

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΥΣΗΣ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ

I. Μπαρμπούτης^{1*}, Χ. Λυκίδης²

¹ Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη,
e-mail: jbarb@for.auth.gr

² Ινστιτούτο ΜΔΟ & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, ΕΛΓΟ «Δήμητρα»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σημαντικό μέρος της δασικής βιομάζας που παράγεται στα δάση της Ελλάδας χρησιμοποιείται παραδοσιακά για ενεργειακούς σκοπούς υπό τη μορφή καυσόξυλων ή ξυλοκάρβουνων. Η χρήση της εν λόγω βιομάζας υπό τη μορφή σύμπηκτων (pellets) παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους ενεργειακής αξιοποίησης καθώς βελτιώνει την ποιοτική εκμετάλλευση της βιομάζας και επιπλέον μειώνει τον όγκο και το κόστος μεταφοράς της. Λόγω διαφορών στη χημική τους δομή, το ξύλο και ο φλοιός παρουσιάζουν διαφορές στα χαρακτηριστικά καύσης τους. Στην παρούσα έρευνα προσδιορίστηκε η υψηλή θερμαντική αξία (HHV) και η περιεχόμενη τέφρα του ξύλου και του φλοιού από τα παρακάτω δασικά είδη αειφύλλων πλατυφύλλων που φύονται στην περιοχή της Χαλκιδικής: *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea latifolia* και *Erica arborea*). Για λόγους σύγκρισης ίδιος προσδιορισμός έγινε και για δυο φυλλοβόλλα πλατύφυλλα της ίδιας περιοχής που επίσης χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για θερμική χρήση: *Fagus sylvatica* και *Ostrya carpinifolia*. Για όλα τα παραπάνω είδη έγινε προσδιορισμός της διαμέτρου της ξυλείας, του πάχους φλοιού και της αναλογίας φλοιού-ξύλου. Τα αποτελέσματα των προσδιορισμών έδειξαν ότι ο φλοιός της *Quercus coccifera* έδειξε τις υψηλότερες τιμές περιεχόμενης τέφρας ενώ το ξύλο της *Erica arborea* παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές υψηλής θερμαντικής αξίας. Όλα τα δοκιμασθέντα αείφυλλα παρουσίασαν υψηλότερα ποσοστά περιεχόμενης τέφρας φλοιού και μικρότερη περιεχόμενη τέφρα ξύλου. Αντίστοιχα, όλα τα δοκιμασθέντα αείφυλλα εκτός από το *Phyllirea latifolia* παρουσίασαν υψηλότερες τιμές θερμαντικής αξίας ξύλου και μικρότερες τιμές για το φλοιό. Η συσχέτιση των τιμών περιεχόμενης τέφρας με τη θερμαντική αξία των δοκιμασθέντων υλικών ήταν αδύναμη. Ο φλοιός των αειφύλλων πλατυφύλλων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή σύμπηκτων αρκεί η χρήση τους να γίνει σε τέτοιες αναλογίες που θα διατηρούν τα ποσοστά περιεχόμενης τέφρας κάτω από τα όρια που τίθενται από τα σχετικά ευρωπαϊκά πρότυπα.

Λέξεις Κλειδιά: Αείφυλλα πλατύφυλλα, φλοιός, ξύλο, τέφρα, θερμαντική αξία

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαρκής αναζήτηση για νέες πηγές ενέργειας αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό του σύγχρονου πολιτισμού. Στις μέρες μας, υπό την επίδραση του «φαινόμενου του θερμοκηπίου» η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει αποκτήσει εξέχουσα σημασία στον αγώνα για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε πολλές περιοχές της υφηλίου. Η χρήση ξυλώδους βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας αποτελεί μια αξιόλογη επιλογή που συνάδει με την ως άνω απαίτηση καθώς υπάρχουν πολυάριθμες πηγές τέτοιων υλικών. Παράλληλα η συμπύκνωση βιομάζας και η παραγωγή σύμπηκτων παρουσιάζει επιπλέον πλεονεκτήματα που απορρέουν από τη μεγάλη διαθεσιμότητα και τον περιορισμό του όγκου της [1]. Διάφορες εναλλακτικές πηγές βιομάζας έχουν προταθεί ή ήδη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμων όπως απορρίμματα δευτερογενούς επεξεργασίας ξύλου (ξυλόσκονη και άλλα υπολείμματα), αγροτικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες αλλά και δασική βιομάζα [2][3][4][5][6]. Η συγκομιδή και χρήση της δασικής βιομάζας Μεσογειακών δασών έχει αναγνωριστεί όχι μόνο ως μέσο για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών αλλά για την προστασία που παρέχει από δασικές πυρκαγιές [7]. Στην Ελλάδα πολλά δάση αειφύλλων πλατυφύλλων είναι πρεμνοφυή με μικρό περίπλοπο χρόνο (25-30 χρόνια) και υλοτομούνται αποψιλωτικά για την παραγωγή ξυλοκάρβουνου και καυσόξυλων. Παρόλα αυτά η εν λόγω διεύρυνση των πηγών πρώτων υλών για ενεργειακή χρήση παράλληλα με τις ευκαιρίες που παρουσιάζει, αυξάνει και την ανάγκη για λεπτομερή ανάλυση και βαθύτερη γνώση των προτεινόμενων εναλλακτικών πηγών βιομάζας. Η ανάγκη αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση της δασικής βιομάζας (υπολείμματα υλοτομιών, πυροπροστατευτικοί καθαρισμοί κ.α.) η οποία περιλαμβάνει πλήθος διαφορετικών ειδών βλάστησης με διαφορετικά χαρακτηριστικά και χημική σύσταση και επομένως διαφορετικές θερμικές ιδιότητες και εν γένει απαιτήσεις χειρισμού της. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της ως άνω μεταβλητότητας είναι η παρουσία φλοιού, ο οποίος παρουσιάζει σημαντικές διαφορές (πχ κατά κανόνα μεγαλύτερα ποσοστά περιεχόμενης τέφρας) από το ξύλο. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την παραδοσιακή παραγωγή ξυλοκάρβουνου, ο φλοιός απομακρύνεται παθητικά και κατά συνέπεια δε χρησιμοποιείται ενώ με την συμπύκνωση και την παραγωγή σύμπηκτων, ο φλοιός, κατά κανόνα, παραμένει και συμμετέχει στην παραγωγή τους.



Εικόνα 1: Περιοχή μετά την υλοτομία αειφύλλων πλατυφύλλων



Εικόνα 2: Ξυλώδης βιομάζα από δάση αειφύλλων πλατυφύλλων για παραγωγή κάρβουνου

Σε ότι αφορά τα μεσογειακά δασικά είδη πλατυφύλλων έχουν δημοσιευθεί σχετικές εργασίες [8][9][10] αλλά υπάρχουν περιορισμένα στοιχεία για τις διαφορές θερμικών χαρακτηριστικών ξεχωριστά για το φλοιό και το ξύλο των ειδών αυτών. Σχετικά με την επίδραση του φλοιού στην ποιότητα των βιοκαυσίμων ο Fillbakk και οι συνεργάτες του αναφέρουν ότι επιφέρει αύξηση της τάσης εμφάνισης θερμικής συσσωμάτωσης (sintering) κατά την καύση και επομένως συσχετίζεται με προβλήματα καύσης [11]. Σχετικά με την παρουσία τέφρας ο Lehtikangas αναφέρει ότι αυξημένα ποσοστά περιεχόμενης τέφρας επιφέρουν χαμηλότερη θερμαντική αξία του βιοκαυσίμου, αυξάνουν τον κίνδυνο θερμικής συσσωμάτωσης και γενικά έχουν αρνητική επίδραση στον εξοπλισμό παραγωγής σύμπτηκτων (πέλετ, μπρικετες) [12]. Για το λόγο αυτό στο πρόσφατο σχετικό ευρωπαϊκό πρότυπο προβλέπεται μέγιστη τιμή περιεχόμενης τέφρας στα βιοκαύσιμα ίση με 3% [13] [14].

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν ο προσδιορισμός της θερμαντικής αξίας και της περιεχόμενης τέφρας του ξύλου και του φλοιού Μεσογειακών δασικών ειδών πλατυφύλλων όπως και η σχέση των δυο αυτών θερμικών ιδιοτήτων για τα εξετασθέντα είδη.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία ξυλώδους βιομάζας από τα αείφυλλα πλατύφυλλα δασικά είδη: *Arbutus unedo* (κουμαριά), *Quercus ilex* (αριά), *Quercus coccifera* (πρίνος - πουρνάρι), *Erica arborea* (ερείκι) and *Phillyrea latifolia* (φιλίκι). Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε από δάση της ανατολικής Χαλκιδικής και το δείγμα αποτελούταν από κορμίδια διαμέτρου έως 10cm, τα οποία προερχόταν από υλικό υλοτομίας για παραγωγή καυσόξυλων. Για συγκριτικούς λόγους έγινε επιπλέον δειγματοληψία κορμών από οξιά (*Fagus sylvatica*) και όστρια (*Ostrya carpinifolia*) καθώς τα εν λόγω είδη φύονται στην Χαλκιδική και το ξύλο τους παραδοσιακά χρησιμοποιείται για καυσόξυλα. Όλα τα ανωτέρω δείγματα θρυμματίστηκαν με φορητό θρυμματιστή και ακολούθως ελήφθησαν μικρότερα δείγματα

μάζας περίπου 0,5Kg από έκαστο με τη μέθοδο δημιουργίας κώνου και λήψης τεταρτημόριου (coning and quartering). Ακολούθως τα δείγματα ξηράθηκαν ελεύθερα στον αέρα, κονιοποιήθηκαν με μύλο τύπου Wiley σε διαστάσεις μικρότερες από 0,7mm και υπέστησαν ήπια ξήρανση μέχρι σταθερής μάζας σε φούρνο υπό θερμοκρασία $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ για χρονικό διάστημα 2 εβδομάδων. Το ποσοστό περιεχόμενου φλοιού υπολογίστηκε ως το πηλίκο της επιφάνειας του φλοιού σε μια εγκάρσια επιφάνεια κορμιδίου προς τη συνολική επιφάνεια τομής αυτής. Πραγματοποιήθηκαν 30 επαναλήψεις της ως άνω μέτρησης για κάθε υλικό της παρούσας έρευνας.

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης τέφρας εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που περιγράφεται στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14775:2004 [15]. Δείγματα μάζας τουλάχιστον 1g ζυγίστηκαν με ανάλυση 0.1mg σε προζυγισμένα χωνευτήρια πορσελάνης και μεταφέρθηκαν σε κρύο κλίβανο αποτέφρωσης τύπου Heraeus MR 170 με ρυθμό ανανέωσης αέρα περίπου 5 φορές το λεπτό. Η θερμοκρασία του κλίβανου αυξήθηκε στους 250°C μέσα σε χρονικό διάστημα 50min και διατηρήθηκε σε αυτό το επίπεδο για 60min. Στη συνέχεια η θερμοκρασία αυξήθηκε με σταθερό ρυθμό στους 550°C μέσα σε χρονικό διάστημα 60min και διατηρήθηκε σε αυτό το επίπεδο για 3h. Έπειτα τα χωνευτήρια μεταφέρθηκαν σε κενό ξηραντήριο (desiccator) χωρίς καπάκι για 5min και με αεροστεγώς κλειστό καπάκι για 15min και μετά ζυγίστηκαν. Για να διασφαλιστεί η πλήρης αποτέφρωση των δειγμάτων, τα χωνευτήρια επανατοποθετήθηκαν στον κλίβανο για διαστήματα των 30min στους 550°C και επαναζυγίστηκαν έως ότου οι μεταβολή μάζας και κάθε ένα από αυτά να μην είναι μεγαλύτερη από 0,2mg. Η περιεχόμενη τέφρα (επί της ξηρής μάζας δείγματος) υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$Ad = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100$$

όπου:

m_1 : Η μάζα (g) του κενού χωνευτηρίου

m_2 : Η μάζα (g) του χωνευτηρίου και του ξηρού δείγματος

m_3 : Η μάζα (g) του χωνευτηρίου και της τέφρας

Οι προσδιορισμοί τέφρας πραγματοποιήθηκαν σε 3 επαναλήψεις για κάθε υλικό. Η θερμογόνος δύναμη εκφράστηκε με τον προσδιορισμό της υψηλής θερμαντικής αξίας (Higher Heating Value, HHV). Η υψηλή θερμαντική αξία αποτελεί το απόλυτο μέτρο της ειδικής θερμότητας καύσης εκφραζόμενο σε θερμίδες ανά μονάδα μάζας στερεού βιοκαυσίμου το οποίο καίγεται σε θερμιδόμετρο οβίδας υπό καθορισμένες συνθήκες. Η υψηλή θερμαντική αξία προσδιορίστηκε με θερμιδόμετρο τύπου Parr 1261 σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο ευρωπαϊκό πρότυπο CEN/TS 14918:2005 [16]. Χρησιμοποιώντας υδραυλική πρέσα και κατάλληλη μήτρα δημιουργήθηκαν εργαστηριακά σύμπηκτα μάζας $1.0\pm 0.1\text{g}$ και διαμέτρου 13mm με εφαρμογή φορτίου περίπου 7tn για χρονικό διάστημα 1min. Τα σύμπηκτα ζυγίστηκαν με ανάλυση 0,0001g σε κάψα από ανοξείδωτο χάλυβα τέθηκαν σε επαφή με καλώδιο ανάφλεξης και ακολούθως τοποθετήθηκαν σε οβίδα τύπου Paar 1108. Η οβίδα συμπίεστηκε με οξυγόνο καθαρότητας τουλάχιστον 99.7% στα $30\pm 2\text{bar}$ και εμβαπτίστηκε σε κάδο από ανοξείδωτο χάλυβα ο οποίος περιείχε 2000.0ml απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας $33\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Για την ελαχιστοποίηση θερμικών απωλειών ο μανδύας του θερμιδόμετρου ρυθμίστηκε σε θερμοκρασία 35°C με διακίνηση νερού. Για κάθε υλικό έγιναν 6 επαναλήψεις της ως άνω μεθόδου. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε cal/g. Δεν έγιναν διορθώσεις θείου και

χλωρίου διότι τα εν λόγω στοιχεία απαντώνται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε ξυλώδη βιοκαύσιμα [12]. Πριν από τις μετρήσεις έγινε βαθμονόμηση του θερμιδόμετρου με βενζοϊκό οξύ.

Οι μέσοι όροι υψηλής θερμαντικής αξίας των υλικών της παρούσας έρευνας συγκρίθηκαν με τη μέθοδο ANOVA ($\alpha=0,95$, LSD) χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο SPSS 18.0.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των προσδιορισμών της παρούσας έρευνας παρουσιάζονται στους Πίνακες 1-2 και τις Εικόνες 3-5.

Πίνακας 1: Διάμετρος κορμών, πάχος φλοιού και αναλογία ξύλου:φλοιού για δοκιμασθέντα είδη				
Είδος	Διάμετρος κορμού ^a (cm)	Πάχος φλοιού ^a (mm)	Φλοιός (%)	Ξύλο (%)
<i>Quercus coccifera</i>	6.2 (2.3)	1.7 (0.20)	10.7	89.3
<i>Quercus ilex</i>	7.5 (1.6)	1.5 (0.19)	7.8	92.2
<i>Phillyrea latifolia</i>	6.8 (1.3)	2.0 (0.28)	11.4	88.6
<i>Arbutus unedo</i>	6.4 (2.1)	1.3 (0.15)	7.9	92.1
<i>Erica arborea</i>	4.1 (0.9)	1.7 (0.22)	15.9	84.1
<i>Fagus sylvatica</i>	15.7 (3.2)	3.5 (0.34)	8.7	91.3
<i>Ostrya carpinifolia</i>	8.8 (1.9)	2.4 (0.41)	10.5	89.5

^a: Αριθμητικός μέσος 30 επαναλήψεων, τυπική απόκλιση σε παρένθεση

Από τον Πίνακα 2 προέκυψε ότι σχετικά με τη θερμαντική αξία, όλα τα βιοκαύσιμα που δοκιμάστηκαν στην παρούσα έρευνα κάλυψαν τις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου EN 14961-2 (ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές: κλάση ENplus- A1 = 3940.96 cal/g, κλάση ENplus - A2 = 3893.19 cal/g, κλάση EN-B = 3821.53 cal/g). Σε σχέση με τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών [10], οι τιμές τέφρας και θερμαντικής αξίας για τα κοινώς εξετασθέντα είδη δεν παρουσίασαν μεταξύ τους μεγάλες διαφορές. Οι υψηλότερες τιμές υψηλής θερμαντικής αξίας παρουσιάστηκαν από το ξύλο του *Erica arborea* (4751.48 cal/g) και το φλοιό του *Phyllirea latifolia* (4956.91 cal/g). Τις χαμηλότερες τιμές υψηλής θερμαντικής αξίας ξύλου παρουσίασαν το *Quercus coccifera* (4454.56 cal/g) και το *Quercus ilex* χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Σε ότι αφορά στον φλοιό, το *Quercus ilex* (4121.77 cal/g) παρουσίασε την χαμηλότερη θερμαντική αξία.

Με εξαίρεση το *Phyllirea latifolia*, όλα τα είδη της παρούσας έρευνας παρουσίασαν υψηλότερη θερμαντική αξία για το ξύλο από ότι για το φλοιό τους (στατιστικά σημαντικές διαφορές) ενώ για το *Erica arborea* οι διαφορές θερμαντικής αξίας μεταξύ ξύλου και φλοιού δεν ήταν στατιστικά σημαντικές ($\alpha=0.05$). Το *Erica arborea* ήταν το μόνο είδος μεταξύ των εξετασθέντων στην παρούσα έρευνα που παρουσίασε υψηλότερη θερμαντική αξία ξύλου από τα *Fagus sylvatica* και *Ostrya carpinifolia*.

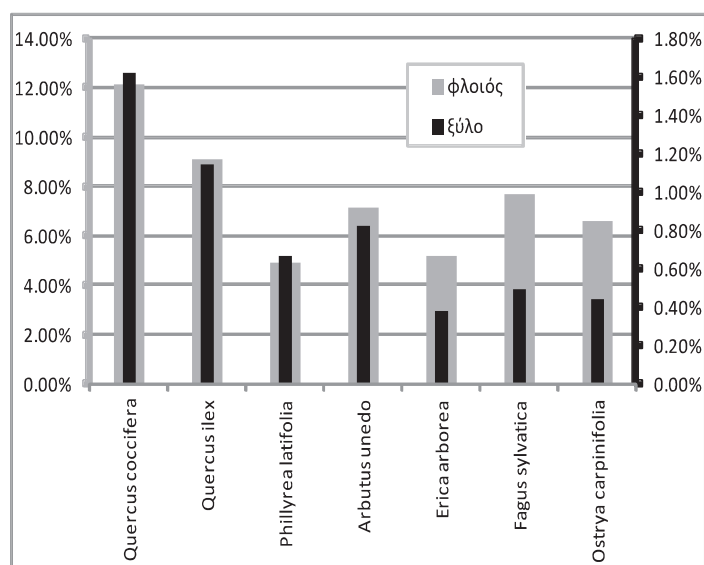
Πίνακας 2: Αποτελέσματα προσδιορισμών και περιγραφικά στατιστικά μεγέθη τέφρας και υψηλής θερμαντικής αξίας (HHV) για τα υλικά της έρευνας															
		<i>Quercus coccifera</i>		<i>Quercus ilex</i>		<i>Phyllirea latifolia</i>		<i>Arbutus unedo</i>		<i>Erica arborea</i>		<i>Fagus sylvatica</i>		<i>Ostrya carpinifolia</i>	
		ξύλο φλοιός		ξύλο φλοιός		ξύλο φλοιός		ξύλο φλοιός		ξύλο φλοιός		ξύλο φλοιός		ξύλο φλοιός	
Τέφρα (%)	MO ^a	1.62%	12.18%	1.14%	9.15%	0.67%	4.97%	0.83%	7.16%	0.39%	5.24%	0.50%	7.73%	0.44%	6.63%
	SD ^b	0.06%	0.09%	0.03%	0.11%	0.05%	0.12%	0.06%	0.14%	0.04%	0.13%	0.07%	0.53%	0.09%	0.01%
	CV ^c	3.53%	0.78%	2.25%	1.21%	7.96%	2.40%	6.99%	1.89%	9.55%	2.49%	14.43%	6.92%	20.69%	0.22%
	n ^d	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
HHV (cal/g)	MO	4455	4228	4468	4122	4583	4957	4575	4335	4751	4764	4590	4443	4589	4382
	SD	18.3	10.2	10.8	15.2	7.8	30.8	14.5	2.9	15.0	21.6	9.62	1.9	12.3	3.9
	CV	0.41%	0.24%	0.24%	0.37%	0.17%	0.62%	0.32%	0.07%	0.31%	0.45%	0.21%	0.04%	0.27%	0.09%
	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

^a: Αριθμητικός μέσος

^b: Τυπική απόκλιση

^c: Συντελεστής διακύμανσης

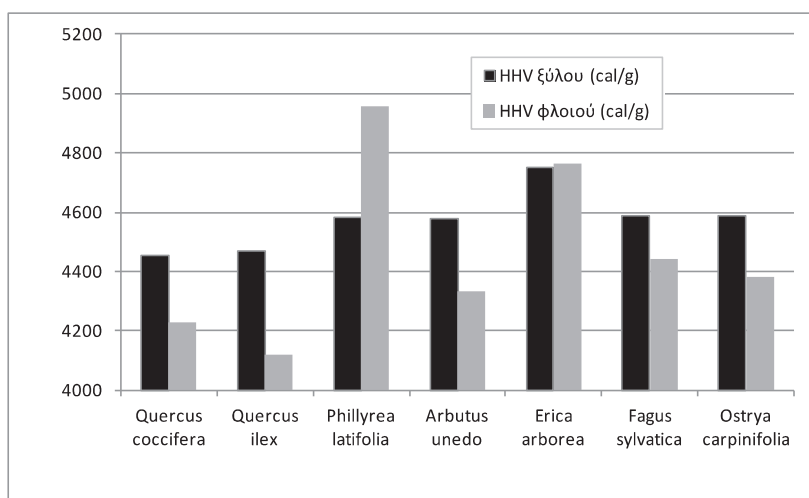
^d: πλήθος δοκιμών



Εικόνα 3: Περιεχόμενη τέφρα φλοιού (αριστερός κατακόρυφος άξονας) και ξύλου (δεξιός αριστερός κατακόρυφος άξονας) για τα υλικά της έρευνας

Αντίστοιχα σε ότι αφορά τη θερμαντική αξία του φλοιού, υψηλότερες τιμές από τα *Fagus sylvatica* και *Ostrya carpinifolia* παρουσίασαν τα *Erica arborea* και *Phyllirea latifolia*. Άξιο αναφοράς είναι και το γεγονός ότι το *Erica arborea*, αν και εμφάνισε τη χαμηλότερη διάμετρο και το μεγαλύτερο ποσοστό φλοιού, είχε την υψηλότερη θερμαντική αξία ξύλου και τη 2^η υψηλότερη του φλοιού μεταξύ όλων των ειδών.

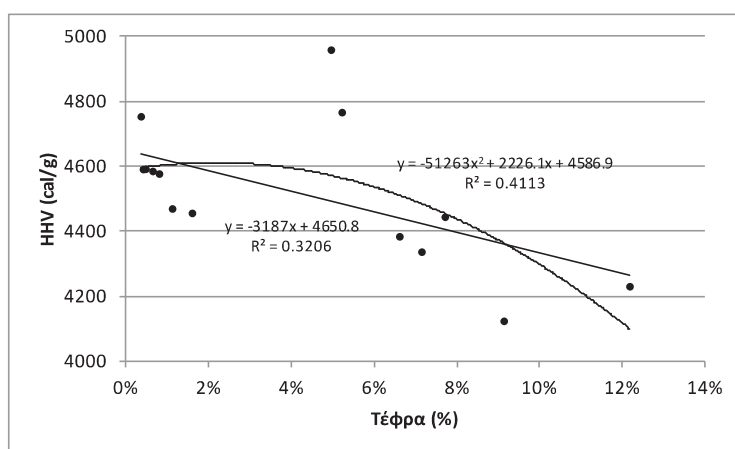
Σχετικά με το ποσοστό φλοιού στα εξετασθέντα είδη, αυτό κυμάνθηκε από 7.8% για το *Quercus ilex* έως 15.9% για το *Erica arborea*. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2 και την Εικόνα 3, οι τιμές περιεχόμενης τέφρας για τα βιοκαύσιμα της παρούσας έρευνας κυμάνθηκε μεταξύ 0.39 και 12.18% ενώ οι τιμές υψηλής θερμαντικής αξίας κυμάνθηκαν μεταξύ 4121.77 - 4956.91 cal/g. Μεταξύ όλων των εξετασθέντων ειδών, τις υψηλότερες τιμές περιεχόμενης τέφρας παρουσίασε τόσο για το φλοιό (12.18%) όσο και για το ξύλο (1.62%) το *Quercus coccifera* ενώ οι χαμηλότερες παρατηρήθηκαν για το ξύλο του *Erica arborea* (0.39%) και το φλοιό του *Phyllirea latifolia* (4.97%). Επιπροσθέτως, το *Erica arborea* ήταν το μοναδικό είδος αειφύλλου πλατυφύλλου που παρουσίασε χαμηλότερες τιμές περιεχόμενης τέφρας ξύλου από τα *Fagus sylvatica* και *Ostrya carpinifolia*. Σε ότι αφορά την περιεχόμενη τέφρα του φλοιού, το *Erica arborea* και το *Phyllirea latifolia* ήταν τα μοναδικά που παρουσίασαν χαμηλότερες τιμές από τα *Fagus sylvatica* και *Ostrya carpinifolia*. Πρέπει επιπλέον να αναφερθεί ότι ο φλοιός όλων των εξετασθέντων ειδών, αν και έδωσαν επαρκείς τιμές υψηλής θερμαντικής αξίας, το ποσοστό της τέφρας σε κανένα από αυτά δεν βρίσκεται σε επίπεδα κάτω του 3% και επομένως δεν καλύπτει το πρότυπο EN 14961-2. Κατά συνέπεια, σε ότι αφορά την περιεχόμενη τέφρα και τη θερμότητα δύναμη, ο φλοιός των αειφύλλων πλατυφύλλων μπορεί να συμπεριληφθεί στην παραγωγή σύμπτυκτων αρκεί η χρήση τους να γίνει σε τέτοιες αναλογίες που θα διατηρούν τα ποσοστά περιεχόμενης τέφρας κάτω από τα όρια του ως άνω προτύπου.



Εικόνα 4: Υψηλή θερμαντική αξία του φλοιού και του ξύλου για υλικά της έρευνας

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται ένα γράφημα διασποράς των τιμών υψηλής θερμαντικής αξίας σε σχέση με τις τιμές περιεχόμενης τέφρας για τα βιοκαύσιμα της παρούσας

έρευνας. Επιπροσθέτως έχουν υπολογιστεί και παρασταθεί και οι εξισώσεις παλινδρόμησης 1^{ου} και 2^{ου} βαθμού όπως επίσης και οι αντίστοιχοι συντελεστές προσδιορισμού (R^2). Είναι προφανής η αρνητική επίδραση της περιεχόμενης τέφρας στην θερμαντική αξία των βιοκαυσίμων. Παρόλα αυτά οι συντελεστές προσδιορισμού για τα δυο μοντέλα που υπολογίστηκαν είναι χαμηλοί ($R^2 = 0.32$ για την ευθεία γραμμή προσαρμογής και $R^2 = 0.41$ για τη γραμμή 2^{ου} βαθμού), κάτι που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η περιεχόμενη τέφρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεμονωμένα ως μέσο για την πρόβλεψη της θερμαντικής αξίας και ότι προφανώς πρέπει να ληφθούν υπόψη επιπλέον παράγοντες (π.χ. χημική σύσταση) κατά την κατασκευή σχετικών μοντέλων.



Εικόνα 5: Γράφημα διασποράς τιμών τέφρας και υψηλής θερμαντικής αξίας και καμπύλες/εξισώσεις παλινδρόμησης 1^{ου} και 2^{ου} βαθμού

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα έρευνα συμπεραίνεται ότι σε ότι αφορά την περιεχόμενη τέφρα και την θερμαντική αξία, το ξύλο των αειφύλλων πλατυφύλλων δασικών ειδών *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea latifolia* και *Erica arborea* όπως και αυτό των *Fagus sylvatica* και *Ostrya carpinifolia* μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή σύμπηκτων για μη βιομηχανικές χρήσεις καθώς καλύπτουν τις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου EN 14961-2 και για τις 3 κλάσεις ποιότητας. Από την άλλη πλευρά, ο φλοιός των ανωτέρω ειδών, αν και παρέχει επαρκείς τιμές θερμαντικής αξίας, το ποσοστό της περιεχόμενης τέφρας σε κανένα από αυτά δεν βρίσκεται σε επίπεδα κάτω του 3% και κατά συνέπεια δεν καλύπτει το ως άνω πρότυπο. Ως εκ τούτου ο φλοιός των αειφύλλων πλατυφύλλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή σύμπηκτων αρκεί η χρήση των πρώτων υλών να γίνεται σε τέτοιες αναλογίες που θα διατηρούν τα ποσοστά περιεχόμενης τέφρας των σύμπηκτων κάτω από τα όρια που τίθενται από τα σχετικά ευρωπαϊκά πρότυπα. Τέλος, για την κατασκευή μοντέλων πρόβλεψης της θερμαντικής αξίας, η περιεχόμενη τέφρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεμονωμένα ως μέσο πρόβλεψης και πρέπει να ληφθούν υπόψη επιπλέον παράγοντες (π.χ. χημική σύσταση).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Telmo, C., Lousada, J., 2011. "Heating values of wood pellets from different species". *Biomass and Bioenergy*, 35 (7), pp. 2634-2639.
- [2] Haberl H, Geissler S. Cascade, 2000. "Utilization of biomass: strategies for a more efficient use of a scarce resource". *Ecol Eng*;16:S111-21.
- [3] Hoogwijk M, Faaij A, van den Broek R, Berndes G, Gielen D, Turkenburg W., 2003. "Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy". *Biomass Bioenergy*;25: 119-33.
- [4] Perlack, R.D. et al., 2005. "Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-ton Annual Supply, DOE/GO-102005-2135". Prepared by Oak Ridge National Laboratory for the U.S. Department of Energy and U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- [5] Demirbas A, 2007. "Modernization of biomass energy conversion facilities". *Energy Sources Part B*, 29:227-35.
- [6] Φιλίππου Ι., 2014. "Χημεία Και Χημική Τεχνολογία Ξύλου", εκδόσεις Γιαχούδη.
- [7] Viana, H., Vega-Nieva, D.J., Ortiz Torres, L., Lousada, J., Aranha, J., 2012. "Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain". *Fuel*, 102, pp. 737-745.
- [8] Voulgaridis E., Passialis C., 1995. "Characteristics and technological properties of the wood of mediterranean evergreen hardwoods" *Valorisation*. XVI, n° I, pp 3-12.
- [9] Dimitrakopoulos, A., Panov, P., 2001. "Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species". *International Journal of Wildland Fire*, 10, pp. 23-27.
- [10] Siafaca, L., Adamandiadou, S., Margaris, N., 1980. "Caloric Content in Plants Dominating Maquis Ecosystems in Greece". *Oecologia (Berl.)* 44, pp. 276-280.
- [11] Filbakk, T., Jirjis, R., Nurmi, J., Høibø, O., 2011. "The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets". *Biomass and Bioenergy*, 35 (8), pp. 3342-3349.
- [12] Lehtikangas P., 2001. "Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark", *Biomass and Bioenergy* 20, pp 351-360.
- [13] EN 14961-2: 2011. Solid biofuels. Fuel specification and classes - Part 2: Wood pellets for non-industrial use.
- [14] European Pellet Council, 2013. "Handbook for the certification of wood pellets for heating purposes". <http://www.enplus-pellets.eu> (Last accessed on 26/04/2014).
- [15] EN 14775:2009. Solid biofuels. Determination of ash content.
- [16] CEN/TS 14918:2005. Solid biofuels. Method for the determination of calorific value.

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΗΛΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

10^ο ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ *στη μνήμη του Νίκου Κυριάκη*

26 - 28 Νοεμβρίου 2014, Θεσσαλονίκη
Συνεδριακό Κέντρο ΚΕ.Δ.Ε.Α. ΑΠΘ



ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΤΟΜΟΣ Α΄

Διοργάνωση
Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ

Υπό την αιγίδα της
Πολυτεχνικής Σχολής ΑΠΘ

