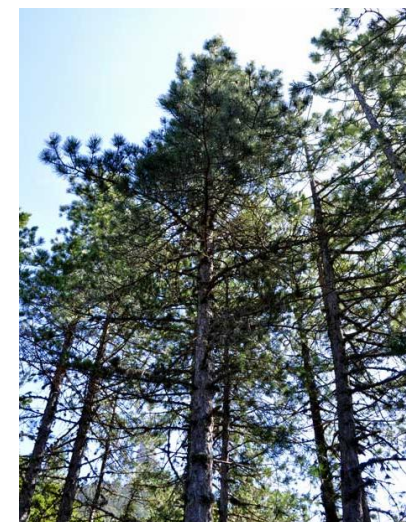
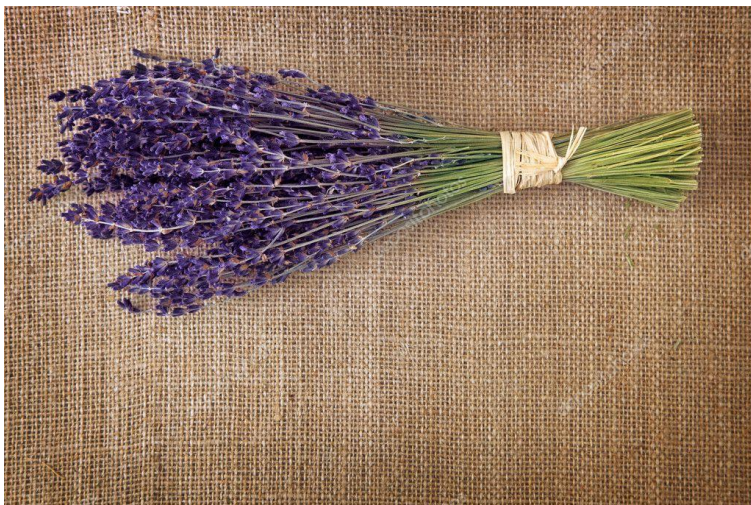


Αξιοποίηση του ξύλου των ειδών Μαύρης και Τραχείας Πεύκης σε συνδυασμό με υπολείμματα βιομάζας λεβάντας για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων.

Τερζοπούλου Πασχαλίνα¹ Καμπερίδου Βασιλική¹

¹ Εργαστήριο Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), Θεσσαλονίκη, 54124, Ελλάδα (email: terzopouz@for.auth.gr - ΤΠ)





ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1/3

Η επιστήμη αναζητά καινοτόμες λύσεις για να καλυφθεί το κενό της ζήτησης για ενέργεια περιορίζοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Μια λύση που προτείνεται είναι οι μη συμβατικές πηγές βιομάζας, διότι εμφανίζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον όσον αφορά τη χρήση τους για βιοκαύσιμα και ειδικότερα για ενεργειακή αξιοποίηση.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ 2/3

Η λύση των μη συμβατικών πηγών βιομάζας προτείνεται για τους εξής λόγους:

- Συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμες πηγές ενέργειας
- Περιορισμένη διαθεσιμότητα πηγών ενέργειας (Ορυκτά,...)
- Περιβαλλοντικά προβλήματα (υποβαθμίσεις, αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, φαινόμενο θερμοκηπίου)



ΕΙΣΑΓΩΓΗ 3/3

Αυτό που προτείνουμε είναι η αξιοποίηση των γεωργικών υπολειμμάτων από την καλλιέργεια λεβάντας (*Lavandula sp.*) και συγκεκριμένα το ξυλώδες στέλεχος, σε συνδυασμό με ξύλο πεύκης (*Pinus brutia* και *Pinus nigra*) για τη δημιουργία στερεών βιοκαυσίμων pellet.



ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

- Διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης των υπολειμμάτων λεβάντας ως πρώτη ύλη για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων pellet.
- Συνδυασμός με ξύλο πεύκης (*Pinus brutia* και *Pinus nigra*).
- Έλεγχος ποιότητας pellet βάσει ENplus (A1, A2, B).



ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Η **κυκλική βιοοικονομία** συνδυάζει τις αρχές της κυκλικής οικονομίας με τη χρήση **βιολογικών πόρων**, προωθώντας την **αιεφόρο παραγωγή και κατανάλωση** μέσω ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης και αξιοποίησης αποβλήτων.

Βασικά οφέλη

- ✓ Μηδενικά απόβλητα: αξιοποίηση κάθε μέρους της βιομάζας
- ✓ Μείωση εκπομπών CO₂ μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- ✓ Ενεργειακή αυτάρκεια και ενίσχυση τοπικών αγροτικών και δασικών οικονομιών
- ✓ Καινοτομία και δημιουργία νέων αγορών βιοπροϊόντων (π.χ. βιοενέργεια, βιοπλαστικά, ζωοτροφές)

Η αξιοποίηση των υπολειμμάτων λεβάντας για παραγωγή pellet:

- ✓ Μειώνει τα περιβαλλοντικά προβλήματα (καύση ή απόρριψη των αποβλήτων)
- ✓ Προσδίδει προστιθέμενη αξία σε ένα παραπροϊόν της αγροτικής παραγωγής
- ✓ Συμβάλλει στον στόχο “μηδενικά απόβλητα”

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΛΕΒΑΝΤΑΣ

Η παραγωγή αιθέριου ελαίου λεβάντας μέσω απόσταξης δημιουργεί μεγάλες ποσότητες στερεών αποβλήτων (ξυλώδες τμήμα, φύλλα, άνθη). Μόλις το 2–10% της συνολικής βιομάζας μετατρέπεται σε έλαιο – το υπόλοιπο απορρίπτεται.

Τα απόβλητα συνήθως καίγονται ή αφήνονται να σαπίσουν στα αγροτεμάχια, προκαλώντας:

- × περιβαλλοντική επιβάρυνση (εκπομπές, οσμές, πυρκαγιές)
- × αύξηση κόστους για τους παραγωγούς
- × απώλεια μιας πολύτιμης βιομάζας

Κενό που υπάρχει

- Απουσία οργανωμένων λύσεων για επαναχρησιμοποίηση ή ενεργειακή αξιοποίηση.
- Ανάγκη για καινοτόμες πρακτικές που μετατρέπουν το απόβλητο σε προϊόν υψηλής προστιθέμενης αξίας, όπως τα στερεά βιοκαύσιμα (pellets).

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 1/8

Αρχικά επιλέχθηκαν κορμοί από τα δασοπονικά είδη *Pinus brutia* (Ηλικίας: 35 χρόνων) και *Pinus nigra* (Ηλικίας: 37 χρόνων) που επιλέχθηκαν από την περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Έπειτα αφαιρέθηκε ο φλοιός τους και η επιλογή του υλικού έγινε με κριτήριο να μην υπάρχουν ελαττώματα. Στην συνέχεια από κάθε κορμό λήφθηκαν 20 δίσκοι, σε διαφορετικά ύψη (1 έως 2,5 m).



ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 2/8

Τα στερεά υπολείμματα λεβάντας, τα οποία προέκυψαν μετά την απόσταξη για την εξαγωγή αιθέριου ελαίου, παραχωρήθηκαν από ένα αποστακτήριο την εταιρεία VESSEL MON IKE (Νέο Ρύσιο, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα)



ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 3/8

Όλα τα υλικά κονιορτοποιήθηκαν με χρήση μύλου (Laizhou Chengda Machines Co., Ltd., Κίνα), κοσκινίστηκαν με ηλεκτρονικό δονητικό κόσκινο Endecotts (UK) και ταξινομήθηκαν με κόσκινο σε τρεις κοκκομετρικές κατηγορίες για κάθε είδος σε:

1. Λεπτή κοκκομετρία 0-0.5mm
2. Μεσαία κοκκομετρία 0.5-0.1mm
3. Χονδρή κοκκομετρία 1-1.5mm

Έπειτα δημιουργήθηκαν μείγματα για την επίτευξη ομοιογενούς κατανομής των πρώτων υλών στο μίγμα pellet. Τα μείγματα είχαν την εξής δομή: 10% λεπτή κοκκομετρία, 5% χονδρή κοκκομετρία, 85% μεσαία κοκκομετρία



ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 4/8

Τα μείγματα τοποθετήθηκαν σε ελεγχόμενες κλιματικές συνθήκες ωσότου αποκτήσουν σταθερό βάρος. Οι μέσες τιμές EMC κάθε είδος ήταν:

Pinus brutia: 9.14% (± 0.50)

Pinus nigra: 9.05% (± 0.59)

Lavandula sp.: 6.14% (± 0.80)

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 5/8

Τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για τον χαρακτηρισμό των πρώτων υλών ήταν:

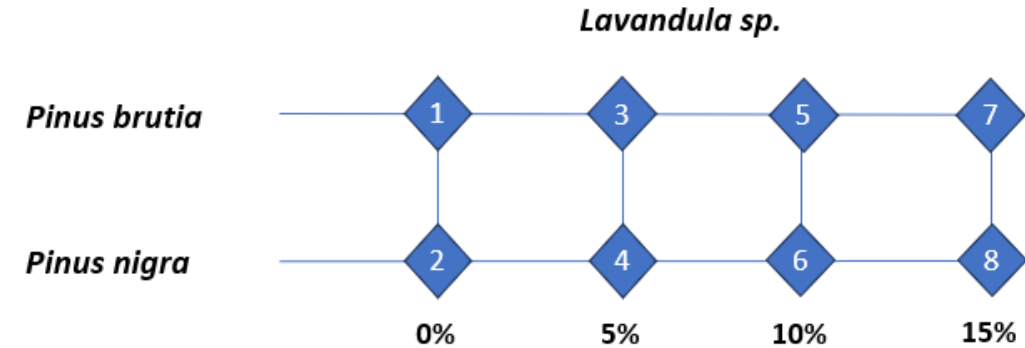
- ASTM D1107-21 - > χημικό χαρακτηρισμό
- ASTM D1106-96 -> περιεκτικότητα σε λιγνίνη (τύπου Klason)
- ASTM D1102 -> περιεκτικότητα σε τέφρα
- Θερμιδόμετρο βομβίδας (Sundy SDC311 CALORIMETER Bomb) -> κατώτερη θερμογόνο δύναμη (Lower Heating Value – LHV)



ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 6/8

Για τη δημιουργία των δειγμάτων η ξυλώδης βιομάζα από τα είδη πεύκης αναμίχθηκε με υλικό λεβάντας σε διάφορες αναλογίες κατά βάρος σχηματίζοντας 8 οικογένειες. Οι αναλογίες ήταν: 0%, 5%, 10% και 15%.

Η ισορροπία υγρασίας (EMC) των pellet υπολογίστηκε σύμφωνα με το ISO 18134-1.



ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 7/8

Για τον χαρακτηρισμό των pellet σχηματίστηκε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα 50 pellet ανά κατηγορία, όπου επιλέχθηκε τυχαία. Επίσης ο χαρακτηρισμός έγινε με τα εξής πρότυπα:

- ISO 17829 -> Μετρήθηκαν οι διαστάσεις (μήκος και διάμετρος)
- ISO 17831-1 -> Η μηχανική αντοχή
- ISO 17828 -> Η φαινόμενη πυκνότητα



International
Organization for
Standardization



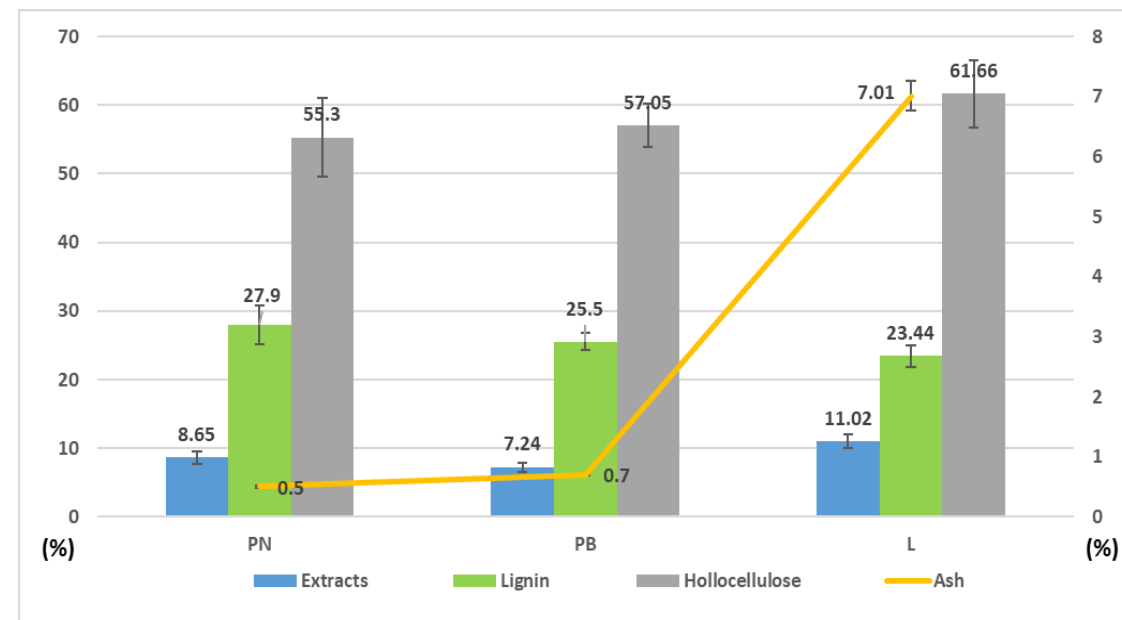
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 8/8

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο SPSS Statistics. Εφαρμόστηκαν:

- Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για τον εντοπισμό στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μέσων τιμών χαρακτηριστικών των pellet.
- Πολυπαραγοντική γραμμική παλινδρόμηση (f-test) για τη διερεύνηση της επίδρασης παραμέτρων όπως η τέφρα, η λιγνίνη, τα πολυσακχαρίδια (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες), τα εκχυλίσματα, το είδος του ξύλου (μαύρη/τραχεία πεύκη) και η αναλογία λεβάντας (0–15%) στην αντοχή των pellet.
- Διερευνήθηκε η στατιστική σημαντικότητα ($p < 0.05$) και η επίδραση (%) κάθε παράγοντα στην εξαρτημένη μεταβλητή (μηχανική αντοχή), με στόχο τη βελτιστοποίηση της ποιότητας pellet λεβάντας-ξύλου

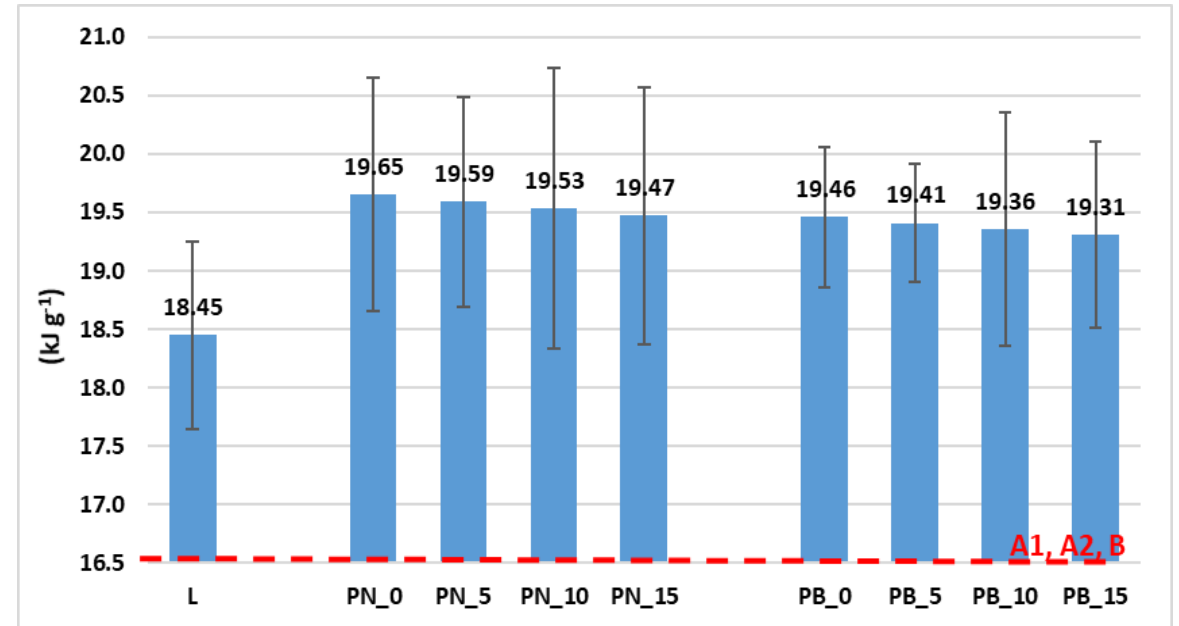
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1/7

Χημικά συστατικά (%) των *Pinus nigra*, *Pinus brutia* και *Lavandula sp.*.
Ο αριστερός άξονας αφορά όλα τα συστατικά, ο δεξιός μόνο την τέφρα.



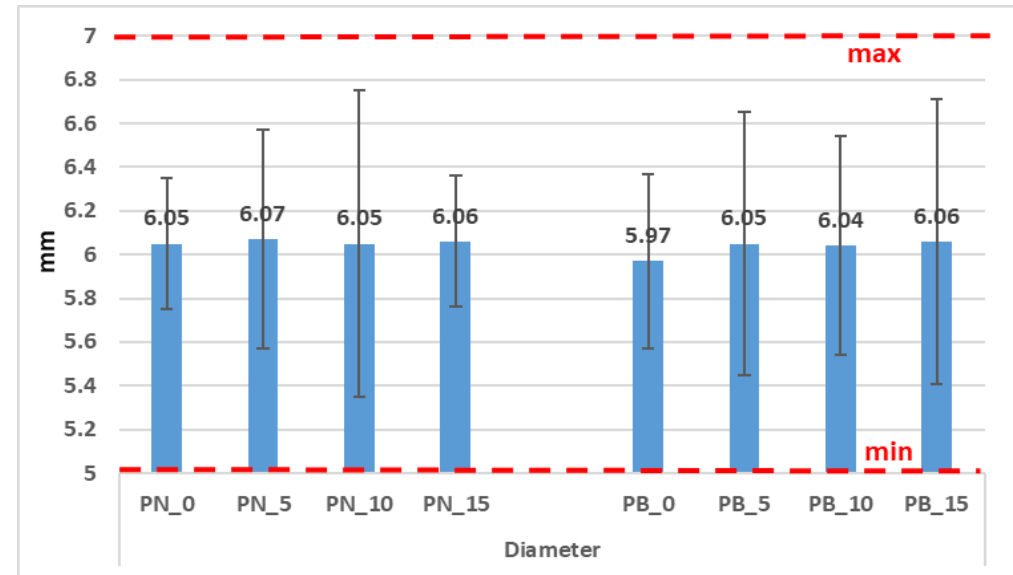
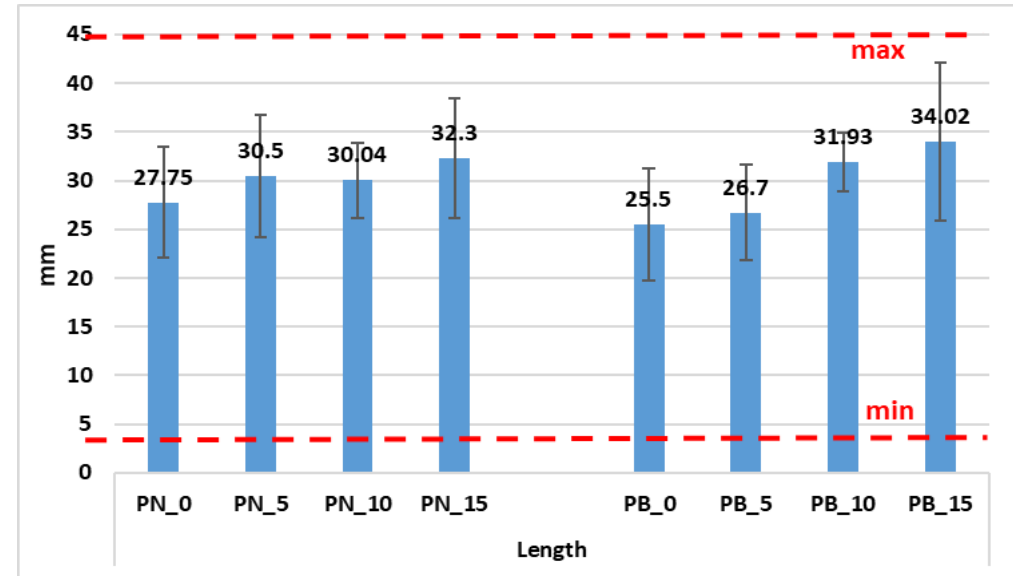
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2/7

Κατώτερη θερμογόνοος δύναμη των πρώτων υλών και των μειγμάτων τους. Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή δηλώνει το ελάχιστο όριο 16.5 kJ/g.



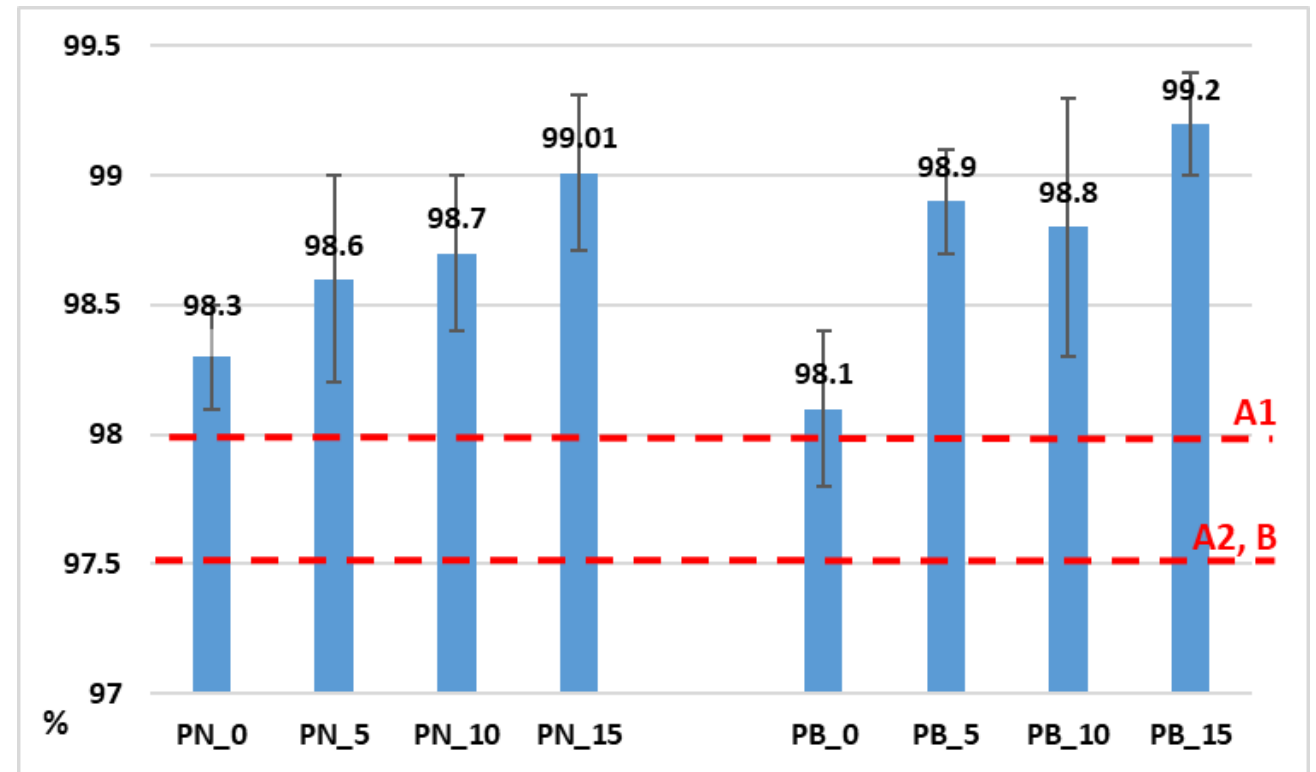
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3/7

Μέσο μήκος και διάμετρος pellet
(κόκκινες γραμμές = όρια ποιότητας
A1, A2, B).



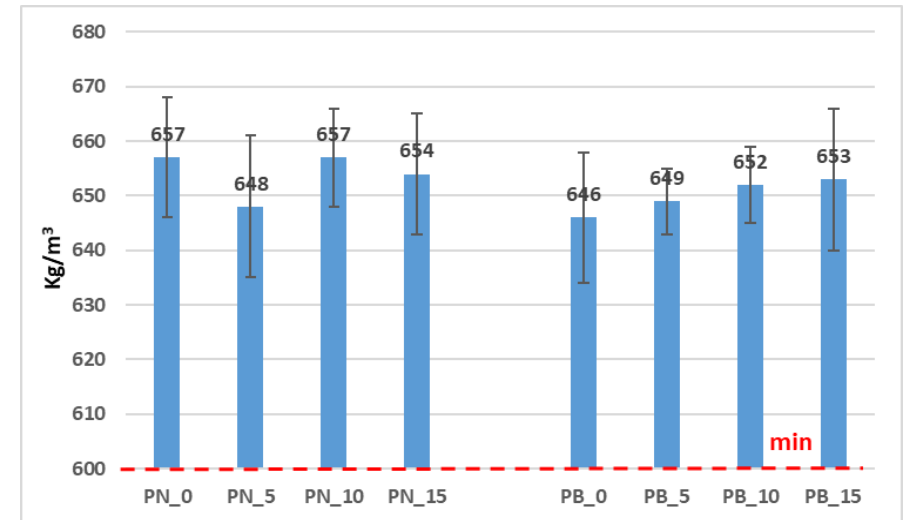
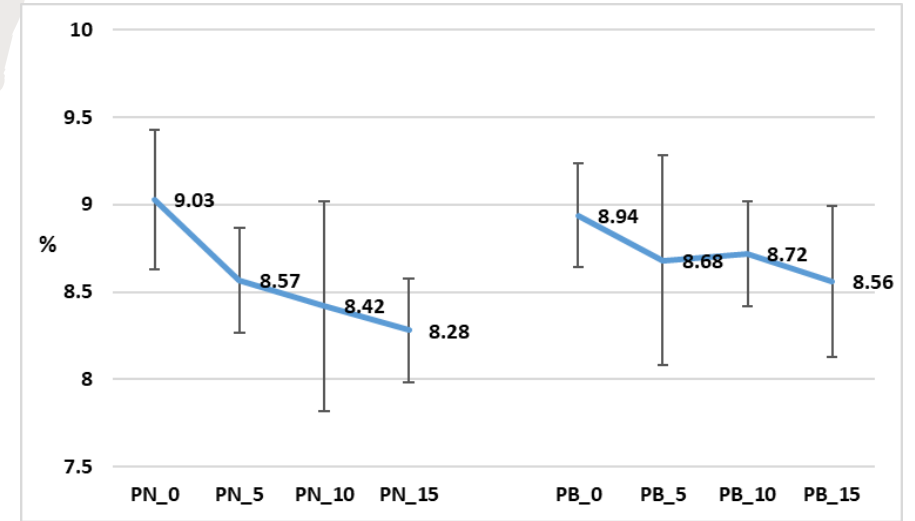
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4/7

Μηχανική αντοχή των pellet
(κόκκινες γραμμές = ελάχιστα
όρια ποιότητας A1, A2, B).



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 5/7

Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m^3) και Ισορροπία υγρασίας (EMC) των pellet. Η λεβάντα μείωσε την υγροσκοπικότητα λόγω των εκχυλισμάτων της.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 6/7

Η ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των ιδιοτήτων των πρώτων υλών και των παραγόμενων pellet.

Correl. Coeffic.		Mechan. strength	Ash	Lignin	Polysaccharides	Extracts
Pearson Correl.	Mechan.Strength	1.000	- 0.664	0.829	-0.645	0.907
	Ash	-0.664	1.000	-0.387	0.316	0.575
	Lignin	0.829	- 0.387	1.000	0.127	0.296
	Polysaccharides	-0.645	0.316	0.127	1.000	0.978
	Extracts	0.907	0.575	0.296	0.978	1.000
Sig.	Lavender share	0.792	0.629	−0.177	0.986	0.974
	Mech.strength	-	0.009	0.002	0.001	0.000
	Ash	0.009	-	0.007	0.159	0.115
	Lignin	0.002	0.007	-	0.345	0.175
	Polysaccharides	0.001	0.015	0.045	-	0.000
	Extractives	0.000	0.115	0.075	0.000	-
	Lavender share	0.001	0.237	0.017	0.000	0.000

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 7/7

- Η λεβάντα αύξησε μηχανική αντοχή, υδροφοβικότητα & διαστάσεις.



- Το 15% λεβάντας έδωσε μέγιστη βελτίωση χωρίς στατιστικά αρνητικές επιπτώσεις.



- Το περιεχόμενο σε τέφρα ήταν ο κρίσιμος παράγοντας ποιότητας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 1/3

Το στερεό υπόλειμμα της λεβάντας μετά την απόσταξη παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα και εκχυλίσματα σε σύγκριση με το ξύλο και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καθαρή πρώτη ύλη (100%) για την παραγωγή ποιοτικών pellet οικιακής χρήσης. Ωστόσο, μπορεί να αξιοποιηθεί σε μείγμα με ξύλο πεύκης σε ποσοστά 5–15%.

Οι πελλέτες με 5% λεβάντα κατατάχθηκαν στην κατηγορία A1, εκείνες με 10% λεβάντα στην A2 και εκείνες με 15% στην B. Η περιεκτικότητα σε τέφρα αναδείχθηκε ως ο πιο κρίσιμος και περιοριστικός παράγοντας για την κατάταξη.

Τα δύο είδη πεύκης παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά ως πρώτη ύλη, αν και η Μαύρη Πεύκη υπερείχε στις περισσότερες περιπτώσεις, λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε εκχυλίσματα και λιγνίνη, καθώς και της χαμηλότερης τέφρας και κυτταρίνης. Ωστόσο, η προσθήκη λεβάντας ωφέλησε περισσότερο τα στερεά βιοκαυσίμα της τραχείας πεύκης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 2/3

Η λεβάντα βελτίωσε αισθητά την ποιότητα των πελλετών ως προς τη μηχανική τους αντοχή, τις διαστάσεις, την υγρασία ισορροπίας (EMC) και την υδροφοβικότητα. Η φαινόμενη πυκνότητα βελτιώθηκε ελαφρώς. Το ποσοστό 15% λεβάντας στην πρώτη ύλη προκάλεσε τη μεγαλύτερη βελτίωση στις ιδιότητες αυτές.

Η μικρή αύξηση στην τέφρα και η ελαφρά μείωση στη θερμογόνο δύναμη λόγω της λεβάντας δεν είχαν στατιστικά σημαντική αρνητική επίδραση στην ποιότητα των πελλετών, χάρη στα χαμηλά ποσοστά ενσωμάτωσης (5–15%).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 3/3

01

- Τα υπολλείματα λεβάντας μπορούν να αξιοποιηθούν σε ποσοστά έως 15%.

02

- Παράγονται pellet υψηλής ποιότητας (A1, A2, B).

03

- Συνεισφορά στην κυκλική βιοοικονομία & βιώσιμη ενέργεια.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ

ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΣΑΣ