

Πτυχιακή εργασία

«Μελέτη ιδιοτήτων σύμψηκτων ξύλου (pellets) της ελληνικής αγοράς»



ΤΣΑΛΙΚΗ Π. ΝΙΚΟΛΑΟΥ

Επιβλέποντες

Καθ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΝΤΑΝΗΣ

ΤΕΙ Θεσσαλίας

Δρ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΛΥΚΙΔΗΣ

Ερευνητής ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ

ΚΑΡΔΙΤΣΑ – ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους κάτωθι:

- Δρ. Λυκίδη Χ., Ερευνητή, και κύριο επιβλέποντα αυτής της εργασίας για τη συνεχή επίβλεψη και καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια της υλοποίησής της.
- Δρ. Μαντάνη Γ., Καθηγητή του Τμήματος Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου για τη βοήθεια καθώς και την υλική και ηθική συμπαράσταση του, επίσης και για την όλη ιδέα υλοποίησης της ερευνητικής αυτής εργασίας.
- Τον αδερφό μου Τσαλίκη Σταύρο, πτυχιούχο του Τμήματος Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου για την αμέριστη βοήθεια του στην επισκόπηση του τελικού κειμένου.
- Το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, της Αθήνας για τον εξοπλισμό και την παραχώρηση χώρου εργασίας για τη διεξαγωγή όλων των διεργασιών και πειραμάτων που απαιτήθηκαν με σκοπό την αποπεράτωση της εν λόγω εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
2.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	4
2.1.	ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ	4
2.1.1.	ΥΓΡΑ-ΑΕΡΙΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ	4
2.1.2.	ΣΤΕΡΕΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ.....	5
2.1.2.1.	ΜΟΡΦΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ	7
3.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	10
3.2.1.	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ.....	10
3.2.2.	ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ	10
3.2.3.	ΞΗΡΑΝΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	10
3.2.4.	ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ-ΑΛΕΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	11
3.2.5.	ΠΕΛΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	11
3.2.6.	ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ ΤΩΝ PELLETS	14
3.2.7.	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΩΝ PELLETS	14
3.3.	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ	15
3.3.1.	ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	15
3.3.1.1.	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	15
3.3.1.2.	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ.....	15
3.3.1.3.	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΚΟΝΗΣ	16
3.3.1.4.	ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	17
3.3.1.5.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ.....	17
3.3.2.	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	22
3.3.2.1.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΔΙΚΗ ΑΞΙΑ	22
3.3.2.2.	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ..	22
3.3.2.3.	ΠΡΟΣΘΕΤΑ	23
3.3.2.4.	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΕΦΡΑΣ ΣΕ ΑΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	23
3.3.2.5.	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΞΗΣ ΤΗΣ ΤΕΦΡΑΣ.....	23
3.4.	ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ	24
4.	ΣΚΟΠΟΣ	27
4.1.	ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ	28
4.1.1.	ΥΛΙΚΑ	28
4.1.2.	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ - ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ	28
4.2.	ΜΕΘΟΔΟΙ	37
4.2.1.	ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	37
4.2.2.	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ-ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	38
4.2.3.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	39
4.2.4.	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	40
4.2.5.	ΤΕΦΡΑ.....	43
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	45
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια των σπουδών μου στο Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου εκπόνησα την παρούσα πτυχιακή εργασία. Το θέμα της εργασίας είναι: **«Μελέτη ιδιοτήτων σύμψηκτων ξύλου (pellets) της ελληνικής αγοράς»**.

Κίνητρο για την εκπόνηση της πτυχιακής αυτής ήταν το ολοένα και αυξανόμενο στις μέρες μας ενδιαφέρον των πολιτών για τη χρήση βιοκαυσίμων σε συνδυασμό με την έλλειψη συγκριτικών στοιχείων για την ποιότητα των σύμψηκτων (pellets) που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά.

Για την πραγματοποίησή της εργασίας ερευνήθηκαν διάφορα χαρακτηριστικά σύμψηκτων διαφορετικής προελεύσεως με βάση τα ισχύοντα ευρωπαϊκά πρότυπα. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίστηκαν οι φυσικές ιδιότητες (διαστάσεις, περιεχόμενη υγρασία) και οι θερμικές ιδιότητες (περιεχόμενη θερμιδική αξία, περιεχόμενη τέφρα) σύμψηκτων από **10 διαφορετικές προελεύσεις** τα οποία διακινούνται στην ελληνική αγορά.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Τα βιοκαύσιμα είναι τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή θερμικής ενέργειας και η πρώτη ύλη τους αποτελείται κυρίως από βιομάζα. Υπάρχουν τρεις τύποι βιοκαυσίμων με βάση την κατάσταση στην οποία βρίσκονται (υγρή, στερεά, αέρια). Οι τύποι αυτοί περιγράφονται παρακάτω.

2.1.1. ΥΓΡΑ-ΑΕΡΙΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Τα υγρά βιοκαύσιμα είναι καύσιμα σε υγρή μορφή τα οποία προέρχονται από το βιοδιασπώμενο κλάσμα προϊόντων ή αποβλήτων. Τα υγρά-αέρια βιοκαύσιμα είναι τα ακόλουθα:

α) **Βιοντίζελ:** (πετρέλαιο βιολογικής προέλευσης): Οι μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων οι οποίοι παράγονται από φυτικά ή ζωικά έλαια και λίπη.

β) **Βιοαιθανόλη:** Η αιθανόλη που παράγεται από βιομάζα ή από το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αποβλήτων.

γ) **Βιοαέριο:** Το καύσιμο αέριο που παράγεται από βιομάζα ή από το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, το οποίο μπορεί να καθαρισθεί και να αναβαθμισθεί σε ποιότητα φυσικού αερίου.

δ) **Βιομεθανόλη:** Η μεθανόλη που παράγεται από βιομάζα.

ε) **Βιοδιμεθυλαιθέρας:** Ο διμεθυλαιθέρας που παράγεται από βιομάζα.

στ) **Βίο-ETBE:** Ο αίθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (ETBE) που παράγεται από βιοαιθανόλη. Το κατ' όγκο ποσοστό του Βίο-ETBE που υπολογίζεται ως βιοκαύσιμο και είναι το 47% επί του συνόλου του.

ζ) **Βίο-MTBE:** Ο μέθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (MTBE) που παράγεται από βιομεθανόλη. Το κατ' όγκο ποσοστό του Βίο-MTBE που υπολογίζεται ως βιοκαύσιμο και είναι το 36% επί του συνόλου του.

η) **Συνθετικά βιοκαύσιμα:** Οι συνθετικοί υδρογονάνθρακες ή τα μίγματα συνθετικών υδρογονανθράκων που παράγονται από βιομάζα.

θ) **Βιοϋδρογόνο:** Το υδρογόνο που παράγεται από βιομάζα ή βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων.

ι) **Καθαρά Φυτικά Έλαια:** Τα έλαια που παράγονται από ελαιούχα φυτά μέσω συμπίεσης, έκθλιψης ή ανάλογων μεθόδων, φυσικά ή εξευγενισμένα αλλά μη χημικώς τροποποιημένα, όταν είναι συμβατά με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου κινητήρα ή εξοπλισμού με τις αντίστοιχες απαιτήσεις εκπομπών αέριων ρύπων.

(www.desmie.gr, ημερομηνία επίσκεψης: Ιούλιος 2014)

2.1.2. ΣΤΕΡΕΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Τα στερεά βιοκαύσιμα είναι τα στερεά καύσιμα τα οποία προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από: γεωργικά και δασοκομικά προϊόντα ή υπολείμματα, παραπροϊόντα από βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων, υπολείμματα ξυλείας με εξαίρεση τα απόβλητα ξυλείας που μπορεί να περιέχουν αλογονούχες οργανικές ενώσεις ή βαρέα μέταλλα, ινώδη φυτικά υπολείμματα από παραγωγή χαρτοπολτού, υπολείμματα φελλού, υπολείμματα εκκοκκιστηρίων βάμβακα, άχυρα, ελαιοπυρήνα, απόβλητα μονάδων εκτροφής βοοειδών, τσόφλια καρπών, σπόρων κ.τ.λ.

Τα στερεά βιοκαύσιμα χωρίζονται σε κατηγορίες σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές ανάλογα με τη χρήση τους. Παρακάτω ακολουθούν οι κατηγορίες προτύπων των pellet ανάλογα με το είδος τους:

Με βάση το πρότυπο **EN14961-1** τα pellet που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία προορίζονται για γενική χρήση (το πρότυπο περιλαμβάνει και pellet διαφορετικών πρώτων υλών βιομάζας).

Στο πρότυπο **EN14961-2** κατατάσσονται pellet ξύλου για μη-βιομηχανική χρήση.

Τέλος το πρότυπο **EN14961-6** περιλαμβάνει μη-ξύλωδη pellet για μη-βιομηχανική χρήση.

Στα πρότυπα **EN14961-2** και **EN14961-6** τα λεγόμενα προϊόντα για μη-βιομηχανική χρήση, προσδιορίζονται για μικρότερες εφαρμογές, όπως σε νοικοκυριά και μικρά εμπορικά και δημόσια κτίρια. Το πρότυπο **EN14961** περιλαμβάνει όλα τα είδη των pellet τα οποία παράγονται από διαφορετικού είδους πρώτων υλών βιομάζας. Ταξινομεί επίσης τα στερεά βιοκαύσιμα, σύμφωνα με την καταγωγή και την προέλευσή τους στις παρακάτω υποκατηγορίες: pellet από ξυλώδη βιομάζα, πωόδη βιομάζα, βιομάζα από φρούτα καθώς και συνδυασμοί και μίξεις αυτών.

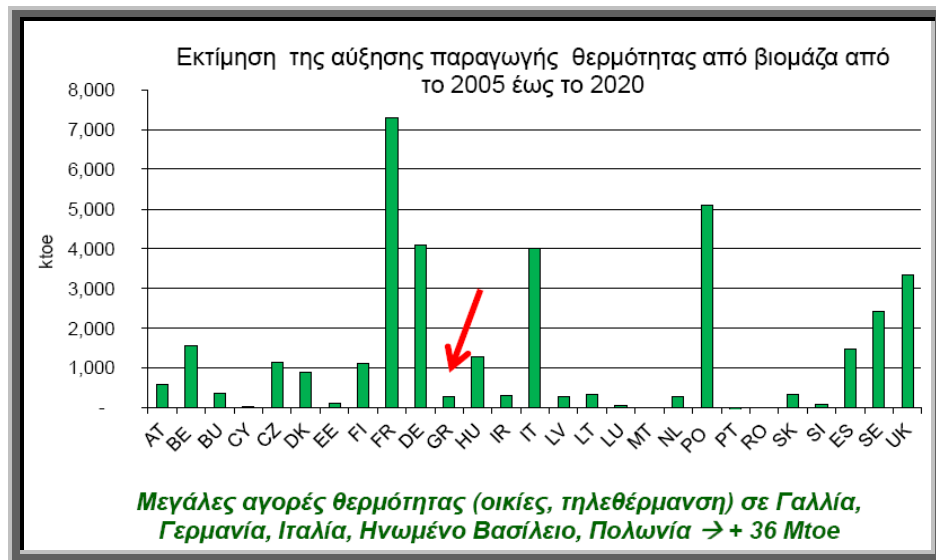
Η **ξύλωδης** βιομάζα είναι η βιομάζα που προέρχεται από δέντρα, κλαδιά και θάμνους. **Πωόδης** ονομάζεται η βιομάζα που προέρχεται από φυτά που έχουν μη ξυλώδη δομή και δεν χρειάζονται στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα σιτηρά και τα υποπροϊόντα τους, όπως τα δημητριακά).

Τέλος, η βιομάζα **φρούτων** είναι η βιομάζα που παράγεται από τα μέρη του φυτού που συγκρατούν τους σπόρους.

Η χρήση βιοκαυσίμων ως εναλλακτική πηγή ενέργειας παρουσιάζει παγκόσμιο ενδιαφέρον τα τελευταία 50 χρόνια. Η συνεχής ενεργειακή κρίση σε όλο τον κόσμο έχει επιβραδύνει την οικονομική ανάπτυξη, ακόμη και των πλούσιων βιομηχανικών χωρών. Η υπερβολική χρήση των παραδοσιακών ορυκτών καυσίμων προκαλεί όχι μόνο οικονομικά προβλήματα, αλλά και οικολογικές ζημιές. Την ίδια στιγμή, τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων είναι περιορισμένα, επομένως καθίσταται ως ένας παγκόσμιος στόχος η έρευνα για εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Μέσα σε αυτές τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας, η βιομάζα, (δηλ. η ομάδα των υλικών βιολογικής προέλευσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας) αποκτά βαρύνουσα σημασία.

Η χώρα μας τα τελευταία πέντε έτη διανύει μία περίοδο οικονομικής ύφεσης. Επομένως είναι εύλογο το γεγονός ότι πολλοί συμπολίτες μας αδυνατούν να καλύψουν τις βασικές βιοτικές τους ανάγκες, όπως είναι αυτή της θέρμανσης. Η υψηλή τιμή του πετρελαίου στη χώρα μας έχει ωθήσει πολλούς στην αναζήτηση οικονομικότερων λύσεων για θέρμανση. Μια από αυτές είναι η χρήση ειδικών

καυστήρων για την καύση ξυλώδους μάζας. Οι Έλληνες χρησιμοποιούν κυρίως καυσόξυλα, μπριγκέτες ή pellet ως καύσιμα υλικά. Τα στερεά βιοκαύσιμα θεωρούνται πως είναι μία από τις οικονομικότερες πηγές θέρμανσης, ωστόσο η φήμη τους έχει εξαπλωθεί κυρίως τα τελευταία έτη στην Ελλάδα γι' αυτό και η παραγωγή θερμότητας από βιομάζα στη χώρα μας είναι ακόμη χαμηλή συγκριτικά με την παραγωγή της σε παγκόσμιο επίπεδο (βλ. **Εικόνα 1**) (L. Nunez-Regueira et al. 2001).



Εικόνα 1: Γράφημα παραγωγής θερμότητας από βιομάζα, θέση της Ελλάδας σε παγκόσμιο επίπεδο (www.lignite.gr).

2.1.2.1. ΜΟΡΦΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα στερεά βιοκαύσιμα παρουσιάζονται εμπορικά κυρίως είτε υπό τη μορφή pellet είτε υπό τη μορφή μπριγκέτας.

Τα **pellet** είναι στερεά βιοκαύσιμα τα οποία παράγονται από κονιοποιημένη βιομάζα, με χρήση πρέσας. Φέρουν κυλινδρική μορφή με κυμαινόμενο μήκος ($L=5-40\text{mm}$) και σπασμένες άκρες (βλ. **Εικόνα 2**).

Ως καύσιμο υλικό παρουσιάζει υγρασία μικρότερη του 10% και χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε ειδικούς καυστήρες (σόμπες pellet). Με βάση την θερμαντική τους ικανότητα χονδρικά 2 κιλά pellet αντιστοιχούν ενεργειακά σε 1 λίτρο πετρελαίου (www.modernfuels.gr, ημερομηνία επίσκεψης: Ιούλιος 2014).



Εικόνα 2: Pellet από κονιοποιημένη βιομάζα.

Τα pellet ξύλου αρχικά αναπτύχθηκαν για τοπικές εφαρμογές μικρής κλίμακας. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας καταχωρήθηκε το 1976 στις ΗΠΑ, στον απόηχο της παγκόσμιας κρίσης του πετρελαίου. Οι αρχικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή τους προέρχονταν από φλοιό δέντρων και πριονίδι, τα οποία είναι υποπροϊόντα δασικών βιομηχανιών.

Στη Σουηδία και τη Φινλανδία τη δεκαετία του 1980, καθώς και σε άλλες χώρες, αν και υπήρχαν μεγάλες ποσότητες χρήσιμων υπολειμμάτων ξύλου, δεν υπήρχε ενδιαφέρον για την παραγωγή pellet. Επιπρόσθετα, με την πτώση της τιμής του πετρελαίου, το παγκόσμιο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη τεχνολογιών παρασκευής pellet, και κατά συνέπεια η αύξηση παραγωγής ενέργειας με βάση το ξύλο, παραμελήθηκε για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την κρίση των πετρελαιοβιομηχανιών.

Στη σημερινή εποχή υπάρχει αυξημένη ευαισθητοποίηση λόγω της εξάντλησης των φυσικών πόρων ορυκτού καυσίμου. Αυτό συνεπάγεται την αύξηση της τιμής του αργού πετρελαίου καθώς επίσης και της απειλής του φαινομένου του

θερμοκηπίου. Το φαινόμενο αυτό προέρχεται από την ατμοσφαιρική ρύπανση και αναγνωρίστηκε στο πρωτόκολλο του Kyoto (Oberthür S., H. Ott, 1997). Όλα τα προαναφερθέντα συνέβαλαν, μαζί με τη γενική αύξηση της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης των βιομηχανικών χωρών [ιδιαίτερα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ)] από την αρχή της δεκαετίας του 1990, στην αύξηση της εργασίας για την ανεύρεση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της αυξανόμενης παραγωγής pellet με βάση το ξύλο, για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων.

Η πρώτη μεγάλη παραγωγή pellet με βάση το ξύλο άρχισε στο Hässelby (Wahlund 2002), στη Σουηδία το 1992. Στο τέλος του 20ου αιώνα η συνολική παραγωγή pellet με βάση το ξύλο ανέρχεται σε 1.000.000 τόνους στη Σουηδία. Την ίδια χρονική περίοδο η συνολική παραγωγή της Φινλανδίας ήταν περίπου 10,000 τόνοι. Κατά συνέπεια, στη σύγχρονη εποχή υπάρχει ισχυρή παγκόσμια πρόθεση για αύξηση του συνολικού ποσοστού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το Δεκέμβριο του 2007 πραγματοποιήθηκε στο Bali ένα συνέδριο με θέμα την Κλιματική αλλαγή των ΗΠΑ, με τη συμμετοχή περισσότερων από 180 χωρών (M. Kuokkanen et al., 2009). Το συνέδριο αυτό επεσήμανε την ανάγκη για αύξηση του συνολικού ποσοστού της βιοενέργειας της Ε.Ε. στο 20% μέχρι το 2020.

Οι **μπριγκέτες** (Briquets) έχουν διατομή είτε παραλληλόγραμμου τούβλου είτε στρογγυλής ή πολύγωνης ράβδου με ή δίχως οπή στο κέντρο (βλ. **Εικόνα 3**). Οπή δε φέρουν αυτές οι οποίες είναι κατασκευασμένες από πρέσες ελαφρού τύπου και μικρής συμπίεσης.

Χρησιμοποιούνται κυρίως αντί για καυσόξυλα σε συμβατικά ή ενεργειακά τζάκια. Η θερμαντική τους ικανότητα σε σχέση με αυτά είναι περίπου 1/3, δηλαδή για κάθε τόνο μπριγκέτας αντιστοιχούν περίπου τρεις τόνοι καυσόξυλων, και παρουσιάζουν υγρασία συνήθως μικρότερη του 12% (www.hellaspellets.gr, ημερομηνία επίσκεψης: Ιούλιος 2014).



Εικόνα 3: Οι μορφές μπριγκέτων που κυκλοφορούν στο εμπόριο.

Εν συνεχεία, όσον αφορά το σκοπό της παρούσας εργασίας, θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην παραγωγή και τα χαρακτηριστικά του pellet ως υλικού.

3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν επτά διαφορετικά στάδια κατά την παραγωγική διαδικασία των pellet με πρώτη ύλη τη βιομάζα τα οποία είναι τα ακόλουθα:

3.2.1. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Ένα καλό σύστημα αποθήκευσης των πρώτων υλών είναι απαραίτητο για την διατήρηση της βιομάζας μακριά από ακαθαρσίες και την προστασία της από βροχή. Η βροχή μπορεί να αυξήσει το ποσοστό της υγρασίας της βιομάζας σε τέτοιο βαθμό, ώστε να γίνει ασύμφορη η ξήρανση της συνεπώς και η χρήση της στην παραγωγική διαδικασία. Η αυτοματοποιημένη τροφοδοσία της πρώτης ύλης από τον χώρο αποθήκευσης στον χώρο παραγωγής (π.χ. μέσω μεταφορικής ταινίας ή κοχλία) προτιμάται συχνά για την συρρίκνωση του εργατικού κόστους.

3.2.2. ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ

Το στάδιο αυτό είναι βασικό κυρίως στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται ανακυκλωμένη ή ακατέργαστη ξυλεία (π.χ. παλέτες) ως πρώτη ύλη. Έτσι πολλές μονάδες χρησιμοποιούν μηχανισμούς διαχωρισμού της ξυλείας από αδρανή υλικά (π.χ. πέτρες), ή μαγνητικούς διαχωριστήρες για τη δέσμευση μεταλλικών αντικειμένων (π.χ. καρφιά και πρόκες). Η παρουσία ακόμα και της παραμικρής ποσότητας τέτοιων προσμίξεων στο τελικό προϊόν είναι μη αποδεκτή, ενώ παράλληλα μπορεί να προκαλέσει σοβαρότατες φθορές στον εξοπλισμό της παραγωγικής διαδικασίας (σφυρόμυλος, πρέσα).

3.2.3. ΞΗΡΑΝΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η πλειοψηφία των χρησιμοποιούμενων υλικών για την παραγωγή pellet απαιτεί ξήρανση σε ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας **10-15%**, έτσι ώστε να παραχθεί ικανοποιητικής ποιότητας προϊόν. Μόνο ελάχιστα υλικά τα οποία συλλέγονται ξηρά, όπως το άχυρο, μπορούν να παρακάμψουν αυτό το στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Οι ξηραντήρες βιομάζας που χρησιμοποιούνται είναι ως επί τω πλείστον τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου (drum dryers) παρατηρούνται όμως και αρκετές αναφορές σε ξηραντήρες ζώνης (belt dryers). Το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την ξήρανση της βιομάζας είναι είτε φυσικό αέριο είτε μέρος της ίδιας της βιομάζας, με τη δεύτερη επιλογή να προτιμάται για περιβαλλοντικούς, τεχνικούς και οικονομικούς λόγους.

Σημειώνεται ότι το συγκεκριμένο στάδιο αποτελεί το πιο ενεργοβόρο της παραγωγικής διαδικασίας, ενώ συνεισφέρει στο μέγιστο βαθμό στα λειτουργικά έξοδα της μονάδας. Κατά συνέπεια, η πλειοψηφία των ερευνητικών προσπαθειών και

καινοτομιών στην παραγωγή των pellet εντοπίζεται στη διαδικασία επιτυχούς ξήρανσης της πρώτης ύλης.

3.2.4. ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ-ΑΛΕΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Προτού εισαχθεί η βιομάζα στην πρέσα πελλετοποίησης, είναι απαραίτητο να έχει αποκτήσει την κατάλληλη ομοιογένεια και κοκκομετρία. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτυγχάνονται με τη χρήση διαφόρων ειδών μηχανημάτων τεμαχισμού και άλεσης της πρώτης ύλης, όπως είναι οι σφυρόμυλοι. Το μέγεθος της τεμαχισμένης βιομάζας που πρόκειται να εισαχθεί στην πρέσα δεν είναι τυχαίο. Τα σωματίδια πρέπει να μην είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορούν να εισέρχονται μέσα από τις τρύπες του καλουπιού της πρέσας. Αντιθέτως όμως, αν είναι πολύ λεπτόκοκκη η ύλη, υπάρχει μικρότερη απόδοση μετατροπής της βιομάζας σε pellet, καθώς καθίσταται πιο δύσκολη η συσσωμάτωση των σωματιδίων.

Αφού έχουν αποκτηθεί οι απαραίτητες ιδιότητες από τη βιομάζα όσον αφορά την καθαρότητά της, την υγρασία της και τις διαστάσεις της, ακολουθεί η εισαγωγή της στον βασικό εξοπλισμό διαμόρφωσης και παραγωγής των pellet, την πρέσα.

3.2.5. ΠΕΛΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ

Στο στάδιο αυτό, η παραγωγή pellet γίνεται από την συμπίεση της κοκκοποιημένης βιομάζας σε ειδική πρέσα μέσα από τις τρύπες του ανοξείδωτου καλουπιού που φέρει, το οποίο δίνει στα pellet τη χαρακτηριστική κυλινδρική τους μορφή.

Η δυναμικότητα κάθε πρέσας pellet κυμαίνεται από μερικές δεκάδες κιλά έως μερικές δεκάδες τόνους ανά ώρα. Αντίστοιχα μεγάλη διακύμανση εμφανίζεται και στην απόδοση των διαφόρων τύπων πρέσας.

Η εφαρμογή υψηλών πιέσεων στην εισερχόμενη κοκκοποιημένη βιομάζα εξαναγκάζει το υλικό σε μια κίνηση μέσα από τις τρύπες του κυκλικού καλουπιού, με τη διάμετρο των συγκεκριμένων τρυπών να καθορίζουν, τελικά, και τη διάμετρο των παραγόμενων pellet.

Υπάρχουν δύο ειδών μηχανές που συχνά χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες των pellet: η μηχανή pellet με επίπεδη μήτρα (**Εικόνα 4**) ή με μήτρα τύπου πυρήνα (**Εικόνα 5**). Στην πρώτη περίπτωση η πίεση γίνεται μέσω μιας στρογγυλού σχήματος επίπεδης μήτρας όπου κυλιόμενη πρέσα κύλα κατά μήκος της επιφάνειάς της. Ο μηχανισμός πίεσης είναι είτε βασισμένος σε περιστρεφόμενη μήτρα και στάσιμα ράουλα, είτε σε στάσιμη μήτρα με κυλιόμενες κεφαλές ράουλων, όπου τα ράουλα τους περιστρέφονται αξονικά γύρω από τον κύριο άξονα.

Στην περίπτωση επίπεδης μήτρας η τροφοδοσία γίνεται χρησιμοποιώντας τη δύναμη της βαρύτητας. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα της σε σύγκριση με την πρέσα η οποία φέρει μήτρα τύπου πυρήνα, είναι ότι ο καθαρισμός της καθίσταται ευκολότερος.

Στον δεύτερο και πιο συνηθισμένο τύπο μηχανής pellet η πίεση γίνεται με πρέσα μήτρας-πυρήνα. Ο μηχανισμός πίεσης pellet είναι βασισμένος σε στατική μήτρα-πυρήνα και περιστρεφόμενα ράουλα μέσα στο εσωτερικό του κύκλου ή στατικά περιστρεφόμενη μήτρα πυρήνα με ταυτόχρονη περιστροφή στατικής αξονικής περιστροφικής πρέσας.

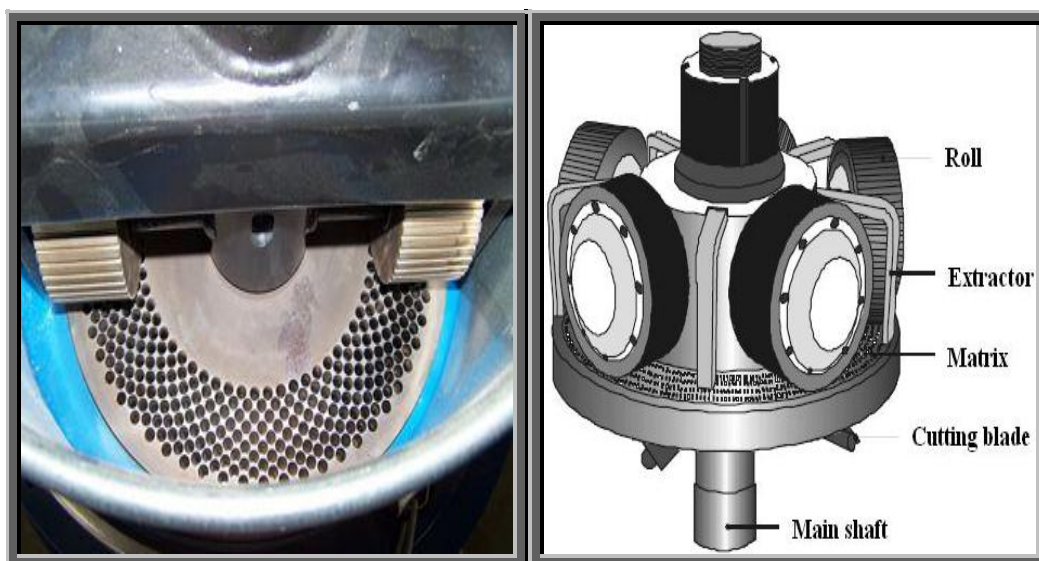
Χρησιμοποιώντας τη μήτρα τύπου πυρήνα το ποσό της τροφοδοσίας της πρώτης ύλης μαζί με το δεσμευτικό μηχανισμό είναι οι δύο πιο καθοριστικοί παράγοντες για την επίτευξη υψηλής απόδοσης και μικρής-ομοιόμορφης φθοράς της μήτρας. Μιλώντας λοιπόν για τα θετικά αποτελέσματα και τις ιδιότητες των υλικών του ξύλου στη διαδικασία σφαιροποίησης, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια αυτού του βήματος η πίεση αυξάνεται πολύ σημαντικά (μέχρι και άνω των 20 MPa). Την ίδια χρονική στιγμή αυξάνονται οι τριβές μεταξύ των κόκκων της βιομάζας με άμεση συνέπεια την άνοδο της θερμοκρασίας της (μέχρι και άνω των 100°C). Ως αποτέλεσμα των εν λόγω σωματικών αλλαγών η πυκνότητα του υλικού αυξάνεται, η υγρασία της βιομάζας μειώνεται και η λιγνίνη του ξύλου (μία εκ των τριών βασικών ομάδων ενώσεων της βιομάζας μαζί με την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες), η οποία δρα σαν συγκολλητική ουσία μεταξύ των σωματιδίων της βιομάζας, μαλακώνει προσωρινά, αλλά μετά τη διαδικασία πελετταρίσματος στερεοποιείται ξανά.

Η ρύθμιση της κατάλληλης θερμοκρασίας για να γίνει αυτό επιτυγχάνεται μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού του καλουπιού, το οποίο θα πρέπει να δημιουργεί το απαιτούμενο επίπεδο αντίστασης στη ροή των σωματιδίων βιομάζας ώστε να αναπτυχθούν οι επιθυμητές πιέσεις, συνεπώς και οι ανάλογες θερμοκρασίες. Σε περίπτωση που οι τρύπες του καλουπιού είναι μεγαλύτερες από όσο πρέπει, το υλικό διαφεύγει εύκολα μέσα από αυτές και δεν αναπτύσσονται ικανές πιέσεις-θερμοκρασίες για την παραγωγή ενός συμπαγούς προϊόντος δίχως θρύμματα. Η ύπαρξη βέβαια, πολύ μικρών οπών στα καλούπια οδηγεί στην απότομη αύξηση της θερμοκρασίας, τη μερική πυρόλυση (ατελή καύση) ορισμένων σωματιδίων και εν τέλει την παραγωγή υποβαθμισμένης ποιότητας τελικού προϊόντος.

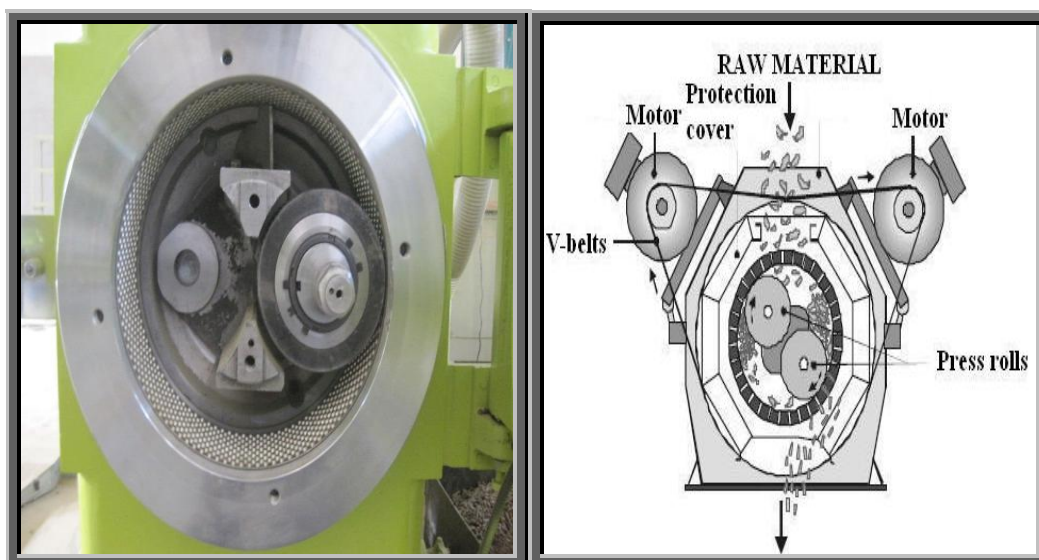
Το στάδιο της πελλετοποίησης είναι η μόνη φάση της παραγωγικής διαδικασίας των pellet στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθούν και πρόσθετες ενώσεις. Πιο συγκεκριμένα, για την ενίσχυση της συνεκτικότητας των pellet προστίθεται μερικές φορές κάποιο φυσικό συγκολλητικό, όπως το άμυλο.

Η χρήση ή μη των φυσικών προσθέτων εξαρτάται βασικά από την ποιοτική σύσταση της πρώτης ύλης, δηλαδή από την αναλογία της λιγνίνης ως προς την κυτταρίνη, τις ημικυτταρίνες και την τέφρα του υλικού. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα προσθέτων στο τελικό προϊόν καθορίζεται βάσει των διεθνών προτύπων ποιότητας.

Με κατάλληλο σχεδιασμό του καλουπιού της πρέσας και προσεκτικό έλεγχο ολόκληρης της διεργασίας, τα pellet εξέρχονται από την πρέσα με σχετική περιεχόμενη υγρασία μικρότερη του 10%, πυκνότητα μεγαλύτερη των 600 kg/m³ και θερμογόνο δύναμη που υπερβαίνει τις 4,7 kWh/kg (M. Kuokkanen et al., 2009)



Εικόνα 4: Μηχανή pellet με επίπεδη μήτρα.



Εικόνα 5: Μηχανή pellet με μήτρα τύπου πυρήνα.

3.2.6. ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ ΤΩΝ PELLEΤ

Στη συνέχεια, τα pellet που εξέρχονται από την πρέσα είναι πολύ μαλακά και θερμά (70-90°C) για να μπορούν να αποθηκευτούν και συσκευαστούν ως έχουν. Κατά συνέπεια αφήνονται να ψυχθούν στον ατμοσφαιρικό αέρα μέσω ταινίας μεταφοράς, ώστε να σταθεροποιηθεί η λιγνίνη ως συγκολλητικό μέσο των ινών της κυτταρίνης.

Αφού ψυχθούν και αποκτήσουν την επιθυμητή σκληρότητα, τα pellet διέρχονται από βιομηχανικά κόσκινα από όπου διαχωρίζονται από τις σκόνες και τα θρύμματα. Σημειώνεται δε, ότι η παρουσία θρυμμάτων στο τελικό προϊόν, μπορεί να το θέσει εκτός προδιαγραφών και να δυσχεράνει την απορρόφησή του από την αγορά. Τα διαχωρισμένα θρύμματα ανακυκλώνονται με στόχο την ελάχιστη απώλεια βιομάζας και την μέγιστη συνολική απόδοση της διεργασίας.

3.2.7. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΩΝ PELLEΤ

Τελικά, καθώς τα pellet αποτελούν υψηλής ποιότητας καύσιμο, οι κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσής τους είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της ποιότητάς τους. Η αποθήκευσή τους σε τυποποιημένες σακούλες σταθερού βάρους από όπου προστατεύονται από τις ακαθαρσίες του περιβάλλοντος και από την υγρασία είναι συνήθως πρακτική, ιδίως όταν οι κύριοι καταναλωτές είναι μικροί οικιακοί χρήστες. Σε περίπτωση χύδην αποθήκευσης, είναι και πάλι σκόπιμο να τοποθετηθούν είτε σε container ή σε σιλό, ομοίως για να προστατευτούν από την υγρασία και τις ακαθαρσίες.

Είναι λογικό λοιπόν το συμπέρασμα, ότι όλα τα παραπάνω επιμέρους στάδια για την παραγωγή των pellet καταναλώνουν σημαντική ηλεκτρική ενέργεια. Εντούτοις, η περιβαλλοντική διάσταση τους δεν μπορεί να καταρριφθεί και υπολογίζεται ότι, οι ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή των pellet αντιστοιχούν σε λιγότερο από το 22% του ενεργειακού τους περιεχομένου, δίνοντας στα pellet θετικό ενεργειακό πρόσημο (www.biomassenergy.gr, ημερομηνία επίσκεψης: Ιούλιος 2014).

3.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν οι βασικότερες ιδιότητες που αφορούν τα pellet. Επειδή το pellet αποτελείται κατά κόρον από ξυλώδη και γενικότερα ινώδη βιομάζα, οι ιδιότητες του ως υλικού είναι όμοιες με αυτές του ξύλου. Ο ακόλουθος πίνακας αναφέρει τα πρότυπα με τα οποία προσδιορίζεται κάθε ιδιότητα στο pellet.

Πίνακας 1: Πρότυπα προσδιορισμού ιδιοτήτων.

<i>Ιδιότητες</i>	<i>Πρότυπα</i>
Υγρασία	EN 14774-1
Τέφρα	EN14775
Μηχανική αντοχή	EN15210-1
Ποσοστό σκόνης	EN15149-1
Πυκνότητα	EN15103
Θερμидική ενέργεια	EN14918
Τήξη τέφρας	EN15370-1
Περιεκτικότητα σε θείο	EN 15289
Περιεκτικότητα σε άζωτο	EN 15104
Περιεκτικότητα σε χλώριο	EN 15289

3.3.1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

3.3.1.1. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

Οι διαστάσεις των pellet επηρεάζουν την συμβατότητα τους με τους καυστήρες και τον εξοπλισμό αποθήκευσης και διακίνησης. Σύμφωνα με το πρότυπο **EN14961-1**, πρέπει να έχουν διάμετρο $d=6\pm1$ mm και το μήκος τους να κυμαίνεται ανάμεσα σε $3,15 \leq L \leq 40$ mm.

3.3.1.2. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Η πυκνότητα των σωματιδίων του καυσίμου επηρεάζει την θερμική αγωγιμότητα του, ως εκ τούτου και το χρόνο ανάφλεξής του (Anderson 1970, Rothermel 1972). Συμβολίζεται με τα γράμματα «BD», εκφράζεται σε kg/m^3 και προσδιορίζεται σύμφωνα με το πρότυπο **EN15103** με την ακόλουθη διαδικασία:

Τα pellet ξύλου χύνονται από ύψος 200 έως 300 mm μέσα σε κύλινδρο μετρήσεων, όγκου πέντε λίτρων και καθορισμένης αναλογίας διαμέτρου-ύψους, μέχρις ότου αυτός γεμίσει. Στη συνέχεια ο κύλινδρος αφήνεται να πέσει τρεις φορές από ύψος 150 mm πάνω σε μία σκληρή επιφάνεια προκειμένου να διαταραχθούν. Έπειτα το πλεονάζον υλικό απομακρύνεται σύροντας ένα αντικείμενο με επίπεδη επιφάνεια κατά μήκος του χείλους του κυλίνδρου και ακολούθως προσδιορίζεται η μάζα των pellet στον κύλινδρο. Στη συνέχεια, το υλικό του δείγματος αναμιγνύεται με τα υπόλοιπα pellet ξύλου πριν από την επανάληψη της διαδικασίας και

υπολογίζεται ο μέσος όρος από τα αποτελέσματα των δύο μετρήσεων. Η πυκνότητα προσδιορίζεται με τον ακόλουθο τύπο.

$$BD = \frac{(m_2 - m_1)}{V}$$

όπου:

m1: μάζα άδειου δοχείου [g]

m2: μάζα γεμάτου δοχείου [g]

V: ο καθαρός όγκος του κυλίνδρου μέτρησης [m³]

3.3.13. ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΚΟΝΗΣ

Το ποσοστό σκόνης (υλικό με διαστάσεις <3,15mm) συμβολίζεται με το γράμμα «F» και εκφράζεται σε κατά βάρος % ποσοστό, ενώ προσδιορίζεται μετά την παραγωγή, όταν φορτωθεί ή αφού συσκευαστεί.

Το μέγεθος του ποσοστού σκόνης μιας ποσότητας pellet καθορίζει και την ποιότητα του, διότι προκαλεί δυσκολία κατά την μεταφορά (νέφος σκόνης) καθώς μπορεί να υπάρξει και απώλεια υλικού από τη συσκευασία.

Σύμφωνα με το πρότυπο **ISO3310-1**, το εν λόγω χαρακτηριστικό καθορίζεται από δείγμα μάζας περίπου m=1,2kg. Στη συνέχεια, το ποσό της σκόνης του υλικού διαχωρίζεται με κόσκινο ανοίγματος 3,15 mm. Όταν το κοσκίνισμα γίνεται με το χέρι, σύμφωνα με το πρότυπο **EN15210-1**, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα έτσι ώστε, αφενός όλα τα λεπτά σωματίδια να διαχωριστούν, αφετέρου να μην υπάρξουν νέες μορφές σκόνης μέσω αυτής της μηχανικής καταπόνησης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ανακίνηση του δείγματος με 5 έως 10 κυκλικές κινήσεις χρησιμοποιώντας ένα κόσκινο διαμέτρου d=40cm. Τέλος τα κοσκινισμένα σωματίδια ζυγίζονται, η ποσότητα λεπτού υλικού (F) μετριέται σε εκατοστιαία αναλογία και υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο.

$$F = \frac{mA}{mE} \times 100$$

όπου:

mE: μάζα των προ-κοσκινισμένων pellet ξύλου πριν από τη διαδικασία χειρισμού [g]

mA: μάζα των κοσκινισμένων pellet ξύλου μετά τη διαδικασία χειρισμού [g]

3.3.14. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η μηχανική αντοχή είναι μια εξίσου σημαντική ιδιότητα του pellet διότι από αυτήν εξαρτάται και το μέγεθος του ποσοστού της σκόνης. Δηλαδή, τα pellet με μικρή μηχανική αντοχή παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά σκόνης. Βάσει του προτύπου **EN15210-1**, η μηχανική αντοχή συμβολίζεται με τα γράμματα «DU» και εκφράζεται ως το ποσοστό βάρους των pellet μετά από δοκιμή. Δύο επιμέρους δείγματα που προέρχονται από κοσκινισμένα pellet, μάζας $m=500\pm 10\text{g}$ αντίστοιχα, ζυγίζονται και τοποθετούνται διαδοχικά εντός του θαλάμου δοκιμής της συσκευής μέτρησης, η οποία περιστρέφεται με 50 ± 2 στροφές ανά λεπτό. Μετά από 500 περιστροφές, το τύμπανο αδειάζεται και το λεπτό υλικό κοσκινίζεται ξανά. Στη συνέχεια, τα άθικτα σωματίδια ξύλου ζυγίζονται και υπολογίζεται η μηχανική αντοχή με τον ακόλουθο τύπο.

$$DU = \frac{mA}{mE} \times 100$$

όπου:

DU: μηχανική αντοχή. [%]

mE: μάζα των προ-κοσκινισμένων pellet ξύλου πριν από τη διαδικασία χειρισμού. [g]

mA: μάζα των κοσκινισμένων pellet ξύλου μετά τη διαδικασία χειρισμού. [g]

Τέλος, υπολογίζεται ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων των δύο επιμέρους δειγμάτων.

3.3.15. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Η περιεκτικότητα σε υγρασία ορίζεται ως η ποσότητα νερού που βρίσκεται στη βιομάζα και εκφράζεται σε κατά βάρος % ποσοστό. Η περιεχόμενη υγρασία επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του pellet, διότι μέρος της θερμογόνου δύναμης του καταναλώνεται στην εξάτμιση αυτής της υγρασίας, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η θερμική του ικανότητα. Σύμφωνα με το πρότυπο **EN14774**, η περιεχόμενη υγρασία των βιοκαυσίμων προσδιορίζεται με τις παρακάτω μεθόδους:

1η μέθοδος (EN14774-1)

Στην μέθοδο αυτή ζυγίζεται ένας καθαρός δίσκος για την ξήρανση με ανάλυση 0,1g (ενός δεκαδικού ψηφίου), στη συνέχεια μεταφέρονται τουλάχιστον 300g δείγματος από τη σακούλα ή το δοχείο στο δίσκο και κατανέμεται ομοιόμορφα με αναλογία περίπου 1cm^2 επιφάνειας για 1g δείγματος. Έπειτα ζυγίζεται ένας πανομοιότυπος καθαρός άδειος δίσκος (δίσκος αναφοράς) με ακρίβεια 0,1g, ο οποίος περιλαμβάνεται στη διαδικασία για την διόρθωση της άνωσης*.

Σε περίπτωση που διαφύγει υγρασία στα εσωτερικά τοιχώματα της σακούλας αυτό το ποσό θα περιληφθεί στον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας.

Ακολούθως τοποθετείται ο φορτωμένος δίσκος μαζί με το δίσκο αναφοράς σε ελεγχόμενο φούρνο σε θερμοκρασία $105\pm 2^\circ\text{C}$ και θερμαίνονται μέχρι να σταθεροποιηθεί η μάζα τους.

Επειδή τα στερεά βιοκαύσιμα είναι υγροσκοπικά, ο φορέας με το δείγμα θα πρέπει να επαναζυγίζονται με ακρίβεια 0.1g μέσα σε χρονικό διάστημα 10-15 λεπτών όσο είναι ακόμη ζεστά, για να αποφευχθεί η μέτρηση της απορρόφησης της υγρασίας.

Ως σταθερή μάζα ορίζεται η μάζα όταν η μεταβολή δεν ξεπερνά το 0.2% του συνόλου που χάθηκε κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, σε φούρνο περιόδου άνω των 60 λεπτών.

Ο χρόνος για την ξήρανση που απαιτείται εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων του δείγματος, τον βαθμό με τον οποίο αλλάζει η ατμόσφαιρα στον φούρνο και το πάχος της στρώσης του δείγματος. Η συνολική περιεχόμενη υγρασία του υγρού βάρους υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (σχέση 1) και η συσχέτιση της συνολικής υγρασίας υγρού και ξηρού βάρους δίνεται με τους τύπους (σχέση 3), (σχέση 4).

**Άνωση θεωρείται η ανοδική πορεία του θερμού αέρα, που παρατηρείται όταν τα αντικείμενα προς ζύγιση είναι θερμά, με αποτέλεσμα την προσωρινή μείωση του βάρους τους που παρουσιάζεται έως ότου ψυχθούν.*

Περιεχόμενη υγρασία υγρού βάρους

Η περιεχόμενη υγρασία M_{ar} του βιοκαυσίμου όπως παράγεται εκφράζεται ως το ποσοστό της μάζας και υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$(σχέση\ 1) \quad M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) - (m_4 - m_5) + m_6}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

Όπου:

M1: μάζα σε γραμμάρια του άδειου δίσκου. [g]

M2: μάζα σε γραμμάρια του δίσκου και του δείγματος πριν την ξήρανση. [g]

M3: μάζα σε γραμμάρια του δίσκου και του δείγματος μετά την ξήρανση. [g]

M4: μάζα σε γραμμάρια του δίσκου αναφοράς πριν την ξήρανση (βάρος σε θερμοκρασία δωματίου). [g]

M5: μάζα σε γραμμάρια του δίσκου αναφοράς μετά την ξήρανση (βάρος όσο είναι ακόμη ζεστό). [g]

M6: μάζα σε γραμμάρια της υγρασίας της συσκευασίας. [g]

Το αποτέλεσμα θα υπολογιστεί σε δύο δεκαδικά ψηφία τα οποία θα στρογγυλοποιηθούν στο 1^ο δεκαδικό ψηφίο.

Εάν το δείγμα έχει προ-ξηραθεί πριν προσδιοριστεί η υγρασία, η συνολική υγρασία εκφράζεται ως το ποσοστό της μάζας που δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$(σχέση\ 2) \quad M_T = M_p + M_r \times (1 - M_p / 100)$$

Όπου:

M_p: είναι η υγρασία που χάνεται στην προ-ξηρανση, η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό της μάζας του αρχικού δείγματος. [%]

M_r: είναι η υπόλοιπη υγρασία, η οποία εκφράζεται σαν το % ποσοστό της μάζας του προ-ξηραμένου δείγματος που καθορίζεται από αυτή τη διαδικασία. [%]

Περιεχόμενη υγρασία ξηρού βάρους

Η περιεχόμενη υγρασία ξηρού βάρους υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους τύπους:

$$(σχέση\ 3) \quad M_{ar} = \frac{U_d}{100 + U_d} \times 100$$

$$(σχέση\ 4) \quad U_d = \frac{M_{ar}}{100 - M_{ar}} \times 100$$

2η μέθοδος (EN14774-2)

Στην παρούσα μέθοδο ζυγίζεται καθαρός δίσκος ξήρανσης με ακρίβεια 0,1g και μεταφέρεται το δείγμα από το φορέα (π.χ. νάιλον σακούλα) στο δίσκο.

Σε περίπτωση όπου η υγρασία διαφύγει στα εσωτερικά τοιχώματα του φορέα, το ποσοστό αυτό θα συμπεριληφθεί στον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας. Έπειτα ξηραίνεται ο φορέας του δείγματος σε φούρνο και ζυγίζεται με ακρίβεια πριν και μετά την ξήρανση. Εάν ο φορέας είναι ευάλωτος στους 105°C, ξηραίνεται ανοιχτός σε θερμοκρασία δωματίου. Ως εναλλακτική λύση για μερικούς τύπους καυσίμων που απορροφούν ξανά υγρασία, επιτρέπεται η σακούλα ή ο φορέας μαζί με το δείγμα που περιέχει, να ανακινηθούν ώστε η περιεχόμενη υγρασία να απορροφηθεί ξανά πλήρως στο δείγμα. Στη συνέχεια ζυγίζεται το ξηρό βάρος του δίσκου με το δείγμα και τοποθετείται σε φούρνο σε θερμοκρασία 105±2°C μέχρι να σταθεροποιηθεί η μάζα τους.

Τα στερεά βιοκαύσιμα είναι υγροσκοπικά, γι' αυτό ο φορέας με το δείγμα θα πρέπει να επαναζυγίζονται μέσα σε διάστημα 10-15 λεπτών όσο είναι ακόμη θερμά, για να αποφευχθεί η μέτρηση της απορρόφησης της υγρασίας. Ως σταθερή μάζα ορίζεται όταν η μεταβολή δεν ξεπερνά το 0.2% της συνολικής μάζας που χάθηκε, κατά τη διάρκεια ξήρανσης σε φούρνο περιόδου άνω των 60 λεπτών. Ο χρόνος για την ξήρανση που απαιτείται εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων του δείγματος, τον βαθμό με τον οποίο αλλάζει η ατμόσφαιρα στον φούρνο και το πάχος της στρώσης του δείγματος. Για να αποφευχθούν οι ανεπιθύμητες απώλειες πτητικών ενώσεων, ο χρόνος ξήρανσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις 24 ώρες. Η περιεχόμενη υγρασία M_{ar} του βιοκαυσίμου όπως παράγεται εκφράζεται ως % ποσοστό της μάζας και υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

Όπου:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

m1: μάζα σε γραμμάρια του άδειου δίσκου. [g]

m2: μάζα σε γραμμάρια του δίσκου και του δείγματος πριν την ξήρανση. [g]

m3: μάζα σε γραμμάρια του δίσκου και του δείγματος μετά την ξήρανση. [g]

m4: μάζα σε γραμμάρια της υγρασίας του φορέα. [g]

Το αποτέλεσμα υπολογίζεται με δυο δεκαδικά ψηφία και στρογγυλοποιείται στο 1° δεκαδικό ψηφίο.

3η μέθοδος (EN14774-3)

Στην μέθοδο αυτή απαιτούνται τουλάχιστον δύο προσδιορισμοί που θα πρέπει να διενεργούνται στο δείγμα. Ξηραίνεται άδειος δίσκος ζύγισης με το καπάκι του σε θερμοκρασία $105 \pm 2^\circ\text{C}$ μέχρις ότου να σταθεροποιηθεί η μάζα του και ψύχεται σε ξηραντήρα σε θερμοκρασία δωματίου. Στη συνέχεια αφού ο δίσκος πρωτίστως ζυγιστεί μαζί με το καπάκι, πληρώνεται με τουλάχιστον 300 g δείγματος και μαζί θερμαίνονται μέχρι σταθερής μάζας.

Μετά το πέρας της ξήρανσης επανατοποθετείται το καπάκι στο δίσκο όσο βρίσκεται ακόμη στο φούρνο, έπειτα μεταφέρονται σε ξηραντήρα και αφού ισορροπήσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με ερμητικά κλειστό καπάκι, ζυγίζονται με ακρίβεια 0.1g. Κάθε προσδιορισμός περιεχόμενης υγρασίας στην ανάλυση δείγματος εκφράζεται ως % ποσοστό μάζας και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

Όπου:

m1: Η μάζα του άδειου δίσκου με το καπάκι. [g]

m2: Η μάζα του δίσκου με το καπάκι και το δείγμα πριν τη ξήρανση. [g]

m3: Η μάζα του δίσκου με το καπάκι το δείγμα μετά την ξήρανση. [g]

Το αποτέλεσμα υπολογίζεται σε δυο δεκαδικά ψηφία και στρογγυλοποιείται στο 1^ο δεκαδικό ψηφίο.

3.3.2. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

3.3.2.1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΔΙΚΗ ΑΞΙΑ

Ως περιεχόμενη θερμιδική αξία (ή θερμογόνος δύναμη ή θερμική ενέργεια) του καυσίμου ορίζεται το μέτρο της δύναμης της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης του (Sussot et al., 1975; Shafizadeh et al., 1977) και εκφράζεται σε MJ/kg ή kWh/kg ή cal/g.

Η θερμιδική αξία διακρίνεται σε δύο είδη τιμών θέρμανσης: α) την ανωτέρα θερμογόνο δύναμη (HHV), η οποία εκφράζει το ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται από την πλήρη καύση της μάζας του δείγματος σε ατμόσφαιρα οξυγόνου με σταθερό όγκο και β) την κατωτέρα θερμογόνο δύναμη (LHV), η οποία μπορεί να υπολογιστεί αν υποθεθεί ότι το νερό στα προϊόντα παραμένει σε αέρια μορφή (L. Nunez-Regueira et al., 2001). Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης θερμιδικής αξίας θρυμματίζεται ολόκληρη η ποσότητα του δείγματος και έπειτα από καλή ανάδευση λαμβάνεται $1 \pm 0,1$ g σκόνης και δημιουργείται pellet υπό μεγάλη πίεση με χρήση πρέσας. Επιπρόσθετα με τη χρήση θερμιδομετρητή γίνεται πλήρης καύση του pellet και λαμβάνουμε την τιμή θερμιδικής αξίας από την οθόνη του.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται τουλάχιστον 3 φορές και υπολογίζεται ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων.

3.3.2.2. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

Με τον όρο τέφρα ορίζεται η μάζα των ανόργανων υπολειμμάτων που απομένουν μετά την καύση υπό καθορισμένες συνθήκες και εκφράζεται ως % ποσοστό μάζας επί της ξηρής βάσης.

Η τέφρα μειώνει την ποσότητα της καύσιμης μάζας, εφόσον μόνο το οργανικό τμήμα του καυσίμου υποστηρίζει την καύση. Η ορυκτή τέφρα είναι σημαντική στα πρώτα στάδια της πυρόλυσης, επειδή καταλύει τις αντιδράσεις της καύσης, μειώνοντας έτσι τα εύφλεκτα αέρια που δημιουργούνται (Mutch and Philpot, 1970; Philpot, 1970).

Σύμφωνα με το πρότυπο **EN14775** η περιεχόμενη τέφρα των βιοκαυσίμων προσδιορίζεται με την παρακάτω μέθοδο.

Μέθοδος (EN14775)

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης τέφρας θερμαίνεται άδεια κάψα πορσελάνης σε κλίβανο σε θερμοκρασία $550 \pm 10^\circ\text{C}$ για περίπου 60 λεπτά. Στη συνέχεια τοποθετείται σε ένα πυρίμαχο πιάτο και αφήνεται για χρονικό διάστημα 5-10 λεπτών. Έπειτα μεταφέρεται σε ξηραντήρα χωρίς μέσο ξήρανσης για να ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ακολούθως ζυγίζεται με ακρίβεια 0,1mg και καταγράφεται η μάζα της.

Στη συνέχεια τοποθετούνται $1 \pm 0,1$ g δείγματος στην κάψα πορσελάνης και θερμαίνονται στον κλίβανο σύμφωνα με την ακόλουθη ρουτίνα θέρμανσης:

Η θερμοκρασία του κλιβάνου αυξάνεται στους 250 °C για περίοδο μεγαλύτερη των 50 λεπτών (ρυθμός αύξησης 5°C /λεπτό) και παραμένει σε αυτή τη θερμοκρασία για 60 λεπτά με σκοπό την απομάκρυνση των πτητικών ενώσεων πριν την ανάφλεξη.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του κλιβάνου αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό σε θερμοκρασία 550±10°C και διατηρείται σε αυτήν την θερμοκρασία για τουλάχιστον 120 λεπτά. Έπειτα αφαιρείται η κάψα πορσελάνης με το περιεχόμενο από τον κλίβανο επιτρέποντας τα να ψυχθούν σε πυρίμαχο πιάτο για 5-10 λεπτά στη συνέχεια μεταφέρονται σε ξηραντήρα δίχως μέσο ξήρανσης έτσι ώστε να ισορροπήσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με το καπάκι ερμητικά κλειστό.

Αμέσως μόλις κλιματιστούν σε θερμοκρασία εργαστηρίου ο δίσκος με την τέφρα ζυγίζονται με ακρίβεια. Η περιεχομένη τέφρα ξηρής βάσης του δείγματος «Ad», εκφράζεται ως το ποσοστό της μάζας της ξηρής βάσης και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

όπου:

m1: η μάζα σε γραμμάρια του άδειου δίσκου. [g]

M2: η μάζα σε γραμμάρια του δίσκου με το δείγμα. [g]

M3: η μάζα σε γραμμάρια του δίσκου με τη τέφρα. [g]

Mad: η % περιεχόμενη υγρασία του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό. [%]

Τα αποτελέσματα αναφέρονται ως ο μέσος όρος των προσδιορισμών που αναπαράχθηκαν και στρογγυλοποιούνται στο 1^ο δεκαδικό.

3.3.2.3. ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Τα πρόσθετα εκφράζονται ως το ποσοστό του βάρους επί της σύμπτυκτης μάζας (π.χ. πρόσθετα τύπου πιεστικών ενισχύσεων, πρόσθετα ροής κ.τ.λ.).

3.3.2.4. ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΕΦΡΑΣ ΣΕ ΑΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το θείο(S) υπολογίζεται μέσω της μεθόδου **EN15289**, το άζωτο(N) υπολογίζεται μέσω της **EN15104** και το χλώριο(CL) μέσω της **EN15289**.

3.3.2.5. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

Εκφράζεται σε °C με το σύμβολο «DT» και υπολογίζεται με βάση το πρότυπο **EN15370-1**.

3.4. ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ

Στους ακόλουθους πίνακες καταγράφονται αναλυτικότερα οι κατηγορίες, στις οποίες ταξινομούνται τα pellet, βάσει του προτύπου **EN14961-2** ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε ιδιότητάς τους:

Πίνακας 2: Κλάσεις διαστάσεων.

Διαστάσεις		
Κατηγορίες	Διάμετρος	Μήκος
D06	6mm±1mm	3,15≤L≤40mm
D08	8mm±1mm	3,15≤L≤40mm
D10	10mm±1mm	3,15≤L≤40mm
D12	12mm±1mm	3,15≤L≤50mm
D25	25mm±1mm	10≤L≤50mm

Πίνακας 3: Κατηγορίες χλώριου.

Χλώριο, CL (%ποσοστό ξηρού βάρους)	
Κατηγορίες	Χλώριο
Cl0.02	≤ 0,02 %
Cl0.03	≤ 0,03 %
Cl0.07	≤ 0,07 %
Cl0.10	≤ 0,10 %
Cl0.10+	> 0,10 %

Πίνακας 4: Κατηγορίες τέφρας.

Περιεχόμενη τέφρα, A (%ποσοστό ξηρού βάρους)	
Κατηγορίες	Τέφρα
A0,5	≤0,5%
A0,7	≤0,7%
A1,0	≤1,0%
A1,5	≤1,5%
A2,0	≤2,0%
A3,0	≤3,0%
A5,0	≤5,0%
A7,0	≤7,0%
A10,0	≤10,0%
A10,0+	≤10,0%

Πίνακας 5: Κατηγορίες μηχανικής αντοχής.

Μηχανική αντοχή, DU (%ποσοστό pellet μετά τη δοκιμή)	
Κατηγορίες	Μηχανική αντοχή
DU97,5	≥97,5%
DU96,5	≥96,5%
DU95,0	≥95,0%
DU95,0-	<95,0%(ελάχιστη τιμή)

Πίνακας 6: Κατηγορίες ποσοστού σκόνης.

Ποσοστό σκόνης, F (%ποσοστό βάρους σωματιδίων<3,15mm)	
Κατηγορίες	Ποσοστό σκόνης
F1,0	≤1,0%
F2,0	≤2,0%
F3,0	≤3,0%
F5,0	≤5,0%
F5,0+	>5,0%(μέγιστη τιμή)

Πίνακας 7: Κατηγορίες πυκνότητας.

Πυκνότητα, BD (μονάδα kg ανά m³)	
Κατηγορίες	Πυκνότητα
BD550	≥550kg/m³
BD600	≥600kg/m³
BD650	≥650kg/m³
BD700	≥700kg/m³
BD700+	>700kg/m³(ελάχιστη τιμή)

Πίνακας 8: Κατηγορίες υγρασίας.

Περιεχόμενη υγρασία, M (%ποσοστό ξηρού βάρους)	
Κατηγορίες	υγρασία
M10	≤10%
M15	≤15%

Πίνακας 9: Κατηγορίες θείου.

Θείο, S (%ποσοστό ξηρού βάρους)	
Κατηγορίες	Θείο
S0.02	≤ 0,02 %
S0.05	≤ 0,05 %
S0.08	≤ 0,08 %
S0.10	≤ 0,10 %
S0.20	≤ 0,20 %
S0.20	> 0,20 % (μέγιστη τιμή)

Πίνακας 10: Κατηγορίες αζώτου.

Αζωτο, N (%ποσοστό ξηρού βάρους)	
Κατηγορίες	Αζωτο
N0.3	≤ 0,3 %
N0.5	≤0,5 %
N1.0	≤ 1,0 %
N2.0	≤2,0 %
N3.0	≤3,0 %
N3.0+	> 3,0 % (μέγιστη τιμή)

Ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν τα pellet, τα οποία προορίζονται για μη βιομηχανική χρήση, βάσει του προτύπου EN14961-2 ταξινομούνται σε τρεις διαφορετικές κλάσεις (A1, A2, και B), όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 11: Κλάσεις ποιοτικής κατάταξης των pellet.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	A1	A2	B
Υλικό πρώτων υλών	στρογγυλή ξυλεία, χημικά ακατέργαστα κατάλοιπα ξύλου	Ολόκληρα δέντρα χωρίς ρίζες, στρογγυλή ξυλεία, υπολείμματα υλοτομίας, Φλοιός, χημική επεξεργασία υπολειμμάτων ξύλου	Δάση, φυτείες και άλλα πρωτογενή προϊόντα και υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου
Διάμετρος, μήκος (mm)	D06, 6 ± 1 $3,15 \leq L \leq 40$ D08, 8 ± 1 $3,15 \leq L \leq 40$	D06, 6 ± 1 $3,15 \leq L \leq 40$ D08, 8 ± 1 $3,15 \leq L \leq 40$	D06, 6 ± 1 $3,15 \leq L \leq 40$ D08, 8 ± 1 $3,15 \leq L \leq 40$
Υγρασία (w-%)	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$
Τέφρα (w-%)	$A0.7 \leq 0,7$	$A1.5 \leq 1,5$	$A3.5 \leq 3,5$
Μηχανική αντοχή (w-%)	$DU97.5 \geq 97,5$	$DU97.5 \geq 97,5$	$DU96.5 \geq 96,5$
Ποσοστό σκόνης (w-%)	$F1.0 \leq 1,0$	$F1.0 \leq 1,0$	$F1.0 \leq 1,0$
Πρόσθετα (w-%)	$\leq 2 \text{ w-%}$	$\leq 2 \text{ w-%}$	$\leq 2 \text{ w-%}$
Θερμιδική αξία (Cal/g)*	$3940.40 \leq Q \leq 4538.07$	$3893.19 \leq Q \leq 4538.07$	$3821.53 \leq Q \leq 4538.07$
Πυκνότητα (kg/m³)	$BD600 \geq 600$	$BD600 \geq 600$	$BD600 \geq 600$
Περιεχόμενο Νίτρο (w-%)	$N0.3 \leq 0,3$	$N0.5 \leq 0,5$	$N1.0 \leq 1,0$
Περιεχόμενο Θείο (w-%)	$S0.03 \leq 0,03$	$S0.03 \leq 0,03$	$S0.04 \leq 0,04$
Περιεχόμενο Χλώριο (w-%)	$Cl0.02 \leq 0,02$	$Cl0.02 \leq 0,02$	$Cl0.03 \leq 0,03$
Περιεχόμενο Αρσενικό (mg/kg)	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Περιεχόμενο Κάδμιο (mg/kg)	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Περιεχόμενο Χρώμιο (mg/kg)	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Περιεχόμενο αργύρου (mg/kg)	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Περιεχόμενο μολύβδου (mg/kg)	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Περιεχόμενο υδραργύρου (mg/kg)	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$
Περιεχόμενο νικελίου (mg/kg)	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Περιεχόμενο ψευδαργύρου (mg/kg)	≤ 100	≤ 100	≤ 100

*Οι μονάδες της θερμιδικής αξίας στον πίνακα μετατράπηκαν από MJ/kg σε cal/g με πρόγραμμα μετατροπής μονάδων (<http://www.cleavebooks.co.uk/scol/ccshcapm.htm>, ημερομηνία επίσκεψης: Νοέμβριος 2014).

4. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά των pellet που διακινούνται στο ελληνικό εμπόριο και να αξιολογηθεί η ποιότητα τους σύμφωνα με τις ισχύουσες ευρωπαϊκές προδιαγραφές.

4.1. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1.1. ΥΛΙΚΑ

Για την πραγματοποίηση της παρούσας έρευνας κατά τη διάρκεια της εαρινής περιόδου του 2014 ελήφθησαν συνολικά δέκα δείγματα pellet διαφορετικών προελεύσεων, από δέκα αντίστοιχα καταστήματα της Χαλκίδας και της Καρδίτσας. Τα προαναφερθέντα δείγματα φυλάχτηκαν, διατηρήθηκαν και μεταφέρθηκαν από τα καταστήματα στο εργαστήριο μέσα σε νάιλον σακούλες, με σκοπό τη διατήρηση των ιδιοτήτων τους και κυρίως της περιεχόμενης τους υγρασίας.

4.1.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ - ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ

Για τις απαιτούμενες εργαστηριακές μετρήσεις και δοκιμές χρησιμοποιήθηκε ο εξής εξοπλισμός-όργανα μετρήσεως:

Ηλεκτρονικό παχύμετρο τύπου Mitutoyo (UK) Ltd model CD-15B με ακρίβεια μετρήσεων δεκάτου του χιλιοστού (βλ. **Εικόνα 6**).



Εικόνα 6: Ηλεκτρονικό παχύμετρο.

Χρησιμοποιήθηκε μύλος τύπου Retschmühle (θρυμματιστής) για τον θρυμματισμό θρυμματισμό των δειγμάτων pellet. Πρόκειται για μηχανή η οποία φέρει μια προεξοχή κωνικού σχήματος στο πάνω μέρος της, απ' όπου γίνεται και η τροφοδοσία του προϊόντος που τίθεται προς θρυμματισμό. Κάτω από τον κώνο τροφοδοσίας υπάρχει ένας συμπαγής μεταλλικός έλικας, ο οποίος είναι υπεύθυνος για το θρυμματισμό του υλικού. Ο εν λόγω έλικας κινείται περιστροφικά πάνω σε οριζόντιο άξονα με τη χρήση μοτέρ. Αφού θρυμματιστεί το υλικό κοσκινίζεται ταυτόχρονα με κόσκινο ανοίγματος 0,75mm (βλ. **Εικόνα 8**), το οποίο βρίσκεται στο κάτω μέρος του

θαλάμου θρυμματισμού του μηχανήματος και συλλέγεται σε αποσπώμενο δοχείο ακριβώς από κάτω (βλ.

Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Θρυμματιστής.



Εικόνα 8: Κόσκινο-θάλαμος θρυμματισμού.

Χρησιμοποιήθηκε φούρνος για την ξήρανση των δειγμάτων με ρύθμιση θερμοκρασίας στους 105 ± 2 °C και δυνατότητα ανανέωσης του ατμοσφαιρικού αέρα στο εσωτερικό του, με ρυθμό 2-5 φορών ανά ώρα (βλ. **Εικόνα 9**).



Εικόνα 9: Φούρνος.

Για τον κλιματισμό των δειγμάτων ή θερμών αντικειμένων σε θερμοκρασία εργαστηρίου χρησιμοποιήθηκε γυάλινος ξηραντήρας. Πρόκειται για γυάλινο σκεύος το οποίο έχει στον πυθμένα του υλικό ξήρανσης τύπου silica gel και φέρει ενδιάμεσα ένα διαχωριστικό πορσελάνινο δισκίο με οπές (βλ. **Εικόνα 10**).



Εικόνα 10: Γυάλινος ξηραντήρας

Για τη διατήρηση του απιονισμένου νερού σε σταθερή θερμοκρασία (33 °C) χρησιμοποιήθηκε υδατόλουτρο με ψηφιακή ένδειξη. Πρόκειται για μία συσκευή η οποία αποτελείται από ένα θάλαμο με ανοξείδωτα μεταλλικά τοιχώματα, ο οποίος φέρει ηλεκτρική αντίσταση στη βάση του θαλάμου του (βλ. **Εικόνα 11**).



Εικόνα 11: Υδατόλουτρο.

Ζυγός ακριβείας τύπου BEL ENGINEERING με ζύγιση ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων (βλ. **Εικόνα 12**).



Εικόνα 12: Ζυγός ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων.

Για την αποτέφρωση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε κλίβανος τύπου Heraeus GMBH, HANAU. Πρόκειται για φούρνος κατασκευασμένος από πυρίμαχα υλικά με έναν ορθογωνικής διατομής μικρό θάλαμο στο κέντρο του. Φέρει ρυθμιστή θερμοκρασίας στο κάτω μέρος του με εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας από 20 έως 1000°C και στο άνω μέρος της συσκευής υπάρχει αναλογική ένδειξη θερμοκρασιών (βλ. **Εικόνα 13**).



Εικόνα 13: Κλίβανος

Το σχήμα και η διατομή του εργαστηριακού pellet καθορίστηκε από μία μεταλλική μήτρα με βάκτρο διαμέτρου 12mm (βλ. **Εικόνα 14**).



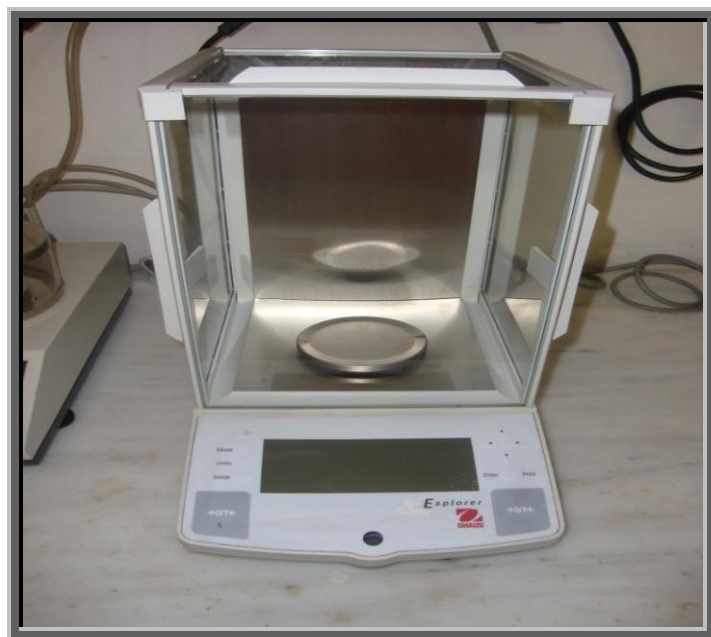
Εικόνα 14: Μήτρα παραγωγής εργαστηριακών pellet.

Η παραγωγή του εργαστηριακού pellet πραγματοποιήθηκε σε μηχανή δοκιμών τύπου MOHR & FEDERHAFF AG MANNHEIM-GERMANY με δυνατότητα μέγιστης δυναμικότητας έως και 10 τόνων. Η μηχανή αυτή είναι κατασκευασμένη από χάλυβα με υδραυλικό σύστημα, ικανό να δημιουργήσει ισχυρές κατακόρυφες δυνάμεις. Αριστερά του μηχανήματος υπάρχει ένα μεγάλο αναλογικό ρολόι για την ένδειξη των πιέσεων που ασκούνται στο αντικείμενο και δύο μικρότερα που αντιστοιχούν σε κοχλίες, οι οποίες ρυθμίζουν τις απαιτούμενες δυνάμεις. Οι δυνάμεις συμπίεσης ασκούνται στο δεξιό μέρος του μηχανήματος από τις δύο μεταλλικές πλάκες (βλ. **Εικόνα 15**).



Εικόνα 15: Μηχανή δοκιμών

Αναλυτικός ζυγός τύπου OAHUS No E11140 με ζύγιση ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων (βλ. **Εικόνα 16**).



Εικόνα 16: Αναλυτικός ζυγός.

Ζυγός ακριβείας τύπου Mettler PC 8000 με ζύγιση ακριβείας ενός δεκαδικού ψηφίου (βλ. **Εικόνα 17**).



Εικόνα 17: Ζυγός ακριβείας ενός δεκαδικού ψηφίου.

Θερμιδομετρητής οβίδας τύπου PARR 1261 είναι μια συσκευή η οποία έχει ένα κυλινδρικό θάλαμο στο εσωτερικό της με ενσωματωμένο κυκλικό σύστημα διατήρησης σταθερής ροής νερού με θερμοκρασία γύρω από τις πλευρές, τη βάση και το καπάκι του θαλάμου (θερμομανανδύας νερού) (βλ. **Εικόνα 18**). Μέσα στο θάλαμο τοποθετείται κυλινδρόμορφος κάδος κατασκευασμένος από ανοξείδωτο ατσάλι (βλ. **Εικόνα 19**).



Εικόνα 18: Θερμιδομετρητής τύπου οβίδας.



Εικόνα 19: Κάδος από ανοξείδωτο ατσάλι.

Μέσα στον κυλινδρικό κάδο τοποθετείται μία κυλινδρικής διατομής (συμπαγής κύλινδρος) οβίδα, κατασκευασμένη από χάλυβα υψηλής θερμικής αγωγιμότητας (βλ. **Εικόνα 20**).



Εικόνα 20: Οβίδα του θερμιδομετρητή.

Η οβίδα καλύπτεται με καπάκι το οποίο φέρει την κάψα και έχει προσαρμοσμένα πάνω του δύο ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με σύρμα έναυσης τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανάφλεξη του δείγματος.

Τέλος, στη διάταξη μέτρησης χρησιμοποιείται ένας αναδευτήρας ο οποίος παίρνει κίνηση από ένα ηλεκτροκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, εκτελώντας παλινδρομικές κινήσεις με στόχο την ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας του νερού εξωτερικά της οβίδας. Η μέτρηση της θερμοκρασίας αυτής πραγματοποιείται με το ενσωματωμένο θερμόμετρο στο καπάκι του θερμιδομετρητή.

4.2. ΜΕΘΟΔΟΙ

4.2.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης αποστειρώθηκαν και αριθμήθηκαν δέκα γυάλινα βάζα (από 1 έως 10). Στη συνέχεια κάθε δείγμα διαφορετικής προελεύσεως μεταφέρθηκε από τη σακούλα σε ξεχωριστό αριθμημένο βάζο και σφραγίστηκε αεροστεγώς. Με αυτό τον τρόπο επιτεύχθηκε η κατηγοριοποίηση των δειγμάτων και διατηρήθηκε σταθερή η περιεκτικότητά τους σε υγρασία από την έναρξη μέχρι το πέρας των διαδικασιών.

Μετά το πέρας των διαστασιολογικών μετρήσεων και των μετρήσεων περιεχόμενης υγρασίας κάθε δείγματος όπως περιγράφονται στα ακόλουθα κεφάλαια (κεφάλαια 4.2.2, 4.2.3), τέθηκε σε εφαρμογή το επόμενο στάδιο προετοιμασίας των δειγμάτων, το οποίο είναι και αναγκαίο να πραγματοποιηθεί πριν από την έναρξη των διαδικασιών μέτρησης περιεχόμενης θερμιδικής ενέργειας και περιεκτικότητας των δειγμάτων σε τέφρα (κεφάλαια 4.2.4, 4.2.5).

Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιήθηκε μηχανή θρυμματισμού (βλ.

Εικόνα 7) όμοια με τους J. Rodriguez et al. (1994) και D. Gillon et al. (1997).

Ολόκληρη η ποσότητα κάθε δείγματος θρυμματίστηκε σε μύλο και οι ξυλόσκονες που παρήχθησαν από κάθε pellet, τοποθετήθηκαν πάλι στα ίδια βάζα (βλ. **Εικόνα 21**)



Εικόνα 21: Ξυλόσκονες από τα pellet.

Η τροφοδότηση του μηχανήματος γινόταν πάντα με αργούς ρυθμούς για την αποφυγή ανόδου της θερμοκρασίας του ξύλου, η οποία ενδεχομένως να άλλαζε τη χημική του σύσταση, ή να μείωνε την περιεχόμενή του υγρασία. Μετά από κάθε χρήση του μηχανήματος και πριν την τροφοδότηση του με νέο δείγμα, καθαρίζονταν

σχολαστικά τα τοιχώματα του θαλάμου του από υπολείμματα σκόνης και κολλώδους ρητίνης.

Ο καθαρισμός γινόταν με χοντρή βούρτσα, αέρα υπό πίεση και μερικές φορές με τη χρήση κατάλληλου διαλύτη (π.χ. οινόπνευμα). Σε περίπτωση μη συνεχούς καθαρισμού του μηχανήματος μετά από κάθε χρήση θα συνέβαινε ανάμιξη των υπολειμμάτων του προηγούμενου δείγματος με κάθε επόμενο και αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία λανθασμένων τελικών αποτελεσμάτων.

4.2.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ-ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

Για τον προσδιορισμό της μέσης διάστασης των pellet, έγινε αντιπροσωπευτική λήψη μίας ποσότητας από κάθε δείγμα, με τη χρήση της μεθόδου κώνου/τεταρτημόριου (cone/quartering) (βλ. **Εικόνα 22**), όμοια με τους J. Rodriguez et al. (1994).



Εικόνα 22: Μέθοδος cone/quartering.

Έπειτα μετρήθηκαν με ηλεκτρονικό παχύμετρο (βλ. **Εικόνα 6**) η διάμετρος και το μήκος κάθε σωματιδίου pellet. Από την ποσότητα που λήφθηκε από κάθε δείγμα pellet ξεχωριστά έγιναν συνολικά:

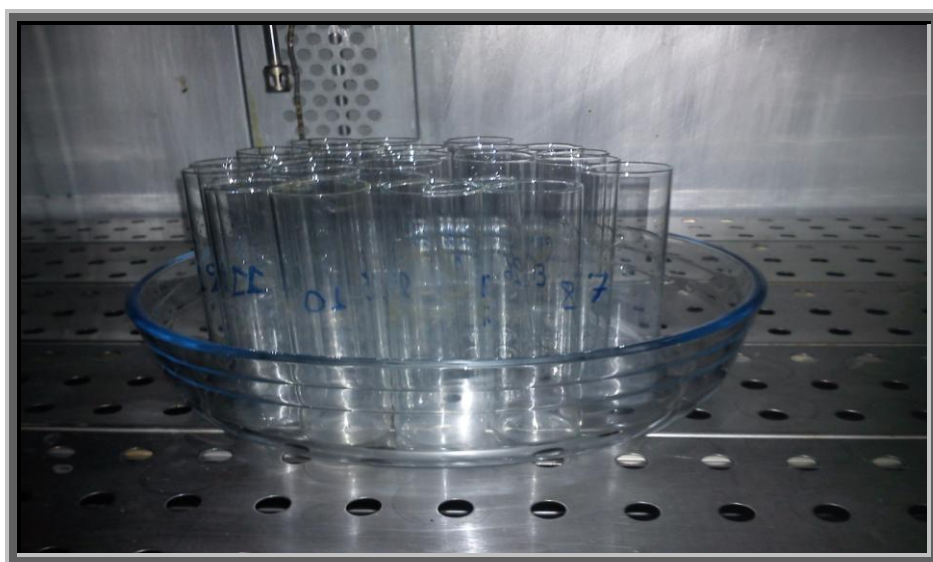
- 66 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 1,
- 60 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 2,
- 65 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 3,
- 62 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 4,
- 79 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 5,
- 77 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 6,
- 66 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 7,
- 97 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 8,
- 69 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 9
- και 75 μετρήσεις διαστάσεων του δείγματος 10.

Τέλος υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των διαστάσεων κάθε δείγματος και καταγράφηκαν όλα τα παραπάνω σε πίνακες (**Πίνακες 12-21**).

4.2.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Ο προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ζυγού ακριβείας (βλ. **Εικόνα 12**), γυάλινου ξηραντήρα με χρήση υλικού ξήρανσης τύπου silica gel (βλ. **Εικόνα 10**) και φούρνο με ρύθμιση θερμοκρασίας στους 105 ± 2 °C (βλ. **Εικόνα 9**). Ο τρόπος μέτρησης περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων έγινε βάσει του προτύπου **EN14774-3** σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

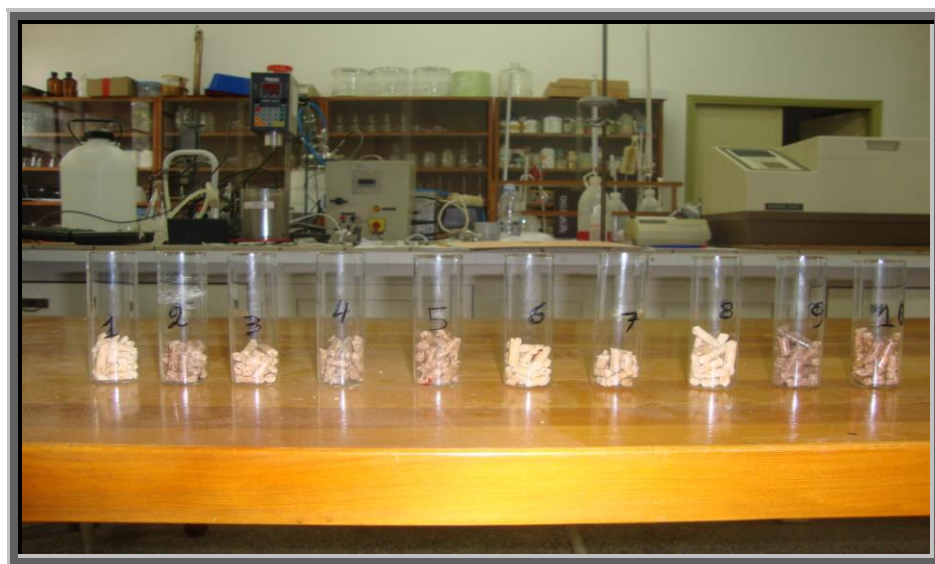
Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν γυάλινα πυρίμαχα δοχεία ζύγισης τα οποία πλύθηκαν, αριθμήθηκαν με αύξοντα αριθμό και στέγνωσαν σε φούρνο (βλ. **Εικόνα 23**).



Εικόνα 23: Αριθμημένα γυάλινα δοχεία για τις μετρήσεις της υγρασίας.

Έπειτα τοποθετήθηκαν μέσα στον ξηραντήρα για 20 λεπτά και εν συνεχεία ζυγίστηκαν στον ζυγό με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων. Τέλος έγινε η καταγραφή της μάζας τους στο πρωτόκολλο.

Από κάθε δοχείο εκ των δέκα διαφορετικών προελεύσεων ελήφθησαν τρία δείγματα με τη μέθοδο του κώνου/τεταρτημόριου (cone/quartering) και τοποθετήθηκαν σε διαφορετικά δοχεία ζύγισης (βλ. **Εικόνα 24**).



Εικόνα 24: Λήψη 10 δειγμάτων για μέτρηση υγρασίας.

Στη συνέχεια καταγράφηκε ο αριθμός του δοχείου τους και η προέλευση του pellet που περιείχε το καθένα, ζυγίστηκαν ένα προς ένα (δοχείο με δείγμα) και καταγράφηκε η αρχική τους μάζα.

Έπειτα τα δοχεία ζύγισης μαζί με τα αντίστοιχα δείγματα ξηράθηκαν στο φούρνο σε θερμοκρασία $105 \pm 2^\circ\text{C}$ (βλ. **Εικόνα 9**) και τοποθετήθηκαν μέσα στον ξηραντήρα (με ερμητικά κλειστό καπάκι) για 15 λεπτά έτσι ώστε να κλιματιστούν σε θερμοκρασία εργαστηρίου και να ψυχθούν ομαλά, χωρίς να προσροφήσουν υγρασία από το περιβάλλον.

Τέλος επαναζυγίστηκαν και καταγράφηκαν τα νέα αποτελέσματα. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε μέχρις ότου η διαφορά της υγρασίας μεταξύ των δύο διαδοχικών μετρήσεων να μην ξεπερνούσε το 0.2% (M. Kuokkanen et al., 2009). Ο συνολικός χρόνος ξήρανσης των δειγμάτων στο φούρνο διήρκεσε περίπου τρεις ώρες για κάθε δείγμα και έγιναν συνολικά τρεις μετρήσεις υγρασίας. Επιπροσθέτως υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των υγρασιών. Τα προηγούμενα δεδομένα καταγράφηκαν στους **Πίνακες 22-31**.

4.2.4. ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ

Οι ζυγίσεις των δειγμάτων που απαιτήθηκαν σε αυτό το στάδιο έγιναν με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων και με τη χρήση αναλυτικού ζυγού τύπου OAHUS No E11140 (βλ. **Εικόνα 16**). Ακόμη οι ζυγίσεις μάζας νερού για την

πλήρωση του κάδου του θερμιδομετρητή έγιναν με χρήση ζυγού ακριβείας ενός δεκαδικού (βλ. **Εικόνα 17**).

Προχωρώντας στην παραγωγή των εργαστηριακών pellet χρησιμοποιήθηκε μήτρα (βλ. **Εικόνα 14**) με βάκτρο διαμέτρου 12mm και για τη συμπίεση τους έγινε χρήση μηχανής δοκιμών τύπου MOHR & FEDERHAFF AG MANNHEIM-GERMANY (βλ. **Εικόνα 15**)

Για τη διατήρηση απεσταγμένου νερού σε σταθερή θερμοκρασία 33°C χρησιμοποιήθηκε υδατόλουτρο με ψηφιακή ένδειξη θερμοκρασίας (βλ.

Εικόνα 11).

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης θερμιδικής αξίας των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε Θερμιδομετρητής οβίδας τύπου PARR 1261, όμοια με τους J. Rodrfiguez et al. (1994), D. Gillon et al. (1997), G. Richards (2001), M. Kuokkanen et al. (2009), C. Telmo & J. Lousada (2011). Στην παρούσα μελέτη ο προσδιορισμός της περιεχόμενης θερμιδικής αξίας των δειγμάτων έγινε με την ακόλουθη διαδικασία:

Αρχικά για την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του θερμιδομετρητή έγινε δόκιμη καύση βενζοϊκού οξέος. Η διαδικασία αυτή ήταν όμοια με την καύση των εργαστηριακών pellet όπως περιγράφεται στη συνέχεια. Τέλος, αφού συγκρίθηκαν και επιβεβαιώθηκαν τα αποτελέσματα της τιμής καύσης που πάρθηκαν από το θερμιδομετρητή με την πρότυπη τιμή θερμιδικής ενέργειας του προϊόντος, ξεκίνησε η διαδικασία διεξαγωγής των πειραμάτων.

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης θερμιδικής αξίας των δειγμάτων ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

Αφού αναδεύτηκε καλά το υλικό μεταφέρθηκε από το βάζο (ξυλόσκονη μάζας $1\pm0,1g$) μέσα στη μήτρα και τοποθετήθηκε το βάκτρο όπου με τη βοήθεια πρέσας ασκήθηκε σε αυτό ισχυρή δύναμη σταθερής πίεσης και διάρκειας 5 λεπτών, με αποτέλεσμα η σκόνη να συμπιεστεί σε τέτοιο βαθμό ούτως ώστε να μετατραπεί σε εργαστηριακό pellet (J. Rodrfiguez et al. 1994; C. Telmo and J. Lousada, 2011).

Ακολούθησε έπειτα η ζύγιση του pellet με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων καθώς και η καταγραφή της μάζας του. Επιπρόσθετα έγινε καταγραφή και ζύγιση με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών στη μάζα του νήματος έναυσης μήκους $d=10cm$.

Στη συνέχεια το 1/3 του θαλάμου του υδατόλουτρου πληρώθηκε με απιονισμένο νερό, το οποίο θερμάνθηκε και διατηρήθηκε σε σταθερή θερμοκρασία 33°C. Τοποθετήθηκαν τα δοχεία που περιείχαν 2 λίτρα απιονισμένου νερού μέσα στο θάλαμο και επαγωγικά από το νερό του θαλάμου θερμάνθηκαν και διατηρήθηκαν σε σταθερή θερμοκρασία 33 °C. (βλ. **Εικόνα 11**)

Έπειτα έγινε η τοποθέτηση του δείγματος στην κάψα και του νήματος έναυσης στα ηλεκτρόδια της οβίδας, με ιδιαίτερη προσοχή ώστε το νήμα έναυσης να έρχεται σε επαφή με το pellet δίχως να αγγίζει κάποιο άλλο μεταλλικό σημείο της κάψας. Ακολούθως σφραγίστηκε η οβίδα με το καπάκι και πληρώθηκε μέσω της βαλβίδας με οξυγόνο για την πλήρη καύση του δείγματος.

Αργότερα πάρθηκαν τα δυο λίτρα απεσταγμένου νερού από το υδατόλουτρο και αφού ζυγίστηκαν πληρώθηκε με αυτά ο κάδος και τοποθετήθηκε μέσα στο θάλαμο του θερμιδομετρητή. Ακολούθως μέσα στον ανοξείδωτο κάδο τοποθετήθηκε και η οβίδα και συνδέθηκε με τα καλώδια των ηλεκτροδίων (βλ. **Εικόνα 25**).



Εικόνα 25: Τοποθέτηση οβίδας-κάδου στο θερμιδομετρητή και σύνδεση ηλεκτρονίων.

Τέλος έκλεισε το καπάκι του θερμιδομετρητή και εισήχθησαν οι τιμές μάζας του εργαστηριακού pellet, του νήματος έναυσης και του αριθμού προελεύσεως του δείγματος, με τη χρήση των πλήκτρων στο αριστερό μέρος του μηχανήματος (βλ. **Εικόνα 18**).

Μετά από μερικά λεπτά αφού ισορρόπησε η θερμοκρασία του νερού στον κάδο με τη θερμοκρασία του θερμομανδύα ξεκίνησε η διαδικασία έναυσης του δείγματος. Με το πέρας της διαδικασίας έναυσης ανοίχτηκε η οβίδα, αφού πρωτίστως αφαιρέθηκε απ' τη βαλβίδα το οξυγόνο που περιείχε. Έπειτα συλλέχθηκε και ζυγίστηκε με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών η συνολική μάζα των υπολειμμάτων του νήματος έναυσης που δεν κάηκε, υπολογίστηκε το νήμα που κάηκε στην όλη διαδικασία και το ποσό εισάχθηκε στο θερμιδομετρητή.

Ο θερμιδομετρητής υπολόγισε την θερμιδική αξία του καυσίμου, μετρώντας την άνοδο της θερμοκρασίας του νερού στον ανοξείδωτο κάδο που προκλήθηκε από την καύση του δείγματος και αφαιρώντας από το σύνολο το ποσό της θερμιδικής ενέργειας του νήματος έναυσης που κάηκε (διόρθωση νήματος έναυσης).

Έγιναν τρεις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις θερμογόνου δύναμης για κάθε δείγμα και μετρήθηκε ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση αυτών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους **Πίνακες 32-41**.

4.2.5. ΤΕΦΡΑ

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης τέφρας των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε αναλυτικός ζυγός τύπου OAHUS No E11140 (βλ. **Εικόνα 16**), έτσι ώστε να επιτευχθεί ακρίβεια μέτρησης τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων. Ο λοιπός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποτελείτο από επτά πορσελάνινες κάψες συνοδευόμενες από τα καπάκια τους, ένα γυάλινο ξηραντήρα ο οποίος έφερε διαχωριστικό πορσελάνινο δίσκο με οπές στον πυθμένα του, όπου νωρίτερα είχε τοποθετηθεί αφυγραντικό τύπου silica gel (βλ. **Εικόνα 26**). Για την αποτέφρωση έγινε χρήση κλιβάνου αποτέφρωσης τύπου Heraeus GMBH, HANAU (βλ. **Εικόνα 13**).

Πριν την έναρξη της παραπάνω διαδικασίας έγινε επαναυπολογισμός και καταγραφή της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων (**Πίνακες 42-51**).

Ο προσδιορισμός της περιεχόμενης τέφρας των δειγμάτων έγινε βάσει του προτύπου **EN14775** σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

Οι επτά πορσελάνινες κάψες καθαρίστηκαν με απεσταγμένο νερό και θερμάνθηκαν στον κλίβανο σε θερμοκρασία $550 \pm 10^\circ\text{C}$ για 60 λεπτά. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στο πυρίμαχο διαχωριστικό δισκίο εσωτερικά του ξηραντήρα για 5-10 λεπτά, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 26**.



Εικόνα 26: Κάψες μετρήσεων τέφρας πάνω σε πορσελάνινο δίσκο.

Αργότερα σφραγίστηκαν (με ερμητικά κλειστό καπάκι) σε αυτόν για περίπου 20 λεπτά ώστε η θερμοκρασία τους ισορροπήσει με αυτή του εργαστηριακού χώρου. Ακολούθησε η ζύγιση αυτών στον αναλυτικό ζυγό καθώς και η καταγραφή της μάζας τους σε πρωτόκολλο.

Σε καθεμία από τις κάψες τοποθετήθηκε δείγμα διαφορετικής προελεύσεως μάζας $1 \pm 0.1\text{g}$ το οποίο ζυγίστηκε στο ζυγό ακριβείας.

Έπειτα τοποθετήθηκαν σε ψυχρό κλίβανο και θερμάνθηκαν σύμφωνα με την ακόλουθη ρουτίνα θέρμανσης:

Αρχικά η θερμοκρασία του κλίβανου αυξανόταν βαθμιαία έως τους 250 °C για χρονική περίοδο 50 λεπτών και παρέμεινε σε αυτή τη θερμοκρασία για ακόμα 60 λεπτά για την απομάκρυνση τυχόν πτητικών ουσιών πριν την έναυση.

Στην πορεία ακολούθησε σταθερή βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας έως τους 550±10 °C για επιπλέον 60 λεπτά και παρέμεινε σε αυτήν την θερμοκρασία για τα ακόλουθα 120 λεπτά, με τελικό σκοπό τη σταθεροποίηση της μάζας, έτσι ώστε να μείνουν μόνο τα ανόργανα υλικά (P. Piotrowska et al., 2013).

Στη συνέχεια αφαιρέθηκαν οι κάψες με το περιεχόμενο τους από το εσωτερικό του κλίβανου και επανατοποθετήθηκαν στον προαναφερθέντα ξηραντήρα με τα καπάκια τους για τα επόμενα 5-10 λεπτά. Με το πέρας των 10 λεπτών ο ξηραντήρας έκλεισε ερμητικά και τα δείγματα παρέμειναν στο εσωτερικό του για 20 λεπτά. Έπειτα οι κάψες με τα αποτεφρωμένα δείγματα ζυγίστηκαν στον αναλυτικό ζυγό και καταγράφηκε η μάζα τους στο πρωτόκολλο. Τέλος υπολογίστηκε το περιεχόμενο της τέφρας του δείγματος όπως περιγράφεται σύμφωνα στον ακόλουθο τύπο:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

όπου:

m1: η μάζα σε γραμμάρια του άδειου δίσκου. [g]

m2: η μάζα σε γραμμάρια του δίσκου με το δείγμα. [g]

m3: η μάζα σε γραμμάρια του δίσκου με τη τέφρα. [g]

Mad: η % περιεχόμενη υγρασία του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε. [%]

Συνολικά έγιναν τρεις προσδιορισμοί τέφρας για κάθε δείγμα και υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση αυτών. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στους **Πίνακες 42-51**.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω ακολουθούν πίνακες με τα αποτελέσματα των διαστασιολογικών μετρήσεων καθώς και των μετρήσεων περιεχόμενης υγρασίας, περιεχόμενης θερμιδικής ενέργειας και περιεχόμενης τέφρας κάθε δείγματος:

Πίνακας 12: Διαστάσεις δείγματος 1.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	9,91	6,21	35	15,29	6,12
2	12,61	6,08	36	9,80	6,15
3	15,97	6,14	37	14,66	6,06
4	18,43	6,03	38	8,01	6,03
5	17,82	5,98	39	27,32	6,22
6	11,2	6,24	40	12,19	6,05
7	12,93	6,24	41	8,14	6,03
8	12,67	6,10	42	10,48	6,09
9	12,56	6,21	43	8,20	6,12
10	14,08	6,10	44	16,46	6,30
11	12,33	6,07	45	15,8	6,03
12	19,77	6,17	46	8,42	6,31
13	10,17	6,17	47	16,51	6,18
14	10,29	6,18	48	13,14	6,13
15	11,84	6,20	49	16,77	6,13
16	15,86	6,00	50	10,64	6,14
17	9,88	6,13	51	9,68	6,08
18	21,33	6,09	52	8,45	6,15
19	10,62	6,19	53	6,34	6,03
20	11,26	6,10	54	12,3	6,25
21	8,43	6,23	55	6,27	6,03
22	14,41	6,05	56	6,95	6,04
23	20,96	6,03	57	8,75	6,11
24	19,24	6,13	58	11,75	6,08
25	10,82	6,10	59	7,83	6,15
26	16,78	6,10	60	7,51	6,03
27	15,75	6,12	61	10,31	6,17
28	14,92	6,11	62	9,72	6,12
29	10,85	6,12	63	8,12	6,12
30	19,69	6,07	64	7,41	6,14
31	12,35	6,05	65	12,93	6,02
32	7,13	6,11	66	7,55	6,20
33	12,96	6,06	M.O	12,38	6,12
34	7,42	6,07	Τυπ. απόκλιση	4,284	0,073

Στο δείγμα 1 έγιναν 66 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,27 mm έως 27,32 mm.

Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 5,98 mm έως 6,31 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 12,38mm
- διαμέτρου 6,12mm

Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 4,284mm
- για τις διαμέτρους 0,073mm

Πίνακας 13: Διαστάσεις δείγματος 2.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	14,93	5,92
2	28,28	5,98
3	24,59	5,95
4	8,05	5,94
5	24,19	6,60
6	18,2	6,08
7	10,03	6,05
8	21,55	5,98
9	15,08	6,13
10	25,11	5,88
11	15,2	6,15
12	11,86	5,98
13	8,37	6,08
14	15,63	6,00
15	12,62	5,93
16	9,25	5,91
17	17,51	5,99
18	14,76	5,97
19	10,34	6,2
20	16,6	5,92
21	6,61	6,03
22	6,55	6,09
23	13,13	6,18
24	17,96	6,14
25	8,36	5,89
26	14,70	6,00
27	18,23	5,97
28	10,60	5,92
29	24,44	5,99
30	12,63	5,83
31	15,13	6,19

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
32	10,79	5,93
33	12,48	5,93
34	6,30	5,97
35	9,13	5,86
36	16,15	5,83
37	18,27	5,91
38	7,91	6,17
39	9,00	6,02
40	24,26	5,99
41	12,08	5,91
42	19,33	6,01
43	9,92	5,93
44	19,39	5,99
45	16,43	5,95
46	18,12	5,94
47	17,23	6,10
48	8,31	5,99
49	23,29	5,92
50	6,90	5,95
51	14,05	6,01
52	8,70	6,02
53	7,53	5,93
54	6,45	6,02
55	11,75	5,93
56	7,84	6,03
57	15,22	6,02
58	9,02	6,00
59	8,73	6,19
60	8,11	6,11
M.O	13,89	6,01
Τυπ. απόκλιση	5,665	0,119

Στο δείγμα 2 έγιναν 60 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,3 mm έως 28,28 mm.

Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 5,83 mm έως 6,6 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 13,89 mm
- διαμέτρου 6,01 mm

Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 5,665 mm
- για τις διαμέτρους 0,119 mm

Πίνακας 14: Διαστάσεις δείγματος 3.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	11,90	6,40	35	12,17	6,03
2	10,26	6,15	36	21,23	6,13
3	13,19	6,20	37	14,27	6,58
4	16,23	6,32	38	11,65	6,17
5	10,02	6,27	39	12,98	6,21
6	20,97	6,20	40	13,53	6,12
7	6,01	6,21	41	11,2	6,44
8	7,89	6,16	42	17,28	6,12
9	8,50	6,32	43	9,15	6,14
10	10,44	6,20	44	17,19	6,22
11	14,44	6,22	45	11,89	6,18
12	12,34	6,24	46	16,18	6,24
13	23,19	6,30	47	7,23	6,34
14	12,32	6,25	48	13,81	6,21
15	8,20	6,19	49	13,45	6,16
16	13,44	6,26	50	9,47	6,31
17	8,68	6,34	51	10,71	6,09
18	13,56	6,26	52	11,02	6,19
19	11,81	6,20	53	9,48	6,14
20	10,34	6,17	54	8,01	6,20
21	10,57	6,16	55	10,44	6,25
22	8,32	6,23	56	10,02	6,22
23	10,75	6,19	57	8,2	6,27
24	9,75	6,18	58	6,57	6,13
25	26,36	6,30	59	7,37	6,19
26	13,36	6,16	60	8,41	6,39
27	8,14	6,16	61	12,32	6,28
28	8,94	6,29	62	11,26	6,27
29	17,67	6,39	63	10,52	6,22
30	11,93	6,22	64	6,05	6,12
31	11,73	6,28	65	6,41	6,31
32	14,67	6,15	M.O	11,92	6,23
33	15,20	6,27	Τυπ. απόκλιση	4,020	0,090
34	13,97	6,28			

Στο δείγμα 3 έγιναν 65 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,01 mm έως 26,36 mm.

Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 6,03 mm έως 6,58 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 11,92 mm
- διαμέτρου 6,23 mm

Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 4,020 mm
- για τις διαμέτρους 0,090 mm

Πίνακας 15: Διαστάσεις δείγματος 4.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	18,78	6,18	33	8,11	6,15
2	6,60	6,06	34	12,90	6,10
3	17,80	6,15	35	13,79	6,13
4	7,74	6,10	36	14,42	6,10
5	15,68	6,13	37	7,24	6,09
6	9,13	6,13	38	14,30	6,11
7	7,48	6,06	39	13,55	6,06
8	18,54	6,08	40	10,04	6,11
9	9,35	6,09	41	11,95	6,04
10	16,14	6,03	42	17,57	6,06
11	18,61	6,15	43	19,98	6,03
12	18,40	6,14	44	9,92	6,08
13	17,64	6,12	45	9,99	6,06
14	14,83	6,09	46	12,08	6,06
15	7,14	6,10	47	12,86	6,13
16	14,85	6,11	48	28,22	6,07
17	7,70	6,04	49	14,85	6,07
18	7,16	6,70	50	10,27	6,07
19	15,54	6,08	51	8,39	6,08
20	11,07	6,14	52	11,28	6,07
21	7,48	6,03	53	10,48	6,06
22	6,50	6,09	54	14,04	6,22
23	15,94	6,08	55	9,92	6,25
24	6,55	6,13	56	13,84	6,05
25	18,14	6,11	57	8,57	6,10
26	10,13	6,19	58	10,76	6,09
27	16,92	6,07	59	11,29	6,12
28	25,44	6,06	60	10,28	6,10
29	9,93	6,09	61	10,66	6,09
30	10,52	6,07	62	14,82	6,23
31	16,20	6,14	M.O	12,80	6,11
32	13,49	6,09	Τυπ. απόκλιση	4,558	0,089

Στο δείγμα 4 έγιναν 62 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,5 mm έως 28,22 mm.

Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 6,03 mm έως 6,7 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 12,80mm
- διαμέτρου 6,11mm

Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 4,558mm
- για τις διαμέτρους 0,089mm

Πίνακας 16: Διαστάσεις δείγματος 5.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	19,92	6,60
2	25,75	6,55
3	16,81	6,53
4	16,61	6,43
5	24,93	6,55
6	17,90	6,58
7	22,03	6,36
8	11,13	6,58
9	9,15	6,53
10	12,64	6,49
11	13,75	6,55
12	14,23	6,52
13	9,31	6,67
14	9,54	6,59
15	19,64	6,50
16	7,10	6,58
17	20,14	6,46
18	9,06	6,42
19	14,76	6,52
20	14,83	6,53
21	12,89	6,55
22	17,36	6,50
23	17,83	6,62
24	11,17	6,56
25	8,76	6,45
26	8,89	6,43
27	13,43	6,57
28	15,92	6,62
29	13,52	6,56
30	24,75	6,54
31	25,46	6,64
32	10,51	6,38
33	10,33	6,50
34	8,20	6,57
35	11,97	6,62
36	18,05	6,53
37	12,46	6,50
38	8,93	6,54
39	25,82	6,50
40	16,45	6,50
41	12,85	6,50

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
42	15,61	6,55
43	12,51	6,49
44	25,29	6,52
45	25,85	6,48
46	11,76	6,55
47	17,83	6,60
48	15,64	6,58
49	15,66	6,50
50	8,82	6,40
51	12,72	6,54
52	10,95	6,53
53	9,36	6,50
54	13,32	6,40
55	9,54	6,54
56	10,94	6,49
57	14,99	6,50
58	12,21	6,29
59	11,05	6,47
60	8,34	6,55
61	9,31	6,48
62	9,07	6,24
63	8,79	6,30
64	8,95	6,51
65	8,82	6,54
66	13,50	6,52
67	13,18	6,59
68	9,24	6,28
69	9,10	6,47
70	13,08	6,54
71	6,99	6,45
72	11,62	6,44
73	9,59	6,52
74	6,51	6,53
75	11,57	6,37
76	8,96	6,51
77	9,21	6,50
78	10,35	6,56
79	7,16	6,47
M.O	13,45	6,51
Τυπ. απόκλιση	5,097	0,081

Στο δείγμα 5 έγιναν 79 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,51 mm έως 25,85 mm.

Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 6,24 mm έως 6,67 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 13,45 mm
- διαμέτρου 6,51 mm

Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 5,097 mm
- για τις διαμέτρους 0,081 mm

Πίνακας 17: Διαστάσεις δείγματος 6.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	8,39	6,29
2	8,72	6,20
3	10,09	6,15
4	13,29	6,17
5	11,84	6,21
6	9,57	6,15
7	20,64	6,23
8	23,93	6,19
9	34,96	6,33
10	20,63	6,25
11	15,04	6,24
12	21,68	6,20
13	16,33	6,33
14	19,16	6,28
15	14,12	6,25
16	11,10	6,28
17	17,27	6,20
18	15,24	6,31
19	17,24	6,26
20	15,2	6,16
21	14,66	6,33
22	12,68	6,29
23	11,65	6,27
24	16,80	6,15
25	19,25	6,22
26	7,61	6,22
27	8,00	6,25
28	11,81	6,34
29	9,31	6,18
30	10,67	6,26
31	6,22	6,20
32	18,45	6,12
33	7,45	6,16
34	16,66	6,22
35	8,72	6,21
36	12,66	6,29
37	13,43	6,26
38	19,41	6,21
39	9,60	6,36
40	6,02	6,28

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
41	10,41	6,14
42	7,84	6,32
43	11,44	6,20
44	13,47	6,20
45	19,13	6,25
46	12,58	6,10
47	14,55	6,25
48	13,34	6,30
49	15,36	6,20
50	11,99	6,29
51	7,77	6,15
52	13,72	6,38
53	13,89	6,23
54	10,04	6,18
55	12,09	6,32
56	11,13	6,28
57	13,84	6,32
58	12,47	6,24
59	8,35	6,14
60	11,33	6,15
61	8,44	6,18
62	8,27	6,53
63	9,92	6,19
64	13,13	6,11
65	9,11	6,28
66	9,35	6,17
67	10,00	6,17
68	10,16	6,13
69	9,02	6,14
70	10,23	6,23
71	8,83	6,22
72	9,50	6,27
73	9,52	6,15
74	6,09	6,44
75	10,09	6,20
76	6,72	6,24
77	10,56	6,20
M.O	12,59	6,23
Τυπ. απόκλιση	4,776	0,076

Στο δείγμα 6 έγιναν 77 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,02 mm έως 34,96 mm.

Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 6,1 mm έως 6,53 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 12,59 mm
- διαμέτρου 6,23 mm

Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 4,776 mm
- για τις διαμέτρους 0,076 mm

Πίνακας 18: Διαστάσεις δείγματος 7.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	6,65	6,53
2	26,77	6,61
3	12,12	6,21
4	10,02	6,60
5	7,75	6,43
6	12,22	6,21
7	13,77	6,55
8	11,83	6,59
9	21,90	6,25
10	12,28	6,55
11	9,89	6,64
12	9,97	6,86
13	9,48	6,58
14	8,32	6,75
15	9,64	6,53
16	7,48	6,80
17	12,48	6,41
18	16,75	6,24
19	6,29	6,40
20	15,65	6,33
21	12,94	6,35
22	8,19	6,59
23	19,02	6,53
24	7,14	6,42
25	9,19	6,52
26	8,45	6,46
27	17,73	6,50
28	8,6	6,40
29	8,19	6,25
30	7,32	6,30
31	6,96	6,70
32	8,87	6,47
33	17,07	6,64
34	9,20	6,53

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
35	8,06	6,17
36	9,08	6,50
37	6,83	6,58
38	11,44	6,22
39	14,94	6,56
40	7,10	6,58
41	11,20	6,53
42	17,63	6,63
43	8,59	6,5
44	14,00	6,30
45	8,55	6,14
46	10,20	6,25
47	12,25	6,55
48	14,16	6,6
49	9,78	6,63
50	9,37	6,8
51	9,79	6,59
52	11,75	6,49
53	9,53	6,24
54	8,97	6,47
55	11,76	6,21
56	10,04	6,47
57	10,45	6,67
58	10,98	6,14
59	12,33	6,54
60	17,15	6,51
61	19,44	6,40
62	16,42	6,65
63	9,16	6,34
64	9,73	6,53
65	10,15	6,35
66	12,86	6,35
M.O	11,42	6,47
Τυπ. απόκλιση	3,999	0,169

Στο δείγμα 7 έγιναν 66 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,29 mm έως 26,77 mm.

Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 6,14 mm έως 6,86 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 11,42 mm
- διαμέτρου 6,47 mm

Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 3,999 mm
- για τις διαμέτρους 0,169 mm

Πίνακας 19: Διαστάσεις δείγματος 8.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	17,66	6,06
2	13,98	6,09
3	18,95	6,18
4	27,96	6,08
5	19,20	6,07
6	19,71	6,13
7	11,07	6,12
8	29,97	6,08
9	10,90	6,06
10	8,33	6,21
11	9,11	6,15
12	18,31	6,13
13	8,24	6,17
14	11,85	6,05
15	16,43	6,16
16	16,02	6,15
17	11,38	6,10
18	14,29	6,33
19	10,50	6,08
20	15,36	6,14
21	10,39	6,06
22	10,31	6,14
23	8,66	6,12
24	8,92	6,12
25	19,58	6,09
26	27,55	6,15
27	7,19	6,21
28	21,89	6,10
29	21,05	6,16
30	28,8	6,12
31	24,75	6,17
32	23,42	6,11
33	7,93	6,07
34	9,33	6,17
35	15,00	6,11
36	22,06	6,13
37	22,58	6,07
38	22,43	6,12
39	27,38	6,10
40	15,11	6,14
41	21,39	6,15
42	15,71	6,10
43	25,94	6,11
44	20,85	6,09
45	29,06	6,16
46	23,54	6,21
47	19,58	6,15
48	17,97	6,08
49	14,33	6,11
50	7,80	6,09

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
51	14,46	6,10
52	14,32	6,14
53	8,84	6,19
54	17,48	6,09
55	7,39	6,17
56	15,76	6,13
57	6,48	6,13
58	16,97	6,13
59	16,13	6,13
60	20,60	6,15
61	24,02	6,06
62	21,19	6,11
63	17,95	6,08
64	12,53	6,13
65	12,30	6,19
66	17,93	6,16
67	17,03	6,05
68	10,82	6,11
69	16,32	6,10
70	17,16	6,10
71	19,06	6,09
72	14,25	6,20
73	8,58	6,09
74	11,25	6,18
75	16,43	6,09
76	14,26	6,07
77	10,79	6,10
78	15,98	6,17
79	12,86	6,09
80	9,77	6,15
81	15,06	6,14
82	12,96	6,08
83	11,87	6,10
84	17,09	6,15
85	15,88	6,07
86	20,29	6,04
87	12,03	6,07
88	11,97	6,14
89	13,61	6,08
90	10,37	6,16
91	11,01	6,11
92	9,95	6,06
93	11,07	6,05
94	9,11	6,11
95	9,86	6,04
96	9,84	6,16
97	9,94	6,11
M.O	15,57	6,12
Τυπ. απόκλιση	5,737	0,047

Στο δείγμα 8 έγιναν 97 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,48 mm έως 29,97 mm.

Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 6,04 mm έως 6,33 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 15,57 mm
- διαμέτρου 6,12 mm

Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 5,737 mm
- για τις διαμέτρους 0,047 mm

Πίνακας 20: Διαστάσεις δείγματος 9.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	6,59	6,30	37	8,07	6,18
2	18,98	6,23	38	18,56	6,16
3	8,25	6,36	39	9,27	6,44
4	18,02	6,50	40	14,13	6,42
5	19,54	6,60	41	8,92	6,55
6	17,32	6,18	42	17,12	6,43
7	19,46	5,95	43	14,52	6,66
8	21,80	6,21	44	18,16	6,34
9	18,41	6,17	45	13,38	6,22
10	9,86	6,28	46	15,64	6,27
11	17,54	6,00	47	16,19	6,33
12	7,46	6,31	48	10,70	6,23
13	14,66	6,48	49	7,27	6,00
14	9,10	6,01	50	11,56	6,24
15	8,76	6,22	51	19,75	6,26
16	6,64	6,13	52	15,47	5,99
17	11,44	6,53	53	12,01	6,50
18	13,16	6,12	54	13,35	6,25
19	7,85	6,19	55	19,51	6,45
20	7,51	6,27	56	11,79	6,14
21	25,84	6,19	57	10,03	6,40
22	10,00	6,25	58	8,03	6,25
23	20,61	6,04	59	16,47	6,35
24	8,28	6,61	60	11,20	6,28
25	14,80	6,31	61	14,48	6,18
26	18,53	6,50	62	11,83	6,27
27	16,31	6,14	63	8,55	6,41
28	8,29	6,34	64	8,71	6,46
29	17,32	6,32	65	10,41	6,14
30	18,9	6,37	66	8,36	6,32
31	6,25	6,32	67	7,99	6,18
32	8,71	6,23	68	11,30	6,37
33	12,52	6,13	69	8,72	6,17
34	6,21	6,42	M.O	12,96	6,28
35	8,63	6,00	Τυπ. απόκλιση	4,733	0,159
36	19,01	6,21			

Στο δείγμα 9 έγιναν 69 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,21 mm έως 25,84 mm.

Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 5,95 mm έως 6,66 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 12,96 mm
- διαμέτρου 6,28 mm

Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 4,733 mm
- για τις διαμέτρους 0,159 mm

Πίνακας 21: Διαστάσεις δείγματος 10.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
1	16,57	6,20
2	17,25	6,42
3	25,65	6,27
4	22,27	6,40
5	13,72	6,41
6	12,16	6,33
7	12,75	6,24
8	8,51	6,43
9	7,82	6,17
10	13,88	6,55
11	7,26	6,31
12	6,49	6,22
13	8,77	6,24
14	22,74	6,27
15	15,60	6,36
16	7,16	6,49
17	11,04	6,27
18	11,23	6,25
19	10,09	6,31
20	6,60	6,29
21	7,04	6,31
22	13,05	6,35
23	20,80	6,32
24	28,52	6,37
25	20,76	6,36
26	21,19	6,33
27	20,90	6,22
28	21,42	6,33
29	16,75	6,35
30	13,17	6,43
31	21,23	6,32
32	19,27	6,28
33	12,61	6,28
34	11,94	6,14
35	16,15	6,28
36	15,82	6,16
37	13,12	6,42
38	14,34	6,27
39	15,64	6,34

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)
40	10,95	6,37
41	11,85	6,25
42	13,08	6,34
43	23,36	6,34
44	13,79	6,27
45	18,90	6,35
46	16,13	6,29
47	13,53	6,32
48	13,75	6,49
49	16,44	6,47
50	10,49	6,26
51	11,25	6,25
52	15,59	6,33
53	10,87	6,34
54	10,07	6,31
55	14,72	6,32
56	14,57	6,35
57	10,22	6,33
58	9,20	6,15
59	12,17	6,40
60	13,04	6,36
61	9,77	6,27
62	9,13	6,31
63	8,38	6,21
64	9,03	6,26
65	12,01	6,11
66	13,48	6,47
67	11,05	6,46
68	12,37	6,44
69	14,06	6,35
70	12,11	6,31
71	11,61	6,19
72	13,03	6,39
73	9,30	6,19
74	9,34	6,45
75	8,50	6,19
M.O	13,71	6,32
Τυπ. απόκλιση	4,747	0,090

Στο δείγμα 10 έγιναν 75 μετρήσεις pellet όπου:

Οι τιμές των μηκών τους κυμάνθηκαν από 6,49 mm έως 28,52 mm.

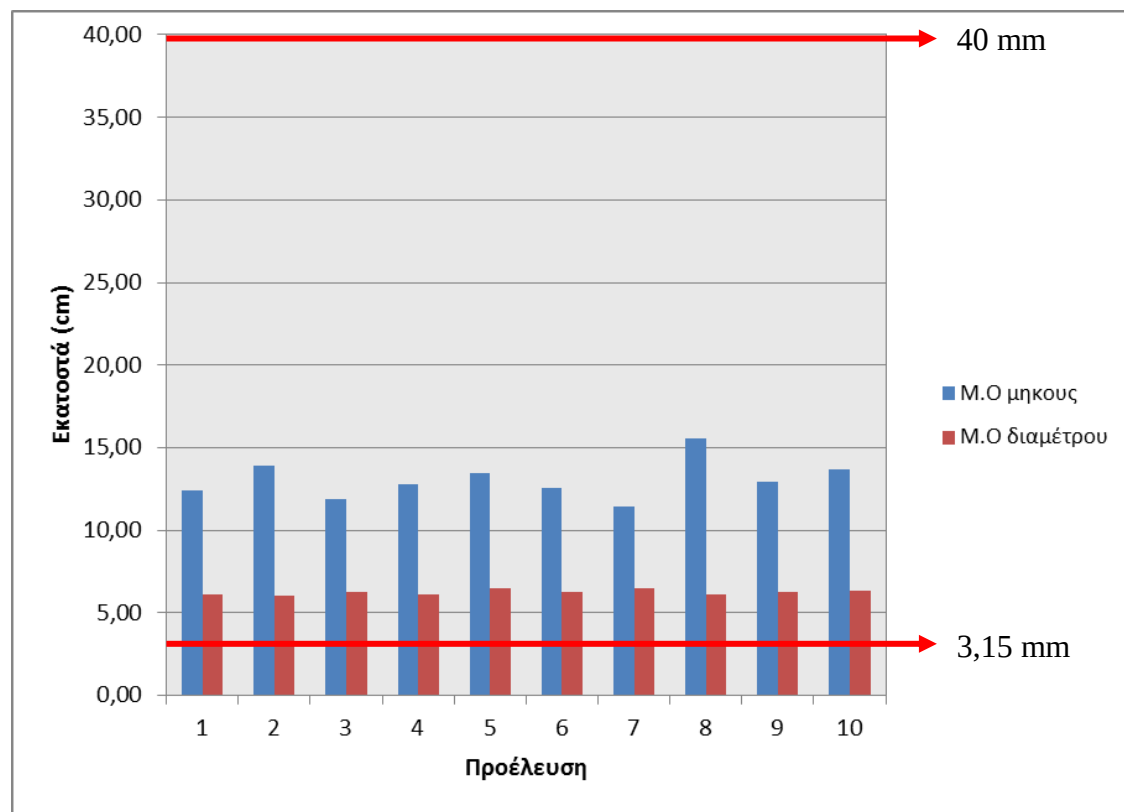
Οι τιμές των διαμέτρων τους κυμάνθηκαν από 6,11 mm έως 6,55 mm.

Ο γενικός μέσος όρος των μετρήσεων ήταν:

- μήκους 13,71 mm
- διαμέτρου 6,32 mm

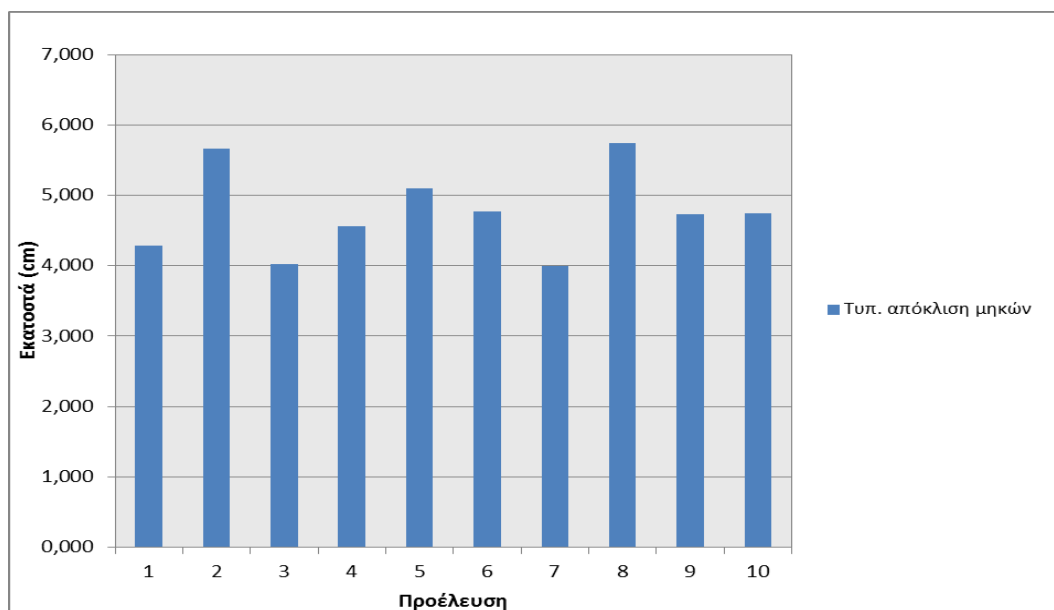
Η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν:

- για τα μήκη 4,747 mm
- για τις διαμέτρους 0,090 mm



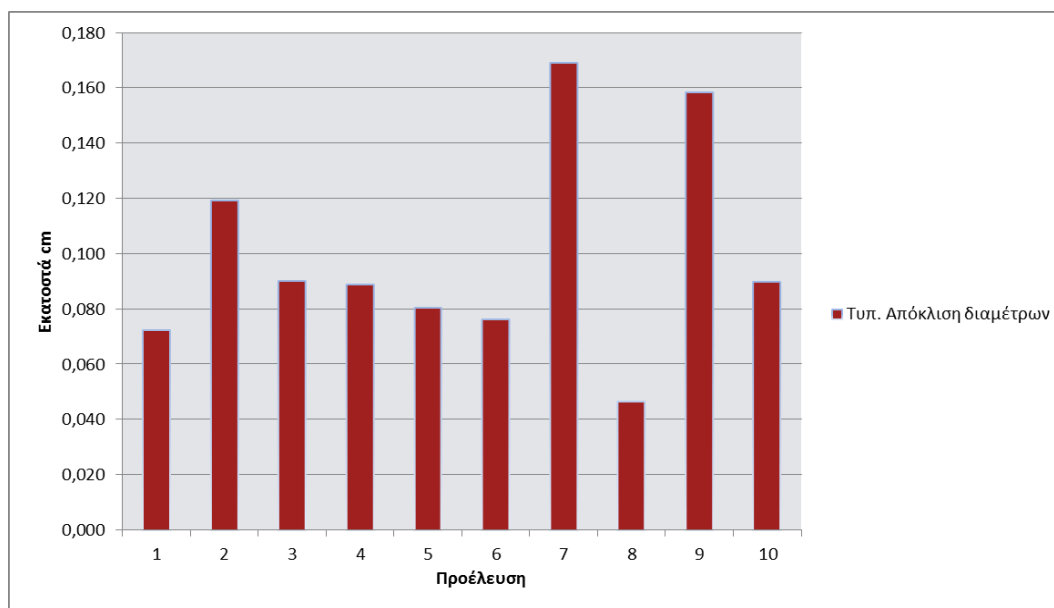
Εικόνα 27: Συγκεντρωτικό γράφημα μέσων όρων μήκους και διαμέτρων των δειγμάτων.

Σύμφωνα με τους **Πίνακες 12-21** και το γράφημα μέσων όρων των διαστάσεων (**Εικόνα 27**), παρατηρείται ότι τα δείγματα 8, 2, 10 παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διαστάσεις μηκών, ενώ τα δείγματα 7, 3 τις μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα. Επιπλέον παρατηρείται ότι τα μήκη όλων των δειγμάτων βρίσκονται μέσα στα διαστασιολογικά όρια μήκους $3,15\text{mm} \leq L \leq 40\text{mm}$, τα οποία ορίζει το πρότυπο **EN14961-2**. Αντιθέτως παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στο μέγεθος της διαμέτρου των δειγμάτων.



Εικόνα 28: Συγκεντρωτικό γράφημα τυπικών αποκλίσεων μήκους των δειγμάτων.

Σύμφωνα με τους **Πίνακες 12-21** και το γράφημα τυπικών αποκλίσεων μήκους των δειγμάτων (**Εικόνα 28**), παρατηρείται ότι τα δείγματα 8, 2 παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ομοιογένεια, ενώ τα δείγματα 7, 3 τη μικρότερη συγκριτικά με τα υπόλοιπα.



Εικόνα 29: Συγκεντρωτικό γράφημα τυπικών αποκλίσεων διαμέτρων των δειγμάτων.

Σύμφωνα με τους Πίνακες 12-21 και το γράφημα τυπικών αποκλίσεων διαμέτρων των δειγμάτων (Εικόνα 29), παρατηρείται ότι το δείγμα 8 παρουσιάζει την μεγαλύτερη ομοιογένεια, ενώ τα δείγματα 9, 7 τη μικρότερη συγκριτικά με τα υπόλοιπα.

Πίνακας 22: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 1.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
1	2,581	27,935	27,76	0,6	27,758	0,0	7,36
1	3,716	28,074	27,831	0,9	27,82	0,0	7,34
1	3,717	28,496	28,211	1,0	28,209	0,0	8,37
Μ.Ο							7,69
Τυπ. απόκλιση							0,588

Πίνακας 23: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 2.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
2	3,020	27,405	27,197	0,8	27,187	0,0	7,78
2	3,652	28,431	28,188	0,9	28,175	0,0	7,54
2	3,222	27,466	27,234	0,8	27,234	0,0	7,76
Μ.Ο							7,69
Τυπ. απόκλιση							0,134

Πίνακας 24: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 3.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
3	2,714	27,143	26,941	0,7	26,937	0,0	8,21
3	2,984	26,289	26,068	0,8	26,061	0,0	8,27
3	2,140	27,456	27,282	0,6	27,281	0,0	8,91
Μ.Ο							8,46
Τυπ. απόκλιση							0,384

Πίνακας 25: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 4.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
4	3,956	28,16	27,939	0,8	27,922	0,1	6,40
4	3,299	27,97	27,778	0,7	27,764	0,1	6,66
4	3,107	27,735	27,52	0,8	27,517	0,0	7,55
M.O							6,87
Τυπ. απόκλιση							0,600

Πίνακας 26: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 5.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
5	4,087	28,331	28,054	1,0	28,046	0,0	7,50
5	2,950	30,041	29,833	0,7	29,827	0,0	7,82
5	2,721	27,529	27,32	0,8	27,319	0,0	8,36
M.O							7,89
Τυπ. απόκλιση							0,438

Πίνακας 27: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 6.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
6	2,765	28,081	27,873	0,7	27,862	0,0	8,60
6	3,778	30,378	30,087	1,0	30,085	0,0	8,41
6	3,328	27,561	27,292	1,0	27,287	0,0	8,97
M.O							8,66
Τυπ. απόκλιση							0,287

Πίνακας 28: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 7.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
7	3,062	27,69	27,464	0,8	27,462	0,0	8,05
7	2,455	26,706	26,523	0,7	26,521	0,0	8,15
7	3,756	28,114	27,817	1,1	27,815	0,0	8,65
M.O							8,28
Τυπ. απόκλιση							0,323

Πίνακας 29: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 8.

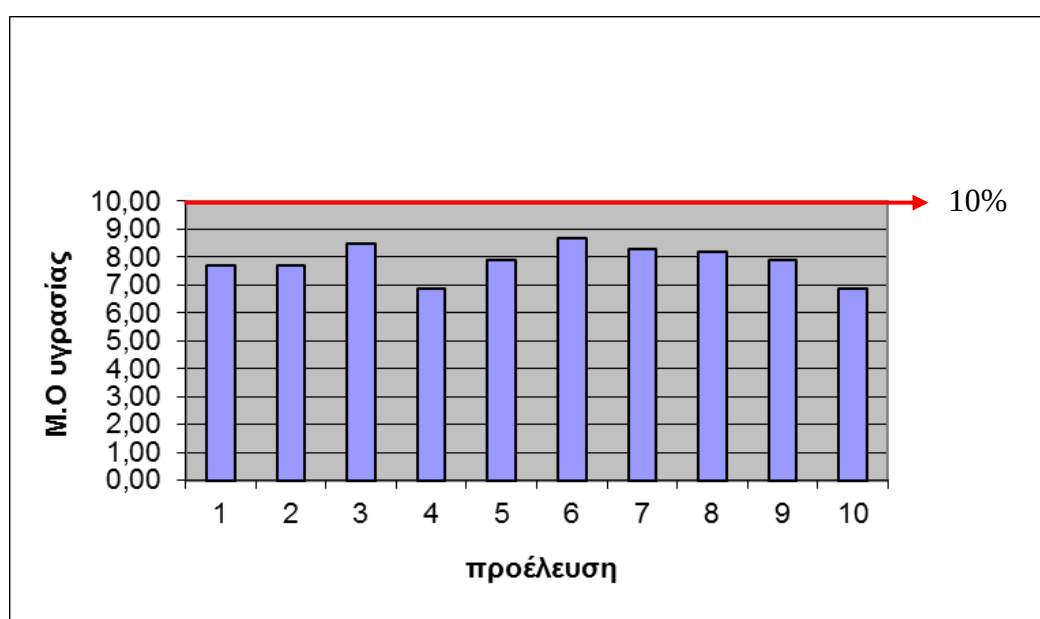
Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
8	3,334	27,567	27,32	0,9	27,313	0,0	8,25
8	4,051	28,246	27,967	1,0	27,948	0,1	7,94
8	3,095	27,766	27,53	0,8	27,525	0,0	8,44
M.O							8,21
Τυπ. απόκλιση							0,254

Πίνακας 30: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 9.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική(g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες(g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες(g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
9	3,850	29,426	29,159	0,9	29,146	0,0	7,84
9	4,285	29,188	28,898	1,0	28,882	0,1	7,69
9	4,145	28,53	28,223	1,1	28,218	0,0	8,14
M.O							7,89
Τυπ. απόκλιση							0,229

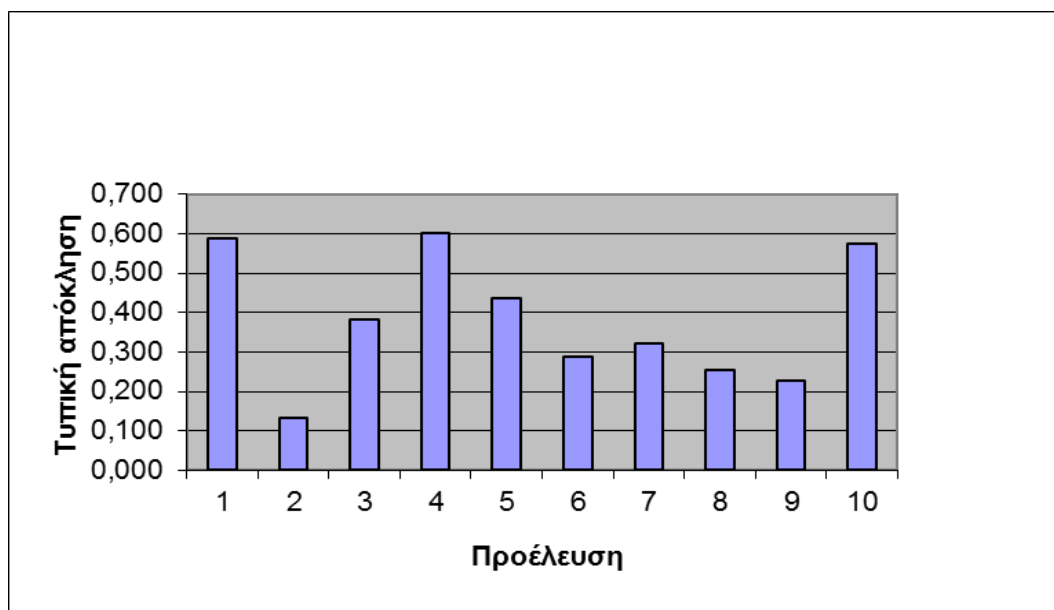
Πίνακας 31: Περιεχόμενη υγρασία του δείγματος 10.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος αρχική (g)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 2 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Μάζα δοχείου και δείγματος μετά από 3 ώρες (g)	Μεταβ. μάζας (%)	Περιεχ. υγρασία (%)
10	4,161	28,969	28,732	0,8	28,714	0,1	6,53
10	4,417	26,874	26,624	0,9	26,602	0,1	6,56
10	3,922	29,498	29,229	0,9	29,223	0,0	7,54
Μ.Ο							6,88
Τυπ. απόκλιση							0,575



Εικόνα 30: Γράφημα μέσου όρου των αποτελεσμάτων της υγρασίας.

Σύμφωνα με τους **Πίνακες 22-31** και το γράφημα μέσων όρων των αποτελεσμάτων υγρασίας (**Εικόνα 29**), παρατηρείται ότι τα δείγματα 6, 3 παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας, ενώ τα δείγματα 4, 10 τα μικρότερα συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Επιπλέον παρατηρείται ότι όλα τα δείγματα παρουσιάζουν υγρασία μικρότερη του 10%, τηρώντας τις απαιτήσεις του προτύπου **EN14961-2**.



Εικόνα 31: Γράφημα τυπικής απόκλισης των αποτελεσμάτων υγρασίας.

Σύμφωνα με τους **Πίνακες 22-31** και το γράφημα μέσω των όρων των αποτελεσμάτων της τυπικής απόκλισης των υγρασιών (**Εικόνα 31**), παρατηρείται ότι τα δείγματα 1, 4, 10 παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ομοιογένεια, ενώ τα δείγματα 2, 9 τη μικρότερη συγκριτικά με τα υπόλοιπα.

Πίνακας 32: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 1.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία ¹ (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας ² (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
1	0,9509	16,10	31,9746	1,7773	4507,50
1	1,0003	12,46	31,8742	1,8677	4507,37
1	0,9903	13,86	31,5819	1,8571	4525,59
M.O					4513,49
Τυπ. απόκλιση					10,48

¹: Η θερμοκρασία του νερού του θερμομανδύα πριν την έναυση.

²: Η θερμοκρασία ισορροπίας του νερού του θερμομανδύα μετά την έναυση.

Πίνακας 33: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 2.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
2	1,0430	14,98	31,0104	1,8811	4351,53
2	0,9735	18,62	31,7176	1,7532	4340,27
2	1,0695	16,38	31,1562	1,9267	4345,56
M.O					4345,79
Τυπ. απόκλιση					5,63

Πίνακας 34: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 3.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
3	1,1144	15,96	31,8179	2,0596	4459,47
3	1,0452	16,52	32,5387	1,9321	4459,03
3	0,9480	14,42	32,4765	1,7468	4445,28
M.O					4454,59
Τυπ. απόκλιση					8,07

Πίνακας 35: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 4.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
4	1,0926	12,60	32,8379	2,0871	4612,47
4	1,0628	17,08	31,9761	2,0275	4601,84
4	0,9835	15,26	32,7089	1,8754	4600,30
M.O					4604,87
Τυπ. απόκλιση					6,63

Πίνακας 36: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 5.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
5	1,0446	18,34	32,7177	1,9553	4513,50
5	0,9996	17,36	32,8655	1,8717	4515,29
5	1,0015	13,16	32,1741	1,8751	4518,99
M.O					4515,93
Τυπ. απόκλιση					2,80

Πίνακας 37: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 6.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
6	1,0788	19,74	32,9186	2,0225	4519,88
6	1,0053	19,88	32,4990	1,8744	4493,71
6	1,0119	18,62	32,8661	1,8900	4502,91
M.O					4505,50
Τυπ. απόκλιση					13,28

Πίνακας 38: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 7.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
7	1,0436	21,00	32,8754	1,9341	4466,17
7	1,0355	15,54	32,7296	1,9275	4490,88
7	1,0609	19,04	32,5298	1,9692	4475,14
M.O					4477,40
Τυπ. απόκλιση					12,51

Πίνακας 39: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 8.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
8	1,0339	16,94	32,2617	1,9091	4453,51
8	1,0968	21,84	32,7804	2,0314	4463,59
8	1,0194	19,88	32,8164	1,8880	4463,87
M.O					4460,32
Τυπ. απόκλιση					5,90

Πίνακας 40: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 9.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
9	1,1139	18,90	33,1724	1,9741	4273,14
9	0,9658	20,44	33,1945	1,7100	4264,91
9	1,0229	20,02	32,9619	1,8187	4284,37
M.O					4274,14
Τυπ. απόκλιση					9,77

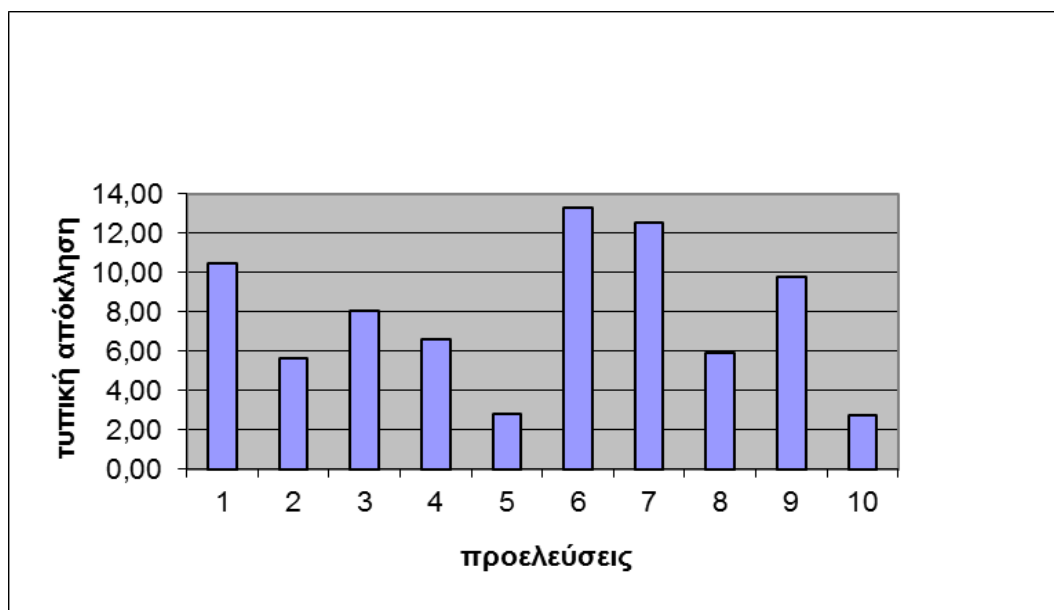
Πίνακας 41: Θερμογόνος δύναμη του δείγματος 10.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Διόρθωση νήματος έναυσης(g)	Αρχική θερμοκρασία (°C)	Άνοδος θερμοκρασίας (°C)	Θερμογόνος δύναμη (cal/g)
10	1,0523	19,60	32,3579	1,9684	4509,41
10	0,9824	17,92	32,2489	1,9364	4506,74
10	1,0028	21,42	32,5564	1,8781	4512,19
M.O					4509,45
Τυπ. απόκλιση					2,73



Εικόνα 32: Γράφημα μέσου όρου των αποτελεσμάτων της θερμογόνου δύναμης.

Συμφώνα με τους **Πίνακες 32-41** και το γράφημα μέσων όρων των αποτελεσμάτων της θερμογόνου δύναμης (**Εικόνα 32**), παρατηρείται ότι τα δείγματα 4, 5 παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά θερμογόνου δύναμης, ενώ τα δείγματα 9, 2 τα μικρότερα συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Επίσης παρατηρούμε ότι όλα τα δείγματα παρουσιάζουν τιμές θερμογόνου μεγαλύτερες των 3940.40 cal/g. Γι' αυτό το λόγο κατατάσσονται σε κατηγορία A1 όσον αφορά την θερμιδική τους αξία βάσει του προτύπου **EN14961-2**. Τέλος παρατηρείται ότι το δείγμα 4 παρουσιάζοντας μεγαλύτερη τιμή του 4538.07 cal/g υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις του προτύπου.



Εικόνα 33: Γράφημα τυπικής απόκλισης των αποτελεσμάτων θερμογόνου δύναμης.

Σύμφωνα με τους **Πίνακες 32-41** και το γράφημα μέσω των όρων των αποτελεσμάτων της τυπικής απόκλισης της θερμογόνου δύναμης (**Εικόνα 33**), παρατηρείται ότι τα δείγματα 7, 6 παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ομοιογένεια, ενώ τα δείγματα 10, 5 τη μικρότερη συγκριτικά με τα υπόλοιπα.

Πίνακας 42: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 1.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
1	1,0050	0,0038	1,930	6,32	0,4
1	1,0409	0,0039	1,930	6,32	0,4
1	1,0514	0,0039	1,930	6,32	0,4
M.O				6,32	0,40
Τυπική απόκλιση					0,0038

Πίνακας 43: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 2.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
2	1,0063	0,0142	2,020	7,03	1,5
2	1,0344	0,0146	2,020	7,03	1,5
2	1,0659	0,0148	2,020	7,03	1,5
M.O				7,03	1,51
Τυπική απόκλιση					0,0141

Πίνακας 44: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 3.

Προέλευση	Μάζα δείγματος(g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
3	1,0446	0,0055	1,916	7,31	0,6
3	1,0070	0,0054	1,916	7,31	0,6
3	1,0093	0,0056	1,916	7,31	0,6
M.O				7,31	0,58
Τυπική απόκλιση					0,0155

Πίνακας 45: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 4.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
4	1,0346	0,0047	1,995	5,41	0,5
4	1,0055	0,0043	1,995	5,41	0,5
4	1,0109	0,0043	1,995	5,41	0,4
M.O				5,41	0,46
Τυπική απόκλιση					0,0170

Πίνακας 46: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 5.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
5	1,0028	0,0110	1,991	6,53	1,2
5	1,0019	0,0109	1,991	6,53	1,2
5	1,0094	0,0112	1,991	6,53	1,2
M.O				6,53	1,17
Τυπική απόκλιση					0,0116

Πίνακας 47: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 6.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
6	1,0108	0,0043	1,942	7,00	0,5
6	1,0035	0,0039	1,942	7,00	0,4
6	1,0115	0,0036	1,942	7,00	0,4
M.O				7,00	0,42
Τυπική απόκλιση					0,0374

Πίνακας 48: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 7.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
7	1,0033	0,0059	1,904	6,83	0,6
7	1,0254	0,0059	1,904	6,83	0,6
7	1,0013	0,0059	1,904	6,83	0,6
M.O				6,83	0,63
Τυπική απόκλιση					0,0082

Πίνακας 49: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 8.

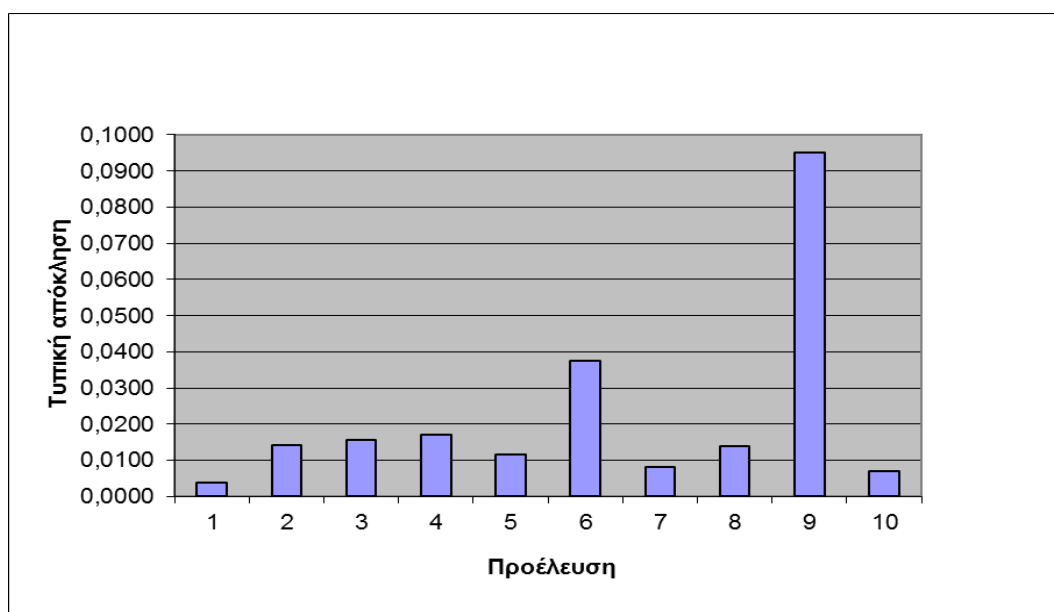
Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
8	1,0255	0,0038	1,942	7,57	0,4
8	1,0139	0,0035	1,942	7,57	0,4
8	1,0835	0,0039	1,942	7,57	0,4
M.O				7,57	0,39
Τυπική απόκλιση					0,0138

Πίνακας 50: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 9.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
9	1,0437	0,0327	1,910	7,59	3,4
9	1,0197	0,0323	1,910	7,59	3,4
9	1,0129	0,0304	1,910	7,59	3,2
Μ.Ο				7,59	3,36
Τυπική απόκλιση					0,0950

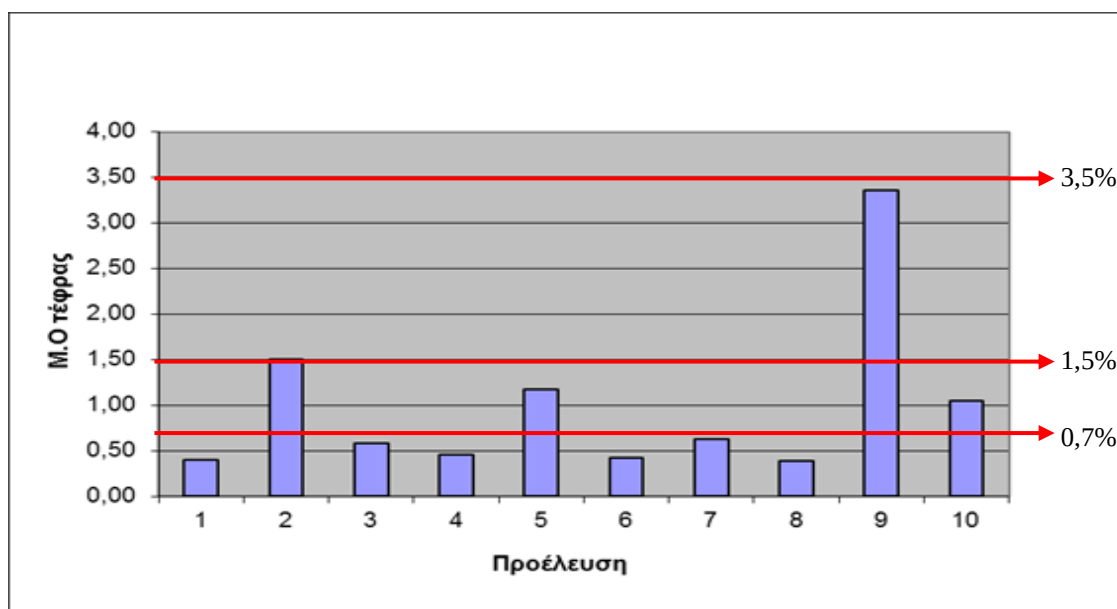
Πίνακας 51: Περιεχόμενη τέφρα του δείγματος 10.

Προέλευση	Μάζα δείγματος (g)	Μάζα τέφρας (g)	Ξηρή μάζα δείγματος (g)	Περιεχόμενη υγρασία (%)	Περιεχόμενη τέφρα (%)
10	1,0268	0,0101	1,939	7,12	1,1
10	1,0600	0,0104	1,939	7,12	1,1
10	1,0090	0,0098	1,939	7,12	1,0
Μ.Ο				7,12	1,05
Τυπική απόκλιση					0,0070



Εικόνα 34: Γράφημα τυπικής απόκλισης των αποτελεσμάτων της τέφρας.

Σύμφωνα με τους **Πίνακες 42-51** και το γράφημα μέσων όρων τυπικής απόκλισης των αποτελεσμάτων της τέφρας (**Εικόνα 34**), παρατηρείται ότι το δείγμα 9 ξεπερνά πολύ σε ομοιογένεια τους υπόλοιπους τύπους δειγμάτων ,αντιθέτως το δείγμα 1 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανομοιογένεια στο σύνολο τους.



Εικόνα35: Γράφημα μέσου όρου των αποτελεσμάτων της τέφρας.

Σύμφωνα με τους **Πίνακες 42-51** και το γράφημα μέσων όρων των αποτελεσμάτων της τέφρας (**Εικόνα35**) παρατηρείται ότι τα ποσοστά των ανόργανων ουσιών του δείγματος 9 βρίσκονται σε πολύ μεγάλο βαθμό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα, ενώ τα ποσοστά τέφρας των δειγμάτων 1, 4, 6, 8 είναι τα χαμηλότερα. Επίσης παρατηρούμε βάσει του προτύπου **EN14961-2** ότι τα δείγματα 1, 3, 4, 6, 7, 8 παρουσιάζουν ποσοστό τέφρας κλάσεως A1 ($A \leq 0,7$), τα δείγματα 5, 10 παρουσιάζουν ποσοστό τέφρας κλάσεως A2 ($0,7 < A \leq 1,5$), ενώ τα δείγματα 2, 9 ποσοστό τέφρας κλάσεως B ($1,5 < A \leq 3,5$).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικότερα το pellet θεωρείται αρκετά αξιόπιστο για τη χρήση του ως βιοκαύσιμο αναλογικά της τιμής του. Ωστόσο αν συγκριθούν pellet διαφορετικών ειδών μεταξύ τους οι βασικοί παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο για την καταλληλότητα και την ποιοτική τους κατάταξη είναι τα χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων τους.

Στην παρούσα έρευνα τα βασικότερα συμπεράσματα που προήλθαν από την σύγκριση των παραπάνω δέκα διαφορετικών προελεύσεων-ποιοτήτων pellet που μελετήθηκαν συνοψίζονται παρακάτω:

- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των διαστασιολογικών μετρήσεων που διεξήχθησαν, παρατηρούμε ότι τα δείγματα 8, 2, 10 παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διαστάσεις των μηκών, ενώ τα δείγματα 7, 3 τις μικρότερες συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα. Αντιθέτως δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στα μεγέθη των διαμέτρων τους. Από τα αποτελέσματα αυτά συμπεραίνουμε επίσης ότι και τα δέκα δείγματα τηρούν τις προδιαγραφές του προτύπου **EN14961-2**, εφόσον βρίσκονται ανάμεσα στο διαστασιολογικό όριο μήκους $3,15 \leq L \leq 40$ mm και διαμέτρου $d=6 \pm 1$ mm. Επιπρόσθετα τη μεγαλύτερη ομοιογένεια μηκών παρουσίασαν τα δείγματα 8, 2 και των διαμέτρων το 8, ενώ τη μεγαλύτερη ανομοιογένεια των μηκών παρουσίασαν τα δείγματα 7, 3 και των διαμέτρων τα 9, 7.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διεξήχθησαν για την περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων, παρατηρούμε ότι τα δείγματα 6, 3 παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας, ενώ τα δείγματα 4, 10 τα μικρότερα συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Από τις παραπάνω μετρήσεις συμπεραίνουμε επίσης ότι και τα δέκα δείγματα παρουσιάζουν περιεχόμενη υγρασία μικρότερη του 10% τηρώντας τις προδιαγραφές του προτύπου **EN14961-2**. Τέλος, παρατηρούμε ότι τα δείγματα 1, 4, 10 παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ομοιογένεια, ενώ τα δείγματα 2, 9 τη μικρότερη συγκριτικά με τα υπόλοιπα.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διεξήχθησαν ως προς την απόδοση της θερμιδικής αξίας των δειγμάτων, παρατηρούμε ότι τα δείγματα 4, 5 παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά θερμογόνου δύναμης, ενώ τα δείγματα 9, 2 τα μικρότερα συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Επίσης παρατηρούμε ότι τα δείγματα 7, 6 παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ομοιογένεια, ενώ τα δείγματα 10, 5 τη μικρότερη από το σύνολο των δειγμάτων. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι, σύμφωνα με το πρότυπο **EN14961-2**, τα δείγματα βάσει της θερμιδικής τους ενέργειας κατατάσσονται σε κατηγορία A1.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διεξήχθησαν όσον αφορά τη μέτρηση της περιεχόμενης τέφρας των δειγμάτων, παρατηρούμε ότι τα ποσοστά των ανόργανων ουσιών του δείγματος 9 βρίσκονται σε πολύ μεγάλο βαθμό συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα, ενώ τα ποσοστά τέφρας των δειγμάτων 1, 4, 6, 8 είναι τα χαμηλότερα. Αντίθετα το δείγμα 9 ξεπερνά πολύ σε ομοιογένεια τους υπόλοιπους τύπους δειγμάτων, ενώ το δείγμα 1 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανομοιογένεια στο σύνολο τους. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι, σύμφωνα με το πρότυπο **EN14961-2**, τα δείγματα βάσει της τέφρας που παρουσιάζουν κατατάσσονται σε A1 τα 8, 1, 6, 4, 3, 7 σε A2 τα 10, 5 και σε B τα 2, 9.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα, οι προελεύσεις των pellet ταξινομούνται ως προς την ποιότητά τους σε φθίνουσα σειρά (από την καλύτερη προς την χειρότερη ποιότητα) με την εξής ακολουθία: **4, 1, 6, 5, 10, 3, 7, 8, 2, 9** και κατατάσσονται στις ανάλογες κλάσεις σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 52: Κατάταξη των δειγμάτων σε κλάσεις

Προελεύσεις Κλάσεις	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1 (6)										
A2 (2)										
B (2)										

 : Ανήκει στην κλάση.

 : Δεν ανήκει στην κλάση.

Οι λόγοι για τους οποίους υποβιβάστηκε η ποιότητα των pellet σε A2 και B κλάση ήταν κατά κύριο λόγο η **περιεχόμενη τέφρα**. Ενδεικτικά στον ακόλουθο πίνακα διακρίνονται οι κλάσεις των δειγμάτων δίχως να λάβουμε υπόψη την περιεχόμενη τους τέφρα.

Πίνακας 53: Κατάταξη των δειγμάτων σε κλάσεις χωρίς την τέφρα.

Προελεύσεις Κλάσεις	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1										
A2										
B										

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson HE (1970) Forest fuel ignitability. *Fire Technology* 6(4), 312–319
- D. Gillon¹, R. Joffre, C. Hernando, J.-C Valette, 1997. Fast estimation of the calorific values of forest fuels by near-infrared reflectance spectroscopy, volume 27, pp. 760-765
- EN 14774-1, Solid biofuels – Methods for the determination of moisture content – Oven dry method – Part 1: Total moisture – Reference method
- EN 14774-2, Solid biofuels – Methods for the determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified procedure
- EN 14775, Solid biofuels – Methods for the determination of ash content
- EN 14918, Solid Biofuels – Method for the determination of calorific value
- EN 14961:2010. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 1 – General requirements. CEN (European Committee for Standardization). January 2010
- EN 15103, Solid Biofuels – Methods for the determination of bulk density
- Kuokkanen M. , T. Kuokkanen, T. Stoor, J Niinimäki, V. Pohjonen, 2009. Chemical methods in the development of eco-efficient wood-based pellet production and technology. *Waste Management & Research*, Volume 27, pp. 561–571
- Mutch RW, Philpot CW (1970) Relation of silica content to flammability in grasses. *Forest Science* 16, 64–65.
- Nunez-Regueira L. , Jose A. RodrõÄguez-AnÄon, J. ProupõÄn-CastinÄeiras, A. Vilanova-Diz, N. Montero-SantovenÄa, 2001. Determination of calorific values of forest waste biomass by static bomb calorimetry. *Thermochimica Acta*, volume 371, pp. 23-31
- Oberthür S. , H. Ott, 1997. International Climate Policy for the 21st Century. The Kyoto Protocol
- Philpot CW (1970) Influence of mineral content on the pyrolysis of plant material. *Forest Science* 16(4), 461–471
- Piotrowska P. , M. Zevenhoven, M. Hupa, J. Giuntoli, W. Jong, 2013. Residues from the production of biofuels for transportation: Characterization and ash sintering tendency. *Fuel Processing Technology*, Volume 105, pp. 37-45
- prEN 14588:2009, Solid biofuels — Terminology, definitions and descriptions
- prEN 14778, Solid Biofuels –Sampling
- prEN 14780, Solid Biofuels – Methods for sample preparation
- prEN 14961.2009. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 2 – Wood pellets for non-industrial use (draft document N192). December 2009. 9p.
- prEN 14961.2009. Solid biofuels – Fuel Specification and classes, Part 6 – Non-woody pellets for non-industrial use (draft document N200). May 2009. 9p.
- prEN 15104, Solid Biofuels – Determination of carbon, hydrogen and nitrogen – Instrumental method
- prEN 15149-1 , Solid biofuels – Determination of particle size distribution - Part 1: Oscillating screen method using sieve apertures of 1 mm and above

- prEN 15150, Solid Biofuels – Methods for the determination of particle density
- prEN 15210-1, Solid Biofuels – Methods for the determination of mechanical durability of pellets and briquettes – Part 1: pellets
- prEN 15234-1, Solid Biofuels – Fuel quality assurance, Part 1: General requirements
- prEN 15234-1, Solid Biofuels – Fuel quality assurance, Part 2. Wood pellets for non-industrial use. December 2009 (draft document N224), 17 p.
- prEN 15289, Solid Biofuels – Determination of total content of sulphur and chlorine
- prEN 15290, Solid Biofuels – Determination of major elements
- prEN 15296, Solid Biofuels – Conversion of analytical results from one basis to another
- prEN 15297, Solid Biofuels – Determination of content of minor elements
- prEN 15370, Solid Biofuels – Methods for the determination of ash melting behavior
- Richards G. , 2001. Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species. International Journal of Wildland Fire, Volume 10, pp. 23–27
- Rodríguez J. , M. González Alonso, E Fraga, J. Palacios, L. Nieto Regueira, 1994. Forest waste as a potential alternative energy source. Journal of Thermal Analysis, Volume 41, pp. 1393-1398
- Rothmel RC (1972) A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service, Res. Pap. INT-115, Ogden, UT.
- Shafizadeh F, Chin PS, DeGroot WF (1977) Effective heat content of green forest fuels. Forest Science 23(1), 81–89.
- Sussot R., DeGroot WF, Shafizadeh F (1975) Heat content of natural fuels. Fire and Flammability 6, 311–325.
- Telmo C., J. Lousada, 2011. Heating values of wood pellets from different species. biomass and bioenergy, volume 35, pp. 2634-2639
- Wahlund B, Yan J and Westermarck M 2002. A total energy system of fuel upgrading by drying biomass feedstock for cogeneration: a case study of Skellefteå bioenergy combine. Biomass and Bioenergy 23(4), 271-281.
- www.biomassenergy.gr, ημερομηνία επίσκεψης: Ιούλιος 2014
- www.desmie.gr, ημερομηνία επίσκεψης: Ιούλιος 2014
- www.hellaspellets.gr, ημερομηνία επίσκεψης: Ιούλιος 2014
- www.modernfuels.gr, ημερομηνία επίσκεψης: Ιούλιος 2014
- www.lignite.gr, ημερομηνία επίσκεψης: Ιούλιος 2014
- www.cleavebooks.co.uk/scol/ccshcapm.htm, ημερομηνία επίσκεψης: Νοέμβριος 2014