους εξής δυο λόγους:

✎ Σε περιπτώσεις πολύ χαμηλής υγρασίας (<7-8%) το ξηρό υλικό, όταν βρίσκεται μέσα στην πρέσα, περνάει μέσα από τις οπές, γλιστρώντας ουσιαστικά, χωρίς να λαμβάνει χώρα η συσσωμάτωση.

✎ Αν η υγρασία σημειώνει υψηλές τιμές (>13-14%), το «υγρό» υλικό που εισέρχεται αρχίζει σταδιακά να σχηματίζει κρούστα 1-2mm πάνω από τις οπές της μήτρας και εμποδίζει το πόλοιπο υλικό να ρέει μέσα από αυτές. Το αποτέλεσμα των επικαθίσεων αυτών είναι η αυτόματη διακοπή της συσσωμάτωσης.

Επίσης, η φύση του υλικού της βιομάζας αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα που επηρεάζει το τελικό προϊόν της διαδικασίας της συσσωμάτωσης. Επιθυμητό είναι το υλικό προς επεξεργασία να είναι κολλώδες, όπως για παράδειγμα το ελαιοπυρηνόξυλο και κάποια άλλα είδη ελαιούχων φυτών και βιοκαυσίμων. Το κατάλληλο ποσοστό υγρασίας σε τέτοια κολλώδη υλικά (με την κατάλληλη προκατεργασία) εξασφαλίζει τους ισχυρούς δεσμούς μεταξύ των συστατικών του υλικού οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα το πολύ καλής ποιότητας και αντοχής του τελικού προϊόντος [1].

Οι παράμετροι, οι οποίες προσδιορίζονται κατά την διαδικασία της πελλετοποίησης, συνοψίζονται στον Πίνακα 7.2., ενώ στο Σχήμα 7.3 παρουσιάζεται μία τυπική εικόνα του παραγόμενου πέλλετ.



Σχήμα 7.1 Παραγόμενο πέλλετ

Πίνακας 7.2 Παράμετροι που προσδιορίζονται κατά την διαδικασία της πελλετοποίησης

Δείγμα	Δείγμα 1	Δείγμα 2	Δείγμα 3	Δείγμα 4	Δείγμα 5	Δείγμα 6	Δείγμα 7	Δείγμα 8
Τύπος πελλετοποιητή (Name of pelletizer)	Kahl 14-175							
Αναλογία μίγματος (Raw material mixture)	Απόβλητα 75% Κλαδέματα 25%	Απόβλητα 70% Κλαδέματα 15% Πυρηνόξυλο 15%	Απόβλητα 60% Κλαδέματα 20% Πυρηνόξυλο 20%	Απόβλητα 50% Κλαδέματα 20% Πυρηνόξυλο 30%	Απόβλητα 30% Κλαδέματα 50% Πυρηνόξυλο 20%	Απόβλητα 30% Κλαδέματα 40% Πυρηνόξυλο 30%	Απόβλητα 20% Κλαδέματα 40% Πυρηνόξυλο 40%	Απόβλητα 40% Κλαδέματα 20% Πυρηνόξυλο 40%
Τύπος μύλου (Name of the mill)	Universal Cutting Mill PULVERISETTE 19, Fritsch							
Ισχύς (Power), kW	3							
Διαστάσεις οπών μήτρας, διάμετρος / μήκος ,mm (Measures of die, diameter / length)	6/40.							
Επιπρόσθετες ενέργειες (Additional activities included)	• Προσθήκη νερού σε ποσοστό 10% w.w. • Προσθήκη πυρηνόξυλου • Άλεση στην επιθυμητή κοκκομετρία (0,20 mm)							
Ανάμειξη (Mixing)	Χειρωνακτική με ζύγιση (Manual weighting)							

Υγρασία πριν / μετά (Moisture, before/after)	πριν 10%, μετά βλ. παρακάτω
Bulk density, before / after, kg/m ³ Πυκνότητα πριν / μετά	βλ. παρακάτω
Θερμοκρασία κατά την εξώθηση, °C (Temperature after press, °C)	Σταδιακή αύξηση από τους 22 °C έως τους 53 °C

8. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΛΛΕΤ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου πέλλετ αξιολογήθηκαν βάσει του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 17225-1:2014 «Στερεά βιοκαύσιμα – Προδιαγραφές και κλάσεις καυσίμου – Μέρος 1: Γενικές απαιτήσεις». Ειδικότερα, το παραγόμενο πέλλετ εντάσσεται στο πρότυπο ISO 17225-6, το οποίο αφορά την παραγωγή pellet μη-ξυλώδους προέλευσης. Οι ιδιότητες του πέλλετ μπορεί να είναι:

✂ **Κανονιστικές (Κ):** υποχρεωτικές και μέσα σε όρια ή

✂ **Πληροφοριακές (Π):** συνίσταται να δηλώνονται

Στον Πίνακα 8.1 φαίνονται ποιες από τις ιδιότητες των πέλλετ χαρακτηρίζονται ως Κανονιστικές και ποιες ως Πληροφοριακές.

Πίνακας 8.1 Χαρακτηρισμός ιδιοτήτων πέλλετ σε Κανονιστικές και Πληροφοριακές

Ιδιότητα / Εμπορεύσιμη βιομάζα	Πέλλετ
Προέλευση και πηγή	Κ
Διαστάσεις	Κ
Υγρασία, M	Κ
Τέφρα, A	Κ
Μηχανική αντοχή, DU	Κ
Λεπτόκκοκο υλικό, F	Κ
Πρόσθετα	Κ
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη, Q	Κ
Χύδην πυκνότητα, BD	Κ/Π
Άζωτο, N	Κ/Π
Θείο, S	Κ/Π
Χλώριο, Cl	Κ/Π
Μόνιμος άνθρακας, Cc	Κ/Π
Πτητικά, VM	Κ/Π
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	Π

Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζονται οι αναλογίες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή πέλλετ με τις βέλτιστες μηχανικές ιδιότητες. Αρχικά στο μίγμα τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκαν υψηλές αναλογίες βιοαποβλήτων, ενώ επίσης προστέθηκαν και γεωργικά κλαδέματα. Το πυρηνόξυλο χρησιμοποιήθηκε ως συνδετικό μέσο.

Πίνακας 8.2 Δείγματα πέλλετ που παράχθηκαν και αναλογίες υλικών σε αυτά

A/A	Σύνθεση Δείγματος		
Δείγμα 1	Βιοαπόβλητο 75%,	Κλαδέματα 25%	
Δείγμα 2	Βιοαπόβλητο 70%,	Κλαδέματα 15%,	Πυρηνόξυλο 15%
Δείγμα 3	Βιοαπόβλητο 60%,	Κλαδέματα 20%,	Πυρηνόξυλο 20%
Δείγμα 4	Βιοαπόβλητο 50%,	Κλαδέματα 20%,	Πυρηνόξυλο 30%
Δείγμα 5	Βιοαπόβλητο 30%,	Κλαδέματα 50%,	Πυρηνόξυλο 20%
Δείγμα 6	Βιοαπόβλητο 30%,	Κλαδέματα 40%,	Πυρηνόξυλο 30%
Δείγμα 7	Βιοαπόβλητο 20%,	Κλαδέματα 40%,	Πυρηνόξυλο 40%
Δείγμα 8	Βιοαπόβλητο 40%,	Κλαδέματα 20%	Πυρηνόξυλο 40%

Τα δείγματα του παραγόμενου πέλλετ αναλύθηκαν και το σύνολο των παραμέτρων που προσδιορίστηκαν συνοψίζονται στον Πίνακα 8.3. Αναλυτικά ο χαρακτηρισμός του κάθε δείγματος ξεχωριστά φαίνεται στο Παράρτημα. Σημειώνεται ότι στο πρώτο δείγμα δεν πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις φυσικοχημικού χαρακτηρισμού λόγω μηχανικής αστοχίας του τελικού προϊόντος πελλετοποίησης, μιας και δεν ήταν δυνατό να σχηματιστεί το επιθυμητό πέλλετ.

Απόν την σύγκριση των 8 διαφορετικών αναλογιών που δοκιμάστηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3 γίνεται εύκολα αντιληπτό πως το δείγμα πελλετ με κωδικό 4 εμφανίζει τα λιγότερα επιθυμητά χαρακτηριστικά, με δεδομένο ότι έχει τα υψηλότερα επίπεδα υγρασίας και τέφρας, ενώ κατέστη δυνατό να προσδιοριστεί η μηχανική του αντοχή, λόγω του μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων σωματισίων (89.2%) και περιείχε. Επιπρόσθετα, το συγκεκριμένο δείγμα πέλλετ έχει σημαντικά χαμηλότερη πυκνότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα, μεγαλύτερα ποσοστά προσμίξεων σημαντική ποσότητα (30%) πρόσθετου πυρηνόξυλου.

Γενικότερα, παρατηρείται πως όσο τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων πελλετ δεν είναι τα επιθυμητά, σε δείγματα πέλλετ με υψηλές % αναλογία σε βιοπόβλητα και πως όσο μειώνεται η περιεκτικότητά τους, τόσο βελτιώνονται τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου πελλετ.

Μελετώντας με προσοχή τα χαρακτηριστικά των 8 δειγμάτων που πρόκυψαν, μπορεί να συμπεράνει κανείς τα τρία τελευταία δείγματα της μελέτης (δηλαδή τα δείγματα 6, 7 και 8) εμφανίζουν τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα, δεδομένου ότι εμφανίζουν τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες φυσικοχημικές ιδιότητες των πέλλετ. Πιο συγκεκριμένα προκύπτει ότι το Δείγμα 7 με αναλογία 20% σε βιοαπόβλητα, 40% σε γεωργικά υπολείμματα και 40% σε πυρηνόξυλο παρουσιάζει τα βέλτιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά και για τον λόγο οποίο η παραπάνω αναλογία βιοαποβλήτων και κλαδεμάτων επιλέχθηκε να δοκιμαστεί σε μεγαλύτερη κλίμακα με χρήση εμπορικού πελλετοποιητή στον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα.

Τέλος, από τη σύγκριση των ιδιοτήτων των παραγόμενων πελλετ με τις αντίστοιχες ιδιότητες των πρωτογενών συστατικών συμπεραίνει κανείς ότι όπως είναι αναμενόμενο, τα παραγόμενα πέλλετ έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα βιοαπόβλητα και τα γεωργικά κλαδέματα. Μοναδική εξαίρεση, εκτός από το περιεχόμενο σε τέφρα. Το σταθεροποιημένο βιοαπόβλητο και η χείριστη ποιότητα πέλλετ έχουν υψηλότερο περιεχόμενο σε τέφρα σε σύγκριση με τα γεωργικά υπολείμματα και την βέλτιστη ποιότητα πέλλετ.

Πίνακας 8.3 Χαρακτηρισμός δειγμάτων παραγόμενου πέλλετ

Παράμετρος	Κ/Π	Δείγμα 2	Δείγμα 3	Δείγμα 4	Δείγμα 5	Δείγμα 6	Δείγμα 7	Δείγμα 8
Προέλευση και πηγή	Κ	Κ	Κ	Κ	Κ	Κ	Κ	Κ
Εμπορική μορφή								
Διαστάσεις, mm [Διάμετρος (D) και μήκος (L)]	Κ	Κ	Κ	Κ	Κ	Κ	Κ	Κ
Υγρασία (M), % w.w.	Κ	8,2 ± 0,10	8,2 ± 0,10	8,5 ± 0,10	8,4 ± 0,10	8,1 ± 0,10	7,6 ± 0,09	7,7 ± 0,10
Μερική Υγρασία*, % w.w.	Κ	5,5 ± 0,40	5,5 ± 0,40	5,2 ± 0,38	5,8 ± 0,42	6,2 ± 0,45	5,6 ± 0,41	5,7 ± 0,41
Τέφρα (A), % w.w. επί ξηρού	Κ	8,5 ± 0,15	9,1 ± 0,16	9,1 ± 0,16	8,1 ± 0,14	7,4 ± 0,13	6,7 ± 0,12	7,1 ± 0,12
Μηχανική αντοχή (DU), % w.w. του πέλλετ μετά την δοκιμασία	Κ	Λόγω μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων δεν δύναται να προσδιοριστεί η μηχανική αντοχή	Λόγω μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων δεν δύναται να προσδιοριστεί η μηχανική αντοχή	Λόγω μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων δεν δύναται να προσδιοριστεί η μηχανική αντοχή	Λόγω μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων δεν δύναται να προσδιοριστεί η μηχανική αντοχή	64,3	92,0	92,2

Παράμετρος	Κ/Π	Δείγμα 2	Δείγμα 3	Δείγμα 4	Δείγμα 5	Δείγμα 6	Δείγμα 7	Δείγμα 8
Λεπτόκκοκο υλικό (F), % w.w.	Κ	71,2	89,2	97,5	95,5	16,7	2,5	2,3
Πρόσθετα, % w.w.	Κ	Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 15%	Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 20%	Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 30%	Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 20%	Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 30%	Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 40%	Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 40%
Χύδην πυκνότητα (BD), kg/m³	Κ/Π	697	678	660	577	750	757	741
Ανώτερη θερμογόνο δύναμη (Net Calorific Value, LHV)*, cal/gr		Επι ξηρού: 4630,2 Ως έχει: 4249,6	Επι ξηρού: 4563,7 Ως έχει: 4190,4	Επι ξηρού: 4573,3 Ως έχει: 4183,7	Επι ξηρού: 4600,0 Ως έχει: 4214,9	Επι ξηρού: 4494,0 Ως έχει: 4129,9	Επι ξηρού: 4491,0 Ως έχει: 4149,3	Επι ξηρού: 4563,6 Ως έχει: 4214,5
Κατώτερη θερμογόνο δύναμη (Gross Heat of combustion, HHV), cal/gr	Κ	Επι ξηρού: 4316,3 Ως έχει: 3913,6	Επι ξηρού: 4260,2 Ως έχει: 3864,0	Επι ξηρού: 4225,8 Ως έχει: 3816,1	Επι ξηρού: 4230,6 Ως έχει: 3827,6	Επι ξηρού: 4137,5 Ως έχει: 3754,2	Επι ξηρού: 4152,8 Ως έχει: 3792,4	Επι ξηρού: 4237,0 Ως έχει: 3868,3
Άζωτο (N), % w.w. επί ξηρού	Κ/Π	1.46	1,55	1.38	1,87	1,16	1,2	0,87

Παράμετρος	Κ/Π	Δείγμα 2	Δείγμα 3	Δείγμα 4	Δείγμα 5	Δείγμα 6	Δείγμα 7	Δείγμα 8
Άνθρακας (C)*, % w.w.επί ξηρού		47,43	47,78	47,50	48,06	47,64	48,39	48,12
Υδρογόνο (H)*, % w.w.επί ξηρού		6,05	5,85	6,72	7,15	6,91	6,53	6,30
Θείο (S), % w.w.επί ξηρού	Κ/Π	0.31	0,39	0,42	0,52	0,52	0,52	0,47
Χλώριο (Cl), % w.w.επί ξηρού	Κ/Π	0.55	0,65	0,62	0,65	0,43	0,42	0,47
Μόνιμος άνθρακας (Cc), % w.w. στο ίδιο επίπεδο υγρασίας	Κ/Π	47.43	47,78	47.50	48,06	47,61	48,39	48,12
Πτητικά στερεά (VM), % w.w.επί ξηρού	Κ/Π	Επι ξηρού: 74.6 ± 0,37 Ως έχει: 68.5 ± 0,35	Επι ξηρού: 74.8 ± 0,37 Ως έχει: 68.7 ± 0,35	Επι ξηρού: 75,4 ± 0,37 Ως έχει: 69,0 ± 0,35	Επι ξηρού: 75,4 ± 0,37 Ως έχει: 69,0 ± 0,35	Επι ξηρού: 75,5 ± 0,37 Ως έχει: 69,4 ± 0,35	Επι ξηρού: 75,6 ± 0,37 Ως έχει: 69,9 ± 0,35	Επι ξηρού: 75,6 ± 0,37 Ως έχει: 69,8 ± 0,35

Παράμετρος	Κ/Π	Δείγμα 2	Δείγμα 3	Δείγμα 4	Δείγμα 5	Δείγμα 6	Δείγμα 7	Δείγμα 8
Κατανομή μεγέθους σωματιδίων των αποσυντιθέμενου πέλλετ, % w.w.επί ξηρού								
Συμπεριφορά τήξης τέφρας, °C	Π	Συρρίκνωση: 608 Παραμόρφωση: 1399 Ημισφαιρίου: >1550 Ροής: >1550	Συρρίκνωση: 612 Παραμόρφωση: 1395 Ημισφαιρίου: >1550 Ροής: >1550	Συρρίκνωση: 616 Παραμόρφωση: 1389 Ημισφαιρίου: >1550 Ροής: >1550	Συρρίκνωση: 608 Παραμόρφωση: 1399 Ημισφαιρίου: >1550 Ροής: >1550	Συρρίκνωση: 631 Παραμόρφωση: 1392 Ημισφαιρίου: >1550 Ροής: >1550	Συρρίκνωση: 622 Παραμόρφωση: 1394 Ημισφαιρίου: >1550 Ροής: >1550	Συρρίκνωση: 629 Παραμόρφωση: 1394 Ημισφαιρίου: >1550 Ροής: >1550
Αρσενικό (As)*, mg/kg τέφρας		< 15 (<i>< 1,28 mg/kg d</i>)	< 15 (<i>< 1,23 mg/kg d</i>)	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
Κάδμιο (Cd)*, mg/kg τέφρας		< 2,5 (<i>< 0,21 mg/kg d</i>)	< 2,5 (<i>< 0,21 mg/kg d</i>)	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5
Χρώμιο (Cr)*, mg/kg τέφρας		35,3 ± 2 (<i>3±0,17 mg/kg d</i>)	19,5 ± 1	14 ± 1	1 ± 15	27,3 ± 1	21,7 ± 1,0	19,2

Παράμετρος	Κ/Π	Δείγμα 2	Δείγμα 3	Δείγμα 4	Δείγμα 5	Δείγμα 6	Δείγμα 7	Δείγμα 8
Μόλυβδος (Pb)*, mg/kg τέφρας		< 10 (<i>< 0,85 mg/kg d</i>)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

Πίνακας 8.4 Συγκριτικός Πίνακας Πρώτων Υλών και Παραγόμενου πέλλετ (βέλτιστη και χειρίστη ποιότητα)

Παράμετρος	Μ.Ο. Γεωργικά Υπολείμματα	Μ.Ο. Βιοαπόβλητων	Πέλλετ Δείγμα 4 (χειρίστο)	Πέλλετ Δείγμα 7 (βέλτιστό, 40-40-20)
Υγρασία - Μ, % w.w.	31,0 ± 11,9	9,4 ± 1,7	8,5 ± 0,1	7,6 ± 0,09
Τέφρα - Α, % w.w. (επί ξηρού δείγματος)	6,7 ± 2,4	11,3 ± 5,5	9,1 ± 0,16	6,7 ± 0,12
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (Net Calorific Value, LHV)	4320 ± 406 cal/gr d (επί ξηρού)	3890 ± 358 cal/gr d (ως έχει) 3550 ± 334 cal/gr d (επί ξηρού)	3816,1 (ως έχει) 4225,8 cal/gr (επί ξηρού)	3792,4 cal/gr (ως έχει) 4152,8 cal/gr (επί ξηρού)
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (Gross Heat of combustion, HHV)	4890 ± 931 cal/gr d (επί ξηρού)	4130 ± 382 cal/gr d (ως έχει) 3770 ± 382 cal/gr d (επί ξηρού)	4183,7 (ως έχει) 4573,3 cal/gr (επί ξηρού)	4149,3 cal/gr (ως έχει) 4491,0 cal/gr (επί ξηρού)
Άνθρακας (C), % wt (επί ξηρού δείγματος)	46,7 ± 2,0	43,1 ± 2,6 39,2 ± 2,9 % wt d	47,50 % wt d	48,39 % wt d
Υδρογόνο (H), % wt	5,7 ± 0,3	6,7 ± 0,4	6,72 % wt d	6,53 % wt d

(επί ξηρού δείγματος)		6,1±0,5 % wt d		
Αρσενικό (As), mg/kg τέφρας	< 50 (<i>< 5,65 mg/kg d</i>)	<50 (<i>< 3,4 mg/kg d</i>)	< 15	< 15
Κάδμιο (Cd), mg/kg τέφρας	< 10 (<i>< 1,13 mg/kg d</i>)	<10 (<i>< 0,8 mg/kg d</i>)	< 2,5	< 2,5
Χρώμιο (Cr), mg/kg τέφρας	2,6 έως 14,9 (<i>< 1,13 mg/kg d</i>)	4,9 ± 3,6 (<i>0,5 ± 0,2 mg/kg d</i>)	14 ± 1	21,7 ± 1
Μόλυβδος (Pb), mg/kg τέφρας	< 100 (<i>< 11,3 mg/kg d</i>)	< 100 (<i>< 6,8 mg/kg d</i>)	< 10	< 10

9. ΠΕΛΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟΣ ΝΑΞΟΥ ΚΑΙ ΜΙΚΡΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ

Τα χαρακτηριστικά του πελλετοποιητή πιλοτικής κλίμακας ο οποίος χρησιμοποιήθηκε από το προσωπικό του Δήμου Νάξου και Μικρών Κυκλάδων, με σκοπό τη παραγωγή πέλλετ καυσίμου χρησιμοποιώντας μίγμα βιοαποβλήτων, γεωργικών υπολειμμάτων και πυρηνόξυλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.1

Πίνακας 9.1 Μηχανές παραγωγής πέλλετ με δύο ράουλα

ΤΥΠΟΣ	AMP 200 f
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ	ΠΕΛΛΕΤ ΞΥΛΟΥ
ΚΙΝΗΣΗ	ΜΟΤΕΡ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ 10HP
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΜΗΤΡΑ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	150 + KG/Η ΣΕ ΖΩΟΤΡΟΦΗ 80 + KG/Η ΣΕ ΞΥΛΟ
ΤΥΠΟΣ ΠΕΛΛΕΤ	3*, 4*, 6* mm
ΒΑΡΟΣ	Kgr
ΚΩΔΙΚΟΣ	00010323

Ο φορητός εξοπλισμός πελεττοποίησης είναι κατάλληλος για ζωοτροφές, για την επεξεργασία τεμαχίων κλαδεμάτων, πριονιδίων και ρινισμάτων ξύλου. Μία φωτογραφία του φορητού εξοπλισμού παραγωγής πέλλετ φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 9.1).



Εικόνα 9.1 Μηχανή παραγωγής πέλλετ με δύο ράουλα

Το πέλλετ, το οποίο παράχθηκε με τη χρήση του εικονιζόμενου φορητού εξοπλισμού πελλετοποίησης και με την εξής αναλογία υλικών (20% βιοαπόβλητα, 40% κλαδέματα και 40% πυρηνόξυλο) παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.2.



Εικόνα 9.2 Δείγμα pellet από τον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων

10. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΠΕΛΛΕΤ ΣΤΟ Δ. ΝΑΞΟΥ ΚΑΙ ΜΙΚΡΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ

Η ποσότητα πέλλετ που παράχθηκε στον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων, στάλθηκε με μεταφορική εταιρεία στις εγκαταστάσεις του Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ) του ΕΚΕΤΑ στην Πτολεμαΐδα, προκειμένου να γίνει η ποιοτικός έλεγχος, καθώς και οι δοκιμές καύσης και αναβάθμισης καυσίμου μέσω ήπιας πυρόλυσης.

Για το σκοπό αυτό παρήχθησαν περίπου 200 kg πελλετ με τον κωδικό όνομα (Δείγμα Β) με αναλογία όπως αναφέρθηκε **40% γεωργικά υπολείμματα, 40% πυρηνόξυλο, 20% σταθεροποιημένα βιοαπόβλητα**. Αναλυτικά ο χαρακτηρισμός των πέλλετ αυτών παρατίθεται στο Παράρτημα Ι. Ωστόσο συνοπτικά, τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.1.

Πίνακας 10.1 Χαρακτηρισμός τελικού δείγματος πέλλετ

Παράμετρος	Κ/Π	Τελικό Δείγμα Πέλλετ
Προέλευση και πηγή	Κ	
Εμπορική μορφή		
Διαστάσεις, mm [Διάμετρος (D) και μήκος (L)]	Κ	
Υγρασία (M), % w.w.	Κ	10,6 ¹ 8,8 ± 0,2 ²
Μερική Υγρασία*, % w.w.	Κ	2,4
Τέφρα (A), % w.w.	Κ	Επι ξηρού: 7,9 ± 0,5 ² Επι ξηρού: 6,8 ¹ Ως έχει: 6,1 ¹
Μηχανική αντοχή (DU), % w.w. του πέλλετ μετά την δοκιμασία	Κ	94,5
Λεπτόκκοκο υλικό (F), % w.w.	Κ	5,0
Πρόσθετα, % w.w.	Κ	Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 40%

Παράμετρος	Κ/Π	Τελικό Δείγμα Πέλλετ
Χύδην πυκνότητα (BD), kg/m ³	Κ/Π	522
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (Net Calorific Value, LHV)*, MJ/kg		18,22 ²
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (Gross Heat of combustion, HHV), MJ/Kg ως έχει	Κ	16,90 ² 4037,5 cal/g
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (Gross Heat of combustion, HHV), cal/g	Κ	Επι ξηρού: 4284,0 Ως έχει: 3766,1
Άζωτο (N), % w.w. επί ξηρού	Κ/Π	1,62
Άνθρακας (C)*, % w.w.επί ξηρού		43,14
Υδρογόνο (H)*, % w.w.επί ξηρού		6,22
Θείο (S), % w.w.επί ξηρού	Κ/Π	0,18
Χλώριο (Cl), % w.w.επί ξηρού	Κ/Π	0,20
Μόνιμος άνθρακας (Cc), % w.w. στο ίδιο επίπεδο υγρασίας	Κ/Π	48,91
Πτητικά στερεά (VM), % w.w.	Κ/Π	Επι ξηρού: 75,1 Ως έχει: 67,1
Κατανομή μεγέθους σωματιδίων των αποσυντιθέμενου πέλλετ, % w.w.επί ξηρού		
Συμπεριφορά τήξης τέφρας, °C	Π	Συρρίκνωση: 681 Παραμόρφωση: 1145 Ημισφαιρίου: 1498 Ροής: 1512
Αρσενικό (As)*, mg/kg τέφρας		
Κάδμιο (Cd)*, mg/kg τέφρας		
Χρώμιο (Cr)*, mg/kg τέφρας		
Μόλυβδος (Pb)*, mg/kg τέφρας		

¹ 1^ο δείγμα, ² 2^ο δείγμα

11. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΕΛΛΕΤ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Στον Πίνακα 11.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων των δύο παρακάτω δειγμάτων εργαστηριακής και πιλοτικής κλίμακας με την ίδια αναλογία συστατικών (40% κλαδέματα, 40% πυρηνόξυλο, 20% βιοαπόβλητα):

- **Δείγμα Α:** δείγμα πέλλετ που παρασκευάστηκε στο εργαστήριο του ΕΚΕΤΑ (κωδικός Δείγματος: 7), (Τύπος πελλετοποιητή: A. Kahl)
- **Δείγμα Β:** δείγμα πέλλετ που παρασκευάστηκε στον στο Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων, (Τύπος πελλετοποιητή: AMP 200f)

Πίνακας 11.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες – Συγκριτικός πίνακας δειγμάτων Α και Β

Παράμετρος	Κ/Π	Δείγμα Α	Δείγμα Β
Υγρασία (M), % w.w.	Κ	7,6	10,6
Μερική Υγρασία*, % w.w.	Κ	5,6	2,4
Τέφρα (A), % w.w.	Κ	Ως έχει: 6,2 Επί ξηρού: 6,7	Ως έχει: 6,1 Επί ξηρού: 6,8
Μηχανική αντοχή (DU), % w.w. του πέλλετ μετά την δοκιμασία	Κ	92,0	94,5
Λεπτόκκοκο υλικό (F), % w.w.	Κ	2,5	5,0%
Χύδην πυκνότητα (BD), kg/m ³	Κ/Π	757	522
Κατώτερη θερμογόνο δύναμη (Gross Heat of combustion, HHV), cal/g	Κ	Ως έχει: 3792,4 Επί ξηρού: 4152,8	Ως έχει: 3766,1 Επί ξηρού: 4284,0
Άζωτο (N), % w.w. επί ξηρού	Κ/Π	1,28	1,62
Θείο (S), % w.w.επί ξηρού	Κ/Π	0,52	0,18
Χλώριο (Cl), % w.w.επί ξηρού	Κ/Π	0,48	0,20
Μόνιμος άνθρακας (Cc), % w.w. στο ίδιο επίπεδο υγρασίας	Κ/Π	48,39	48,91

Παράμετρος	Κ/Π	Δείγμα Α	Δείγμα Β
Πτητικά στερεά (VM), % w.w.	Κ/Π	Ως έχει: 69,9 Επί ξηρού: 75,6	Ως έχει: 67,1 Επί ξηρού: 75,1
Συμπεριφορά τήξης τέφρας, °C	Π	Συρρίκνωση: 622 Παραμόρφωση: 1394 Ημισφαιρίου: >1550 Ροής: >1550	Συρρίκνωση: 681 Παραμόρφωση: 1145 Ημισφαιρίου: 1498 Ροής: 1512

12. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΤΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΛΕΤ

Είναι γεγονός πως κατά την πελλετοποίηση αυξάνεται η πίεση μεταξύ των ξυλωδών κόκκων σε τιμές άνω των 20 MPa, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι τριβές, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας στα επίπεδα των 100-130°C. Επιπλέον αυτό έχει ως αποτέλεσμα να, α) αυξάνεται η πυκνότητα του υλικού β) μειώνεται η υγρασία του γ) πλαστικοποιείται μερικώς η λιγνίνη, η οποία δρα ως «συγκολλητική ουσία» μεταξύ των μικροινιδίων της κυτταρίνης. Η λιγνίνη μαλακώνει προσωρινά και με την ψύξη στερεοποιείται.

Η ποιότητα των πέλλετ εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη **σύσταση της πρώτης ύλης** (ισχύς και αντοχή των δεσμών μεταξύ των σωματιδίων) καθώς επίσης και από τις λειτουργικούς παραμέτρους της διεργασίας, δηλαδή τις διαστάσεις θαλάμου συμπίεσης, το λόγο μήκους/διαμέτρου, τη θερμοκρασία, την ταχύτητα, την πίεση, την προσθήκη συγκολλητικών ουσιών και την προθέρμανση της βιομάζας.

Στον Πίνακα 12.1 παρατίθεται ενδεικτικά το σήμα ποιότητας (πέλλετ ξύλου) - Ευρωπαϊκό σήμα ποιότητας κατά το πρότυπο ISO 17225-2. Στον πίνακα φαίνονται τα όρια παραμέτρων για τις κυριότερες ιδιότητες καυσίμων σύμφωνα με το ENplus®. Το ENplus® αφορά **αποκλειστικά πελλέτες ξύλου** και βασίζεται στο διεθνές πρότυπο ISO 17225-2 και αποτελεί το πιο αυστηρό κριτήριο της ποιότητας πέλλετ, δεδομένου ότι αναφέρεται αποκλειστικά σε πέλλετ ξύλου. Παρόλα αυτά, στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο αναφοράς προκειμένου να ερμηνευτούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων των ανωτέρω δειγμάτων.

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του πέλλετ, οι οποίες προσδιορίστηκαν, έχουν διάφορες επιπτώσεις στην χρήση και την αξιοποίησή του. Στις επόμενες παραγράφους αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο κάθε παράμετρος επηρεάζει την ποιότητα του παραγόμενου πέλλετ καθώς επίσης αν αυτό θεωρείται κατάλληλο προς αξιοποίηση.

Πίνακας 12.1 Όρια παραμέτρων για τις κυριότερες ιδιότητες καυσίμων σύμφωνα με το ENplus®.

Ιδιότητα	Μονάδες	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B	Πρότυπο
Διάμετρος	mm	6 (± 1) ή 8 (± 1)			ISO 17289
Μήκος	mm	3,15 ≤ L ≤ 40 ⁴⁾			ISO 17289
Υγρασία	% κ.β. ²⁾	≤ 10			ISO 18134
Τέφρα	% κ.β. ³⁾	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0	ISO 18122
Μηχανική αντοχή	% κ.β. ²⁾	≥ 98,0 ⁵⁾	≥ 97,5 ⁵⁾		ISO 17831-1
Λεπτόκοκκα (< 3,15 mm)	% κ.β. ²⁾	≤ 1 6) (≤ 0,5 ⁷⁾)			ISO 18846
Θερμοκρασία πελλετών	°C	≤ 40 ⁸⁾			-
Κατώτερη Θερμογόνος Ικανότητα	kWh/kg ²⁾	≥ 4,6 ⁹⁾			ISO 18125
Χύδην πυκνότητα	Kg/m3 ²⁾	600 ≤ BD ≤ 750			ISO 17828
Πρόσθετα	% κ.β. ²⁾	≤ 2 ¹⁰⁾			-
Άζωτο	% κ.β. ³⁾	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	ISO 16948
Θείο	% κ.β. ³⁾	≤ 0,04	≤ 0,05		ISO 16994
Θερμοκρασία παραμόρφωσης τέφρας (DT) 1)	°C	≥ 1200	≥ 1100		CEN/TC 15370-1
Αρσενικό	mg/kg ³⁾	≤ 1			ISO 16968
Κάδμιο	mg/kg ³⁾	≤ 0,5			ISO 16968
Χρώμιο	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Χαλκός	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Μόλυβδος	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Υδράργυρος	mg/kg ³⁾	≤ 0,1			ISO 16968
Νικέλιο	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Ψευδάργυρος	mg/kg ³⁾	≤ 100			ISO 16968

¹⁾ παραγωγή τέφρας στους 815°C

²⁾ ως έχει

³⁾ επί ξηρού

⁴⁾ μέγιστο 1% των πελλετών μπορεί να είναι μεγαλύτερου μήκους από 40 mm. Πελλέτες με μήκος μεγαλύτερο των 45 mm δεν επιτρέπονται.

⁵⁾ στο σημείο φόρτωσης του οχήματος μεταφοράς στο χώρο παραγωγής

⁶⁾ στην πύλη του εργοστασίου ή κατά τη φόρτωση φορτηγών για παράδοση στους τελικούς χρήστες

⁷⁾ στην πύλη του εργοστασίου, κατά τη γέμιση σακουλών πελλετών ή σφραγισμένων μεγασάκκων

⁸⁾ στο τελευταίο σημείο φόρτωσης παραδόσεων με φορτηγό στους τελικούς χρήστες

⁹⁾ Ισοδυναμεί με ≥ 16,5 MJ/kg ως έχει

¹⁰⁾ Το ποσοστό των προσθέτων στην παραγωγή περιορίζεται στο 1,8 % κ.β., τα πρόσθετα μετά την παραγωγή (π.χ. έλαια επικάλυψης) περιορίζονται στο 0,2 % κ.β. των πελλετών

12.1. ΥΓΡΑΣΙΑ (ISO 18134)

Η υγρασία εξαρτάται από την αρχική υγρασία του υλικού καθώς και την θερμοκρασία και την πίεση της πελλετοποίησης. Υψηλή υγρασία (συνήθως αν η αρχική υγρασία υπερβαίνει το 15%) συνεπάγεται μικροβιακή αποσύνθεση, μειώνοντας το ενεργειακό περιεχόμενο και προκαλώντας ρωγμές. Επίσης, επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του πέλλετ, διότι μέρος της θερμιδικής αξίας του καταναλώνεται για την εξάτμιση αυτής της υγρασίας. Χαμηλή υγρασία οδηγεί σε εύθραυστο προϊόν, το οποίο τρίβεται κατά την αποθήκευση και μεταφορά.

Στα δείγματα αναφοράς (Α και Β) η υγρασία είναι εντός των επιθυμητών ορίων 8-12%.

12.2. ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (ISO 17328)

Η φαινόμενη πυκνότητα είναι σημαντική για τον χειρισμό, την αποθήκευση και τη μεταφορά του πέλλετ. Εξαρτάται από την υγρασία, την κατανομή μεγέθους αλλά και από τη θερμοκρασία και την πίεση που ασκείται κατά την πελλετοποίηση. Για μεγάλη πυκνότητα θέλουμε χαμηλή υγρασία και μικρότερα σωματίδια, καθώς και υψηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες.

Τα δείγματα αναφοράς (Α και Β) είναι εντός των επιθυμητών ορίων **600-750 kg/m³** (βλ. Πίνακα 12.1)

12.3. ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (ISO 17831-1)

Ο δείκτης ανθεκτικότητας σχετίζεται με την ικανότητα της πελλέτας να μη σπάει κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά. Γενικά, η υγρασία αυξάνει την ανθεκτικότητα όταν το υλικό έχει πολλές υδατοδιαλυτές ουσίες. Η ανθεκτικότητα αυξάνεται, όταν στην πρώτη ύλη περιέχεται άμυλο, πρωτεΐνη, η οποία πλαστικοποιείται κατά τη διεργασία καθώς και λιγνίνη σε υψηλές θερμοκρασίες (>140 °C). Τα συστατικά αυτά λειτουργούν ως συνδετικοί παράγοντες.

12.4. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΣΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ (ISO 18846)

Ως σκόνη (λεπτόκοκκα) θεωρείται το υλικό, το οποίο είναι μικρότερο από 3,15 mm. Το περιεχόμενο σωματιδίων σκόνης είναι ανεπιθύμητο λόγω της δυσκολίας που προκύπτει κατά τη μεταφορά (παραγωγή νέφους σκόνης), της απώλειας υλικού από τη συσκευασία και των προβλημάτων που δημιουργούνται κατά την καύση. Επίσης, τα λεπτόκοκκα σωματίδια μπορούν να οδηγήσουν σε αυτανάφλεξη και σε προβλήματα έκρηξης κατά την τελική διεργασία παραγωγής ενέργειας. Το περιεχόμενο σε λεπτόκοκκα πρέπει να είναι μικρότερο του 1%.

Στα δείγματα αναφοράς (Α και Β), τα λεπτόκοκκα υπερβαίνουν το ποσοστό του 1%.

12.5. ΤΕΦΡΑ (ISO 18122)

Η τέφρα είναι η μάζα των ανόργανων υπολειμμάτων που απομένουν μετά από την πλήρη καύση του πέλλετ. Η τέφρα μειώνει το ποσοστό της καύσιμης μάζας.

12.6. ΘΕΡΜΙΔΙΚΗ ΑΞΙΑ (ISO 18125)

Η θερμιδική αξία εξαρτάται από λειτουργικές παραμέτρους όπως τη θερμοκρασία, το μέγεθος των σωματιδίων και την προεπεξεργασία του υλικού. Γενικά, υψηλότερη θερμιδική αξία έχουν τα υλικά υψηλής πυκνότητας και χαμηλής υγρασίας. Το παραγόμενο πέλλετ εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές θερμογόνου δύναμης, ικανοποιώντας τα αυστηρά standard ποιότητας του οικιακού πέλλετ.

12.7. ΥΨΗΛΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ S - Cl – N

Ορισμένα πέλλετ, όπως το Δείγμα Α και Β, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, χλώριο και άζωτο, με αποτέλεσμα η καύση τους να δημιουργεί προβλήματα στους καυστήρες (οξειδώσεις, διάβρωση), μεσοπρόθεσμα. Κατά την καύση, μέρος των στοιχείων αυτών μετατρέπεται σε οξειδωτικά μέσα π.χ. νιτρικό ή υδροχλωρικό - θειικό οξύ, με αποτέλεσμα τη γρήγορη φθορά των μετάλλων του συστήματος.

Γενικά, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου πελλετ είναι ιδιαίτερα υψηλά, γεγονός που επιτρέπει την χρησιμοποίηση του ως στερεό καύσιμο σε βιομηχανικές εφαρμογές.

13. ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΥΣΗΣ

Ποσότητα πέλλετ με τα βέλτιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά (Δείγμα Β) χρησιμοποιήθηκε σε δοκιμές καύσης σε υφιστάμενο λέβητα του ΙΔΕΠ/ΕΚΕΤΑ, θερμικής ισχύος 250 kWth, με σκοπό την αξιολόγηση του βαθμού θερμικής απόδοσης και των εκπομπών καύσης των πέλλετ (CO, NOx, SOx, σωματίδια).

13.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι λέβητες καύσης κατηγοριοποιούνται, ανάλογα με το χώρο ροής του υγρού και των καυσαερίων, το υλικό κατασκευής τους, το θερμαντικό μέσο και τον τρόπο τροφοδοσίας, στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Χαλύβδινοι ή χυτοσίδηροι. Ορισμένα τμήματα ενδέχεται να είναι κατασκευασμένα και από άλλο υλικό, όπως ανοξείδωτο χάλυβα, χαλκό και κράματα μετάλλων.
- Λέβητες νερού, αέρα, ατμού ή διαθερμικού λαδιού.
- Χειροκίνητης ή αυτόματης τροφοδοσίας. Οι λέβητες αυτόματης τροφοδοσίας κατηγοριοποιούνται περαιτέρω και σε λέβητες μηχανικής ή πνευματικής ή εξαναγκασμένου ελκυσμού τροφοδοσίας.
- Υδραυλωτοί ή αεριαυλωτοί. Στην πρώτη κατηγορία το υγρό κινείται εντός των αυλών και τα καυσαέρια κινούνται εξωτερικά αυτών, ενώ στη δεύτερη κατηγορία συμβαίνει το αντίθετο.

Ο λέβητας, στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, είναι υδραυλωτός και χαλύβδινος. Τα καυσαέρια που προκύπτουν από την καύση εξάγονται μέσω αγωγών κατασκευασμένων από ανοξείδωτο υλικό εσωτερικά, ενώ η εξωτερική επιφάνεια είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο. Το θερμαντικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι διαθερμικό λάδι και η τροφοδοσία γίνεται αυτόματα και μηχανικά.

Τα βασικά μέρη της μονάδας καύσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 13.1 και είναι τα ακόλουθα:

- i) **Η δεξαμενή**, η οποία αποτελεί τον χώρο τοποθέτησης του καυσίμου και συνδέεται με τον υπόλοιπο καυστήρα. Η είσοδος του καυσίμου στον χώρο καύσης γίνεται με τη χρήση περιστροφικού κοχλίου.
- ii) **Ο χώρος καύσης**, ο οποίος είναι το κυριότερο τμήμα του λέβητα. Επιτρέπει την είσοδο του καυσίμου, ενώ αποτρέπεται η αποχώρηση της φωτιάς και των καυσαερίων προς τη δεξαμενή. Αρχικά στο τμήμα αυτό πραγματοποιείται έναυση της φωτιάς, μη αυτόματα, και ελέγχεται διαρκώς. Στο χώρο καύσης εισάγεται και αέρας, ο οποίος διαχωρίζεται σε πρωτεύων και δευτερεύων. Ο πρωτεύων αέρας εισέρχεται κάτω από τη σχάρα και αντιδρά με περιορισμένη ποσότητα οξυγόνου. Ο δευτερεύων αέρας εισάγεται στο ανώτερο τμήμα του λέβητα και αντιδρά με τα παραγόμενα αέρια καύσης. Στη συνέχεια εντός των σωληνώσεων μεταδίδεται η θερμότητα από τα καυσαέρια στο διαθερμικό λάδι.
- iii) **Η Κεντρική Μονάδα Ελέγχου**, η οποία αποτελεί το κέντρο ελέγχου και ρύθμισης όλων των παραμέτρων καύσης. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων.



(α)



(β)



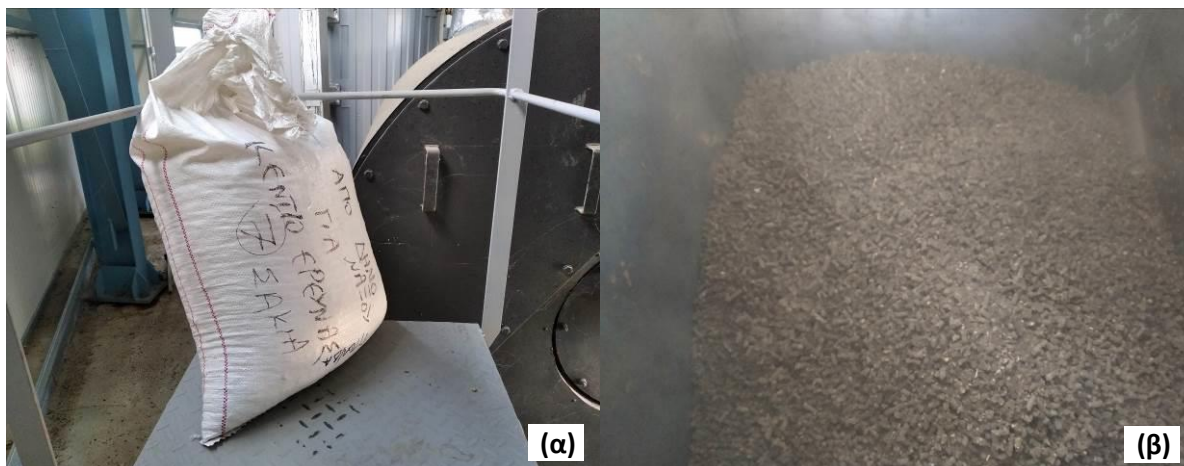
Εικόνα 13.1 Τα βασικά μέρη της μονάδας καύσης (α) Δεξαμενή πελλέτας, κεντρική μονάδα ελέγχου, (β) Κεντρική μονάδα ελέγχου (ένδειξη θερμοκρασιών), (γ) Χώρος καύσης, (δ) Κεντρική μονάδα ελέγχου (ένδειξη ταχύτητας τροφοδοσίας, ανάμιξης (ήπια πυρόλυση) και πρωτογενούς αέρα

Τα χαρακτηριστικά του λέβητα, στον οποίο πραγματοποιήθηκε η καύση, παρουσιάζονται στον Πίνακα 13.1.

Πίνακας 13.1 Χαρακτηριστικά πρότυπου λέβητα ΙΔΕΠ/ΕΚΕΤΑ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
Δυναμικότητα (πυκν. 600 kg/m ³)	100 Kg/h
Μέγιστη θερμοκρασία ελαίου	300 °C
Θερμική ισχύς	250 kWth
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	10 kW
Μορφή καυσίμου τροφοδοσίας	Πέλλετ
Διάρκεια μέτρησης	1 – 8 hr

Στην Εικόνα 13.2 παρουσιάζεται το δείγμα πέλλετ, το οποίο παραλήφθηκε από από το Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων και όπως τροφοδοτήθηκε στην μονάδα καύσης.



Εικόνα 13.2 (α) Δείγμα προς καύση και (β) δείγμα στην δεξαμενή/χοάνη τροφοδοσίας (δεξιά)

13.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Κάθε δοκιμή καύσης πραγματοποιήθηκε για ελάχιστη διάρκεια 6 ωρών και οι μέσες τιμές εκπομπών προσδιορίσθηκαν σε 4 χρονικά διαστήματα καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η μεθοδολογία ανάλυσης καυσαερίων αναλύεται στις ακόλουθες παραγράφους.

Σχεδιασμός μέτρησης. Ο σχεδιασμός της μέτρησης περιλαμβάνει την συγκέντρωση όλων των σχετικών τεχνικών στοιχείων που απαιτούνται για την εκτέλεση της μέτρησης, όπως: τύπος λέβητα, δυναμικότητα του λέβητα σε kW, είδος καυσίμου, ώρες λειτουργίας, κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα, όπως περιγράφονται στον Πίνακα 13.1.

Προετοιμασία μέτρησης. Πριν από την εκτέλεση της μέτρησης θα πρέπει ο λέβητας να έχει λειτουργήσει για τόση ώρα έτσι ώστε να έχει φθάσει σε κανονική θερμοκρασία λειτουργίας. Συνήθως είναι 3-4 ώρες, ανάλογα με την εποχή διεξαγωγής των πειραμάτων (χειμώνας – καλοκαίρι).

Επιλογή σημείου δειγματοληψίας. Η επιλογή του κατάλληλου σημείου δειγματοληψίας γίνεται σύμφωνα με το Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 896 «Μέθοδοι

δειγματοληψίας καυσαερίων». Σύμφωνα με το πρότυπο, το σημείο δειγματοληψίας θα πρέπει να βρίσκεται στο σημείο της καμινάδας με την καλύτερη ανάμειξη των καυσαερίων, επίσης θα πρέπει να αποφεύγονται περιοχές με εισαγωγή αέρα όπως οι θυρίδες, κοντά σε θυρίδες, πριν ή μετά από γωνίες της καπνοδόχου. Στην Εικόνα 13.3 φαίνεται η επιλογή σημείου δειγματοληψίας και η εισαγωγή ακροφυσίου.



Εικόνα 13.3 Επιλογή σημείου δειγματοληψίας και εισαγωγή ακροφυσίου.

Μέτρηση ανάλυσης καυσαερίων. Η μέτρηση της απόδοσης καύσης του λέβητα καθώς και της ανάλυσης των καυσαερίων γίνεται με φορητό αναλυτή καυσαερίων (Testo 330 LL, φορητή συσκευή για μέτρηση, O₂, CO, NO, NO low range, απόδοση, θερμοκρασία κ.α.), ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 13.4. Το ακροφύσιο δειγματοληψίας εισάγεται στην καμινάδα έτσι ώστε το άκρο του να βρίσκεται στο μέσο της ροής των καυσαερίων (μέσο της καπνοδόχου). Εφ' όσον επιτευχθεί η σωστή δειγματοληψία τα καυσαέρια αναλύονται από τον αναλυτή καυσαερίων και υπολογίζεται η απόδοση καύσης του καθώς επίσης υπολογίζεται η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO, CO₂, O₂, NO_x.

Ο αναλυτής καυσαερίων που χρησιμοποιείται είναι ηλεκτρονικό όργανο πλήρως αυτοματοποιημένο, στο οποίο η απόδοση του λέβητα και η περιεκτικότητα των καυσαερίων διαβάζεται στην οθόνη. Ο αναλυτής έχει τη δυνατότητα να δίνει στιγμιαίες μετρήσεις.



Εικόνα 13.4 Διαδικασία ελέγχου καυσαερίων με φορητή συσκευή

Μέτρηση προσδιορισμού του δείκτη αιθάλης. Η μέτρηση του δείκτη αιθάλης των καυσαερίων του καυστήρα γίνεται με τον αναλυτή καυσαερίων. Ειδικό χάρτινο φίλτρο τοποθετείται στο ακροστοιχείο δειγματοληψίας και το αποτέλεσμα συγκρίνεται με το πρότυπο έντυπο της κλίμακας Bacharach. Στην Εικόνα 13.5 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιήθηκε η μέτρηση.



Εικόνα 13.5 Μέτρηση προσδιορισμού του δείκτη αιθάλης

Επεξεργασία αποτελεσμάτων μέτρησης. Οι μετρήσεις απόδοσης καύσης επεξεργάζονται και υπολογίζεται η μέση απόδοση καύσης του λέβητα για το χρονικό διάστημα που έμεινε συνδεδεμένος ο αναλυτής καυσαερίων στον λέβητα.

Χρήση εξοπλισμού: Testo 330 LL (φορητή συσκευή για μέτρηση, O₂, CO, NO, NO low range, απόδοση, θερμοκρασία) κτλ.

13.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Από την ανάλυση των καυσαερίων καθίσταται δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ποιότητα και την απόδοση της καύσης του εκάστοτε καυσίμου. Οι κυριότερες μετρήσεις που πραγματοποιούνται είναι οι ακόλουθες:

13.3.1. Υπολογισμός της απόδοσης καύσης

Η απόδοση καύσης εκφράζει το ποσοστό της ενέργειας του καυσίμου που αποδίδεται ως χρήσιμη θερμική ενέργεια. Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό από το καύσιμο που καταναλώνεται στο λέβητα, το οποίο αξιοποιείται για την παραγωγή ατμού ή την θέρμανση νερού. Ένα μέρος της ενέργειας του καυσίμου μένει ανεκμετάλλευτο α) λόγω

απαγωγής των θερμών καυσαερίων στο περιβάλλον, β) λόγω ατελούς καύσης γ) λόγω θέρμανσης κάποιας ποσότητας αέρα και δ) λόγω απωλειών από τα τοιχώματα του λέβητα.

Ο βαθμός απόδοσης καθορίζεται από τα προϊόντα, ενώ υπολογίζεται από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των καυσαερίων και του χώρου, την περιεκτικότητα σε CO₂ ή O₂ και συντελεστές που είναι χαρακτηριστικοί για τα είδη καυσίμων. Για την επίτευξη υψηλής τιμής (>90%) είναι αναγκαία η πλήρης καύση. Για την επίτευξη υψηλής απόδοσης καύσης, επιλέγεται η χρήση επαρκούς ποσότητας αέρα, ικανοποιητικός χρόνος κατακράτησης των καυσαερίων εντός του χώρου καύσης, καύσιμα με χαμηλή υγρασία και με μικρότερο διάμετρο, υψηλή θερμοκρασία καύσης και μικροί λέβητες με καλή μόνωση και συνεχή λειτουργία. Η ανάμιξη αέρα-καυσίμου επιδρά σημαντικά στο βαθμό απόδοσης και επιλέγεται μεγάλο μέρος του αέρα να οδηγείται στο ανώτερο τμήμα (δευτερεύων αέρας), για την καύση των πτητικών (80% της βιομάζας) και ένα μέρος στο κάτω τμήμα (πρωτεύων αέρας), για την καύση του στερεού τμήματος του καυσίμου (20% της βιομάζας).

13.3.2. Μέτρηση θερμοκρασίας καυσαερίων

Οι απώλειες θερμότητας από τα καυσαέρια οι μεγαλύτερες και οι σημαντικότερες σε σχέση τις συνολικές απώλειες ολόκληρου του συστήματος. Οι απώλειες από τα καυσαέρια είναι όμως, τις περισσότερες φορές, αυτές που ευκολότερα μπορούν να ελεγχθούν και να περιοριστούν με απλή ρύθμιση της αναλογίας αέρα / καυσίμου που χρησιμοποιείται στο λέβητα.

Η θερμοκρασία των καυσαερίων οδηγεί, επίσης, σε συμπεράσματα για τη θερμογόνο δύναμη και την αξιοποίησή της. Υψηλές θερμοκρασίες φανερώνουν κακή λειτουργία λέβητα, λόγω λανθασμένης ποσότητας αέρα, αποθέσεων στους αυλούς, λάθος επιλογή ή χρήση καυστήρα ή λόγω χρήσης του λέβητα σε υψηλότερο φορτίο. Επίσης, επηρεάζει σημαντικά την χημική σύσταση των καυσαερίων, καθώς προκαλεί τη δημιουργία θειικού οξέος, που επιφέρει διαβρώσεις.

13.3.3. Μονοξείδιο του Άνθρακα

Είναι η ποσότητα CO που περιέχεται στα καυσαέρια και είναι το προϊόν της ατελούς καύσης. Όταν τα καυσαέρια περιέχουν:

- CO ή καπνό, χωρίς οξυγόνο, σημαίνει ότι γίνεται ατελής καύση λόγω μικρής παροχής αέρα στον θάλαμο καύσης.
- CO ή καπνό και συγχρόνως οξυγόνο, μπορεί να οφείλεται σε δύο αιτίες:
 1. Κανονική παροχή αέρα στον θάλαμο καύσης αλλά κακή ανάμιξη αέρα –καυσίμου.
 2. Μικρή παροχή αέρα στον θάλαμο καύσης, ενώ συγχρόνως εισροή δευτερογενή αέρα από διαρροές λόγω της υποπίεσης στον θάλαμο καύσης.

13.3.4. Ποσότητα οξειδίων του Αζώτου

Κατά την καύση σε υψηλές θερμοκρασίες, το άζωτο (N_2) που περιέχεται στο καύσιμο και στον αέρα του περιβάλλοντος αντιδρά με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο (O_2) για να σχηματίσει οξείδιο του αζώτου (NO). Μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, αυτό το άχρωμο αέριο οξειδώνεται προς διοξείδιο του αζώτου (NO_2). Τα συστατικά NO και NO_2 μαζί ονομάζονται οξείδια του αζώτου (NOx).

Ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου εξαρτάται από το άζωτο που είναι δεσμευμένο στο καύσιμο, τον χρόνο παραμονής του αζώτου στη ζώνη φλόγας (μήκος φλόγας) και τη θερμοκρασία φλόγας.

13.3.5. Ποσότητα διοξειδίου του θείου

Το θείο που περιέχεται στο καύσιμο κατά την καύση μετατρέπεται σε SO_2 (και σε μικρές ποσότητες SO_3). Οι εκπομπές SO_2 είναι συνήθως αμελητέες κατά την καύση της βιομάζας λόγω χαμηλής συγκέντρωσης θείου.

13.3.6. Συντελεστής Lambda (Περίσσεια αέρα)

Είναι ο λόγος του παρεχόμενου αέρα στον καυστήρα προς τον στοιχειοθετικά απαιτούμενο για ιδανική καύση.

Στοιχειομετρική καύση έχουμε όταν όλος ο άνθρακας, το υδρογόνο και το θείο του καυσίμου καίγονται προς διοξείδιο του άνθρακα, νερό και διοξείδιο του θείου με το ελάχιστο ποσό οξυγόνου. Επειδή όμως ο αέρας περιέχει 21% κατ' όγκο (ή 23% κατά βάρος) οξυγόνο, απαιτούνται θεωρητικά 13,8 kg αέρα/ kg καυσίμου. Όλη η ποσότητα του οξυγόνου καίγεται κατά την διάρκεια της καύσης ενώ το άζωτο απομακρύνεται προς την καμινάδα αφού προηγουμένως θερμανθεί απάγοντας έτσι σημαντική ποσότητα θερμότητας προς το περιβάλλον.

Για να γίνει πλήρης καύση, θα πρέπει να υπάρχει πλήρης ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα, έτσι ώστε κάθε μόριο καυσίμου να έλθει σε επαφή με κάθε μόριο οξυγόνου και να ενωθούν. Ωστόσο, η τέλεια ανάμιξη καυσίμου με οξυγόνο στην πράξη είναι αδύνατη. Για το λόγο αυτό θα πρέπει στον χώρο καύσης να υπάρχει περισσότερο οξυγόνο από το θεωρητικά απαιτούμενο στοιχειομετρικό για να επιτευχθεί πλήρης καύση. Διαφορετικά η καύση θα είναι ατελής με αποτέλεσμα την παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα ή και την απαγωγή άκαυστου καυσίμου υπό μορφή αιθάλης.

Λέγεται ότι υπάρχει 20% περίσσεια αέρα ή ο συντελεστής Lambda είναι 1,20 όταν η ποσότητα του αέρα που παρέχεται στον λέβητα είναι κατά 20% μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτείται θεωρητικά. Το οξυγόνο της περίσσειας αέρα δεν λαμβάνει μέρος στην καύση αλλά απάγεται από τον λέβητα με τα καυσαέρια, αφού προηγουμένως θερμανθεί.

Το ποσοστό της περίσσειας αέρα παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του λέβητα. Όταν υπάρχει μικρή περίσσεια αέρα η καύση είναι ατελής, υπάρχει απώλεια καυσίμου και ο λέβητας “καπνίζει” ενώ αντίθετα όσο μεγαλύτερη είναι η περίσσεια αέρα τόσο περισσότερος αέρας περνάει από τον θάλαμο καύσης προς την καμινάδα και τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα θερμότητας που απάγεται προς το περιβάλλον. Και στις δύο περιπτώσεις η απόδοση του λέβητα είναι μειωμένη.

Η ατελής καύση, η οποία οφείλεται σε παροχή αέρα μικρότερη από την κανονική, γίνεται εύκολα αντιληπτή από τον καπνό που εκπέμπεται. Επίσης καύση με ποσότητα αέρα μικρότερη από την κανονική, (όπου κανονική εννοούμε την ποσότητα του αέρα που απαιτείται για στοιχειομετρική καύση αυξημένη κατά το ποσό του αέρα που απαιτείται για πλήρη καύση), συνεπάγεται και άλλες λειτουργικές δυσκολίες.

Υπολογισμός του λόγου αέρα καύσης (λ). Ο λόγος της χρησιμοποιούμενης ποσότητας αέρα προς αυτήν που απαιτείται θεωρητικά υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\lambda = \frac{21}{21 \cdot Y_{O_2}}$$

Όπου Y_{O_2} είναι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο [4]. Για ξυλώδη βιομάζα ενδείκνυται τιμή λ μεταξύ 1,4-1,6 .

13.3.7. Μέτρηση του δείκτη αιθάλης (Καπνός)

Εκφράζει την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε άκαυστο καύσιμο και μετράται σε μονάδες της κλίμακας Bacharach. Η τιμή του θα πρέπει να πλησιάζει το 0 της κλίμακας. Σε αντίθετη περίπτωση ισχύει ότι και στην περίπτωση που το CO είναι αυξημένο. Υψηλά ποσοστά αιθάλης φανερώνουν κακή καύση και υψηλά ποσοστά εκπεμπόμενων ρύπων. Στην Εικόνα 13.6 φαίνεται η ποσότητα της αιθάλης κατά την καύση του δείγματος πέλλετ



Εικόνα 13.6 Αιθάλη κατά την καύση του καυσίμου 2

13.3.8. Άλλες παράμετροι

- Μέτρηση περιεκτικότητας καυσαερίων σε CO₂ για τον έμμεσο προσδιορισμό της απόδοσης του λέβητα. Τα ικανοποιητικά όρια CO₂ είναι 10-13 % [5].

- Υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων με αναλογία οξυγόνου 3% για νομοθετικούς λόγους. Ο υπολογισμός των τιμών γίνεται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης [6]:

$$X_{\text{αναφοράς}} = X_{\text{μετρούμενο}} \frac{21 - O_{2\text{αναφοράς}}}{21 - O_{2\text{μετρούμενο}}}$$

Όπου X είναι ο ρύπος.

13.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ ΠΕΛΛΕΤ

Κατά τη διεξαγωγή της καύσης ελήφθησαν οι μετρήσεις του Πίνακα 13.2. Η διεργασία της καύσης ξεκίνησε με τη χρήση εμπορικού πέλλετ (οξιά) προκειμένου να γίνει προθέρμανση του λέβητα και να ληφθούν προκαταρκτικές μετρήσεις και συνεχίστηκε με τη χρήση του παραχθέντος πέλλετ Β (μίγμα βιοαποβλήτων και κλαδεμάτων). Επομένως, τα καύσιμα που εξετάστηκαν ήταν τα εξής:

- Καύσιμο 1: τυπικό εμπορικό πέλλετ ξύλου (οξιά)
- Καύσιμο 2: δείγμα Β, παρασκευασθέν στο Δήμο Νάξου με αναλογία Βιοαπόβλητα 20%-Κλαδέματα 40%-Πυρηνόξυλο 40%

Θα πρέπει να επισημανθεί πως ο Πίνακας 13.2 περιέχει τιμές αναφερόμενες σε δύο διαφορετικά καύσιμα των οποίων οι συνθήκες καύσης ήταν διαφορετικές λόγω των διαφορετικών φυσικοχημικών ιδιοτήτων των δύο καυσίμων.

Κατά τη μετάβαση από το Καύσιμο 1 στο Καύσιμο 2 μεταβλήθηκαν η παροχή καυσίμου και η παροχή αέρα (πρωτογενής), με αποτέλεσμα να καθίσταται επισφαλής η σύγκριση των εκπομπών μεταξύ των δύο καυσίμων [5]. Επιπροσθέτως, οι μετρήσεις θα πρέπει να αναγνωστούν με προσοχή, διότι λόγω του υψηλού ποσοστού αιθάλης στο Καύσιμο 2, δεν κατέστη δυνατή η παραμονή του ακροφυσίου για τον καθορισμένο από τον κατασκευαστή χρόνο (2 λεπτά) εντός του περιβάλλοντος των καυσαερίων.

Πίνακας 13.2 Αποτελέσματα ανάλυσης καυσαερίων

Μετρήσεις	Τυπικό Pellet (Οξιά) (Καύσιμο 1)	Καύσιμο 1 και 2 (Μετάβαση)	Βιοαπόβλητα 20%- Κλαδέματα 40%- Πυρηνόξυλο 40% (Καύσιμο 2)

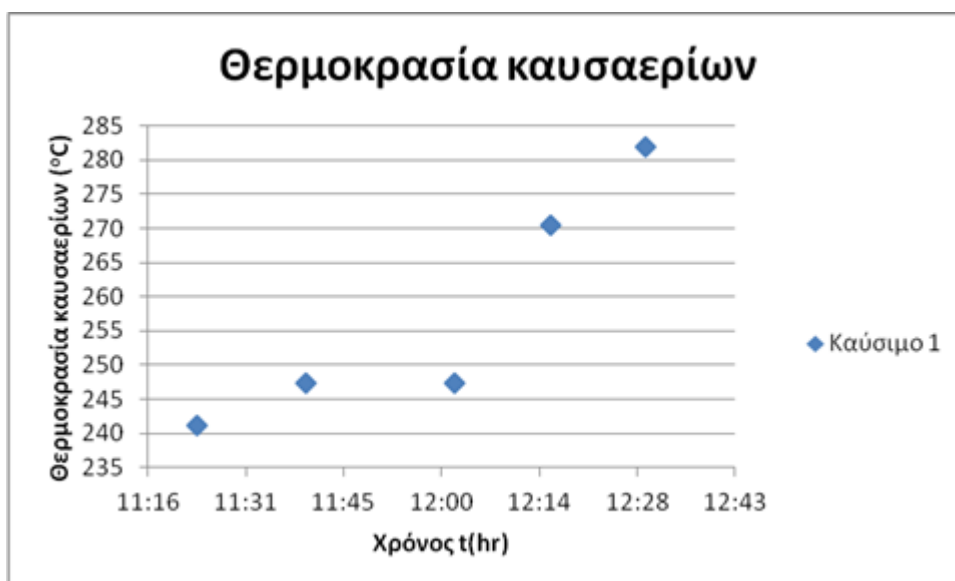
Χρονική στιγμή	11:24	11:40	12:02	12:16	12:30	12:58	14:05	14:30
Θερμοκρασία καυσαερίων (°C)	241,1	247,4	247,4	270,5	282	255,8	237	246,8
CO ₂ (%)	14,79	14,6	14,89	13,44	14,98	2,13	3,29	4,35
Απώλεια καυσαερίων q _A (%)	10,3	10,3	10,3	12,1	11,6	62,3	38	29,6
Αναλογία Αέρα (λ)	1,37	1,39	1,36	1,51	1,35	9,55	6,18	4,67
O ₂ (%)	5,7	5,9	5,6	7,1	5,5	18,8	17,6	16,5
CO (ppm)	309	341	338	716	461	3090	2266	>4000
Ελκυσμός (mbar)	-0,41	-0,36	-0,36	-0,35	-0,38	-0,48	-0,36	-0,33
CO (Αδιάλυτο) ⁽¹⁾ (ppm)	424	474	461	1082	625	>8000	>8000	>8000
Απόδοση καύσης ⁽²⁾ (%)	89,7	89,7	89,7	87,9	88,4	37,7	62	70,4
Θερμοκρασία αέρα καύσης (°C)	28,4	33,9	34	40	39,8	43,3	37,7	44,2
NO (ppm)	267	254	259	203	235	28	71	78
CO ⁽³⁾ (ppm)	162	181	176	412	238	>8000	5332	>8000
NO ⁽³⁾ (ppm)	140	135	135	117	121	102	167	139
NO _x ⁽³⁾ (ppm)	280	267	272	213	247	29	75	82
Δείκτης αιθάλης	1	1	1	1	0	6	9	9

(1)Υπολογίζονται με αντιστάθμιση H₂ - CO

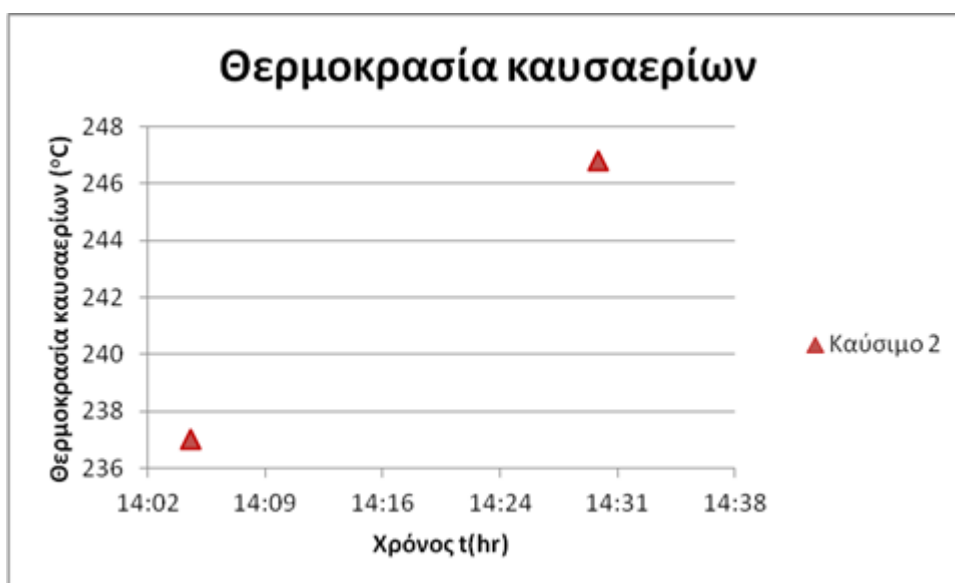
(2)Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος τιμών θερμότητας

(3)Υπολογίζονται με αναγωγή O₂ στο 3%

Χρησιμοποιώντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα προκύπτουν κάποια ενδεικτικά διαγράμματα των μετρούμενων τιμών συναρτήσει του χρόνου, τα οποία παρουσιάζονται στα ακόλουθα Σχήματα (13.1-13.16).

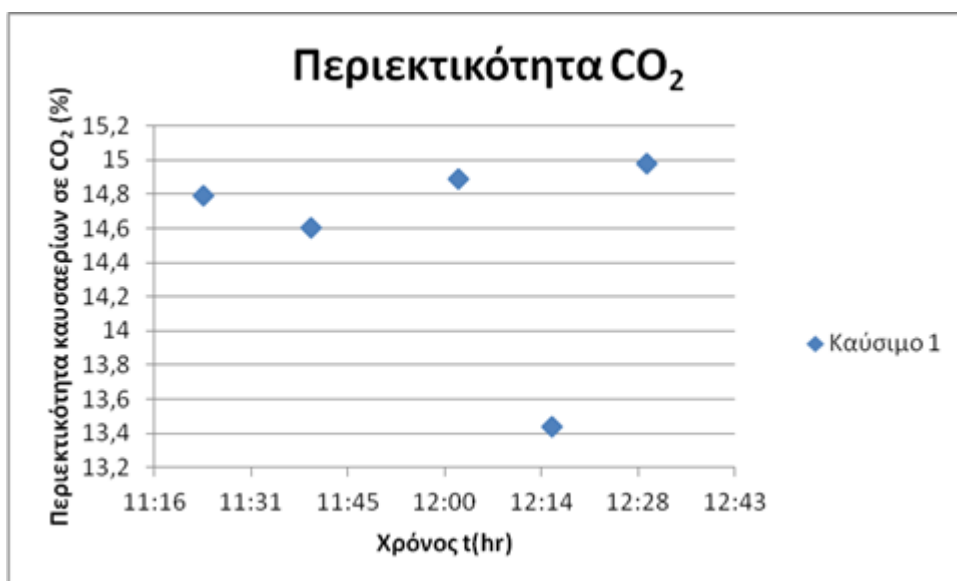


Σχήμα 13.1 Θερμοκρασία καυσαερίων πρώτου καυσίμου συναρτήσει του χρόνου

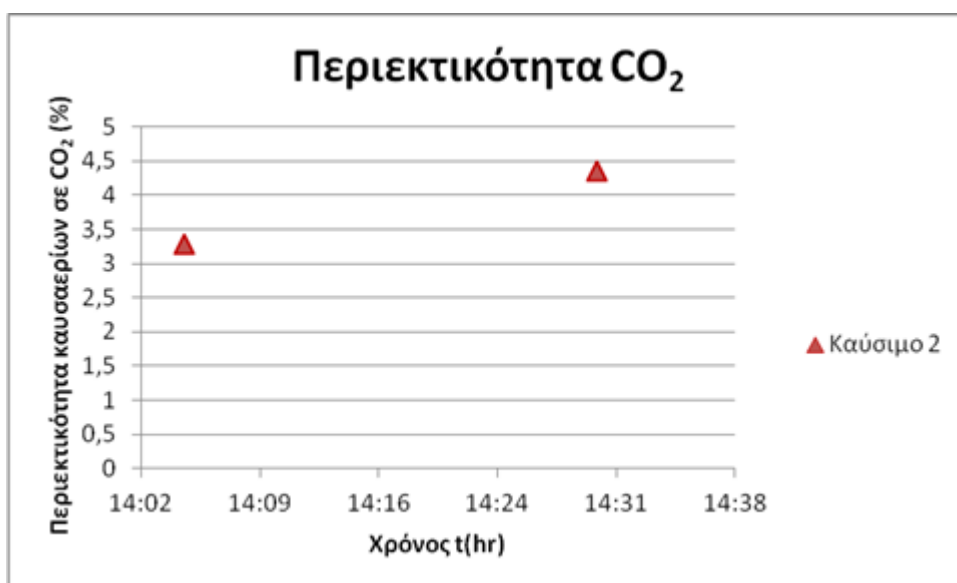


Σχήμα 13.2 Θερμοκρασία καυσαερίων δεύτερου καυσίμου συναρτήσει του χρόνου

Η θερμοκρασία των καυσαερίων και για τα δύο καύσιμα βρίσκεται εντός αποδεκτών ορίων. Συνεπώς, αξιοποιείται πλήρως η θερμογόνος δύναμη και των δύο καυσίμων.

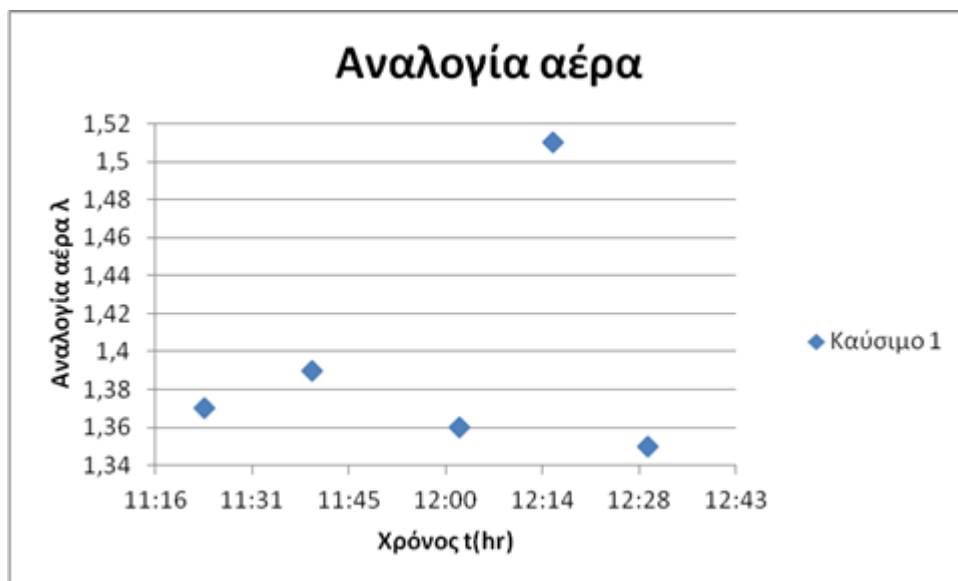


Σχήμα 13.3 Περιεκτικότητα καυσαερίων πρώτου καυσίμου σε CO₂ συναρτήσει του χρόνου

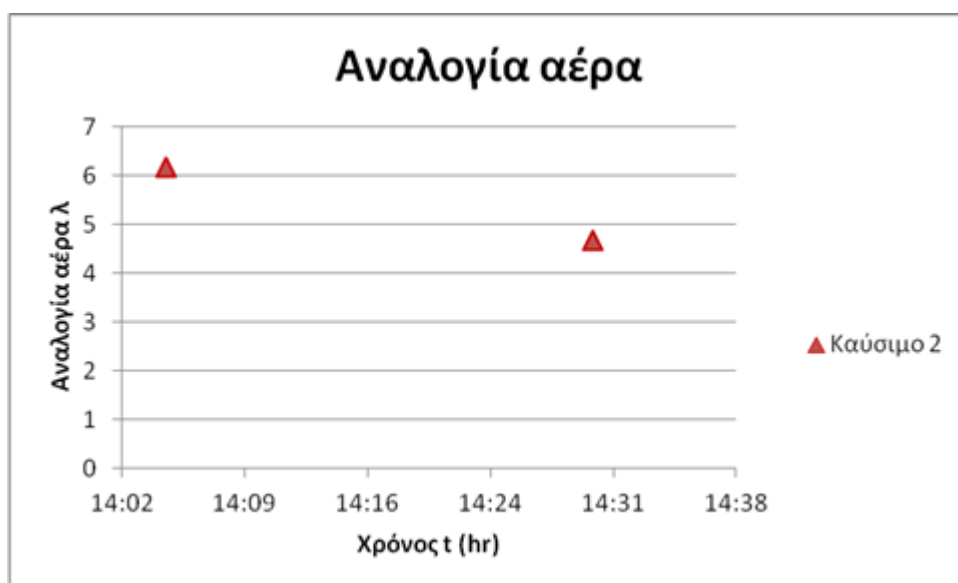


Σχήμα 13.4 Περιεκτικότητα καυσαερίων πρώτου καυσίμου σε CO₂ συναρτήσει του χρόνου

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το Καύσιμο 1 ήταν αναμενόμενα, ενώ για το Καύσιμο 2 προκύπτουν χαμηλές τιμές που αποδεικνύουν ατελή καύση.

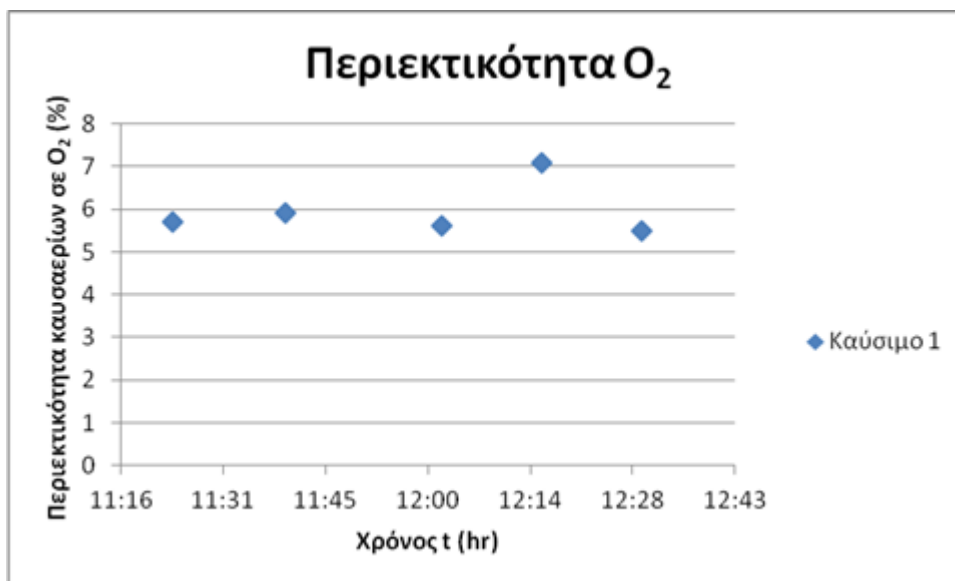


Σχήμα 13.5 Αναλογία αέρα του καυσίμου 1 συναρτήσει του χρόνου

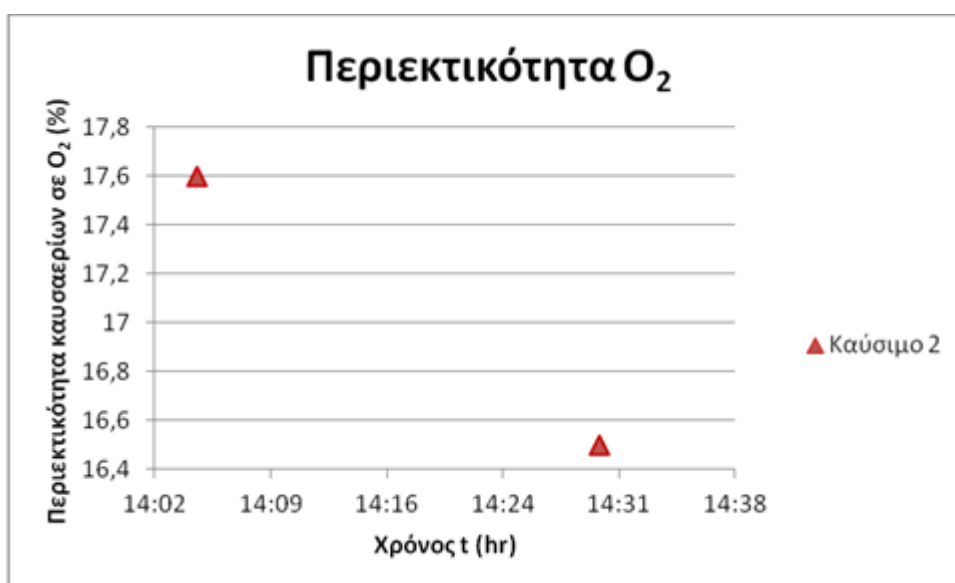


Σχήμα 13.6 Αναλογία αέρα του καυσίμου 2 συναρτήσει του χρόνου

Η αναλογία αέρα του πρώτου καυσίμου είναι εντός των βέλτιστων ορίων, ενώ του δεύτερου καυσίμου είναι υψηλή. Η ταχύτητα καύσης του τυπικού (εμπορικού) pellet ήταν σημαντικά μεγαλύτερη, συνεπώς και η κατανάλωση οξυγόνου. Όταν εισήχθη και το δεύτερο καύσιμο, η παροχή αέρα δε μειώθηκε (μετάβαση) και σε συνδυασμό με τον ελάχιστο χρόνο κατακράτησης των καυσαερίων επέφερε την αύξηση της συγκέντρωσης του αέρα εντός του χώρου καύσης.

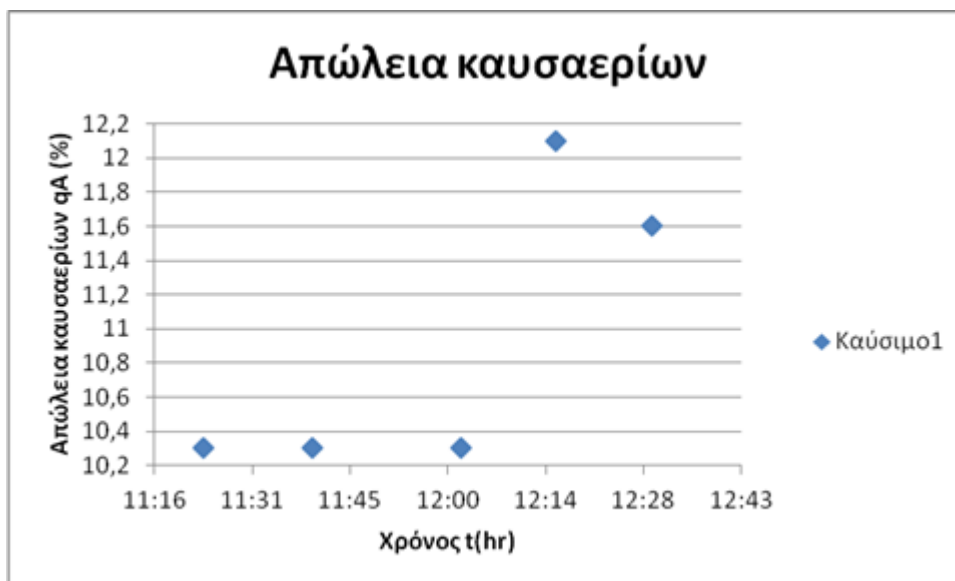


Σχήμα 13.7 Περιεκτικότητα καυσαερίων του πρώτου καυσίμου σε O₂ συναρτήσει του χρόνου

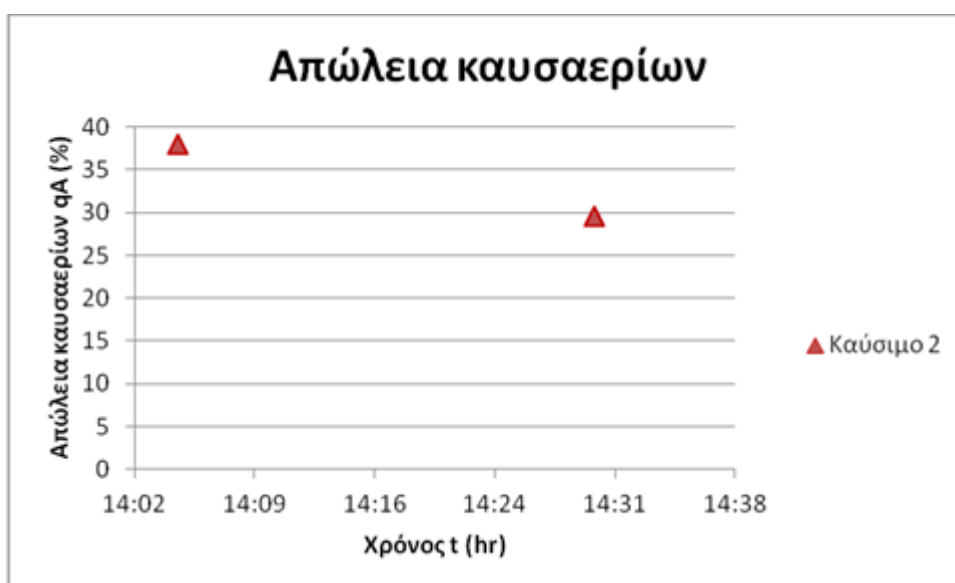


Σχήμα 13.8 Περιεκτικότητα καυσαερίων του δεύτερου καυσίμου σε O₂ συναρτήσει του χρόνου

Η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε O₂ είναι αποδεκτή στην περίπτωση του πρώτου καυσίμου, σε αντίθεση με την περίπτωση του δεύτερου καυσίμου. Όπως προκύπτει και από τα προηγούμενα διαγράμματα η υψηλή συγκέντρωση αέρα εντός του χώρου καύσης, καθώς και η περιορισμένη κατακράτηση των καυσαερίων στο θάλαμο για περαιτέρω αντίδραση με το οξυγόνο, επιφέρουν μεγάλη περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια.



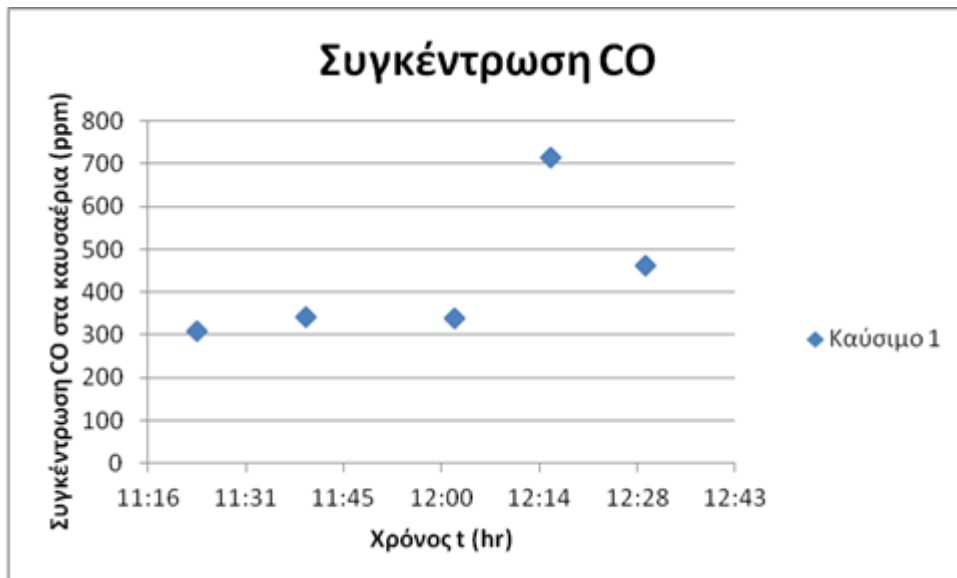
Σχήμα 13.9 Απώλεια καυσαερίων πρώτου καυσίμου συναρτήσει του χρόνου



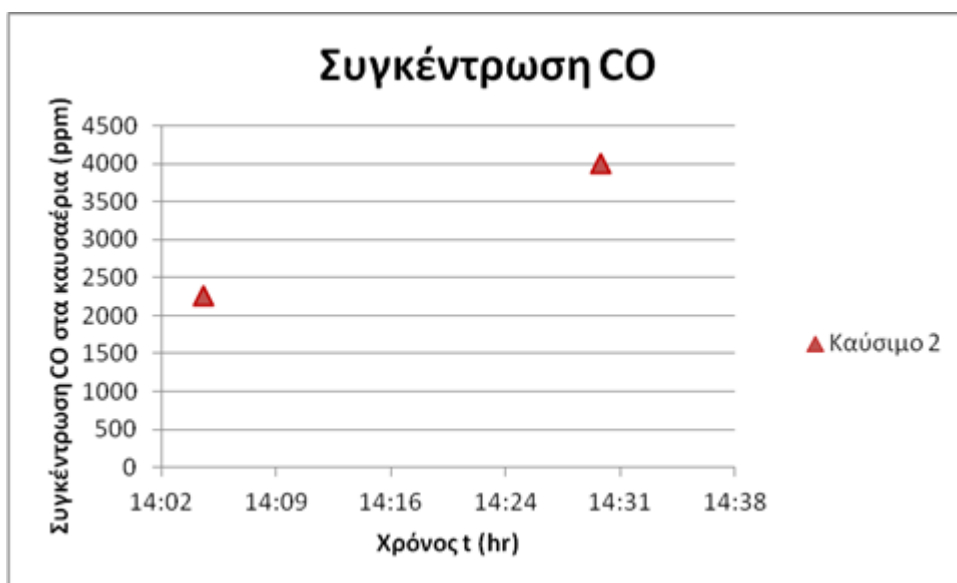
Σχήμα 13.10 Απώλεια καυσαερίων δεύτερου καυσίμου συναρτήσει του χρόνου

Οι μικρές απώλειες, που παρατηρούνται στο πρώτο καύσιμο, φανερώνουν υψηλή απόδοση καύσης. Οι μεγάλες απώλειες για το δεύτερο καύσιμο ήταν αναμενόμενες, καθώς η υγρασία είναι μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα να απορροφά ποσά θερμότητας για τη συμπύκνωση του υδρατμών. Επιπροσθέτως, η μεγάλη περίσσεια αέρα, επιφέρει την

θέρμανση μεγάλης ποσότητας οξυγόνου το οποίο διοχετεύεται στα καυσάεiria (και κατ' επέκταση στο περιβάλλον), χωρίς να μεσολαβεί στην παραγωγή θερμότητας.

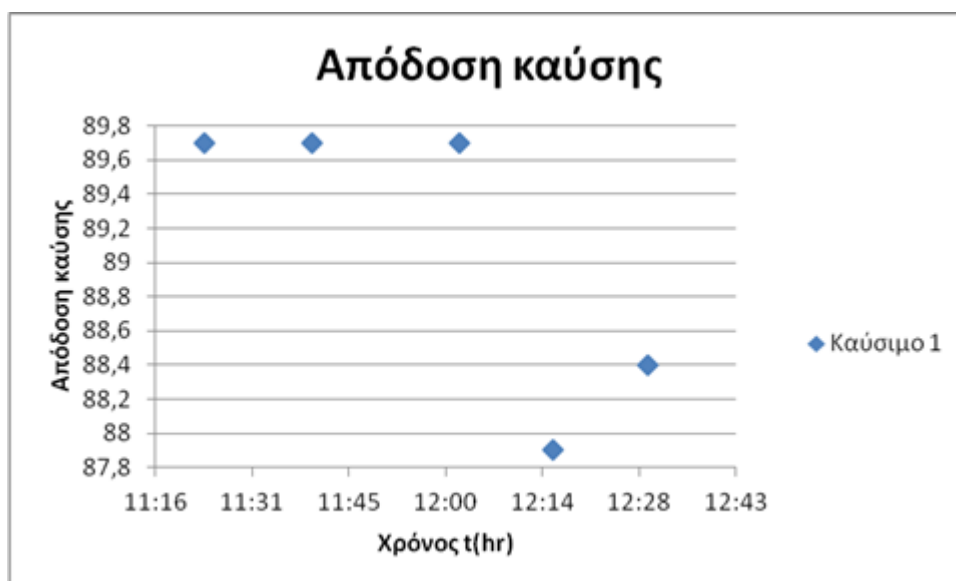


Σχήμα 13.11 Συγκέντρωση καυσαερίων του πρώτου καυσίμου σε CO συναρτήσει του χρόνου

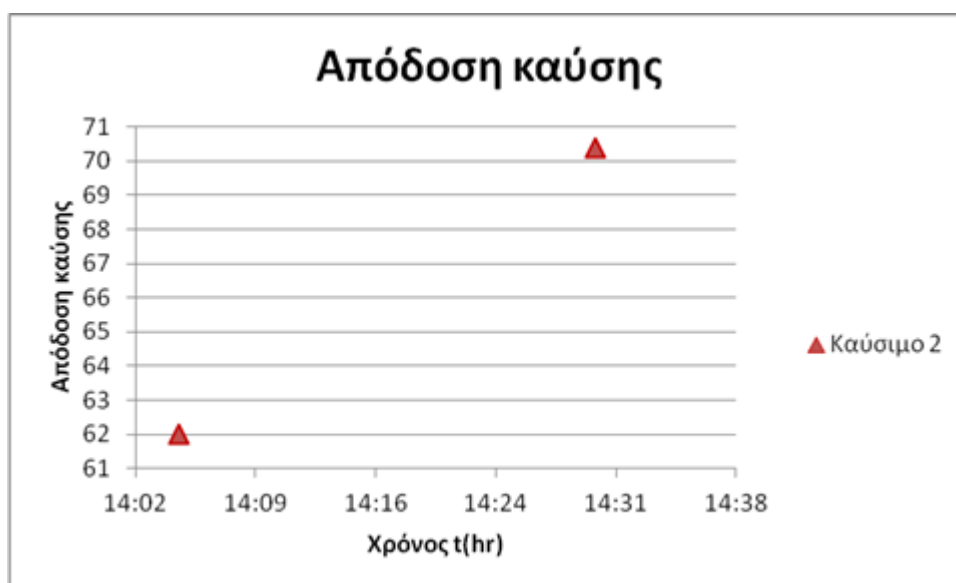


Σχήμα 13.12 Συγκέντρωση καυσαερίων του δεύτερου καυσίμου σε CO συναρτήσει του χρόνου

Η υψηλή συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα αποδεικνύει την ατελή καύση του δεύτερου καυσίμου.

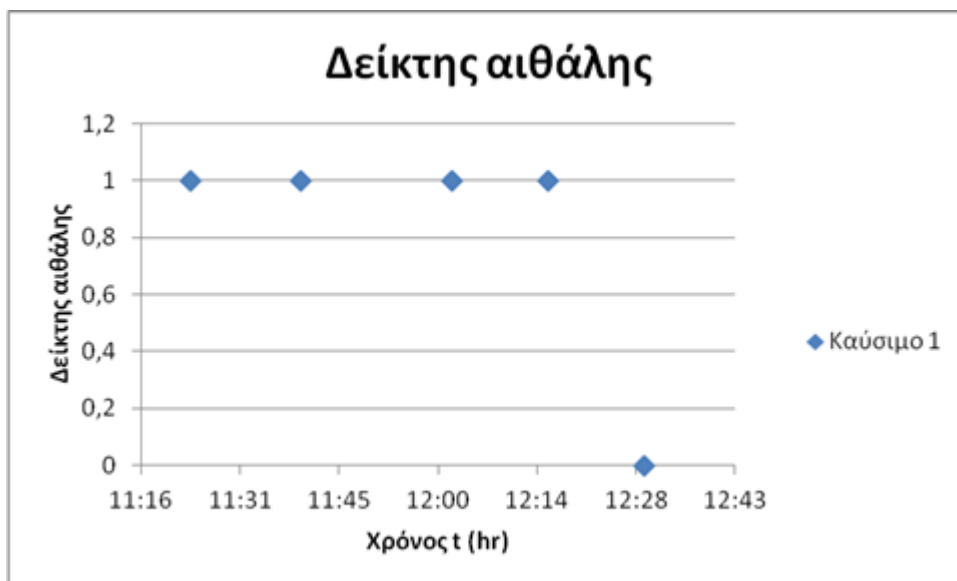


Σχήμα 13.13 Απόδοση καύσης πρώτου καυσίμου συναρτήσει του χρόνου

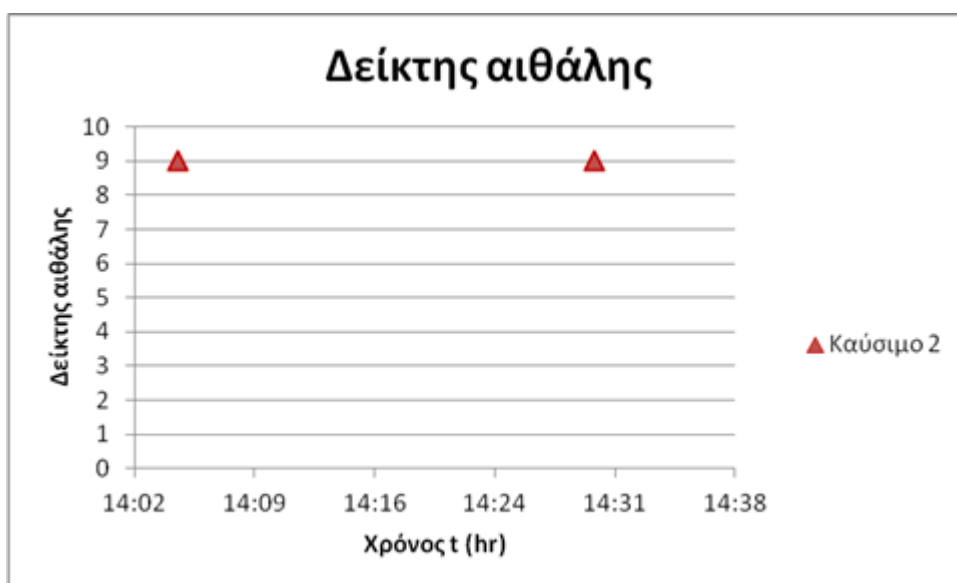


Σχήμα 13.14 Απόδοση καύσης δεύτερου καυσίμου συναρτήσει του χρόνου

Η απόδοση καύσης για το δεύτερο καύσιμο είναι χαμηλότερη, όπως αναμενόταν και από το διάγραμμα των απωλειών καύσης, καθώς $\eta=100-q_A$ (φυλλάδιο κατασκευαστή testo, 2014). Η χαμηλή απόδοση οφείλεται στην ατελή καύση, καθώς και στην υψηλή υγρασία του δεύτερου καυσίμου



Σχήμα 13.15 Δείκτης αιθάλης καυσίμου 1 συναρτήσει του χρόνου



Σχήμα 13.16 Δείκτης αιθάλης καυσίμου 2 συναρτήσει του χρόνου

Παρατηρώντας τις μετρήσεις του δείκτη αιθάλης προκύπτει ότι η καύση του πρώτου καυσίμου δεν παρήγαγε μεγάλα ποσά αιθάλης σε αντίθεση με το δεύτερο καύσιμο το οποίο έχει δείκτη 9. Δείκτης αιθάλης μεγαλύτερος του 2 είναι αποτρεπτικός διότι υψηλά ποσοστά αιθάλης φανερώνουν κακή καύση και υψηλά ποσοστά εκπεμπόμενων ρύπων.

14. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασικός στόχος του έργου ΒΙΟΜΑ είναι η προώθηση “της διαλογής στην πηγή” και η διαχείριση ι) των βιοαποβλήτων από τα οικιακά οργανικά απορρίμματα και ιι) των γεωργικών υπολειμμάτων με τη χρήση καινοτόμων τεχνολογικών συστημάτων. Με την ολοκλήρωση του έργου, οι επιλεγόμενες περιοχές σε Ελλάδα και Κύπρο θα μπορούν να διαχειριστούν ορθολογικά το οργανικό φορτίο των βιοαποβλήτων μετατρέποντάς το σε προστιθέμενης αξίας τελικά προϊόντα, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό την ολοκληρωμένη διαχείριση των βιοαποβλήτων μέσω της επεξεργασίας, την επαναχρησιμοποίησης τους καθώς και την εκτροπή ενός σημαντικού ποσοστού (της τάξης του 40%) του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής (Χ.Υ.Τ.Α.) εξοικονομώντας πόρους και ενέργεια.

Στο παρόν παραδοτέο παρουσιάζονται οι εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις του ΕΚΕΤΑ, με σκοπό τον χαρακτηρισμό της ποιότητας αφενός των αποξηραμένων οικιακών βιοαποβλήτων και αφετέρου των γεωργικών υπολειμμάτων από τον Δήμο Νάξου και Μικρών και Κυκλάδων και της Κοινότητας της Παλώδιας (Κύπρο). Επιπλέον, παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσπάθειας παραγωγής pellet από μίγματα των πρώτων υλών που αναφέρθηκαν (βιοαπόβλητα και κλαδέματα), ενώ τέλος προσδιορίστηκαν ο βαθμός θερμικής απόδοσης και τα αέρια προϊόντα της καύσης του παραγομένου πέλλετ. Τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις δράσεις του παραδοτέου αυτού συνοψίζονται ως εξής:

- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών ειδών κλαδεμάτων παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις μεταξύ τους, με μοναδικές εξαιρέσεις τα ποσοστά υγρασίας και τέφρας. Όσον αφορά το ποσοστό υγρασίας, αυτό παρουσιάζεται αυξημένο για τα δείγματα του Σολωμού και της Μουριάς (≈30-40%), σε σχέση με τα δείγματα του Φοίνικα και του Ευκάλυπτου (≈15-17%).
- Η υψηλή τιμή της θερμογόνου δύναμης των κλαδεμάτων είναι σχεδόν αντίστοιχη με τις προδιαγραφές της θερμογόνου δύναμης του αντίστοιχου προτύπου ENplus® για πελλέτες ξύλου.

- Δεν καταγράφηκαν εποχικές διακυμάνσεις μεταξύ των δειγμάτων από γεωργικά κλαδέματα, όπως εξάλλου είναι αναμενόμενο, με δεδομένο ότι πρόκειται για τις ίδιες κατηγορίες δέντρων από τις οποίες συγκεντρώθηκαν τα δείγματα και ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους δεν μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους.
- Η θερμογόνο δύναμη των βιοαποβλήτων είναι ιδιαίτερα υψηλή, όπως και η περιεκτικότητα σε άνθρακα και υδρογόνο. Αντιπαραβάλλοντας τις τιμές της θερμογόνου δύναμης με τις προδιαγραφές των καυσίμων pellet σύμφωνα με το Enplus® προκύπτει ότι όχι μόνο αυτές πληρούνται, αλλά και είναι σημαντικά υψηλότερες από αυτές, υποδηλώνοντας ότι τα βιοαπόβλητα (όπως και τα γεωργικά υπολείμματα) εμφανίζουν πολύ υψηλή θερμογόνο δύναμη και αποτελούν στερεά καύσιμα με εξαιρετικές ιδιότητες.
- Τέλος, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων (αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο και μόλυβδος), που έχουν ανιχνευτεί στην τέφρα των βιοαποβλήτων και των κλαδεμάτων, είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις αυστηρές προδιαγραφές τους που έχουν θεσπιστεί για την χρησιμοποίηση των pellet ως καύσιμα, γεγονός που επιτρέπει την ασφαλή χρησιμοποίησή τους σε βιομηχανικές εφαρμογές.
- Σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα για την επιλογή της βέλτιστης αναλογίας βιοαποβλήτων και κλαδεμάτων, για την παραγωγή καυσίμου pellet, προέκυψε ότι το Δείγμα 7 με αναλογία 20% σε βιοαπόβλητα, 40% σε γεωργικά υπολείμματα και 40% σε πυρηνόξυλο παρουσιάζει τα βέλτιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά και για τον λόγο αυτό η παραπάνω αναλογία βιοαποβλήτων και κλαδεμάτων επιλέχθηκε να δοκιμαστεί σε μεγαλύτερη κλίμακα με χρήση εμπορικού πελλετοποιητή στον Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων. Τέλος, από τη σύγκριση των ιδιοτήτων των παραγόμενων πελλετ με τις αντίστοιχες ιδιότητες των πρωτογενών συστατικών συμπεραίνει κανείς ότι, όπως είναι αναμενόμενο, τα παραγόμενα πέλλετ έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα βιοαπόβλητα και τα γεωργικά κλαδέματα (με εξαίρεση το ποσοστό τέφρας).

- Το παραγόμενο πέλλετ εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές θερμογόνου δύναμης, ικανοποιώντας τα αυστηρά standards ποιότητας ακόμη και του οικιακού πέλλετ προερχόμενο από ξύλο, γεγονός που αποδεικνύει την αξία του ως στερεό καύσιμο. Επίσης, η φαινόμενη πυκνότητα του παραγόμενου καυσίμου βρίσκεται εντός των επιθυμητών ορίων. Αντίθετα το υψηλό περιεχόμενο σε τέφρα, χλώριο, άζωτο και θείο, συστήνουν την χρήση τους σε εξειδικευμένους καυστήρες για βιομηχανική χρήση.
- Οι δοκιμές καύσης του παραγόμενου πέλλετ σε λέβητα βιομηχανικής κλίμακας, επιβεβαίωσαν την αρχική εκτίμηση για αξιοποίηση των πελλετ (προερχόμενων από βιοαπόβλητα και γεωργικά υπολείμματα) σε αποκλειστικά εξειδικευμένες βιομηχανικές εφαρμογές, ενώ θα πρέπει να αποφεύγεται η χρησιμοποίησή τους σε οικιακούς καυστήρες για την αποφυγή εμφάνισης προβλημάτων στην λειτουργία του λέβητα. Ειδικότερα, οι δοκιμές καύσης έδειξαν ότι τα καυσαέρια του λέβητα χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές CO₂, υψηλή περιεκτικότητα σε O₂ και σε CO και υψηλό δείκτη αιθάλης υποδηλώνοντας ατελή καύση του πέλλετ, ενώ και η απόδοση καύσης ήταν σχετικά χαμηλή (υψηλές απώλειες καυσαερίων). Ωστόσο η υψηλή θερμοκρασία των εξερχόμενων καυσαερίων, τα οποία είναι εντός των αποδεκτών ορίων, επιβεβαιώνει την υψηλή θερμογόνο δύναμη του παραγόμενου πέλλετ.

15. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

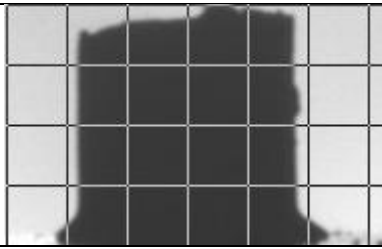
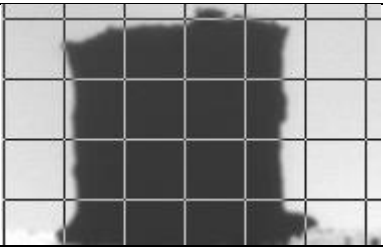
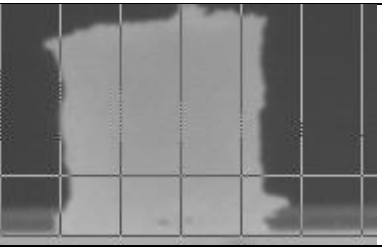
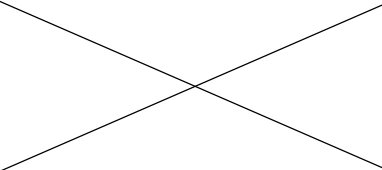
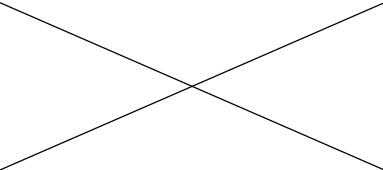
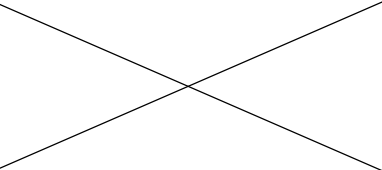
- [1] S.H. Larsson, M. Thyrel, P. Geladi, T.A. Lestander, High quality biofuel pellet production from pre-compacted low density raw materials, *Bioresource Technology*, 99 (2008) 7176-7182, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.065>.
- [2] N.P.K. Nielsen, D.J. Gardner, T. Poulsen, C. Felby, Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets, *Wood and Fiber Science*, 41 (2009) 414-425, <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-70350300934&partnerID=40&md5=ed54e8b75f216ee73ef89921744a2e30>
- [3] BISYPLAN web-based handbook, 2012, <https://www.bioenergyprof.eu/handbooks/bisyplan/html-files-en/handbook-intro.html>, [accessed 2019].
- [4] Μ. Βασιλείου, Π. Δρόσου, 2013, Μετρήσεις θερμικής απόδοσης στερεών καυσίμων και δημιουργία πρότυπου εργαστηρίου βιομηχανικού ελέγχου, Κοζάνη.
- [5] A. Kraszkiewicz, A. Przywara, M. Kachel-Jakubowska, E. Lorencowicz, 2015, Combustion of plant biomass pellets on the grate of a low power, Lublin.
- [6] Υ.Α. 189533/2011: Ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανσης κτιρίων και νερού (ΦΕΚ 2654/Β/9-11-2011).

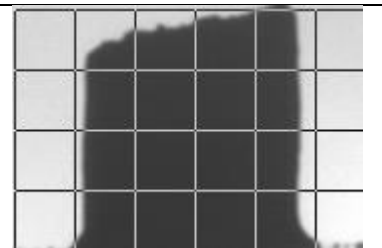
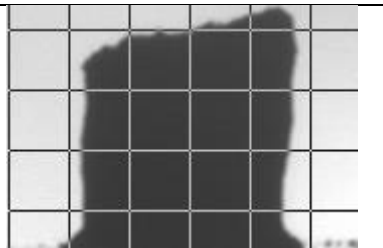
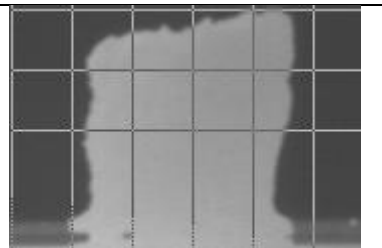
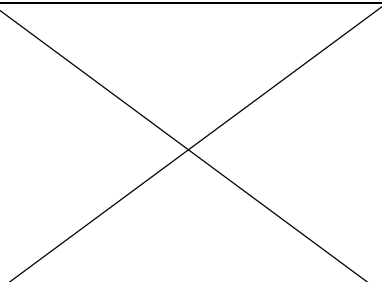
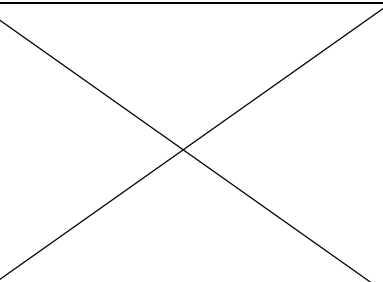
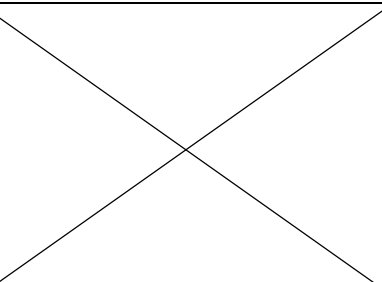
16. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

16.1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΛΕΤ

Πέλλετ (Δείγμα 1, Απόβλητα 75%-Κλαδέματα 25%, 400 γρ.)					
Ιδιότητα / Κανονιστικό/ Πληροφοριακό		Βάση Υπολογισμών	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Προέλευση και πηγή	K				
Διαστάσεις	K				
Ολική Υγρασία	K	Ως έχει		%	
Μερική Υγρασία	K			%	
Τέφρα, A	K	Επί ξηρού		%	
		Ως έχει		%	
Μηχανική αντοχή, DU	K				
Λεπτόκκοκο υλικό, F	K			%	
Πρόσθετα	K				
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη, Q	K	Επί ξηρού		cal/gr	
		Ως έχει		cal/gr	
Χύδην πυκνότητα, BD	K/Π	Ως έχει		Kg/m ³	
Άζωτο, N	K/Π	Επί ξηρού		%	
Θείο, S	K/Π	Επί ξηρού		%	
Χλώριο, Cl	K/Π	Επί ξηρού		%	
Μόνιμος άνθρακας, Cc	K/Π	Επί ξηρού		%	Δεν πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις φυσικοχημικού χαρακτήρισμού λόγω μηχανικής αστοχίας υλικού
Πτητικά, VM	K/Π	Επί ξηρού		%	
		Ως έχει		%	
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	Π	Θερμοκρασία Συρρίκνωσης		°C	
		Θερμοκρασία Παραμόρφωσης		°C	
		Θερμοκρασία Ημισφαιρίου		°C	
		Θερμοκρασία Ροής		°C	

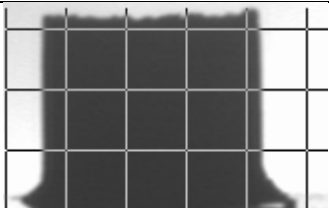
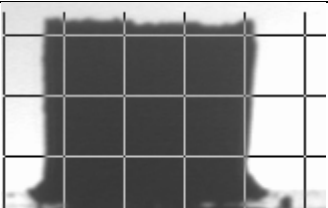
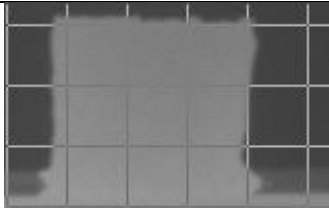
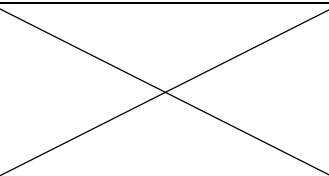
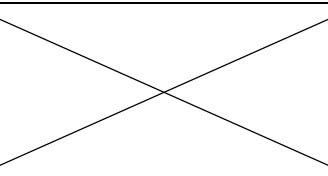
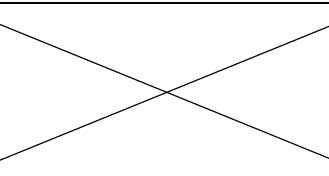
Πέλλετ (Δείγμα 2, Απόβλητα 70%-Κλαδέματα 15%-Πυρηνόξυλο 15%, 500 γρ.)					
Ιδιότητα / Κανονιστικό/ Πληροφοριακό		Βάση Υπολογισμών	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Προέλευση και πηγή	K				
Διαστάσεις	K				
Ολική Υγρασία	K	Ως έχει	8,2	%	
Μερική Υγρασία	K		5,5	%	
Τέφρα, A	K	Επί ξηρού	8,5	%	
		Ως έχει	7,8	%	
Μηχανική αντοχή, DU	K				Λόγω μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων δεν δύναται να προσδιοριστεί η μηχανική αντοχή.
Λεπτόκοκο υλικό, F	K		71,2	%	
Πρόσθετα	K				Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 15%
Κατώτερη θερμογόνο δύναμη, Q	K	Επί ξηρού	4316,3	cal/gr	
		Ως έχει	3913,6	cal/gr	
Χύδην πυκνότητα, BD	K/Π	Ως έχει	697	Kg/m ³	
Άζωτο, N	K/Π	Επί ξηρού	1,46	%	
Θείο, S	K/Π	Επί ξηρού	0,31	%	
Χλώριο, Cl	K/Π	Επί ξηρού	0,55	%	
Μόνιμος άνθρακας, Cc	K/Π	Επί ξηρού	47,43	%	
Πτητικά, VM	K/Π	Επί ξηρού	74,6	%	
		Ως έχει	68,5	%	
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	Π	Θερμοκρασία Συρρίκνωσης	608	°C	
		Θερμοκρασία Παραμόρφωσης	1399	°C	
		Θερμοκρασία Ημισφαιρίου	>1550	°C	
		Θερμοκρασία Ροής	>1550	°C	

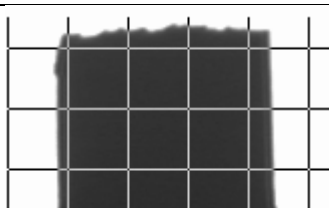
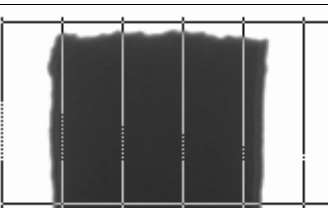
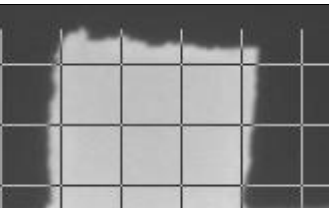
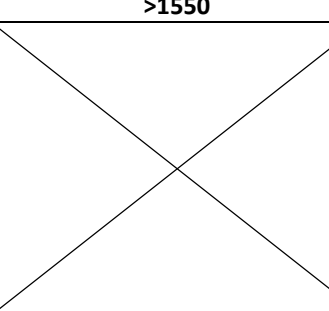
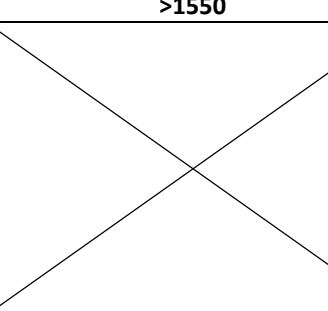
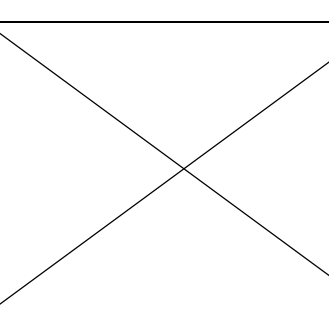
ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 2-Sample 1		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 607	Deformation Temperature (°C): 1405
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 2-Sample 2		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 608	Deformation Temperature (°C): 1393
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

Σχήμα 16.1 Θερμοκρασίες Τήξης Τέφρας

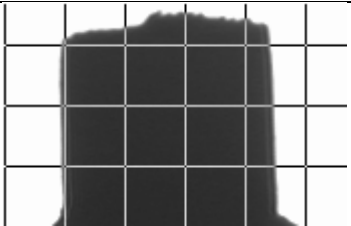
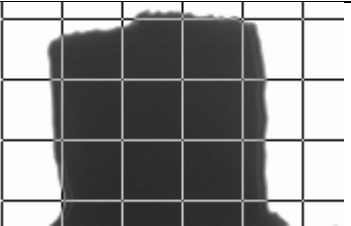
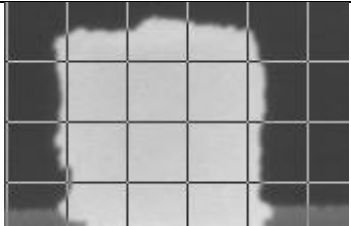
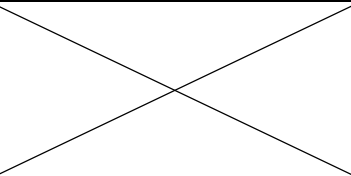
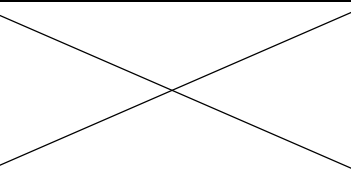
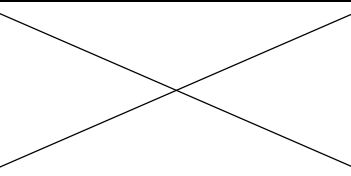
Πέλλετ (Δείγμα 3, Απόβλητα 60%-Κλαδέματα 20%-Πυρηνόξυλο 20%, 500 γρ.)					
Ιδιότητα / Κανονιστικό/ Πληροφοριακό		Βάση Υπολογισμών	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Προέλευση και πηγή	K				
Διαστάσεις	K				
Ολική Υγρασία	K	Ως έχει	8,2	%	
Μερική Υγρασία	K		5,5	%	
Τέφρα, A	K	Επί ξηρού	9,1	%	
		Ως έχει	8,4	%	
Μηχανική αντοχή, DU	K				Λόγω μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων δεν δύναται να προσδιοριστεί η μηχανική αντοχή.
Λεπτόκοκκο υλικό, F	K		89,2	%	
Πρόσθετα	K				Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 20%
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη, Q	K	Επί ξηρού	4260,2	cal/gr	
		Ως έχει	3864,0	cal/gr	
Χύδην πυκνότητα, BD	K/Π	Ως έχει	678	Kg/m ³	
Άζωτο, N	K/Π	Επί ξηρού	1,55	%	
Θείο, S	K/Π	Επί ξηρού	0,39	%	
Χλώριο, Cl	K/Π	Επί ξηρού	0,65	%	
Μόνιμος άνθρακας, Cc	K/Π	Επί ξηρού	47,78	%	
Πτητικά, VM	K/Π	Επί ξηρού	74,8	%	
		Ως έχει	68,7	%	
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	Π	Θερμοκρασία Συρρίκνωσης	612	°C	
		Θερμοκρασία Παραμόρφωσης	1395	°C	
		Θερμοκρασία Ημισφαιρίου	>1550	°C	
		Θερμοκρασία Ροής	>1550	°C	

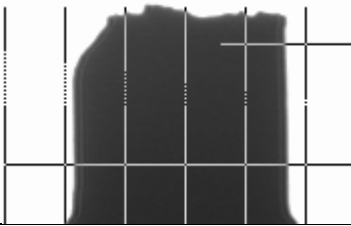
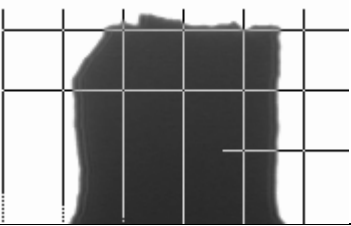
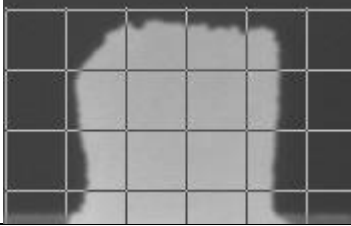
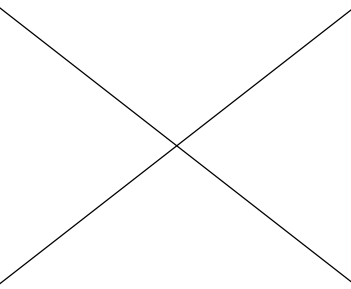
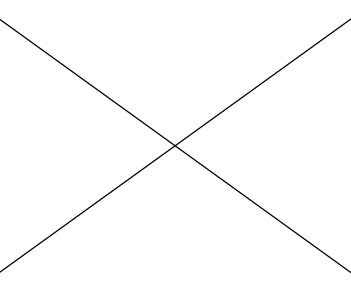
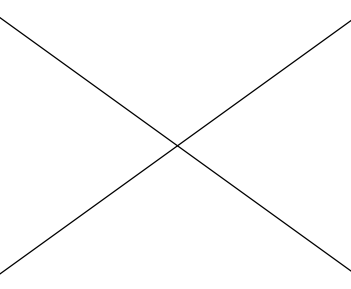
ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 3-Sample 1		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 609	Deformation Temperature (°C): 1400
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 3-Sample 2		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 614	Deformation Temperature (°C): 1389
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

Σχήμα 16.2 Θερμοκρασίες Τήξης Τέφρας

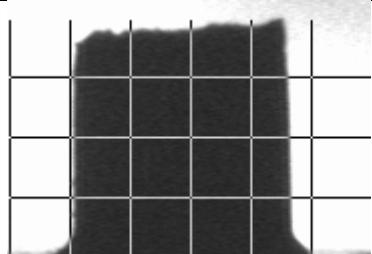
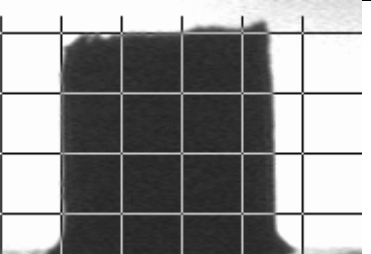
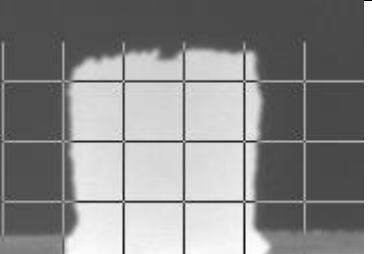
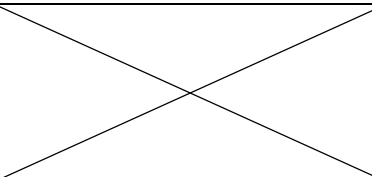
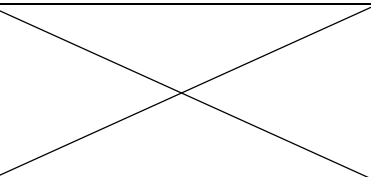
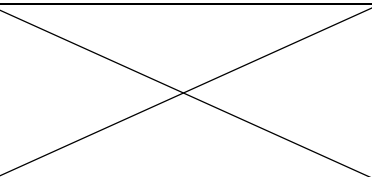
Πέλλετ (Δείγμα 4, Απόβλητα 50%-Κλαδέματα 20%-Πυρηνόξυλο 30%, 500γρ.)					
Ιδιότητα (Κανονιστικό/ Πληροφοριακό)		Βάση Υπολογισμών	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Προέλευση και πηγή	K				 Λόγω μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων δεν δύναται να προσδιοριστεί η μηχανική αντοχή.
Διαστάσεις	K				
Ολική Υγρασία	K	Ως έχει	8,5	%	
Μερική Υγρασία	K		5,2	%	
Τέφρα, A	K	Επί ξηρού	9,1	%	
		Ως έχει	8,4	%	
Μηχανική αντοχή, DU	K				
Λεπτόκοκκο υλικό, F	K		97,5	%	
Πρόσθετα	K				
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη, Q	K	Επί ξηρού	4225,8	cal/gr	
		Ως έχει	3816,1	cal/gr	
Χύδην πυκνότητα, BD	K/Π	Ως έχει	660	Kg/m ³	
Άζωτο, N	K/Π	Επί ξηρού	1,38	%	
Θείο, S	K/Π	Επί ξηρού	0,42	%	
Χλώριο, Cl	K/Π	Επί ξηρού	0,62	%	
Μόνιμος άνθρακας, Cc	K/Π	Επί ξηρού	47,50	%	
Πτητικά, VM	K/Π	Επί ξηρού	75,4	%	
		Ως έχει	69,0	%	
Συμπεριφορά τέφρας	Π	Θερμοκρασία Συρρίκνωσης	616	°C	
		Θερμοκρασία Παραμόρφω- σης	1389	°C	
		Θερμοκρασία Ημισφαιρίου	>1550	°C	
		Θερμοκρασία Ροής	>1550	°C	

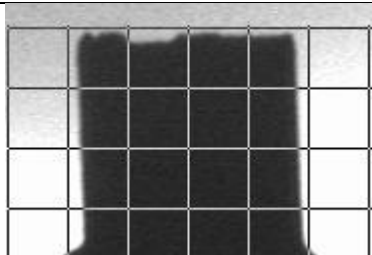
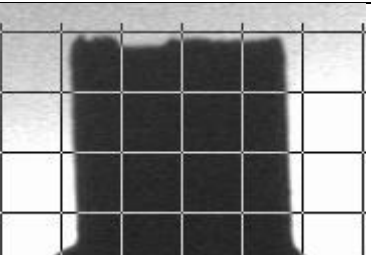
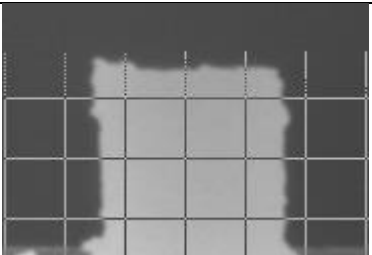
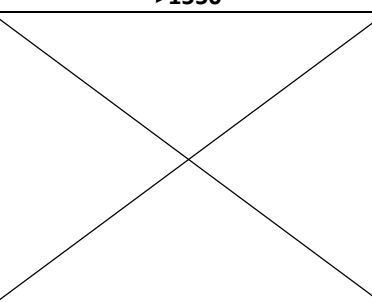
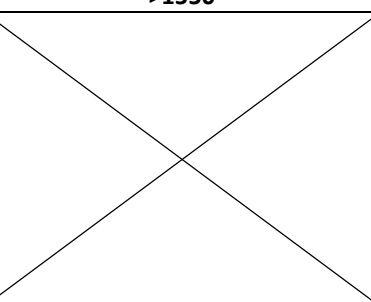
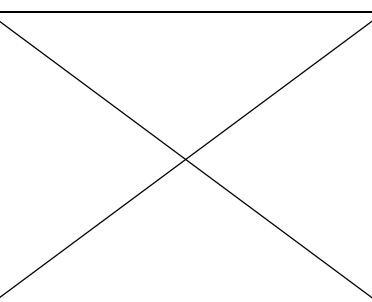
ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 4-Sample 1		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 616	Deformation Temperature (°C): 1385
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 4-Sample 2		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 615	Deformation Temperature (°C): 1393
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

Σχήμα 16.3 Θερμοκρασίες Τήξης Τέφρας

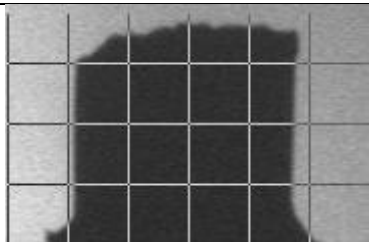
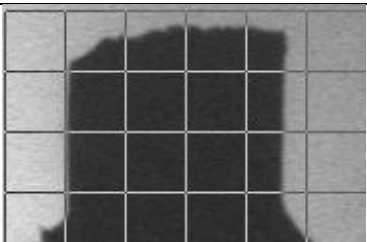
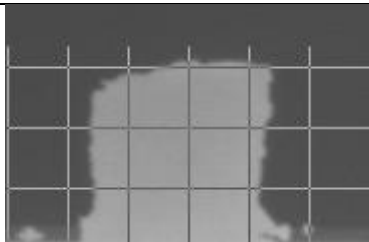
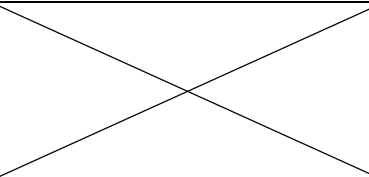
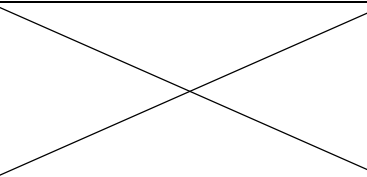
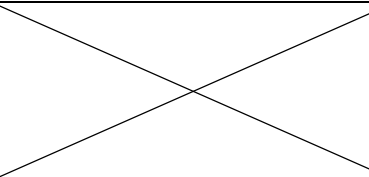
Πέλλετ (Δείγμα 5, Απόβλητα 30%-Κλαδέματα 50%-Πυρηνόξυλο 20%, 500γρ.)					
Ιδιότητα (Κανονιστικό/ Πληροφοριακό)		Βάση Υπολογισμών	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Προέλευση και πηγή	Κ				 Λόγω μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων δεν δύναται να προσδιοριστεί η μηχανική αντοχή.
Διαστάσεις	Κ				
Ολική Υγρασία	Κ	Ως έχει	8,4	%	
Μερική Υγρασία	Κ		5,8	%	
Τέφρα, A	Κ	Επί ξηρού	8,1	%	
		Ως έχει	7,4	%	
Μηχανική αντοχή, DU	Κ				
Λεπτόκοκκο υλικό, F	Κ		95,5	%	
Πρόσθετα	Κ				Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 20%
Κατώτερη θερμογόνο δύναμη, Q	Κ	Επί ξηρού	4230,6	cal/gr	
		Ως έχει	3827,6	cal/gr	
Χύδην πυκνότητα, BD	Κ/Π	Ως έχει	577	Kg/m ³	
Άζωτο, N	Κ/Π	Επί ξηρού	1,87	%	
Θείο, S	Κ/Π	Επί ξηρού	0,52	%	
Χλώριο, Cl	Κ/Π	Επί ξηρού	0,65	%	
Μόνιμος άνθρακας, Cc	Κ/Π	Επί ξηρού	48,06	%	
Πτητικά, VM	Κ/Π	Επί ξηρού	75,4	%	
		Ως έχει	69,1	%	
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	Π	Θερμοκρασία Συρρίκνωσης	620	°C	
		Θερμοκρασία Παραμόρφω σης	1387	°C	
		Θερμοκρασία Ημισφαιρίου	>1550	°C	
		Θερμοκρασία Ροής	>1550	°C	

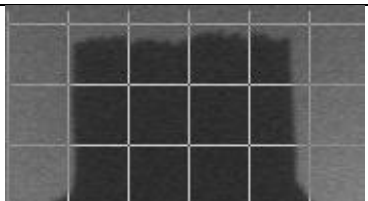
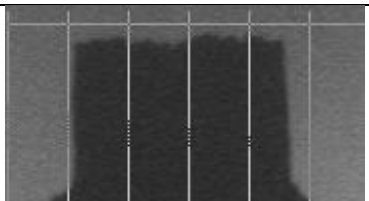
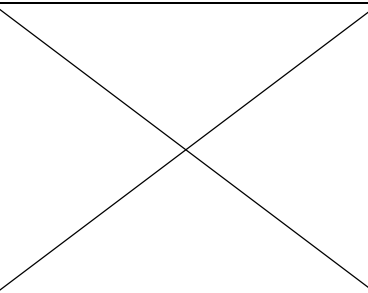
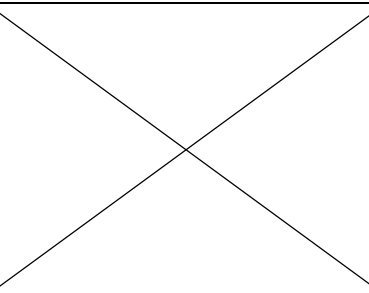
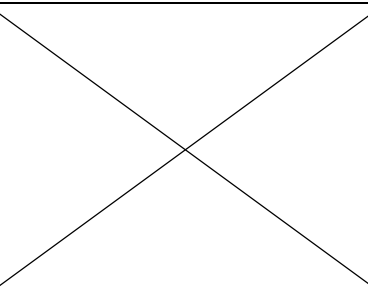
ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 5-Sample 1		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 618	Deformation Temperature (°C): 1378
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 5-Sample 2		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 621	Deformation Temperature (°C): 1395
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

Σχήμα 16.4 Θερμοκρασίες Τήξης Τέφρας

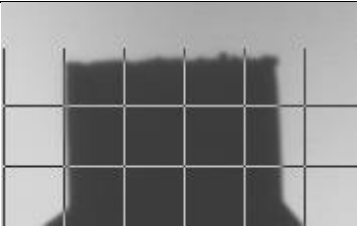
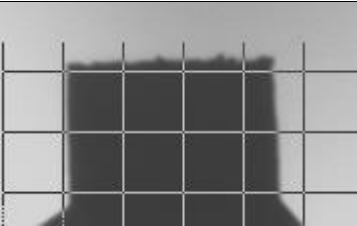
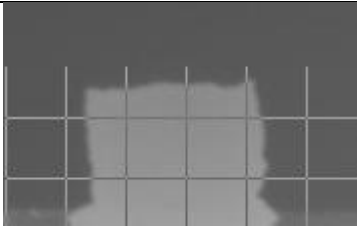
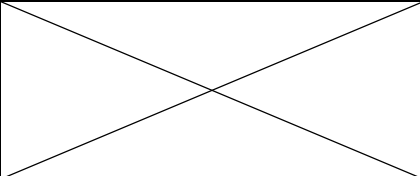
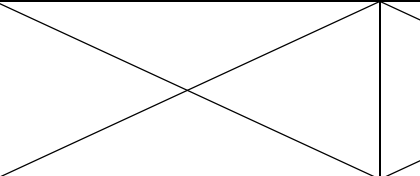
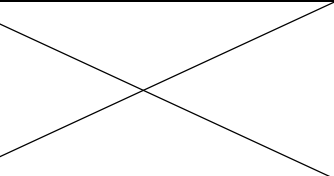
Πέλλετ (Δείγμα 6, Απόβλητα 30%-Κλαδέματα 40%-Πυρηνόξυλο 30%, 500γρ.)					
Ιδιότητα (Κανονιστικό/ Πληροφοριακό)		Βάση Υπολογισμών	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Προέλευση και πηγή	Κ				
Διαστάσεις	Κ				
Ολική Υγρασία	Κ	Ως έχει	8,1	%	
Μερική Υγρασία	Κ		6,2	%	
Τέφρα, A	Κ	Επί ξηρού	7,4	%	
		Ως έχει	6,8	%	
Μηχανική αντοχή, DU	Κ		64,3	%	
Λεπτόκκοκο υλικό, F	Κ		16,7	%	
Πρόσθετα	Κ				Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 30%
Κατώτερη θερμογόνο δύναμη, Q	Κ	Επί ξηρού	4137,5	cal/gr	
		Ως έχει	3754,2	cal/gr	
Χύδην πυκνότητα, BD	Κ/Π	Ως έχει	750	Kg/m ³	
Άζωτο, N	Κ/Π	Επί ξηρού	1,16	%	
Θείο, S	Κ/Π	Επί ξηρού	0,52	%	
Χλώριο, Cl	Κ/Π	Επί ξηρού	0,43	%	
Μόνιμος άνθρακας, Cc	Κ/Π	Επί ξηρού	47,61	%	
Πτητικά, VM	Κ/Π	Επί ξηρού	75,5	%	
		Ως έχει	69,4	%	
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	Π	Θερμοκρασία Συρρίκνωσης	631	°C	
		Θερμοκρασία Παραμόρφωσης	1392	°C	
		Θερμοκρασία Ημισφαιρίου	>1550	°C	
		Θερμοκρασία Ροής	>1550	°C	

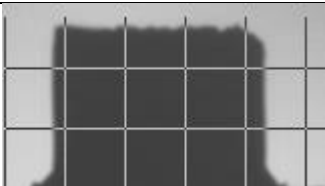
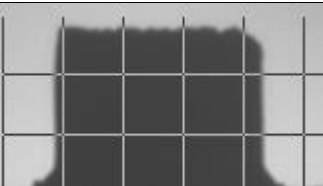
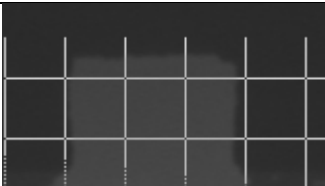
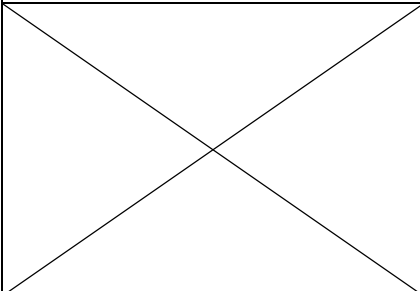
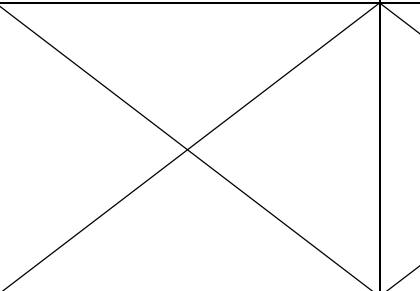
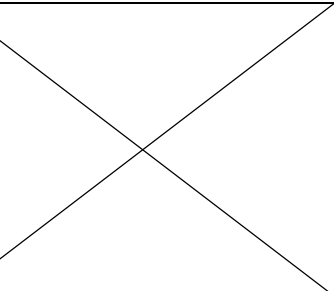
ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 6-Sample 1		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 632	Deformation Temperature (°C): 1398
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 6-Sample 2		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 629	Deformation Temperature (°C): 1386
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

Σχήμα 16.5 Θερμοκρασίες Τήξης Τέφρας

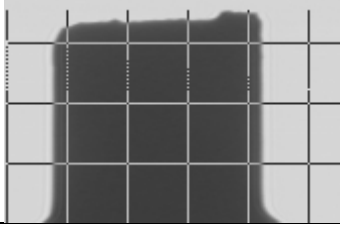
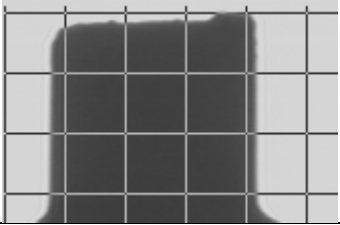
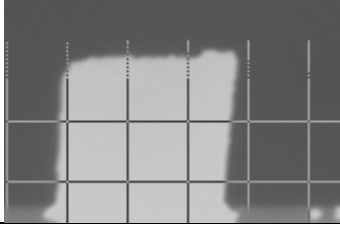
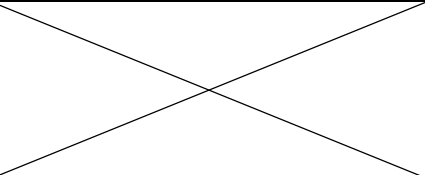
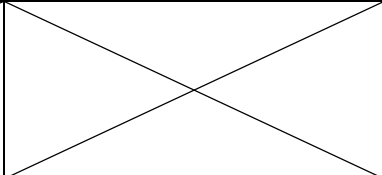
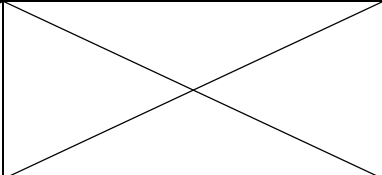
Πέλλετ (Δείγμα 7, Απόβλητα 20%-Κλαδέματα 40%-Πυρηνόξυλο 40%, 500γρ.)					
Ιδιότητα (Κανονιστικό/ Πληροφοριακό)		Βάση Υπολογισμών	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Προέλευση και πηγή	Κ				
Διαστάσεις	Κ				
Ολική Υγρασία	Κ	Ως έχει	7,6	%	
Μερική Υγρασία	Κ		5,6	%	
Τέφρα, Α	Κ	Επί ξηρού	6,7	%	
		Ως έχει	6,2	%	
Μηχανική αντοχή, DU	Κ		92,0	%	
Λεπτόκκοκο υλικό, F	Κ		2,5	%	
Πρόσθετα	Κ				Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 40%
Κατώτερη θερμογόνο δύναμη, Q	Κ	Επί ξηρού	4152,8	cal/gr	
		Ως έχει	3792,4	cal/gr	
Χύδην πυκνότητα, BD	Κ/Π	Ως έχει	757	Kg/m ³	
Άζωτο, N	Κ/Π	Επί ξηρού	1,28	%	
Θείο, S	Κ/Π	Επί ξηρού	0,52	%	
Χλώριο, Cl	Κ/Π	Επί ξηρού	0,42	%	
Μόνιμος άνθρακας, Cc	Κ/Π	Επί ξηρού	48,39	%	
Πτητικά, VM	Κ/Π	Επί ξηρού	75,6	%	
		Ως έχει	69,9	%	
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	Π	Θερμοκρασία Συρρίκνωσης	622	°C	
		Θερμοκρασία Παραμόρφωσης	1394	°C	
		Θερμοκρασία Ημισφαιρίου	>1550	°C	
		Θερμοκρασία Ροής	>1550	°C	

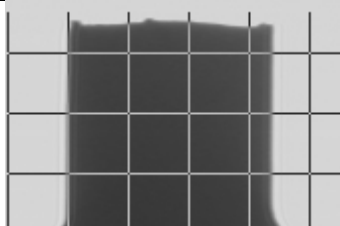
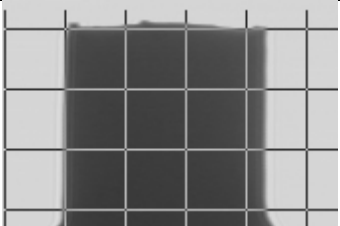
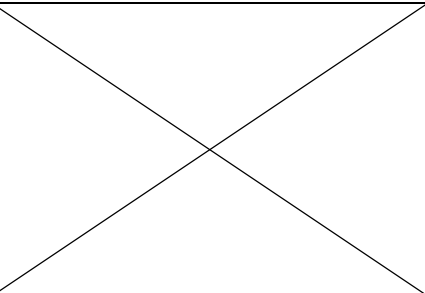
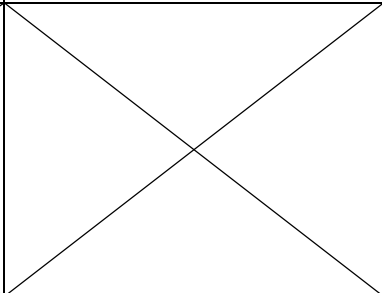
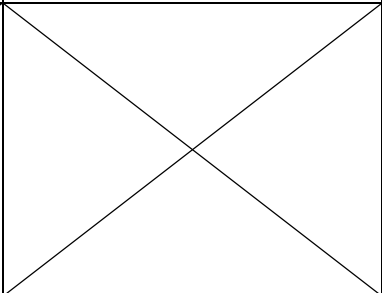
ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 7-Sample 1		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 623	Deformation Temperature (°C): 1392
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 7-Sample 2		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 620	Deformation Temperature (°C): 1396
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

Σχήμα 16.6 Θερμοκρασίες Τήξης Τέφρας

Πέλλετ (Δείγμα 8, Απόβλητα 40%-Κλαδέματα 20%-Πυρηνόξυλο 40%)					
Ιδιότητα (Κανονιστικό/ Πληροφοριακό)		Βάση Υπολογισμών	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Προέλευση και πηγή	Κ				
Διαστάσεις	Κ				
Ολική Υγρασία	Κ	Ως έχει	7,7	%	
Μερική Υγρασία	Κ		5,7	%	
Τέφρα, Α	Κ	Επί ξηρού	7,1	%	
		Ως έχει	6,5	%	
Μηχανική αντοχή, DU	Κ		92,2	%	
Λεπτόκκοκο υλικό, F	Κ		2,3	%	
Πρόσθετα	Κ				Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 40%
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη, Q	Κ	Επί ξηρού	4237,0	cal/gr	
		Ως έχει	3868,3	cal/gr	
Χύδην πυκνότητα, BD	Κ/Π	Ως έχει	741	Kg/m ³	
Άζωτο, N	Κ/Π	Επί ξηρού	0,87	%	
Θείο, S	Κ/Π	Επί ξηρού	0,47	%	
Χλώριο, Cl	Κ/Π	Επί ξηρού	0,47	%	
Μόνιμος άνθρακας, Cc	Κ/Π	Επί ξηρού	48,12	%	
Πτητικά, VM	Κ/Π	Επί ξηρού	75,6	%	
		Ως έχει	69,8	%	
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	Π	Θερμοκρασία Συρρίκνωσης	629	°C	
		Θερμοκρασία Παραμόρφωσης	1394	°C	
		Θερμοκρασία Ημισφαιρίου	>1550	°C	
		Θερμοκρασία Ροής	>1550	°C	

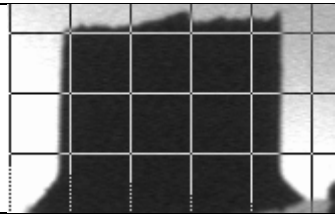
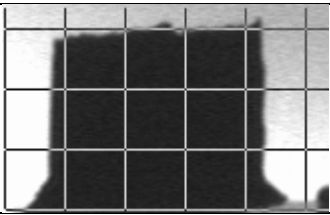
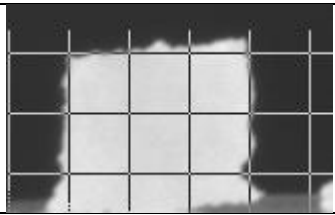
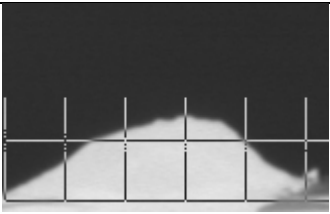
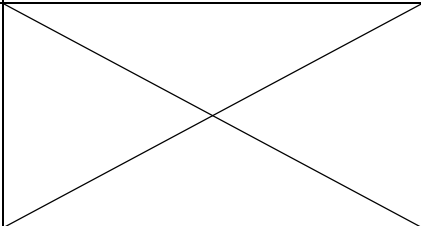
ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 8-Sample 1		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 628	Deformation Temperature (°C): 1388
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

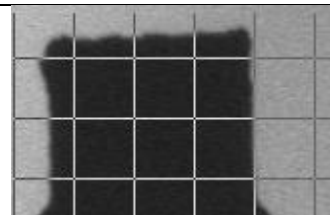
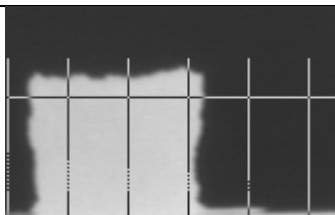
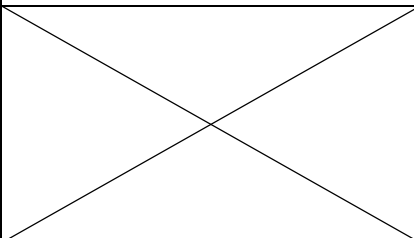
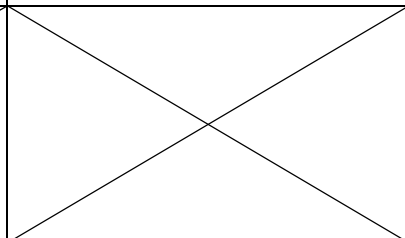
ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 8-Sample 2		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 629	Deformation Temperature (°C): 1392
		
Hemisphere Temperature (°C): >1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

Σχήμα 16.7 Θερμοκρασία Τήξης Τέφρας

Δείγμα 2 (παρασκευασθέν στον Δ. Νάξου), ανεπεξέργαστο

Πέλλετ (Δείγμα Β, Απόβλητα 20%-Κλαδέματα 40%-Πυρηνόξυλο 40%, 500γρ.) – ανεπεξέργαστο					
Ιδιότητα		Βάση	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Προέλευση και πηγή	Κ				
Διαστάσεις	Κ				
Ολική Υγρασία	Κ	Ως έχει	10,6	%	
Μερική Υγρασία	Κ		2,4	%	
Τέφρα, Α	Κ	Επί ξηρού	6,8	%	
		Ως έχει	6,1	%	
Μηχανική αντοχή, DU	Κ		94,5	%	
Λεπτόκκοκο υλικό, F	Κ		5,0	%	
Πρόσθετα	Κ				Πυρηνόξυλο σε ποσοστό 40%
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη, Q	Κ	Επί ξηρού	4284,0	cal/gr	
		Ως έχει	3766,1	cal/gr	
Χύδην πυκνότητα, BD	Κ/Π	Ως έχει	522	Kg/m ³	
Άζωτο, N	Κ/Π	Επί ξηρού	1,62	%	
Θείο, S	Κ/Π	Επί ξηρού	0,18	%	
Χλώριο, Cl	Κ/Π	Επί ξηρού	0,20	%	
Μόνιμος άνθρακας, Cc	Κ/Π	Επί ξηρού	48,91	%	
Πτητικά, VM	Κ/Π	Επί ξηρού	75,1	%	
		Ως έχει	67,1	%	
Συμπεριφορά τήξης τέφρας	Π	Θερμοκρασία Συρρίκνωσης	681	°C	
		Θερμοκρασία Παραμόρφωσης	1145	°C	
		Θερμοκρασία Ημισφαιρίου	1498	°C	
		Θερμοκρασία Ροής	1512	°C	

Θερμοκρασίες Τήξης Τέφρας: ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 7-Sample 1		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 680	Deformation Temperature (°C): 1147
		
Hemisphere Temperature (°C): 1497	Flow Temperature (°C): 1512	
		

ΠΕΛΛΕΤ ΔΕΙΓΜΑ 7-Sample 2		
Initial Sample 1	Shrinkage Temperature (°C): 681	Deformation Temperature (°C): 1173
		
Hemisphere Temperature (°C): 1550	Flow Temperature (°C): >1550	
		

Σχήμα 16.8 Θερμοκρασία Τήξης Τέφρας

17. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

17.1. ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

ASTM D5291-16, Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Petroleum Products and Lubricants, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org

ASTM D5291-16, Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Petroleum Products and Lubricants, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org

CEN/TS 15370-1:2006 Solid biofuels - Method for the determination of ash melting behaviour - Part 1: Characteristic temperatures method

EN 14774-2:2009 Solid biofuels – Methods for the determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified method.

EN 14775:2009 Solid biofuels - Method for the determination of ash content.

EN ISO 14780:2017 Solid biofuels - Sample preparation

EN ISO 16948:2015 Solid biofuels - Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen

EN ISO 16967:2015 Solid biofuels - Determination of major elements - Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na and Ti

EN ISO 16968:2015 Solid biofuels - Determination of minor elements

EN ISO 16994:2016 Solid biofuels - Determination of total content of sulfur and chlorine

EN ISO 17827-2:2016 Solid biofuels - Determination of particle size distribution for uncompressed fuels - Part 2: Vibrating screen method using sieves with aperture of 3,15 mm and below

EN ISO 17828:2015 Solid biofuels - Determination of bulk density

EN ISO 17831-1:2015 Solid biofuels - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 1: Pellets

EN ISO 18122:2015 Solid biofuels - Determination of ash content

EN ISO 18123:2015 Solid biofuels - Determination of the content of volatile matter

EN ISO 18125:2017 Solid biofuels - Determination of calorific value

EN ISO 18134-1:2015 Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method

EN ISO 18134-2:2017 Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method

EN ISO 18134-3:2015 Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 3: Moisture in general analysis sample

EN ISO 18847:2016 Solid biofuels - Determination of particle density of pellets and briquettes

ENplus® HANDBOOK (<https://enplus-pellets.eu/en-in/>) (έκδοση 3.0, Αύγουστος 2015)

ISO 18125:2017, Solid biofuels -- Determination of calorific value

ΕΛΟΤ 896 «Μέθοδοι δειγματοληψίας καυσασερίων»