



**Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**“ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ PELLETS
ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ
ΜΕ ΤΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ”**



Επιβλέπων Καθηγητής: Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος
Σπουδαστής: Τζαγκαράκης Σταύρος ΑΜ: 17522

Αθήνα

Ιανουάριος - 2018

Copyright © Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Ψωμόπουλου Κωνσταντίνου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ.

Κατ' αρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή μου για την ανάθεση της εργασίας καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγησή του και τις συμβουλές του κατά την εκπόνησή της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| Ευχαριστίες | i |
| Περιεχόμενα | ii |
| Λίστα σχημάτων | iv |
| Λίστα πινάκων | v |
| Summary | vi |
| Πρόλογος | vii |
| 1^ο Κεφάλαιο “ΕΙΣΑΓΩΓΗ” | 1 |
| 2^ο Κεφάλαιο “ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ” | 5 |
| 2.1 Βιομάζα και βιοενέργεια | 5 |
| 2.1.1 Γενικά..... | 5 |
| 2.1.2 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της βιομάζας ως προς την αξιοποίησή της ως ενεργειακής πηγής..... | 9 |
| 2.1.3 Ευλόγης βιομάζα | 10 |
| 2.1.4 Χρήσεις-εφαρμογές-ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας..... | 11 |
| 2.1.5 Τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας - Μετατροπές | 11 |
| 2.2 Συμβατικά καύσιμα | 16 |
| 2.2.1 Στερεά συμβατικά καύσιμα..... | 16 |
| 2.2.2 Υγρά συμβατικά καύσιμα..... | 19 |
| 2.2.3 Αέρια συμβατικά καύσιμα..... | 20 |
| 3^ο Κεφάλαιο “ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ & ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΛΕΤΩΝ” | 21 |
| 3.1 Χαρακτηριστικά Πελετών | 21 |
| 3.2 Ποιότητα Πελετών..... | 23 |
| 3.3 Παραγωγή Πελετών..... | 25 |
| 3.3.1 Αποθήκευση α’ υλών & Εισαγωγή τους στη γραμμή παραγωγής | 26 |
| 3.3.2 Καθαρισμός α’ υλών από προσμίξεις..... | 26 |
| 3.3.3 Αρχικός τεμαχισμός | 27 |
| 3.3.4 Κοσκίνιση - Διαχωρισμός | 28 |
| 3.3.5 Ξήρανση | 29 |
| 3.3.6 Αποθήκευση ενδιάμεσου προϊόντος..... | 30 |
| 3.3.7 Λεπτός τεμαχισμός - Άλεση..... | 31 |
| 3.3.8 Πελετοποίηση..... | 32 |
| 3.3.9 Ψύξη | 34 |
| 3.3.10 Κοσκίνιση | 35 |
| 3.3.11 Ζύγιση, Συσκευασία & Αποθήκευση των πελετών | 35 |
| 4^ο Κεφάλαιο “ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ & ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ” | 37 |
| 4.1 Μελετώμενα συστήματα - Παραδοχές μελέτης | 37 |
| 4.2 Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά σύστημα θέρμανσης, απόλυτο και συγκριτικό | 42 |
| 4.3 Εκτιμώμενο κόστος αντικατάστασης λέβητα πετρελαίου με εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης..... | 46 |
| 4.4 Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα | 48 |
| 5^ο Κεφάλαιο “ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ PELLEΤ” | 51 |
| 5.1 Εισαγωγή | 51 |
| 5.2 Μικρο-μεσαίες μονάδες παραγωγής πελετών | 51 |
| 5.3 Μεσαίες μονάδες παραγωγής πελετών..... | 60 |
| 5.4 Μεγάλες μονάδες παραγωγής πελετών | 64 |

| | |
|--|-----------|
| 6^ο Κεφάλαιο “ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ” | 67 |
| Βιβλιογραφία..... | 68 |

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1.1 Υδροηλεκτρικό φράγμα στη λίμνη Πλαστήρα (wikipedia)..... | 2 |
| Σχήμα 1.2 Υδροηλεκτρικό φράγμα Στράτου στον Αχελώο (wikipedia)..... | 2 |
| Σχήμα 1.3 Ο ανεμόμυλος στο Κίντερνταϊκ της Ολλανδίας, μία από τις παλιότερες μεθόδους εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας. (wikipedia)..... | 3 |
| Σχήμα 1.4 Αιολικό πάρκο στο Χόλσταϊν της Γερμανίας. (wikipedia)..... | 3 |
| Σχήμα 2.1 Δέμα άχυρου (EnergyPress - Δημοσιογραφικό ενημερωτικό portal για την ενέργεια)..... | 6 |
| Σχήμα 2.2 Φυτείες καλαμιών (αριστερά) και αγριαγκινάρας (δεξιά) στην Κεντρική Ελλάδα (Biomass guide)..... | 6 |
| Σχήμα 2.3 Διάφορες ενεργειακές καλλιέργειες, όπως αναγράφονται (Κατσίρη, 2010-2011) ... | 7 |
| Σχήμα 2.4 Ενεργειακός κύκλος βιομάζας (Κατσίρη, 2010-2011) | 7 |
| Σχήμα 2.5 Κανσόξυλα (Agroenery) | 8 |
| Σχήμα 2.6 Ροκανίδια - woodchips (Agroenery) | 11 |
| Σχήμα 2.7 Κατηγοριοποίηση διεργασιών μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια | 12 |
| Σχήμα 2.8 Στερεό λίπασμα αναερόβιας χώνευσης (Agroenery) | 15 |
| Σχήμα 2.9 Τύρφης στη Γερμανία (orykta.gr) | 17 |
| Σχήμα 2.10 Φωτογραφία του λιγνιτικού πεδίου της Πτολεμαΐδας. (orykta.gr) | 19 |
| Σχήμα 3.1 Συσσωματώματα ξύλου-πελέτες (pellets) (wikipedia) | 21 |
| Σχήμα 3.2 Σχηματική απεικόνιση της αποφλοίωσης ενός κορμού (Doring, 2013) | 25 |
| Σχήμα 3.3 Ρυμουλκούμενος σπαστήρας κλαδιών (wikipedia)..... | 27 |
| Σχήμα 3.4 Τεμαχιστής τύπου Drum chipper (Doring, 2013) | 28 |
| Σχήμα 3.5 Κούτσουρο και τα ροκανίδια του, μετά τη χρήση του τεμαχιστή (Doring, 2013) . | 28 |
| Σχήμα 3.6 Μοντέλο 3D ζηραντήρα ζώνης (Doring, 2013) | 30 |
| Σχήμα 3.7 Σφυρόμυλος (Obernberger & Thek, 2010) | 31 |
| Σχήμα 3.8 Αναδευτήρας για το conditioning των σωματιδίων με τη χρήση ατμού νερού (Obernberger & Thek, 2010)..... | 32 |
| Σχήμα 3.9 Κυλινδρικός μύλος (Obernberger & Thek, 2010)..... | 33 |
| Σχήμα 3.10 Καλούπι κυλινδρικού μύλου που ρυθμίζεται για την πελετοποίηση (Kofman, 2007)..... | 34 |
| Σχήμα 3.11 Ψυκτήρας αντίστροφης ροής (Obernberger & Thek, 2010) | 35 |
| Σχήμα 4.1 Συνολικό κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (€/kWh) ανά είδος συστήματος θέρμανσης..... | 44 |
| Σχήμα 4.2 Σύγκριση κόστους θερμικής ενέργειας των συστημάτων θέρμανσης με τον συνήθη λέβητα πετρελαίου (%)..... | 45 |
| Σχήμα 5.1 Μηχανολογικός εξοπλισμός μονάδας παραγωγής πελετών δυναμικότητας 1,2-1,5 τόνων ανά ώρα - Προσφορά General Dies | 63 |
| Σχήμα 5.2 Γραμμή τεμαχισμού μπαλών άχυρου (Voulgaraki, Balafoutis, & Papadakis, 2009) | 64 |

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|----|
| Πίνακας 3.1 Εκπομπές καυσαερίων πελετών ξύλου, πετρελαίου και φυσικού αερίου | 22 |
| Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά των pellet ξύλου, που προκύπτουν από το συνδυασμό των προδιαγραφών που θέτουν τα πρότυπα EN 14961-1 και 14961-2, για τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες | 24 |
| Πίνακας 4.1 Μελετώμενα συστήματα θέρμανσης | 37 |
| Πίνακας 4.2 Εβδομαδιαίες μέσες τιμές λιανικής πώλησης πετρελαίου θέρμανσης κατ' οίκον (σε €/lt) | 39 |
| Πίνακας 4.3 Τιμές χρέωσης ενέργειας Φυσικού Αερίου, βάσει του οικιακού τιμολογίου (σε €/kWh)..... | 39 |
| Πίνακας 4.4 Χρεώσεις ηλεκτρικού ρεύματος οικιακού τιμολογίου ΔΕΗ Γ1 για δεδομένη κατανάλωση κατοικίας με αντλία θερμότητας και με ηλεκτρικό λέβητα | 41 |
| Πίνακας 4.5 Υπολογισμός κόστους ωφέλιμης θερμικής ενέργειας για τα διαφορετικά συστήματα και σύγκριση κόστους (%) με συνήθη λέβητα πετρελαίου | 43 |
| Πίνακας 4.6 Εκτιμώμενο κόστος αντικατάστασης του λέβητα πετρελαίου με εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης και κόστος συντήρησης κάθε συστήματος | 47 |
| Πίνακας 4.7 Υπολογισμός κόστους ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά σεζόν για τα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και διαφοράς αυτού συγκριτικά με του λέβητα πετρελαίου | 48 |
| Πίνακας 5.1 Προϋπολογισμός εγκατάστασης μικρο-μεσαίων μονάδων παραγωγής πελετών τριών διαφορετικών περιπτώσεων δυναμικότητας..... | 54 |
| Πίνακας 5.2 Ενδεικτικές τιμές μηχανολογικού εξοπλισμού ανά διεργασία της μονάδας παραγωγής πελετών, ανάλογα με τη δυναμικότητά της..... | 60 |
| Πίνακας 5.3 Προϋπολογισμός επένδυσης εγκατάστασης μονάδας παραγωγής πελετών δυναμικότητας 3,5-5 ton/h..... | 65 |

SUMMARY

The present thesis begins with a description of the Renewable Energy Sources (RES), based on the Greek and European legal framework, and the established National and European targets regarding the increase of the RES use, for the protection of the environment.

To continue, the various forms of biomass are described and analysed, regarding their properties, as well as the pros and cons biomass presents when employed as an energy source (bioenergy).

Regarding wood biomass, a description of its uses and applications as well as its exploitation technologies is held.

The subsequent analysis of the physicochemical and thermal characteristics of the solid, liquid and gaseous conventional fuels leads to the analysis of the respective characteristics of wood pellets and the comparison between them. Moreover, the quality standards of pellets and the other biomass solid fuels for industrial and non-industrial use are summarized.

In the 3rd chapter of this thesis, the production steps of wood pellets are described, that set the basis for the techno-economic analysis of the wood pellets production plant design that is attempted in the 5th chapter.

Furthermore, this thesis also includes, in the 4th chapter, a techno-economic comparative evaluation of conventional and alternative household heating systems, regarding operating costs, installation costs and the replacement cost of a conventional heating system with a wood pellet boiler.

Keywords: biomass, wood pellets, quality standards of solid biomass fuels, pellet production steps, pelletization, techno-economic analysis of household heating systems, pellet production plant design

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, αρχικά, περιγράφει τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) βάσει του ελληνικού και ευρωπαϊκού νομικού πλαισίου καθώς και τους εθνικούς και ευρωπαϊκούς στόχους που έχουν τεθεί για τις ΑΠΕ με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια περιγράφονται και αναλύονται οι διάφορες μορφές βιομάζας, οι ιδιότητές της που ενδιαφέρουν για την αξιολόγησή της ως καυσίμου και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει ως προς την αξιοποίησή της ως ενεργειακής πηγής. Αναφορικά με την ξυλώδη βιομάζα, περιγράφονται οι χρήσεις και οι εφαρμογές της, καθώς και οι τεχνολογίες αξιοποίησής της που έχουν αναπτυχθεί, βάσει των διεργασιών μετατροπής της βιομάζας, για την παραγωγή θερμότητας σε μικρή και μεγάλη κλίμακα, την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και τη συμπαγωγή αυτών.

Η ανάλυση των φυσικοχημικών και θερμικών ιδιοτήτων των στερεών, υγρών και αερίων συμβατικών καυσίμων οδηγεί στη σύγκριση αυτών με τις αντίστοιχες ιδιότητες που παρουσιάζουν οι πελέτες (συμπιεσμένοι κυλινδρικοί ξυλώδους βιομάζας), ενώ παράλληλα περιγράφονται τα πρότυπα ποιότητας των πελετών αλλά και των άλλων καυσίμων στερεής βιομάζας για βιομηχανική και μη βιομηχανική χρήση.

Στη συνέχεια, στο 3^ο κεφάλαιο της εργασίας, περιγράφονται και αναλύονται τα στάδια παραγωγής πελετών από ξυλώδη βιομάζα, τα οποία αποτελούν τη βάση για την τεchnο-οικονομική ανάλυση σχεδιασμού μονάδων παραγωγής πελετών που επιχειρείται στο 5^ο και τελευταίο κεφάλαιο.

Επιπλέον, το 4^ο κεφάλαιο της εργασίας περιλαμβάνει μία τεchnο-οικονομική συγκριτική μελέτη συμβατικών και εναλλακτικών συστημάτων οικιακής θέρμανσης, αναφορικά με το κόστος λειτουργίας, το κόστος εγκατάστασης αλλά και το κόστος αντικατάστασης ενός συμβατικού με ένα εναλλακτικό σύστημα οικιακής θέρμανσης που είναι ο καυστήρας πελετών ξύλου.

Λέξεις κλειδιά: βιομάζα, πελέτες ξύλου, πρότυπα στερεών βιοκαυσίμων, στάδια παραγωγής πελετών, πελετοποίηση, τεchnο-οικονομική μελέτη συστημάτων οικιακής θέρμανσης, σχεδιασμός μονάδας παραγωγής πελετών.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΕΙΣΑΓΩΓΗ”

Οι πηγές ενέργειας μπορούν να διακριθούν στις μη ανανεώσιμες και στις ανανεώσιμες. Ως μη ανανεώσιμες (ή παραδοσιακές, ή συμβατικές) πηγές ενέργειας θεωρούνται εκείνες οι πηγές ενέργειας που δεν μπορούν να αναπληρωθούν, ή που αναπληρώνονται με εξαιρετικά μικρό ρυθμό. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα συμβατικά καύσιμα, πιο συγκεκριμένα: τους γαιάνθρακες (π.χ. λιγνίτης, ανθρακίτης, τύρφη) που ανήκουν στα στερεά καύσιμα, το πετρέλαιο και τα κλάσματά του που ανήκουν στα υγρά καύσιμα καθώς και τα αέρια καύσιμα (π.χ. φυσικό αέριο, υγραέριο). Τα ανωτέρω αποτελούν τα ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνεται και η πυρηνική ή ατομική ενέργεια που λαμβάνεται από σχάση ή σύντηξη πυρήνων. (Ιστοσελίδα: Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας) (Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς, 2008)

Αντίθετα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι εκείνες οι πηγές ενέργειας οι εναλλακτικές των παραδοσιακών, οι οποίες παρέχουν εκμεταλλεύσιμη ενέργεια που προκύπτει από φυσικές διεργασίες και οι οποίες δεν μπορούν να εξαντληθούν από πρακτικής άποψης σε μεγάλο βάθος χρόνου. Αυτές λέγονται και ήπιες μορφές ενέργειας διότι η αξιοποίησή τους δεν απαιτεί παρεμβατικές πρακτικές (π.χ. εξόρυξη, άντληση, καύση) αλλά πραγματοποιείται μέσω της φυσικής ενεργειακής ροής καθώς και επειδή η αξιοποίησή τους είναι φιλική προς το περιβάλλον, διότι δεν απελευθερώνονται καυσαέρια ή τοξικές/ραδιενεργές ουσίες. (wikipedia) (Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς, 2008) (Ανανεώσιμες - Ήπιες Πηγές Ενέργειας, 2008)

«Ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές», σύμφωνα με την **Οδηγία 2009/28/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ, είναι: η ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές ήτοι αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από τα αέρια που παράγονται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και από τα βιοαέρια. (ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ)

Ανανεώσιμη μη ορυκτή πηγή ενέργειας, συγκεκριμένα υδροηλεκτρική, έχουμε στα υδροηλεκτρικά φράγματα που απεικονίζονται στα Σχήματα 1.1 και 1.2. Τα Σχήματα 1.3 και 1.4 απεικονίζουν ανεμόμυλο και αιολικό πάρκο, αντίστοιχα, δηλαδή την αιολική πηγή ενέργειας στην παραδοσιακή και στη σύγχρονη μορφή της.

Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό ότι στις παραδοσιακές πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται, ως επί το πλείστον, καύσιμες ύλες (καύσιμα) που μπορεί να είναι στερεές, υγρές ή αέριες, ενώ πολλές από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν αξιοποιούν την καύση ύλης.

Η Ελλάδα ενσωμάτωσε την αντίστοιχες οδηγίες της Ε.Ε. στη νομοθεσία του κράτους, εναρμονιζόμενη με την παγκόσμια αναγκαιότητα και τάση για προώθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος.



Σχήμα 1.1 Υδροηλεκτρικό φράγμα στη λίμνη Πλαστήρα (πηγή: wikipedia)



Σχήμα 1.2 Υδροηλεκτρικό φράγμα Στράτου στον Αχελώο (πηγή: wikipedia)

Έτσι, οι εθνικοί στόχοι για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, με βάση την Οδηγία 2009/28/ΕΚ (EEL, 140/2009), καθορίζονται μέχρι το έτος 2020 ως εξής:

- α) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.
- β) Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%.
- γ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.
- δ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%. (ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ.3851, 2010)

Παράλληλα, για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

- α) 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ,
- β) 20% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ και
- γ) 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας. (Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας)



Σχήμα 1.3 Ο ανεμόμυλος στο Κίντερνταϊκ της Ολλανδίας, μία από τις παλιότερες μεθόδους εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας. (πηγή: wikipedia)



Σχήμα 1.4 Αιολικό πάρκο στο Χόλσταϊν της Γερμανίας. (πηγή: wikipedia)

Το τρέχον Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ, το οποίο εκπονήθηκε στο πλαίσιο εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής σε σχέση με την διείσδυση των ΑΠΕ, την Εξοικονόμηση Ενέργειας και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου αναφέρει ειδικά για την Ελλάδα ότι ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του

θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση.» (Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας)

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ”

2.1 Βιομάζα και βιοενέργεια

2.1.1 Γενικά

Σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ, «βιομάζα» είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τους συναφείς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών αποβλήτων και των οικιακών απορριμμάτων. (ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ)

Μέσω της Υ.Α. 36060/1155/Ε.103/2013 - Καθορισμός πλαισίου κανόνων, μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος από βιομηχανικές δραστηριότητες, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2010/75/ΕΕ «περί βιομηχανικών εκπομπών (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης)» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 24^{ης} Νοεμβρίου 2010, η «βιομάζα» ορίζεται πιο αναλυτικά και συγκεκριμένα ως εξής:

«οιοδήποτε από τα ακόλουθα:

α) προϊόντα που αποτελούνται από οιαδήποτε φυτική ύλη, προερχόμενη από τη γεωργία ή τη δασοκομία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο προκειμένου να ανακτηθεί το ενεργειακό της περιεχόμενο,

β) τα εξής απόβλητα:

i) φυτικά απόβλητα της γεωργίας ή της δασοκομίας,

ii) φυτικά απόβλητα της βιομηχανίας τροφίμων, εφόσον ανακτάται η εκλυόμενη θερμότητα

iii) ινώδη φυτικά απόβλητα από την παραγωγή παρθένου χαρτοπολτού και την παραγωγή χαρτιού από χαρτοπολτό, εφόσον για τα απόβλητα αυτά εφαρμόζεται διαδικασία συναποτέφρωσης στον τόπο παραγωγής και ανακτάται η εκλυόμενη θερμότητα

iv) απόβλητα φελλού

v) απόβλητα ξύλου εκτός από τα απόβλητα ξύλου που ενδέχεται να περιέχουν αλογονούχες οργανικές ενώσεις ή βαρέα μέταλλα ως αποτέλεσμα επεξεργασίας με συντηρητικά ξύλου ή επίστρωσης, και τα οποία περιλαμβάνουν ιδίως απόβλητα ξύλου προερχόμενα από οικοδομές και κατεδαφίσεις.». (ΦΕΚ 1450 , 2013)

Έτσι, η βιομάζα περιλαμβάνει οργανικές ύλες που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα με σκοπό την εκμετάλλευση του ενεργειακού περιεχομένου τους, όπως: ξύλο, κλαδοδέματα, κλαδιά, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια, ζωικά-κτηνοτροφικά απόβλητα ή παραπροϊόντα, υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων και της αγροτικής βιομηχανίας κ.α..

Πρακτικά, λοιπόν, η βιομάζα, από άποψη φυσικής υπόστασης, είναι η ύλη βιολογικής προέλευσης.

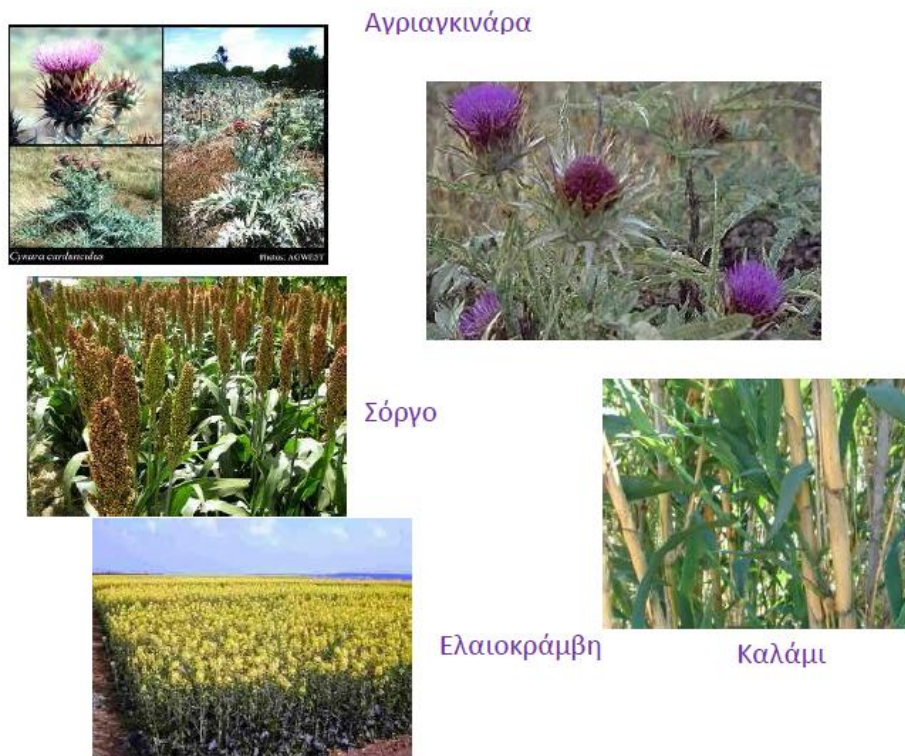


Σχήμα 2.1 Δέμα άχυρου (πηγή: EnergyPress - Δημοσιογραφικό ενημερωτικό portal για την ενέργεια)

Επιπλέον, βιομάζα προέρχεται και από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Στις ενεργειακές καλλιέργειες ανήκουν τα αυτοφυή ή καλλιεργούμενα είδη από όπου απομονώνεται η βιομάζα που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας ή υγρών βιοκαυσίμων. Δηλαδή, οι καλλιέργειες αυτές, είτε δημιουργούνται για αυτόν ακριβώς το σκοπό, είτε αποτελούν παραδοσιακές καλλιέργειες οι οποίες παράγουν μεγάλες ποσότητες άχρηστης οργανικής ύλης που μπορεί να αξιοποιηθεί. Παραδείγματα τέτοιων καλλιεργειών είναι: το κριθάρι, το καλάμι, το σιτάρι, ο ευκάλυπτος, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα, η ελαιοκράμβη, ο ηλίανθος, η ψευδακακία, η αγριαγκινάρα, το σόργο κ.α.. (Κατσίρη, 2010-2011) (Ιστοσελίδα Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και εξοικονόμησης Ενέργειας)

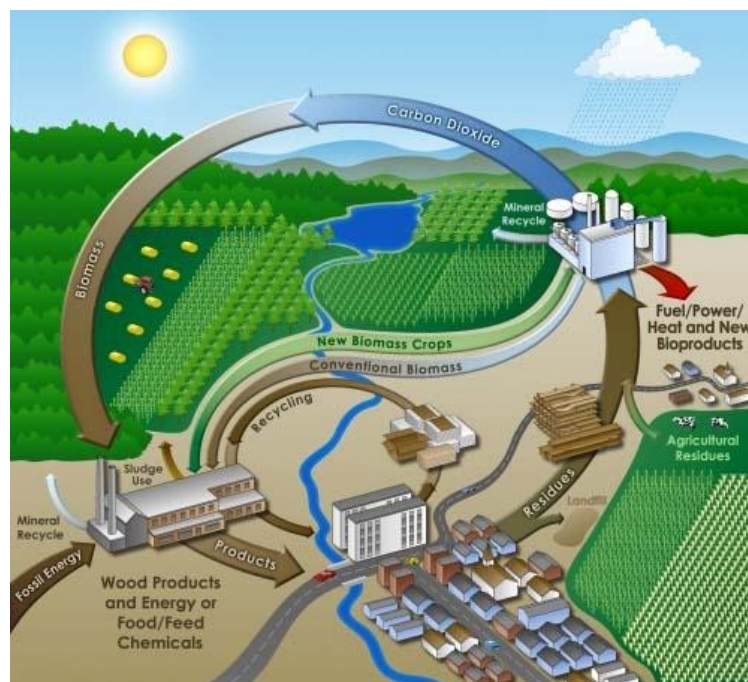


Σχήμα 2.2 Φυτείες καλαμιών (αριστερά) και αγριαγκινάρας (δεξιά) στην Κεντρική Ελλάδα (πηγή: Biomass guide)



Σχήμα 2.3 Διάφορες ενεργειακές καλλιέργειες, όπως αναγράφονται (πηγή: Κατσίρη, 2010-2011)

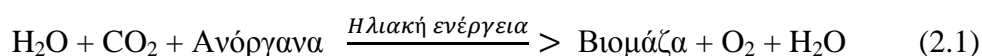
Βιοενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από την αξιοποίηση βιομάζας. Για να αξιοποιηθεί η βιομάζα πρέπει να υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία έτσι ώστε να μετατραπεί σε στερεή, υγρή ή αέρια καύσιμη ύλη, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ειδικά θερμότητας, ή τη συμπαράγωγή αυτών.



Σχήμα 2.4 Ενεργειακός κύκλος βιομάζας (πηγή: Κατσίρη, 2010-2011)

Η ενέργεια που μπορεί να επαναποδώσει, ουσιαστικά, η βιομάζα προέρχεται από τον ήλιο, την οποία τα φυτά, μέσω της φωτοσύνθεσης, δεσμεύουν και αποθηκεύουν. Όσον αφορά στα παραπροϊόντα της κτηνοτροφίας, τα ζώα λαμβάνουν και αποθηκεύουν την ενέργεια αυτή μέσω της τροφής τους. Στο πλαίσιο αυτό, η ενέργεια από βιομάζα αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αφού αυτή αποτελεί αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια. Ο ενεργειακός κύκλος της βιομάζας απεικονίζεται στο Σχήμα 2.4.

Η διεργασία - χημική αντίδραση της φωτοσύνθεσης συνίσταται, δηλαδή, στην δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και νερού (H₂O), τα οποία με τη συνέργεια ανόργανων ουσιών και υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπονται σε βιομάζα (κυρίως υδατάνθρακες), απελευθερώνοντας οξυγόνο (O₂), βάσει της κατωτέρω χημικής εξίσωσης (Εξίσωση 2.1):



Με τα παραπάνω, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η βιομάζα, σε κάποιες μορφές της, χρησιμοποιούνταν από πάντα ως πηγή ενέργειας και κυρίως θερμότητας: π.χ. η καύση ξύλων αποτελεί αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας διαφόρων μορφών. (wikipedia) (Κατσίρη, 2010-2011) (Biomass guide) (Καμπερίδου & Μπαρμπούτης, 2011)



Σχήμα 2.5 Καυσόξυλα (πηγή: Agroenergy)

Οι βασικές ιδιότητες της βιομάζας που ενδιαφέρουν για την αξιολόγησή της ως καυσίμου είναι οι εξής:

- Περιεκτικότητα σε υγρασία
- Περιεκτικότητα σε τέφρα
- Χημική σύσταση (συμπεριλαμβανομένης της περιεκτικότητας σε πτητικά συστατικά)
- Θερμογόνος δύναμη (ή θερμαντική ικανότητα)
- Πυκνότητα.

(Εγχειρίδιο καυσίμων ξύλου, 2008) (Αμανατίδης)

2.1.2 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της βιομάζας ως προς την αξιοποίησή της ως ενεργειακής πηγής

Τα κύρια πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση των διαφόρων μορφών βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας συνοψίζονται στα εξής σημεία: (wikipedia) (Κατσίρη, 2010-2011) (Biomass guide) (biomass.net) (Τριανταφυλλίδης, 2012) (Καμπερίδου & Μπαρμπούτης, 2011)

- Αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
- Η αξιοποίηση της βιομάζας βοηθά στην απεξάρτηση από καύσιμα που εισάγονται από άλλες χώρες, καθώς η ύλη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιομάζα είναι άφθονη και βρίσκεται πρακτικά παντού. Παράλληλα, η αξιοποίησή της συμβάλλει στην αύξηση της απασχόλησης γενικότερα, αλλά κυρίως στις αγροτικές περιοχές, κάτι που έχει θετική επίδραση στην αποκέντρωση.
- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που παράγει η καύση της βιομάζας θα δεσμευτεί εκ νέου από τη νέα δημιουργούμενη βιομάζα. Ουσιαστικά, λοιπόν, η αξιοποίηση της βιομάζας, σε αντίθεση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, δεν αυξάνει τα επίπεδα του CO_2 , επομένως συνεισφέρει σημαντικά στο ισοζύγιο του CO_2 και στην άμβλυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- Η βιομάζα περιέχει μηδαμινές ποσότητες θείου (S), έτσι η αξιοποίησή της δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με διοξείδιο το θείου (SO_2), σε αντίθεση με τα συμβατικά καύσιμα. Συνεπώς, η χρήση της επιδρά πολύ θετικά στο ισοζύγιο των εκπομπών SO_2 που προκαλεί την όξινη βροχή.
- Το κόστος της αξιοποίησης της βιομάζας, ή της παραγωγής ύλης με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη (ενεργειακές καλλιέργειες) είναι μικρότερο συγκριτικά με την ανεύρεση και εξόρυξη ορυκτών καυσίμων.

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας συνίστανται στα εξής: (wikipedia) (Κατσίρη, 2010-2011) (Biomass guide) (biomass.net) (Τριανταφυλλίδης, 2012) (Καμπερίδου & Μπαρμπούτης, 2011)

- Οι διάφορες μορφές βιομάζας περιέχουν μεγάλα ποσοστά υγρασίας και παράλληλα χαρακτηρίζονται από μικρό ειδικό βάρος, είναι δηλαδή σχετικά ογκώδεις, χαρακτηριστικά που καθιστούν δυσχερή την αξιοποίησή τους.
- Η πηγές βιομάζας είναι διεσπαρμένες γεωγραφικά, ενώ κάποιες από αυτές δεν παράγονται συνεχώς, αλλά σε συγκεκριμένες περιόδους του χρόνου. Έτσι, η τροφοδοσία των μονάδων επεξεργασίας και αξιοποίησης βιομάζας δεν γίνεται με συνεχή ροή. Από την άλλη μεριά, οι ενεργειακές καλλιέργειες, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν με πιο συνεχή τρόπο, απαιτούν μεγάλες εκτάσεις τόσο για την φυσική παρουσία τους, όσο και για τα διάφορα στάδια επεξεργασίας αυτών, καθώς και μεγάλες ποσότητες νερού.

- Η διαδικασία της συλλογής, μεταφοράς, μεταποίησης και αποθήκευσης της βιομάζας αυξάνουν σημαντικά το κόστος αξιοποίησής της.
- Η αξιοποίηση της βιομάζας απαιτεί σύγχρονες εγκαταστάσεις και εξοπλισμό για τη μετατροπή της, έτσι αυτό το στάδιο καθίσταται πιο κοστοβόρο συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα.

Από τα ανωτέρω, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η βιοενέργεια δεν αποτελεί πανάκεια στο ενεργειακό. Ωστόσο, αυτή η μορφή ενέργειας είναι πολλά υποσχόμενη καθώς η τεχνολογία αξιοποίησής της αναπτύσσεται, συνυπολογίζοντας και την αύξηση της τιμής του πετρελαίου καθώς και την παγκόσμια αναγκαιότητα προστασίας του περιβάλλοντος. (wikipedia) (Κατσίρη, 2010-2011) (Biomass guide) (biomass.net) (Τριανταφυλλίδης, 2012) (Καμπερίδου & Μπαρμπούτης, 2011)

2.1.3 Ξυλώδης βιομάζα

Από τις πηγές βιομάζας που αναλύθηκαν στην παράγραφο 2.1.1, οι περισσότερες ανήκουν στην κατηγορία της ξυλώδους βιομάζας, ενώ οι υπόλοιπες αποτελούν μη ξυλώδη βιομάζα. Στη σύγχρονη εποχή, για την παραγωγή ενέργειας, αντικαθίσταται η απευθείας χρήση της ξυλείας στην ακατέργαστη μορφή της με τη χρήση ξυλώδους βιομάζας σε επεξεργασμένη μορφή, αφού αυτή βρίσκεται άφθονη στα παραπροϊόντα της υλοτομίας, στα αστικά απορρίματα ξύλου και σε άλλες πηγές. Παράλληλα, η αξιοποίηση αυτής της μορφής βιομάζας, συγκριτικά με την απόρριψη και ταφής της, παρουσιάζει το σημαντικό πλεονέκτημα της μείωσης των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου (CH₄). (Καμπερίδου & Μπαρμπούτης, 2011) (Εγχειρίδιο καυσίμων ξύλου, 2008) (Αμανατίδης)

Η φυτική βιομάζα αποτελείται κυρίως από κνυταρίνη, λιγνίνη και ημικνυταρίνη. Στοιχειακά, η παραπάνω σύσταση μεταφράζεται σε άνθρακα (C), οξυγόνο (O) και υδρογόνο (H). Συνήθως, η πρωτογενής βιομάζα που συλλέγεται χαρακτηρίζεται από περιεχόμενη υγρασία 50% κ.β. περίπου.

Οι επεξεργασμένες μορφές της ξυλώδους βιομάζας είναι οι:

- Ξυλοτεμαχίδια (θρυμματισμένο ξύλο, πριονίδι)
- Πλανίδια - ροκανίδια (woodchips)
- Συμπιεσμένοι κυλινδρικοί - συσσωματώματα/ σύμπηκτα - πελέτες (pellets)
- Μπρικέτες (briquettes)

Οι διαστάσεις αυτών των επεξεργασμένων μορφών ξυλώδους βιομάζας είναι αρκετά μικρότερες σε σύγκριση με τη μη κατεργασμένη ξηλεία, έτσι καθίστανται πιο εύχρηστες. (Καμπερίδου & Μπαρμπούτης, 2011) (Εγχειρίδιο καυσίμων ξύλου, 2008) (Αμανατίδης)



Σχήμα 2.6 Ροκανίδια – woodchips (πηγή: Agroenery)

2.1.4 Χρήσεις-εφαρμογές-ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού απ' ευθείας, ή μετά από την μετατροπή της μέσω διάφορων διεργασιών (β.λ. 2.1.5) σε άλλης μορφής καύσιμα. Σχηματικά, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις εφαρμογές της αξιοποίησης της βιομάζας στις εξής κατηγορίες:

- ✓ Θέρμανση κτιρίων (μικρής κλίμακας αξιοποίηση) με απ' ευθείας καύση της βιομάζας
- ✓ Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης ή/και ηλεκτρισμού σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες και βιοτεχνίες (συμπαράγωγή ηλεκτρισμού/ θερμότητας)
- ✓ Τηλεθέρμανση/ τηλεψύξη κατοικημένων περιοχών. Αποτελεί κεντρική παραγωγή θερμότητας/ ψύξης και διανομή της.
- ✓ Θέρμανση θερμοκηπίων
- ✓ Παραγωγή υγρών καυσίμων μέσω βιοχημικής μετατροπής της βιομάζας
- ✓ Παραγωγή βιοκαυσίμων διαφόρων φυσικών μορφών μέσω θερμοχημικής μετατροπής της βιομάζας
- ✓ Παραγωγή βιοαερίου, κυρίως στους ΧΥΤΑ (Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμάτων)
- ✓ Παραγωγή λιπασμάτων/ εδαφοβελτιωτικών

(Agroenery) (ΚΑΠΕ, 2006) (Biomass guide) (Χαραλαμπίδης)

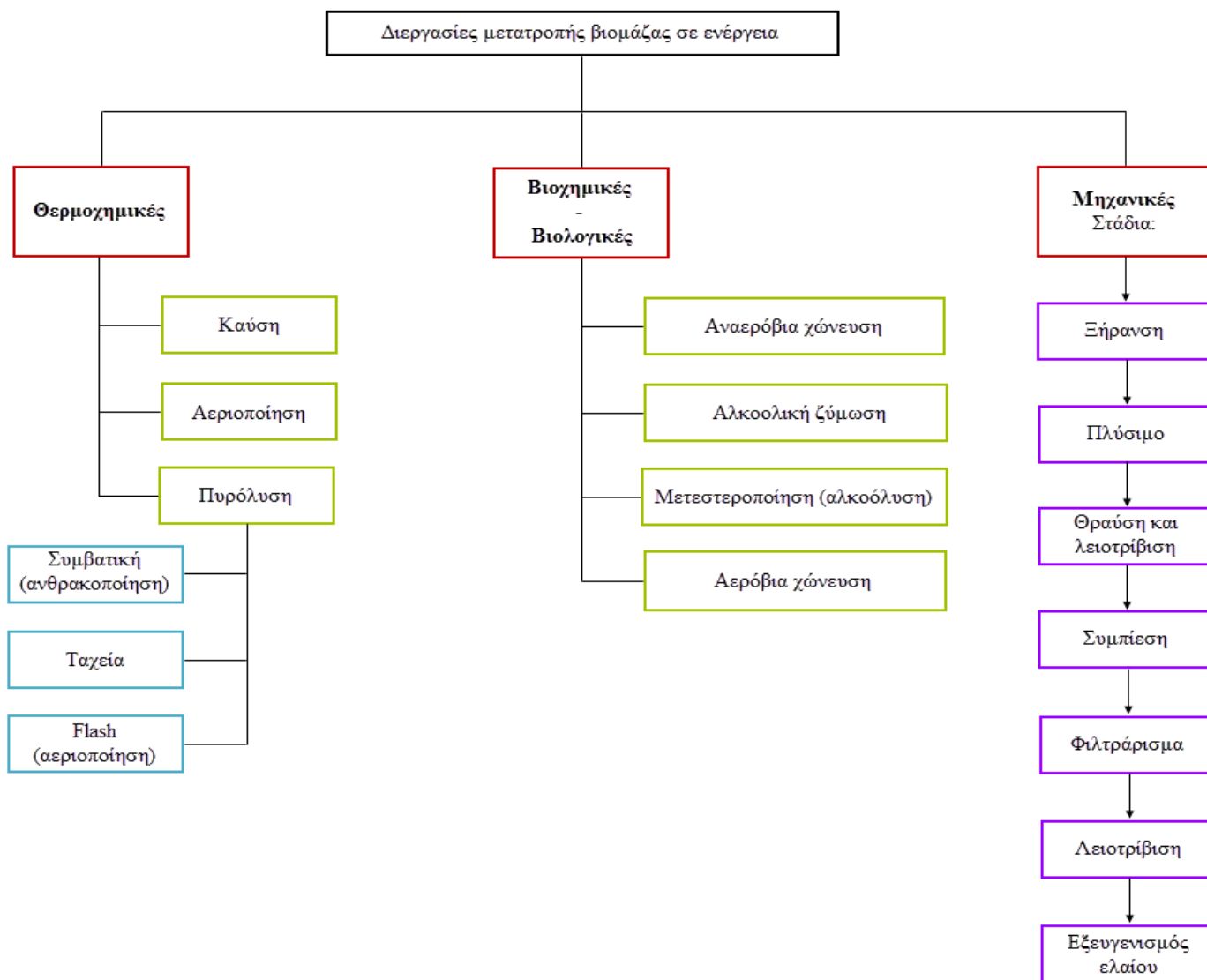
2.1.5 Τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας - Μετατροπές

Οι τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας στοχεύουν σε τρία αποτελέσματα:

- ✓ στην παραγωγή θερμότητας σε μικρή (π.χ. οικιακή χρήση) και μεγάλη κλίμακα (τηλεθέρμανση),

- ✓ στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς και
- ✓ στη συμπαραγωγή των ανωτέρω.

Στο Σχήμα 2.7 κατηγοριοποιούνται οι διεργασίες μετατροπής της βιομάζας σε χρήσιμες μορφές ενέργειας οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.



Σχήμα 2.7 Κατηγοριοποίηση διεργασιών μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια

➤ **Θερμοχημικές διεργασίες**

✓ **Καύση (combustion)**

Με την καύση της βιομάζας μπορούν να επιτευχθούν δύο στόχοι: Η απ' ευθείας παραγωγή θερμότητας ή η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με παράλληλη παραγωγή μικρής ποσού θερμότητας (συμπαραγωγή).

Η άμεση καύση της βιομάζας για την παραγωγή θερμότητας, με σκοπό τη θέρμανση σε μικρή κλίμακα (θέρμανση κατοικιών κ.α.) αποτελεί την κύρια μορφή αξιοποίησης της βιομάζας.

Άλλη περίπτωση αποτελεί η παράλληλη καύση βιομάζας με άλλο καύσιμο (συμβατικό).

Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, η καύση της βιομάζας παράγει θερμότητα, η οποία αξιοποιείται για την παραγωγή ατμού από νερό εντός λέβητα. Ο ατμός αυτός αξιοποιείται εντός μηχανής εσωτερικής καύσης, ή για να θέσει σε κίνηση ατμοστρόβιλο, ηλεκτρογεννήτριας, μέσω της οποίας παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από χαμηλότερο συντελεστή απόδοσης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenery) (Bridgwater, 2009) (Balat, 2008) (Κατσίρη, 2010-2011)

✓ **Αεριοποίηση (gasification)**

Μέσω της αεριοποίησης, η βιομάζα μετατρέπεται σε μίγμα αερίων, μέσω ατελούς καύσης.

Προ της καύσης της, παρεμβάλεται ένα στάδιο επεξεργασίας της βιομάζας, μέσω ξήρανσης και τεμαχισμού, ώστε το υλικό να έχει υγρασία μικρότερη από 20%.

Από το μίγμα αερίων που προκύπτει, απομακρύνονται οι ακαθαρσίες με αποτέλεσμα ένα καθαρό καύσιμο αέριο.

Το αέριο αυτό καίγεται σε αεριοστρόβιλο με αποτέλεσμα την συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Η αεριοποίηση αποτελεί μια τεχνολογία πολλά υποσχόμενη με υψηλή απόδοση και σχετικά μικρό κόστος εξοπλισμού.

Επιπλέον, η διεργασία αυτή επιφέρει χαμηλά επίπεδα εκπομπών στην ατμόσφαιρα, διότι προηγείται ο καθαρισμός του αερίου πριν από την καύση του. (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenery) (Bridgwater, 2009) (Balat, 2008) (Κατσίρη, 2010-2011) (Ψημμένος, 2010)

✓ **Πυρόλυση (pyrolysis)**

Πυρόλυση είναι η θερμική αποσύνθεση οργανικών ενώσεων που πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου, με αποτέλεσμα την παραγωγή στερεών, υγρών και αερίων προϊόντων.

Επιπλέον, πυρόλυση πραγματοποιείται ως πρώτο βήμα στις διεργασίες της καύσης και της αεριοποίησης, ωστόσο σε αυτές τις διεργασίες ακολουθεί ολική ή μερική οξειδωση των πρωτογενών προϊόντων.

Η πυρόλυση μπορεί να διακριθεί σε τρία είδη:

- Συμβατική πυρόλυση - ανθρακοποίηση, η οποία πραγματοποιείται σε χαμηλές, σχετικά, θερμοκρασίες και με μεγάλο χρόνο αέριας παραμονής, που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή κυρίως ξυλάνθρακα (κυρίως στερεό προϊόν)
- Ταχεία πυρόλυση, η οποία πραγματοποιείται σε μεσαίες θερμοκρασίες και με μικρό χρόνο αέριας παραμονής (κυρίως υγρό προϊόν)
- Flash πυρόλυση (αεριοποίηση), η οποία πραγματοποιείται σε υψηλές, σχετικά, θερμοκρασίες και με μεγάλο χρόνο αέριας παραμονής (κυρίως αέριο προϊόν) (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenery) (Bridgwater, 2009) (Balat, 2008) (Ψημμένος, 2010)

➤ Βιοχημικές/ Βιολογικές διεργασίες

✓ Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι η αποικοδόμηση οργανικής ύλης (υγρής) από διάφορους μικροοργανισμούς, αλλά κυρίως βακτήρια, απουσία οξυγόνου.

Το παραγόμενο προϊόν από αυτή τη διεργασία είναι ένα μίγμα αερίων που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υδρατμούς (H_2O) και σε μικρότερες ποσότητες αμμωνία (NH_3), άζωτο (N_2), υδρογόνο (H_2), υδρόθειο (H_2S), και οξυγόνο (O_2) και λέγεται βιοαέριο ή αέριο των ΧΥΤΑ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμάτων) όπου πραγματοποιείται η αναερόβια χώνευση των αστικών αποβλήτων. (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenergy) (Bridgwater, 2009) (Balat, 2008) (Κατσίρη, 2010-2011) (Ψημμένος, 2010)

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του βιοαερίου περιγράφονται ως εξής: (Balat, 2008) (Κατσίρη, 2010-2011) (Ψημμένος, 2010)

✓ Πυκνότητα $1,2 \text{ kg/m}^3$

✓ Σύσταση:

- Μεθάνιο (CH_4) 55-70%
- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) 30-45%
- Νερό (υδρατμοί) (H_2O) 0-5%
- Υδρόθειο(H_2S), αμμωνία (NH_3), άζωτο (N_2), και υδρογόνο (H_2) σε μικρότερες περιεκτικότητες
- Ενεργειακό περιεχόμενο $5,5-7,0 \text{ kWh/m}^3$

Το μίγμα αυτό, και κυρίως το μεθάνιο, εάν αφηθεί να εκλυθεί στην ατμόσφαιρα, θα συμβάλει στην περαιτέρω εξέλιξη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Εάν, ωστόσο, συλλεγεί, μπορεί να πραγματοποιηθεί η ενεργειακή εκμετάλλευση αυτού ως εξής:

Το βιοαέριο που παράγεται, αφού καθαριστεί και απομακρυνθεί η υγρασία από αυτό, διοχετεύεται σε μηχανή εσωτερικής καύσης με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Επίσης, σε κάποιες χώρες της Ευρώπης, το βιοαέριο αξιοποιείται σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο ως καύσιμο.

Παράλληλα με το αέριο προϊόν, παράγεται το υγρό χωνεμένο υπόλειμμα, το οποίο διαχωρίζεται με κατάλληλες διεργασίες (διαχωρισμός, εξάτμιση) σε στερεό και υγρό λίπασμα. Το στερεό λίπασμα έχει τη μορφή που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.8. Αυτό χρησιμοποιείται ως οργανικό εδαφοβελτιωτικό διότι χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικές ουσίες για τα φυτά. (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenergy) (Κατσίρη, 2010-2011) (Ψημμένος, 2010)

Στην κατηγορία της Αναερόβιας χώνευσης εντάσσεται η Συνδυασμένη Αναερόβια Χώνευση η οποία αποτελεί ταυτόχρονη αναερόβια χώνευση πολλών υποστρωμάτων διαφορετικής προέλευσης. (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenergy) (Κατσίρη, 2010-2011) (Ψημμένος, 2010)



Σχήμα 2.8 Στερεό λίπασμα αναερόβιας χώνευσης (πηγή: Agroenery)

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διεργασία είναι: (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenery) (Κατσίρη, 2010-2011) (Ψημμένος, 2010)

- Απόβλητα δραστηριοτήτων ζωικής παραγωγής (κοπριά ζώων)
- Απόβλητα σφαγείων και κρεοπωλείων (κρεατάλευρα και ζωικά υποπροϊόντα)
- Απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων (τυρόγαλα και απόνερα)
- Απόβλητα βιομηχανιών επεξεργασίας εσπεριδοειδών
- Απόβλητα ζυθοποιείων - οινοποιείων
- Οργανικά απόβλητα κουζίνας από εστιατόρια και ξενοδοχεία
- Απόβλητα ελαιοτριβίων
- Ίλύς βιολογικών καθαρισμών
- Αγροτικά παραπροϊόντα
- Ενεργειακές καλλιέργειες

✓ **Αλκοολική ζύμωση**

Στη διεργασία αυτή υπόκεινται σακχαρούχες και αμυλούχες καλλιέργειες με αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Παραδείγματα τέτοιων καλλιεργειών αποτελούν το ζαχαροκάλαμο, το ζαχαρότευτλο, το καλαμπόκι και το σιτάρι.

Όταν πρόκειται για βιομάζα από αμυλούχες καλλιέργειες, αυτή αρχικά αλέθεται έτσι ώστε το άμυλο να μετατραπεί σε σάκχαρα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται χημική επεξεργασία και ζύμωση της ύλης με αποτέλεσμα την μετατροπή της σε αλκοόλη.

Έπειτα, μέσω απόσταξης, το προϊόν απαλάσσεται από τις προσμίξεις και προκύπτει αιθανόλη καθαρότητας ~95% κ.ό..

Η βιοαιθανόλη που παράγεται έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κίνησης σε κινητήρες οχημάτων, εξ' ολοκλήρου ή σε συνδυασμό με βενζίνη.

Παράλληλα, από αυτή τη διεργασία προκύπτει και στερεό υπόλειμμα το οποίο μπορεί και αυτό να αξιοποιηθεί μέσω αεριοποίησης.

Παράλληλα, σε εξέλιξη βρίσκεται η ανάπτυξη τεχνολογίας ζύμωσης κυτταρίνης και ημικυτταρίνης. (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenery) (Bridgwater, 2009) (Balat, 2008) (Κατσίρη, 2010-2011)

✓ Μετεστερεοποίηση ή αλκοόλυση

Η διεργασία αυτή συνίσταται σε μετεστεροποίηση των τριγλυκεριδίων που εμπεριέχουν σε μεγάλο ποσοστό τα φυτικά και ζωϊκά έλαια με μια αλκοόλη (συνήθως μεθανόλη).

Ως χημική αντίδραση αποτελεί την ένωση εστέρων με αλκοόλες με αποτέλεσμα την παραγωγή μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων (βιοντίζελ).

Το προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στους συμβατικούς πετρελαιοκινητήρες. (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenergy) (Balat, 2008) (Κατσίρη, 2010-2011)

✓ Αερόβια χώνευση

Η αερόβια χώνευση, σε αντίθεση με την αναερόβια χώνευση, πραγματοποιείται παρουσία οξυγόνου.

Η διεργασία γίνεται από βακτήρια που αποικοδομούν τη βιομάζα και παράγουν διοξείδιο του άνθρακα.

Αυτή η διεργασία πραγματοποιείται για την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού υλικού. (Λυμπεράτος, 2013) (Agroenergy) (Bridgwater, 2009) (Balat, 2008) (Κατσίρη, 2010-2011)

➤ Μηχανικές διεργασίες

Οι μηχανικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοντίζελ. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι, κατά κύριο λόγο, το rapeseed (κυρίως στην Ευρώπη), οι ηλιόσποροι και οι σπόροι σόγιας.

Η μηχανική διεργασία περιλαμβάνει διάφορα στάδια:

- ξήρανση της ύλης,
- πλύσιμο,
- θραύση και λειοτρίβιση,
- συμπίεση για την εξαγωγή του ελαίου που εμπεριέχει η ύλη,
- φιλτράρισμα αυτού,
- λειοτρίβιση και χημική επεξεργασία του στερεού υπολείμματος από το φιλτράρισμα για την ανάκτηση επιπλέον ελαίου,
- εξευγενισμός του ελαίου.

Από την παραπάνω διεργασία προκύπτει το καθαρό φυτικό λάδι που χρησιμοποιείται είτε ως έχει είτε μέσω της μετατροπής του σε βιοντίζελ μέσω της μετεστεροποίησης ή αλκοόλυσης.

(Λυμπεράτος, 2013) (Agroenergy) (Bridgwater, 2009) (Balat, 2008) (Χαραλαμπίδης) (Κατσίρη, 2010-2011) (Ψημμένος, 2010) (NPRO Engineering, 2010)

2.2 Συμβατικά καύσιμα

2.2.1 Στερεά συμβατικά καύσιμα

Τα στερεά συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίησή τους είναι οι γαιάνθρακες. Εξορύσσονται από ιζηματογενή κοιτάσματα, πλούσια σε άνθρακα, που έχουν βιογενή προέλευση.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι γαιανθράκων. Οι κυρίως εκμεταλλευόμενοι, με σειρά αύξουσας περιεκτικότητας σε άνθρακα και φθίνουσας περιεκτικότητας σε υγρασία και πτητικά συστατικά είναι: (Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας) (orykta.gr) (Τσακαλάκης) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

- ✓ Η τύρφη
- ✓ Ο λιγνίτης (ανήκει στους φαιάνθρακες)
- ✓ Ο ανθρακίτης (ανήκει στους λιθάνθρακες)

Οι κυριότερες ιδιότητες των στερεών συμβατικών (ορυκτών) καυσίμων, βάσει των οποίων αξιολογούνται, είναι: (Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας) (orykta.gr) (Τσακαλάκης) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

- Η θερμογόνος δύναμη (ή θερμικό δυναμικό ή θερμαντική ικανότητα), η οποία αποτελεί το ποσό θερμότητας που αποδίδεται και μετριέται σε kcal/kg ή MJ/kg και ουσιαστικά μαρτυρά την περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα (C), διακρίνεται στις:
 - Ανώτερη Θερμογόνο Δύναμη (Α.Θ.Δ.) - Higher Heating Value (H.H.V.) - Ho
 - Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη (Κ.Θ.Δ.) - Lower Heating Value (L.H.V.) - Hu
- Η υγρασία
- Η περιεκτικότητα σε τέφρα (ανόργανα συστατικά)
- Η περιεκτικότητα σε συστατικά όπως CO₂, CH₄, NH₃
- Η περιεκτικότητα σε: θείο (S), χλώριο (Cl) και βαρέα μέταλλα, π.χ. υδράργυρος (Hg), κάδμιο (Cd).

Μεγάλη περιεκτικότητα των στερεών καυσίμων σε πτητικά συστατικά επηρεάζει αρνητικά τη θερμογόνο δύναμή τους. Παράλληλα, μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία αυξάνει τον όγκο των καυσαερίων.



Σχήμα 2.9 Τύρφης στη Γερμανία (πηγή: orykta.gr)

Η τύρφη αποτελεί το νεώτερο, γεωλογικά, καύσιμο και είναι κατώτερης ποιότητας, διότι χαρακτηρίζεται από μικρή θερμαντική ικανότητα. Έτσι, χρησιμοποιείται σε λίγες χώρες για την παραγωγή θερμότητας (θέρμανση). Στο Σχήμα 2.9 απεικονίζεται κοίτασμα τύρφη στη Γερμανία. Παράλληλα, η τύρφη, περιέχει μεγάλο ποσοστό υγρασίας (80-95%). Άλλη χρήση της είναι ως λιπάσματος. Σχηματίζεται κυρίως σε υγρά και εύκρατα περιβάλλοντα. Την πρώτη ύλη για τον σχηματισμό τύρφης αποτελούν διάφορα φυτικά υπολείμματα. Το χρώμα της είναι σκούρο καφέ, η δε υφή της σπογγώδης και ινώδης. (Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας) (orykta.gr) (Τσακαλάκης) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

Για τον υπολογισμό της Α.Θ.Δ. του λιγνίτη, αλλά και των άλλων στερεών ορυκτών καυσίμων, χρησιμοποιείται η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση του περιεχόμενου άνθρακα (C) που είναι $94.030 \text{ cal/mol} = 393,5 \text{ kJ/mol}$.

1 mol C αντιστοιχεί σε 12 g αυτού, οπότε, με υπολογισμούς λαμβάνουμε:
Α.Θ.Δ. του άνθρακα: $7.835,8 \text{ cal/g} = 32,79 \text{ kJ/g}$.

Ο λιγνίτης της Πτολεμαΐδας, για παράδειγμα, είναι ιδιαίτερα φτωχός σε άνθρακα (περιέχει 19% κ.β.), οπότε, η παραπάνω τιμή πολλαπλασιαζόμενη με συντελεστή 0,19 δίνει:

Α.Θ.Δ. (Ho) του λιγνίτη Πτολεμαΐδας: $1.461,1 \text{ kcal/kg} = 6,12 \text{ MJ/kg}$.

Το σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της Ελλάδας που αντισταθμίζει την χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι η χαμηλή τους περιεκτικότητα σε θείο.

Με ανάλογο τρόπο υπολογίζονται οι Α.Θ.Δ. (Ho) των στερεών ορυκτών καυσίμων.

Γενικά, οι νεώτεροι φαιάνθρακες, που είναι οι μαλακοί φαιάνθρακες, στην Ελλάδα βρίσκονται κυρίως στην Πτολεμαΐδα και τη Μεγαλόπολη. Μεταξύ των κύριων συστατικών τους είναι και ο λιγνίτης. Χαρακτηρίζονται γενικά από μικρή θερμογόνο δύναμη, επειδή περιέχουν μεγάλο ποσοστό αδρανών ($H_u = 3,4 - 10,5 \text{ MJ/kg}$). (Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας) (orykta.gr) (Τσακαλάκης) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

Στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζεται φωτογραφία του λιγνιτικού πεδίου της Πτολεμαΐδας, όπου διακρίνονται οι χαρακτηριστικές ενστρώσεις λιγνιτών, ποικίλου πάχους, οι οποίες εναλλάσσονται με ενστρώσεις πλούσιες σε αργίλικα ιζήματα, ψαμμίτες και μάργες. (orykta.gr)

Οι γαιώδεις φαιάνθρακες χαρακτηρίζονται από υψηλότερη θερμογόνο ικανότητα ($H_u = 10 - 22 \text{ MJ/kg}$).

Σημαντικά υψηλότερη θερμογόνο δύναμη έχουν οι λιθάνθρακες ($H_u = 30 - 31,5 \text{ MJ/kg}$).

(Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας) (orykta.gr) (Τσακαλάκης) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)



Σχήμα 2.10 Φωτογραφία του λιγνιτικού πεδίου της Πτολεμαΐδας (πηγή: orgkta.gr)

2.2.2 Υγρά συμβατικά καύσιμα

Στα υγρά συμβατικά καύσιμα περιλαμβάνονται τα διάφορα κλάσματα του πετρελαίου αλλά και η μεθανόλη και η αιθανόλη (υγροί υδρογονάνθρακες).

Οι κυριότερες ιδιότητές τους, βάσει των οποίων αυτά αξιολογούνται ως καύσιμα είναι: (Τσακαλάκης) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

- Η θερμογόνος δύναμη (ως ανωτέρω)
- Το ιξώδες
- Η πτητικότητα
- Το στερεό υπόλειμμα της καύσης
- Η περιεκτικότητα σε τέφρα
- Η περιεκτικότητα σε νερό (H_2O)
- Η περιεκτικότητα σε: θείο (S), και σε μεταλλικά συστατικά: μόλυβδο (Pb), βανάδιο (V), Ni (νικέλιο), χαλκό (Cu).
- Το σημείο ανάφλεξης (flash-point) που αποτελεί την ελάχιστη θερμοκρασία που απαιτείται για να δημιουργηθεί το κατάλληλο μίγμα ατμού/ αέρα για να ξεκινήσει η ανάφλεξη.

Η Κ.Θ.Δ. του πετρελαίου θέρμανσης είναι 40 - 43 MJ/kg (λαμβάνοντας υπόψη ότι η πυκνότητα του πετρελαίου είναι 0,86 kg/λίτρο). (Τσακαλάκης) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015) (Βούλγαρης, 2005)

2.2.3 Αέρια συμβατικά καύσιμα

Στα αέρια καύσιμα περιλαμβάνονται κυρίως το φυσικό αέριο και το υγραέριο. Άλλα είναι οι αέριοι υδρογονάνθρακες που παράγονται από την απόσταξη πετρελαίου. (wikipedia) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

Για την αξιολόγηση των αέριων καυσίμων ενδιαφέρουν οι εξής ιδιότητες:

- Η θερμογόνος δύναμη (ως ανωτέρω)
- Το ειδικό βάρος ως προς τον αέρα
- Η πυκνότητα
- Η μέγιστη ταχύτητα ανάφλεξης
- Η περιεκτικότητα σε θείο (S)
- Η περιεκτικότητα σε αδρανή: άζωτο (N_2), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), νερό (H_2O).

Το φυσικό αέριο αποτελείται από μίγμα κορεσμένων υδρογονανθράκων με μικρό μοριακό βάρος. Το μίγμα αυτό σχηματίστηκε μέσω των ίδιων διεργασιών και κατά τον ίδιο χρόνο με το πετρέλαιο, στις υπόγειες κοιλότητες, από την αποσύνθεση φυτικών ουσιών. Το φυσικό αέριο είναι άσμο και άχρωμο, ενώ με τεχνητό τρόπο του προσδίδεται χαρακτηριστική οσμή με σκοπό να γίνεται αντιληπτή ενδεχόμενη διαρροή του. Περιέχει κατά βάση μεθάνιο (CH_4) σε περιεκτικότητα 70 - 90% κ.ό.. Άλλα συστατικά του: το αιθάνιο (C_2H_6) σε περιεκτικότητα 5 - 15% κ.ό., μίγμα προπανίου (C_3H_8) και βουτανίου (C_4H_{10}) σε περιεκτικότητα μικρότερη από 5% κ.ό., ενώ σε μικρότερες περιεκτικότητες βρίσκονται και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), άζωτο (N_2) και υδρόθειο (H_2S), ανάλογα με την προέλευσή του. (wikipedia) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

Το φυσικό αέριο θεωρείται το καθαρότερο από όλα τα ορυκτά καύσιμα επειδή δεν έχει τέφρα και αναμειγνύεται καλά με τον αέρα για να πραγματοποιηθεί τέλεια καύση, έτσι, κατά την καύση του παράγονται καπναέρια σε μικρό βαθμό. Άλλο πλεονέκτημά του αποτελεί το γεγονός ότι είναι οικονομικότερο από το πετρέλαιο. Η Α.Θ.Δ. του φυσικού αερίου είναι 33,5 - 40 MJ/m³, ανάλογα με τη σύστασή του. (wikipedia) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

Μεταξύ των αέριων συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται, το υγραέριο, σε αντίθεση με το φυσικό αέριο, αποτελεί πολύ λιγότερο αποδοτικό αέριο καύσιμο, αφού η Α.Θ.Δ. του είναι 11,6 MJ/m³. (wikipedia) (Φουντή, 2004) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

3^ο Κεφάλαιο

“ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ & ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΛΕΤΩΝ”

3.1 Χαρακτηριστικά Πελετών

Όπως έχει αναπτυχθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, τα pellets (Σχήμα 3.1) αποτελούν ένα πολλά υποσχόμενο εναλλακτικό των συμβατικών, «πράσινο» καύσιμο, του οποίου η χρήση εξαπλώνεται και προωθείται ολοένα και περισσότερο. Τα pellets είναι μικροί κυλινδρικοί συσσωματωμάτων ξυλώδους βιομάζας με συνήθη διάμετρο 6-8 mm, σύνηθες μήκος 30-40 mm, ενώ το χρώμα τους εξαρτάται από τη φύση της χρησιμοποιούμενης α' ύλης για την παραγωγή τους. (ALA Planning Partnership, 2013)



Σχήμα 3.1 Συσσωματώματα ξύλου-πελέτες (pellets) (πηγή: wikipedia)

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.1.1, τα κύρια χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν αναφορικά με τη βιομάζα γενικά, αλλά και ειδικότερα με τα pellets είναι τα εξής: (ALA Planning Partnership, 2013) (Ελευθεριάδης Ι. , 2013)

- Περιεκτικότητα σε υγρασία
- Περιεκτικότητα σε τέφρα
- Χημική σύσταση (συμπεριλαμβανομένης της περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά)
- Θερμογόνος δύναμη (ή θερμαντική ικανότητα)
- Πυκνότητα.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία των παραγόμενων πελετών κυμαίνεται από 8 έως 10%, με το 10% να έχει τεθεί ως ανώτερο επιτρεπόμενο όριο (βλ. ενότητα 3.2).

Η περιεκτικότητά τους σε τέφρα είναι 0,5-1,0 %.

Η χημική τους σύσταση ποικίλει, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη α' ύλη.

Ως προς τη θερμαντική τους ικανότητα, αυτή κυμαίνεται από 4,5 έως 5,2 kWh/kg ή αλλιώς 16,2-18,72 MJ/kg (αφού 1 kWh = 3,6 MJ).

Η πυκνότητά τους είναι περίπου 650 kg/m³ ή μεγαλύτερη. (ALA Planning Partnership, 2013) (Ελευθεριάδης Ι. , 2013)

Τα ανωτέρω δεν αποτελούν λίστα περιοριστική, αλλά ενδεικτική. Η ποιότητα των πελετών καθορίζεται από πολλά άλλα χαρακτηριστικά τους, τα οποία αναλύονται στην ενότητα 3.2.

Ως προς τις εκπομπές που προκύπτουν από την καύση των pellets, οι ακόλουθες τιμές λαμβάνονται από το English Handbook for Wood Pellet Combustion, αναφορικά με τα κυριότερα καυσαέρια: CO₂, SO₂, CO, NO_x και TOC (Total Organic gaseous bound Carbon - Ολικός αέριος Οργανικός Άνθρακας) και παρατίθενται στον Πίνακα 3.1, μαζί με τις αντίστοιχες τιμές για το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, για συγκριτικούς λόγους, αφού τα δύο αυτά καύσιμα είναι τα πιο πολυ-χρησιμοποιούμενα μεταξύ των συμβατικών καυσίμων. (ALA Planning Partnership, 2013) (Ελευθεριάδης Ι. , 2013) (Hansen, Rosentoft Jein, Hayes, & Bateman, 2009)

Πίνακας 3.1 Εκπομπές καυσαερίων πελετών ξύλου, πετρελαίου και φυσικού αερίου

| Καύσιμο | CO ₂ (g/MJ) | SO ₂ (g/MJ) | CO (mg/MJ) | NO _x (mg/MJ) | TOC (mg/MJ) |
|---------------|------------------------|------------------------|------------|-------------------------|-------------|
| Πελέτες ξύλου | 0,108 | 0 | 50-3000 | 130-300 | <10 |
| Πετρέλαιο | 0,972 | 94 | 15-30 | 75 | 0-2 |
| Φυσικό αέριο | 0,72 | 0,5 | 15-20 | 50-100 | 0-2 |

Παρατηρείται ότι τα pellets υπερτερούν έναντι του πετρελαίου και του φυσικού αερίου ως προς τις εκπομπές CO₂ και SO₂, ωστόσο μειονεκτούν αναφορικά με τις εκπομπές CO, NO_x και TOC. Ωστόσο, ως προς το CO, ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο έχουν οι συνθήκες καύσης: Πάντα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα έτσι ώστε ο αέρας να είναι επαρκής για να πραγματοποιείται τέλεια καύση και όχι ατελής που παράγει CO. Οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις ως προς τα NO_x είναι αντίστοιχες με αυτές για το CO. Οι εκπομπές αερίων TOC αποτελούν μία έκφραση των άκαυστων υδρογονανθράκων στα καυσαέρια και είναι ανεπιθύμητες διότι πολλά από αυτά τα αέρια είναι τοξικά, ενώ κάποια από αυτά είναι καρκινογόνα. Οι εκπομπές τους εξαρτώνται σημαντικά από την ποιότητα της α' ύλης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των πελετών. (Hansen, Rosentoft Jein, Hayes, & Bateman, 2009)

Για τα ανωτέρω τρία καυσαέρια, η τεχνολογική έρευνα επικεντρώνεται στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών τους, σημειώνοντας σημαντική και γοργή πρόοδο. (Hansen, Rosentoft Jein, Hayes, & Bateman, 2009)

3.2 Ποιότητα Πελετών

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) έχει δημιουργήσει την **Τεχνική Επιτροπή CEN/TC 335**, η οποία έχει ως αντικείμενο εργασιών την σύνταξη και έκδοση προτύπων αναφορικά με τα στερεά βιοκαύσιμα. Μέχρι σήμερα, τα πρότυπα που έχει εκδόσει είναι πολλά. Αυτά αποσαφηνίζουν την ορολογία, την κατηγοριοποίηση των καυσίμων, τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, τους τρόπους ελέγχου των φυσικών, χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους, καθώς και τους τρόπους δειγματοληψίας αυτών. Ο σκοπός της σύστασης αυτής της ειδικής επιτροπής είναι η διασφάλιση της ποιότητας των στερεών βιοκαυσίμων, η εξασφάλιση της ασφαλούς χρήσης τους, καθώς και η επίτευξη της διάδοσής τους στην αγορά της Ευρώπης μέσω της καθιέρωσης συγκεκριμένων προδιαγραφών για αυτά. (Υ.Α. 198/2013)

Σύμφωνα με την Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο, τα στερεά βιοκαύσιμα που επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων είναι εκείνα που ορίζονται από το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 14961-1. Καθώς στο εν λόγω πρότυπο δεν ορίζονται τα προϊόντα/ παραπροϊόντα ζωικής προέλευσης (π.χ. κοπριά) και τα απόβλητα ξυλείας που ενδέχεται να περιέχουν αλογογονούχες οργανικές ενώσεις και βαρέα μέταλλα, (π.χ. ξυλεία από κατεδαφίσεις), αυτά δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται ως καύσιμα. (Υ.Α. 198/2013)

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την **Υ.Α. 198/2013**:

- Η διαδικασία **δειγματοληψίας** των καυσίμων στερεής βιομάζας πραγματοποιείται σύμφωνα με τις προβλεπόμενες μεθόδους του προτύπου **ΕΛΟΤ EN 14778**.
- Για την **προετοιμασία του δείγματος** καυσίμων στερεής βιομάζας εφαρμόζεται το πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 14780**
- Για **όλα τα καύσιμα στερεής βιομάζας** ισχύουν τα οριζόμενα στο πρότυπο: **ΕΛΟΤ EN 14961-1** Στερεά βιοκαύσιμα - Προδιαγραφές και κλάσεις καυσίμου - Μέρος 1: Γενικές απαιτήσεις

Επιπλέον, όσον αφορά στα καύσιμα στερεής βιομάζας **για μη βιομηχανική χρήση**, ισχύουν ειδικά τα προβλεπόμενα στα ακόλουθα πρότυπα:

- **ΕΛΟΤ EN 14961-2** Στερεά βιοκαύσιμα - Προδιαγραφές και κλάσεις καυσίμου - Μέρος 2: **Πέλετς ξύλου** για μη βιομηχανική χρήση
- **ΕΛΟΤ EN 14961-3** Στερεά βιοκαύσιμα - Προδιαγραφές και κλάσεις καυσίμου - Μέρος 3: **Μπριγκέτες ξύλου** για μη βιομηχανική χρήση
- **ΕΛΟΤ EN 14961-4** Στερεά βιοκαύσιμα - Προδιαγραφές και κλάσεις καυσίμου - Μέρος 4: **Ροκανίδια ξύλου** για μη βιομηχανική χρήση
- **ΕΛΟΤ EN 14961-5** Στερεά βιοκαύσιμα - Προδιαγραφές και κλάσεις καυσίμου - Μέρος 5: **Καυσόξυλα** για μη βιομηχανική χρήση
- **ΕΛΟΤ EN 14961-6** Στερεά βιοκαύσιμα - Προδιαγραφές και κλάσεις καυσίμου - Μέρος 6: **Μη ξύλινα πέλετς** για μη βιομηχανική χρήση

Στο Πίνακα 3.2 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των pellet ξύλου, που προκύπτουν από το συνδυασμό των προδιαγραφών που θέτουν τα πρότυπα EN 14961-1 και 14961-2, για τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες.

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά των pellet ξύλου, που προκύπτουν από το συνδυασμό των προδιαγραφών που θέτουν τα πρότυπα EN 14961-1 και 14961-2, για τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες

| Χαρακτηριστικό | Μονάδα μέτρησης | EN Plus-A1 | EN Plus-A2 | EN B |
|----------------------|-------------------|---|--|---|
| Διάμετρος | mm | 6 +/-1 | 6 +/-1 | 6 +/-1 |
| Μήκος | mm | 3,15 – 40 | 3,15 – 40 | 3,15 – 40 |
| Πυκνότητα (χύδην) | Kg/m ³ | ≥600 | ≥600 | ≥600 |
| Κ.Θ.Δ. | MJ/kg | ≥16,5 | ≥16,3 | ≥16,0 |
| Υγρασία | % κατά βάρος | <10 | <10 | <10 |
| Μηχανική αντοχή | % | ≥97,5 | ≥97,5 | ≥96,5 |
| Λεπτόκοκκα σωματίδια | % | έως 1 | έως 1 | έως 1 |
| Τέφρα | % κατά βάρος ξηρό | <0,7 | <1,5 | <3 |
| Σημείο τήξης τέφρας | °C | >1200 | >1100 | >1100 |
| Άζωτο (N) | % κ. β. ξηρό | 0,3 | 0,5 | 1,0 |
| Θείο (S) | % κ. β. ξηρό | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| Χλώριο (Cl) | % κ. β. ξηρό | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Αρσενικό (As) | mg/kg ξηρού | ≤ 1 | | |
| Κάδμιο (Cd) | % | ≤ 0,5 | | |
| Χρώμιο (Cr) | % | ≤ 10 | | |
| Χαλκός (Cu) | % | ≤ 10 | | |
| Μόλυβδος (Pb) | % | ≤ 10 | | |
| Υδράργυρος (Hg) | % | ≤ 0,1 | | |
| Νικέλιο (Ni) | % | ≤ 10 | | |
| Ψευδάργυρος (Zn) | % | ≤ 100 | | |
| Α' ύλες | | - Ξυλεία κορμού - Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα βιομηχανίας επεξεργασίας ξύλου | - Ολόκληρα δέντρα χωρίς ρίζες - Ξυλεία κορμού - Υπολείμματα υλοτομίας - Φλοιός από ξυλουργικές εργασίες και υπολείμματα φελών - Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα βιομηχανίας επεξεργασίας ξύλου | - Καθαρή ξυλεία από δάση και φυτείες - Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα βιομηχανίας επεξεργασίας ξύλου & χρησιμοποιημένα ξύλα (όχι ξύλα κατεδαφίσεων) |

Σε πλήρη αντιστοιχία με τα ανωτέρω, η **διασφάλιση ποιότητας** των καυσίμων στερεής βιομάζας για μη βιομηχανική χρήση περιγράφεται στα πρότυπα **ΕΛΟΤ EN 15234-1 έως 15234-6**. (Υ.Α. 198/2013)

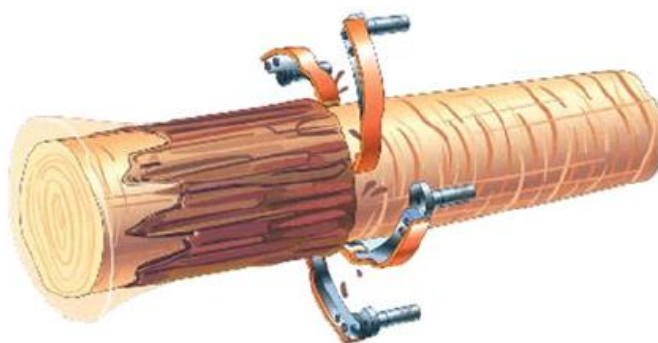
Επιπλέον των αναφερόμενων στον πίνακα 3.2, καθορίζονται όρια για το ποσοστό των πρόσθετων ουσιών που μπορούν να προστεθούν, ενώ απαιτείται να αναγράφονται ο τύπος και η ποσότητα αυτών. (Υ.Α. 198/2013) (BioMaxEff, 2014) (Καμπερίδου & Μπαρμπούτης, 2011) (Ελευθεριάδης Ι. , 2013)

Από την 1^η Σεπτεμβρίου 2014, η σειρά προτύπων EN 14961-1 έως 14961-6 αντικαθίσταται από τα πρότυπα EN ISO 17225-1 έως 17115-6. Ο ΕΛΟΤ δεν έχει ακόμα υιοθετήσει τα εν λόγω πρότυπα, ούτε αυτά έχουν ενσωματωθεί στην Ελληνική Νομοθεσία. Αντίστοιχα με τα πρότυπα για την ποιότητα των στερεών βιοκαυσίμων, οι καυστήρες αυτών (σόμπες, λέβητες) πρέπει να πιστοποιούνται κατά **ΕΛΟΤ EN 14785** (σήμανση CE). (Υ.Α. 198/2013) (BioMaxEff, 2014) (Καμπερίδου & Μπαρμπούτης, 2011) (Ελευθεριάδης Ι. , 2013)

3.3 Παραγωγή Πελετών

Στην παρούσα ενότητα, επιχειρείται η τεχνική αξιολόγηση των σταδίων παραγωγής pellet από ξυλώδη βιομάζα.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι τα απαιτούμενα στάδια της διαδικασίας διαφέρουν, ανάλογα με το είδος των α' υλών που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των ενεργειακών καλλιεργιών, θα πρέπει, επιπλέον των σταδίων που ακολουθούν, να ληφθούν υπόψη τα στάδια της προετοιμασίας του εδάφους, της λίπανσης, της φύτευσης και της συγκομιδής των φυτών. Εάν χρησιμοποιηθούν κορμοί δέντρων για την παραγωγή πελετών κατηγορίας A1, σύμφωνα με το πρότυπο EN 14961-2, αυτά θα πρέπει απαραίτητα να αποφλοιωθούν (Σχήμα 3.2), σε διαφορετική περίπτωση δεν θα emπίπτουν στη συγκεκριμένη κατηγορία (βλ. ενότητα 3.2). (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)



Σχήμα 3.2 Σχηματική απεικόνιση της αποφλοιώσης ενός κορμού (πηγή: Doring, 2013)

Ο φλοιός μπορεί να χρησιμεύσει ως καύσιμο για το μετέπειτα στάδιο της ξήρανσης. Επιπλέον, εάν η βιομάζα προέρχεται από τα ροκανίδια/ θρύμματα (π.χ. υπολείμματα της υλοτομίας ή άλλα), αυτή emπεριέχει και φλοιό, οπότε δεν γίνεται να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή pellet κατηγορίας A1, αλλά μόνο για βιομηχανικά pellet. Επιπλέον, κάποιες α'

ύλες, όπως τα ανωτέρω αναφερόμενα ροκανίδια ξύλου και η σκόνη, περιέχουν μικρό ποσοστό υγρασίας, με τιμές εντός του επιθυμητού πλαισίου, έτσι για αυτές δεν ακολουθείται το στάδιο της ξήρανσης. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Τα στάδια παραγωγής πελετών από ξηλώδη βιομάζα αναπτύσσονται ως εξής: (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

1. Αποθήκευση α' υλών & Εισαγωγή τους στη γραμμή παραγωγής
2. Καθαρισμός α' υλών από προσμίξεις
3. Τεμαχισμός (αρχικός) - Shredding
4. Κοσκίνση - Διαχωρισμός
5. Ξήρανση
6. Αποθήκευση ενδιάμεσου προϊόντος
7. Τεμαχισμός (τελικός, λεπτός τεμαχισμός) - Άλεση
8. Πελετοποίηση
9. Ψύξη
10. Κοσκίνση των πελετών
11. Ζύγιση, Συσκευασία & Αποθήκευση των πελετών

Ακολουθεί η ανάλυση των επιμέρους σταδίων.

3.3.1 Αποθήκευση α' υλών & Εισαγωγή τους στη γραμμή παραγωγής

Για την αποθήκευση των α' υλών απαιτείται ο κατάλληλος χώρος που θα τις προστατεύει από τις ακαθαρσίες. Αυτός θα πρέπει να είναι όγκου ανάλογου της ποσότητας της α' ύλης που αποθηκεύεται, βάσει της δυναμικότητας της μονάδας παραγωγής. Το βέλτιστο, είναι αυτός ο χώρος να είναι εσωτερικός και εντός αυτού να διατηρείται χαμηλό επίπεδο υγρασίας, κάτι που είναι σημαντικό διότι όσο αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία της α' ύλης, τόσο πιο ενεργοβόρο καθίσταται το στάδιο της ξήρανσης. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010)

Η α' ύλη, από το χώρο αποθήκευσής της, εισάγεται στην παραγωγή με τη βοήθεια κάποιου οχήματος, εκφορτωτικού ή φορτηγού, και τροφοδοτεί το στάδιο του καθαρισμού της από τις προσμίξεις ή, εάν αυτό δεν χρειάζεται λόγω της «καθαρής» χρησιμοποιούμενη α' ύλης, τους τεμαχιστές για να ακολουθήσει η διαδικασία του αρχικού τεμαχισμού. Σε περίπτωση μεγάλης δυναμικότητας της παραγωγικής μονάδας, μπορεί να ακολουθείται η διαδικασία της αυτοματοποιημένης τροφοδοσίας του επόμενου σταδίου (π.χ. μεταφορική ταινία). (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010)

3.3.2 Καθαρισμός α' υλών από προσμίξεις

Όταν η α' ύλη που επιλέγεται για την παραγωγή των πελετών προέρχεται από ανακυκλωμένη ξυλεία, για παράδειγμα παλέτες, ή από ακατέργαστη ξυλεία, τότε αυτό το στάδιο είναι ζωτικής σημασίας. Σε τέτοια περίπτωση, η α' ύλη περιέχει και άλλα στοιχεία, πέραν του

ξύλου, όπως μέταλλα (π.χ. καρφιά) ή πέτρες. Έτσι, κατά το στάδιο αυτό, χρησιμοποιείται το ανάλογο μηχάνημα για το διαχωρισμό του καθαρού ξύλου από τις προσμίξεις. Για παράδειγμα, για το διαχωρισμό των μεταλλικών μερών μπορεί να χρησιμοποιηθεί μηχάνημα μαγνητικού διαχωρισμού. (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013)

Το στάδιο αυτό είναι απαραίτητο για δύο λόγους: Αρχικά, διότι εάν περάσουν οι προσμίξεις στο προϊόν, αυτό θα τεθεί οπωσδήποτε εκτός προδιαγραφών ποιότητας και επίσης επειδή αυτές οι προσμίξεις πιθανότατα θα προκαλέσουν εκτεταμένες βλάβες στα μηχανήματα του συνόλου της παραγωγής. (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013)

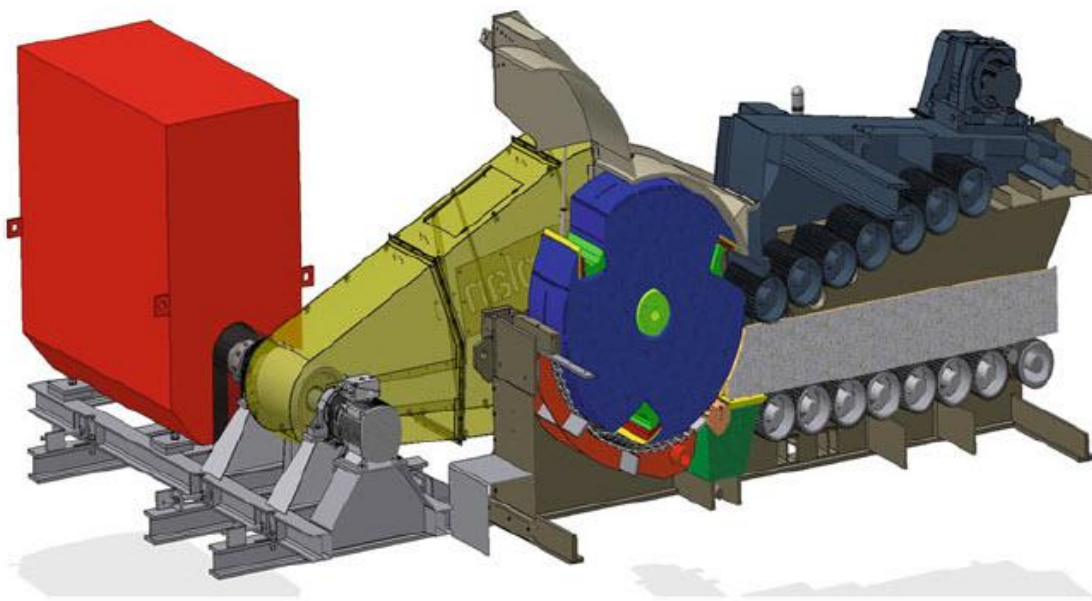
3.3.3 Αρχικός τεμαχισμός

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνεται ή όχι στην παραγωγική διαδικασία, ανάλογα με το μέγεθος της α' ύλης που θα επεξεργαστεί. Εάν η α' ύλη είναι ήδη μικρού μεγέθους, π.χ. πριονίδι, το στάδιο αυτό παραλείπεται. Εάν όμως, η α' ύλη είναι κορμοί δέντρων ή κλαδοδέματα, αυτά θα πρέπει να υποστούν έναν αρχικό τεμαχισμό, έτσι ώστε να μετατραπούν σε τεμαχίδια (ροκανίδια) μεγέθους έως 3 cm, όχι το τελικό επιθυμητό μέγεθος, αλλά το απαιτούμενο για να τροφοδοτήσουν τα επόμενα στάδια. Αυτό το στάδιο δεν περιλαμβάνεται στην παραγωγική διαδικασία στην περίπτωση που η α' ύλη είναι ελαιοπυρήνας. Ο αρχικός τεμαχισμός είναι απαραίτητος έτσι ώστε να είναι αποτελεσματικό το στάδιο της ξήρανσης του υλικού (βλ. ενότητα 3.3.5). Ανάλογα με το μηχάνημα και τις συνθήκες στις οποίες αυτό χρησιμοποιείται, μπορεί να προκύπτουν και μεγαλύτερα ροκανίδια, συνήθως έως 5 cm, κάτι που είναι ανεπιθύμητο για τα επόμενα στάδια της παραγωγής, ωστόσο το κατάλληλο μέγεθος των ροκανιδίων διασφαλίζεται στο αμέσως επόμενο στάδιο, αυτό του διαχωρισμού (βλ. ενότητα 3.3.4). (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)



Σχήμα 3.3 Ρυμουλκούμενος σπαστήρας κλαδιών (πηγή: wikipedia)

Για το στάδιο αυτό χρησιμοποιείται ένας τεμαχιστής/ θρυμματιστής ξυλείας (wood chipper). Ανάλογα με την α' ύλη που θα υποστεί τον αρχικό τεμαχισμό καθώς και ανάλογα με τη δυναμικότητα της παραγωγικής μονάδας, χρησιμοποιείται και το αντίστοιχο μηχάνημα. Τα μηχανήματα αυτά μπορεί να είναι σταθερά και ενσωματωμένα στη γραμμή παραγωγής, ή μετακινούμενα (π.χ. ρυμουλκούμενα). Ο ρυμουλκούμενος σπαστήρας κλαδιών που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3 παρέχει τη δυνατότητα να πραγματοποιείται ο αρχικός τεμαχισμός στη θέση παραλαβής της α' ύλης. Ο μετακινούμενος θρυμματιστής δίνει, επιπλέον, τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται διάφορες α' ύλες και έτσι, καθώς το μηχάνημα δεν αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της γραμμής παραγωγής, μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο όταν αυτό απαιτείται, ανάλογα με τη φύση της α' ύλης. (Oberberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)



Σχήμα 3.4 Τεμαχιστής τύπου Drum chipper (πηγή: Doring, 2013)



Σχήμα 3.5 Κούτσουρο και τα ροκανίδια του, μετά τη χρήση του τεμαχιστή (πηγή: Doring, 2013)

3.3.4 Κοσκίνιση - Διαχωρισμός

Το εν λόγω στάδιο διασφαλίζει ότι δεν θα περάσουν ροκανίδια μεγαλύτερα των 3 cm στα επόμενα στάδια της παραγωγής. Έτσι, στο στάδιο της κοσκίνισης χρησιμοποιείται ένα

βιομηχανικό κόσκινο, στο οποίο συνήθως οδηγείται η τεμαχισμένη α' ύλη μέσω μεταφορικής ταινίας, ιδιαίτερα εάν πρόκειται για παραγωγική μονάδα μεγάλης δυναμικότητας. Σε αυτή την περίπτωση, το κόσκινο περιλαμβάνει και σιλό στο άνω μέρος του, κατάλληλα κατασκευασμένο έτσι ώστε τα ροκανίδια να οδηγούνται στο κόσκινο και έτσι αυτό να τροφοδοτείται συνεχώς. Τα ροκανίδια που περνάνε από το κόσκινο (μεγέθους μικρότερου από 3 cm), τροφοδοτούν το επόμενο στάδιο, αυτό της ξήρανσης. Αντίθετα, τα μεγαλύτερα του επιθυμητού ροκανίδια, αφού ολοκληρωθεί η κοσκίνιση, επιστρέφονται στο προηγούμενο στάδιο για περαιτέρω τεμαχισμό. (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

3.3.5 Ξήρανση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το στάδιο αυτό αποτελεί το πιο ενεργοβόρο, αλλά και το πιο κοστοβόρο της παραγωγικής διαδικασίας. Συνεπώς, η αποτελεσματική ξήρανση του υλικού με την κατάλληλη, για αυτό το σκοπό, μέθοδο, ανάλογα με τη φύση του υλικού και τη δυναμικότητα της μονάδας παραγωγής, αποτελεί σημαντικό σημείο στο σχεδιασμό της. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο ούτως ώστε η περιεχόμενη υγρασία του υλικού να μειωθεί στο 10% και τα παραγόμενα pellets να ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές ποιότητας. Υπάρχουν λίγες περιπτώσεις που αυτό το στάδιο δεν χρειάζεται και αυτές είναι όταν η α' ύλη είναι ήδη αρκετά ξηρή, π.χ. στην περίπτωση της χρησιμοποίησης αχύρου. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Η περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ως η μάζα του νερού που εμπεριέχεται στο υλικό προς τη συνολική μάζα του υλικού πριν ξηρανθεί. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Υπάρχουν διαφόρων ειδών ξηραντήρες, οι κυριότεροι των οποίων είναι οι:

1. Ξηραντήρες ζώνης
2. Ξηραντήρες περιστρεφόμενου τυμπάνου

Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι ξηραντήρες είναι αυτοί του τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Για τη διεργασία της ξήρανσης, χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί καύσιμη ύλη η οποία μπορεί να είναι φυσικό αέριο, πετρέλαιο ή ακόμα υπολείμματα της βιομάζας των προηγούμενων σταδίων, όπως π.χ. φλοιός, που δεν είναι κατάλληλα για την παραγωγή προϊόντος. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Οι ξηραντήρες περιστρεφόμενου τυμπάνου:

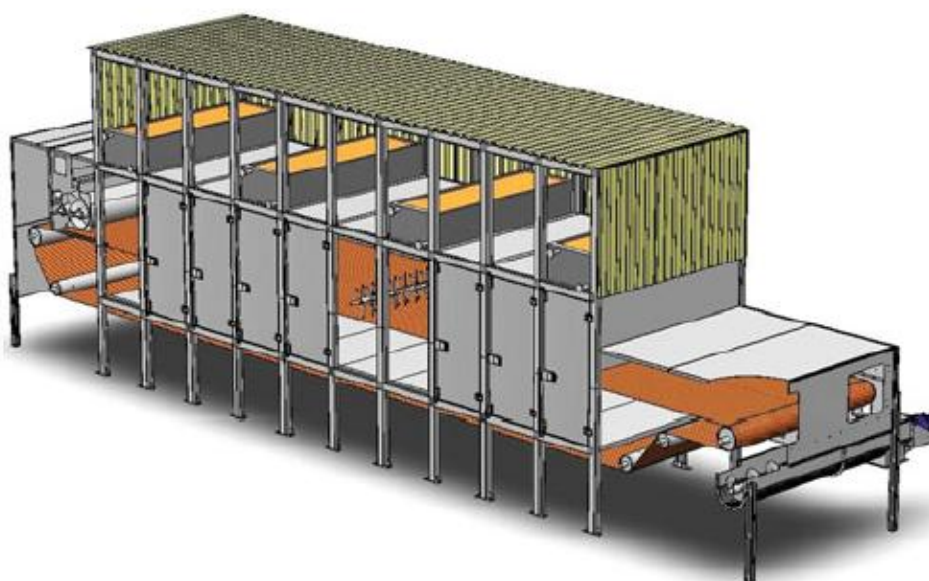
Ο ξηραντήρας αυτό του τύπου περιλαμβάνει ως οργανικό του τμήμα ένα κυλινδρικό σωλήνα που περιστρέφεται, ο οποίος έχει μικρή κλίση, με την είσοδο του υλικού να βρίσκεται ψηλότερα και την έξοδο χαμηλότερα, για να εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του υλικού. Το υλικό εισάγεται στον ξηραντήρα, ο οποίος στο εσωτερικό τους έχει πτερύγια, και καθώς αυτός περιστρέφεται, το υλικό ωθείται προς τα πάνω από τα πτερύγια. Δια μέσου του σωλήνα

ρέει θερμό ρεύμα αέρα. Έτσι το υλικό, διερχόμενο από το θερμό ρεύμα, οδηγείται στην έξοδο. Οι ξηραντήρες αυτού του τύπου υπερτερούν έναντι των άλλων ως προς τη δυναμικότητά τους, ωστόσο, επειδή λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες, είναι πιο επικίνδυνη ως προς την εκδήλωση φωτιάς. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Οι ξηραντές ζώνης:

Οι ξηραντήρες ζώνης περιλαμβάνουν ένα διάτρητο ιμάντα σε οριζόντια θέση, πάνω στον οποίο διοχετεύεται το υλικό από ένα θάλαμο τροφοφοσίας. Το υλικό, πάνω στον ιμάντα, μεταφέρεται διαμέσου του θαλάμου όπου πραγματοποιείται η ξήρανση. Αυτός ο θάλαμος δομείται σε επιμέρους κελιά διαμέσου των οποίων ρέει αέρας που ξηράνει το υλικό. Τα επιμέρους κελιά περιλαμβάνουν ανεμιστήρα εξαερισμού και εναλλάκτη θερμότητας για την παροχή θερμού αέρα. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Η δομή του ξηραντήρα ζώνης σε επιμέρους κελιά επιτρέπει την ξεχωριστή ρύθμιση της ροής και της θερμοκρασίας του αέρα σε κάθε ένα από αυτά, όπως απεικονίζεται στο μοντέλο 3D ξηραντήρα ζώνης του Σχήματος 3.6. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)



Σχήμα 3.6 Μοντέλο 3D ξηραντήρα ζώνης (πηγή: Doring, 2013)

3.3.6 Αποθήκευση ενδιάμεσου προϊόντος

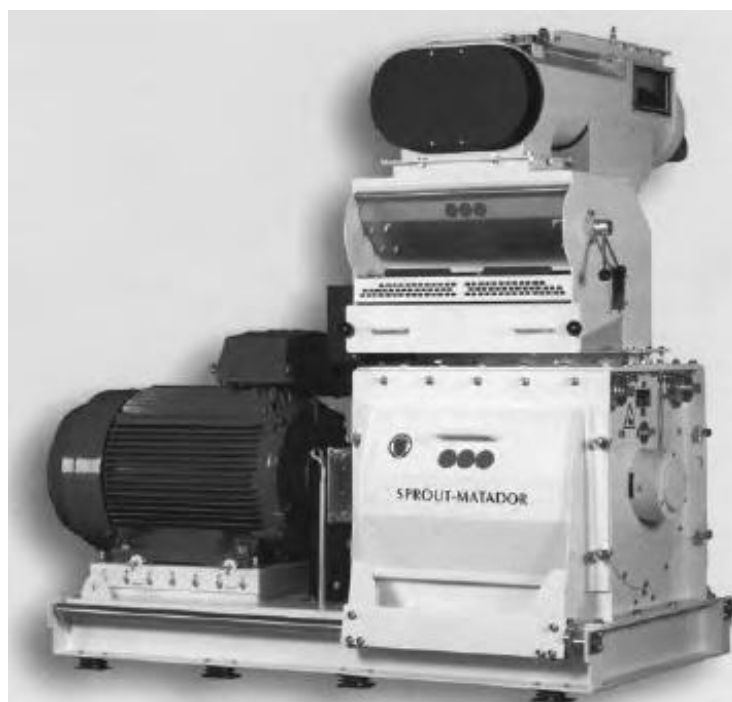
Το εν λόγω στάδιο παρεμβάλεται, αρχικά, για πρακτικούς λόγους ροής του υλικού στα διάφορα στάδια της παραγωγής και για λόγους ευελιξίας μεταξύ του σταδίου της ξήρανσης και των επόμενων σταδίων, ωστόσο είναι πολλές φορές απαραίτητο και για άλλο λόγο: Αμέσως μετά το στάδιο της ξήρανσης, τα πριονίδια χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο ποσοστό περιέχουσας υγρασίας στο μέσω τους σχετικά με τα άκρα τους, ακριβώς λόγω του μεγέθους τους. Έτσι, το ενδιάμεσο προϊόν είναι απαραίτητο να αποθηκευτεί, σε αυτή τη

φάση, για χρονικό διάστημα 10 - 24 ωρών τουλάχιστον, έτσι ώστε να εξισορροπηθούν οι ανομοιογένειες υγρασίας στη μάζα του, που θα είχε ανεπιθύμητη επίπτωση στη διεργασία της πελετοποίησης και άρα στην ποιότητα του προϊόντος. Αντίστοιχα, ακριβώς για την αποτελεσματικότερη ξήρανσή τους, τα πριονίδια υπόκεινται σε αρχικό τεμαχισμό πριν την ξήρανση. (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Η ενδιάμεση αποθήκευση πραγματοποιείται είτε σε σιλό, ανάλογο με τη δυναμικότητα της παραγωγής, το οποίο όμως είναι απαραίτητα ξηρό, για την καλή διατήρηση του υλικού. (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

3.3.7 Λεπτός τεμαχισμός - Άλεση

Σε αντιστοιχία με τον αρχικό τεμαχισμό του (ενότητα 3.3.3), το υλικό, μετά από τα στάδια της ενδιάμεσης αποθήκευσης και της ξήρανσης, υπόκειται σε λεπτό τεμαχισμό, έτσι ώστε τα πριονίδια να αποκτήσουν το τελικό επιθυμητό μέγεθος, για την αποτελεσματική πελετοποίησή τους (ενότητα 3.3.8). Το επιθυμητό μέγεθος είναι από 0,5 έως 2,5 cm, όχι μεγαλύτερα αλλά παράλληλα όχι και μικρότερα: Τα πριονίδια, στο μέγεθος αυτό, είναι αρκετά μικρά έτσι ώστε να περνούν από τις οπές του καλουπιού της πρέσας κατά την πελετοποίηση, αλλά όχι ιδιαίτερα μικρά για να δυσχεράνουν την διεργασία της μεταξύ τους συγκόλλησης. Παράλληλα, τα πριονίδια αλέθονται, έτσι ώστε τα πριονίδια να αναμιχθούν και να ομοιογενοποιηθούν ως προς το μέγεθός τους. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)



Σχήμα 3.7 Σφυρόμυλος (πηγή: Obernberger & Thek, 2010)

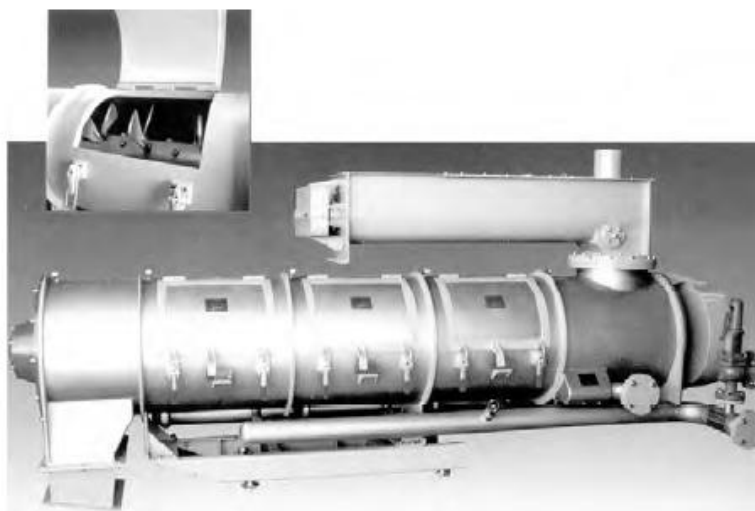
Έτσι, η διεργασία αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση μηχανημάτων λεπτού τεμαχισμού και άλεσης, το πιο σύνηθες των οποίων για το συγκεκριμένο στάδιο είναι ο σφυρόμυλος (Σχήμα 3.7). Ο σφυρόμυλος θα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με σύστημα εξαερισμού το οποίο θα

αποτελέσει δικλείδα ασφαλείας σε περίπτωση που χρειαστεί να λειτουργήσει ως αποσυμπιεστής. Παράλληλα, είναι σημαντικό να λαμβάνονται και να τηρούνται αυστηρά όλα τα μέτρα ασφαλείας, καθώς το προϊόν αυτής της διεργασίας είναι πολύ λεπτόκοκκο και ξηρό και έτσι είναι πιθανή η πρόκληση πυρκαγιάς. Τέλος, οι χειριστές θα πρέπει απαραίτητα να φορούν τις κατάλληλες μάσκες λόγω της δημιουργούμενης σκόνης. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

3.3.8 Πελετοποίηση

Ακριβώς πριν από το στάδιο της πελετοποίησης, προηγείται ένα στάδιο όπου στο υλικό διοχετεύεται νερό, ή καλύτερα ατμός (conditioning), εντός ειδικού αναδευτήρα (Σχήμα 3.8), έτσι ώστε να σχηματιστεί ένα υγροποιημένο στρώμα στην επιφάνεια των σωματιδίων. Κατά αυτόν τον τρόπο, εξαλείφεται οι ανομοιογένεια μεταξύ των σωματιδίων και η επιφάνειά τους προετοιμάζεται για την διεργασία της συσσωμάτωσης. Βάσει της εμπειρίας των παραγωγών πελετών, μετά τη διοχέτευση του ατμού, είναι απαραίτητο τα σωματίδια να αφεθούν για 10 με 20 λεπτά έτσι ώστε το νερό να διαπεράσει όλη τους τη μάζα. Εφόσον, λοιπόν, η υγρασία του υλικού αυξάνεται, εάν είναι να πραγματοποιηθεί αυτό το στάδιο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και κατά το στάδιο της ξήρανσης (ενότητα 3.3.5) και το υλικό να ξηραθεί σε χαμηλότερο επίπεδο περιεχόμενης υγρασίας από 10% (περίπου 8%, καθώς σύμφωνα με παραγωγούς pellet, η υγρασία του υλικού κατά το conditioning αυξάνεται κατά 2%). (Doring, 2013)

Η χρήση ατμού βοηθά επίσης και στο να επιτευχθεί η κατάλληλη θερμοκρασία για τη διεργασία της πελετοποίησης, βεβαίως όμως αυτό επιτυγχάνεται και με την εφαρμογή υψηλής πίεσης κατά την πελετοποίηση, διότι μαλακώνει και ενεργοποιεί τη λιγνίνη, η οποία θα συσσωματώσει τα σωματίδια. Σε περίπτωση που χρειάζεται, ανάλογα με τη φύση και την ποιότητα της χρησιμοποιούμενης α' ύλης, μπορεί να προστεθεί σε αυτό το στάδιο κάποιο βιολογικό συνδετικό υλικό, όπως το άμυλο. Έτσι, λοιπόν, το στάδιο του conditioning αποτελεί την προετοιμασία του υλικού για να διοχετευτεί στη διεργασία της πελετοποίησης. (Doring, 2013)



Σχήμα 3.8 Αναδευτήρας για το conditioning των σωματιδίων με τη χρήση ατμού νερού (πηγή: Obernberger & Thek, 2010)

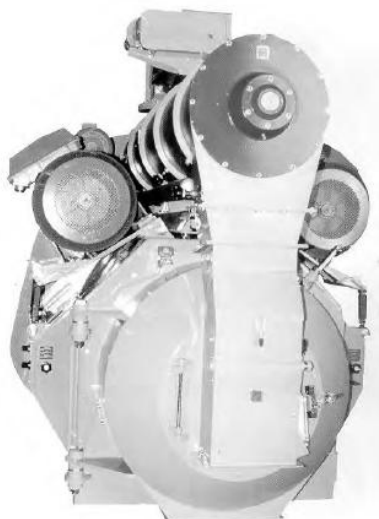
Η μηχανή παραγωγής πελετών είναι μια ειδικού τύπου πρέσα-μύλος, επίπεδος ή κυλινδρικός, με καλούπι. (Doring, 2013)

Ο επίπεδος μύλος πελετοποίησης (με οριζόντιο καλούπι, «horizontally acting ring die») έχει καλούπι σε οριζόντια θέση με οπές, το οποίο περιστρέφεται. Το αλεσμένο υλικό εισέρχεται στον μύλο από το επάνω μέρος του, ενώ παράλληλα αυτό συμπιέζεται από πρέσα και περνάει από τις οπές του καλουπιού. Το υλικό εξερχόμενο από τις οπές έχει συσσωματωθεί και αποκτάει την κυλινδρική του μορφή. Μια λεπίδα στο κάτω μέρος του καλουπιού κόβει τα pellet στο επιθυμητό μήκος. Η διάμετρος των pellet καθορίζεται από τη διάμετρο των οπών του καλουπιού. (Doring, 2013)

Ο κυλινδρικός μύλος, που είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος, έχει καλούπι τοποθετημένο κατακόρυφα («vertically acting ring die»), με οπές στην περιφέρειά του (Σχήμα 3.9). Καθώς το αλεσμένο υλικό (πριονίδια) εισέρχεται στο εσωτερικό του, οδηγείται σε όλες τις οπές του καλουπιού και συμπιέζεται από δύο ή τρεις πρέσες κυλινδρικές. Η συνέχεια της διεργασίας είναι αντίστοιχη με αυτή που πραγματοποιείται στους επίπεδους μύλους. (Oberberger & Thek, 2010) (Doring, 2013)

Οι ανωτέρω αναφερόμενοι μύλοι είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται στη μεγάλη κλίμακα παραγωγή, ενώ για μικρότερης κλίμακας παραγωγή, διατίθενται στο εμπόριο διάφορες άλλες μηχανές pellet, όπως οι κοχλιοτές πρέσες (screw presses) και οι υδραυλικές πρέσες (hydraulic presses). (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Oberberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Κατά τη διεργασία της πελετοποίησης, εφαρμόζεται υψηλή πίεση και έτσι αναπτύσσεται τριβή μεταξύ των σωματιδίων με επακόλουθη την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας τους. Έτσι, ενεργοποιείται η λιγνίνη που συσσωματώνει τα σωματίδια μεταξύ τους, ή το πρόσθετο βιολογικό συγκολλητικό. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Oberberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)



Σχήμα 3.9 Κυλινδρικός μύλος (πηγή: Oberberger & Thek, 2010)



Σχήμα 3.10 Καλούπι κυλινδρικού μύλου που ρυθμίζεται για την πελετοποίηση (πηγή: Kofman, 2007)

Επιπλέον, το μέγεθος των οπών του καλουπιού πρέπει να είναι το κατάλληλο, έτσι ώστε να αναπτύσσεται η απαιτούμενη πίεση και να δημιουργείται η κατάλληλη αντίσταση στη ροή των σωματιδίων μέσα από τις οπές έτσι ώστε να έχουμε τελικά την ανάπτυξη της απαιτούμενης θερμοκρασίας. Από την άλλη μεριά, οι οπές δεν πρέπει να είναι πιο μικρές από το απαιτούμενο, καθώς αυτό θα οδηγήσει σε απότομη και μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας η οποία θα προκαλέσει μερική χημική μετατροπή του υλικού και άρα παραγωγή προϊόντος μειωμένης ποιότητας. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

3.3.9 Ψύξη

Κατά το σύνολο της διεργασίας της πελετοποίησης (conditioning και συμπίεση), η θερμοκρασία του υλικού έχει ανυψωθεί σημαντικά. Ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος-πρέσας και ανάλογα με τις λειτουργικές παραμέτρους, τα παραγόμενα pellet εξέρχονται από την πρέσα σε θερμοκρασία μεταξύ 80 και 130 °C. Έτσι λοιπόν, είναι απαραίτητη η ψύξη του προϊόντος πριν την αποθήκευσή του. Επιπλέον, η διεργασία της ψύξης βοηθά τη λιγνίνη να σκληρύνει ξανά και να σταθεροποιηθεί, ενισχύει τη μηχανική αντοχή του προϊόντος και βοηθά στο να μειωθεί η περιεχόμενη υγρασία των πελετών κατά 2%. (Obernberger & Thek, 2010)

Για αυτό το σκοπό, συνήθως χρησιμοποιούνται ψυκτικές αντίστροφης ροής, όπως αυτός που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.11, οι οποίοι διασφαλίζουν τη μη άμεση επαφή του κρύου ρεύματος αέρα με τα pellet, κάτι που μπορεί να έχει ως συνέπεια μερικά από αυτά να σπάσουν. Η ψύξη μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί μέσω ταινίας, όπου το ρεύμα κρύου αέρα ρέει προς τα κάτω διαμέσου των πελετών. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)



Σχήμα 3.11 Ψυκτήρας αντίστροφης ροής (πηγή: Obernberger & Thek, 2010)

3.3.10 Κοσκίνιση

Η κοσκίνιση των προϊόντων πραγματοποιείται μέσω βιομηχανικού κόσκινου. Αυτό θα διαχωρίσει τα ολόκληρα pellet από τα σπασμένα pellet και από τη σκόνη. Τα σπασμένα pellet και η σκόνη μπορούν να οδηγηθούν πίσω στο ανάλογο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν και να μην υπάρχει φύρα. Από την ανάλυση των προηγούμενων σταδίων προκύπτει ότι όσο καλύτερα είναι τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία και όσο πιο πιστά θα τηρηθούν οι διαδικασίες και ρυθμιστούν κατάλληλα οι αντίστοιχες παράμετροι, τόσο λιγότερο θα προκύψουν μη αποδεκτά, εκτός προδιαγραφών ποιότητας, προϊόντα. (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013)

3.3.11 Ζύγιση, Συσκευασία & Αποθήκευση των πελετών

Το τελευταίο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας αποτελεί η συσκευασία των πελετών. Κατά τη συσκευασία, πραγματοποιείται και η ζύγιση έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η τυποποίηση των συσκευασιών. Και τα δύο μαζί επιτυγχάνονται με τη χρήση αυτόματους μηχανήματος. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Συνήθως τα pellet συσκευάζονται σε σακούλες όταν πρόκειται για οικιακή χρήση. Το μέγεθός τους ποικίλει μεταξύ 12, 15, 20 και 50 κιλών, με πιο συνηθισμένη αυτή των 15 κιλών. Σε άλλες περιπτώσεις, για ποσότητες μεγαλύτερες από εκείνες που απαιτεί η οικιακή χρήση, υπάρχει η επιλογή της σακούλας των 500 κιλών ή του 1 τόνου. Η μαζική αποστολή των μικρότερων σακούλων πραγματοποιείται εντός παλετών, οι οποίες τυλίσσονται με πλαστικό περίβλημα έτσι ώστε να προστατεύουν καλύτερα το προϊόν από την υγρασία. Ωστόσο, οι μικρές σακούλες αποτελούν καλύτερη επιλογή από άποψη διατήρησης της ποιότητας επειδή οι μεγάλες ποσότητες συνεπάγονται την ανάπτυξη σημαντικών τριβών

μεταξύ των πελετών. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Τέλος, υπάρχει και η επιλογή της χύδην αποθήκευσης σε κατάλληλο σιλό ή άλλο περιέκτη, ο οποίος θα προστατέψει το προϊόν από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και θα το διατηρήσει καθαρό. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ & ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ”

4.1 Μελετώμενα συστήματα - Παραδοχές μελέτης

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια συγκριτική τεχνο-οικονομική μελέτη μεταξύ μερικών συστημάτων οικιακής θέρμανσης που χρησιμοποιούνται, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Μελετώμενα συστήματα θέρμανσης

| Περιγραφή Συστημάτων Θέρμανσης | Συντομογραφίες |
|--|--------------------|
| Αντλία θερμότητας άερα / νερού | Αντλία θερμότητας |
| Πιστοποιημένος λέβητας - καυστήρας βιομάζας τροφοδοτούμενος μέσω σιλό με πελέτες ξύλου κατηγορίας EN Plus-A1 | Λέβητας βιομάζας |
| Λέβητας - καυστήρας φυσικού αερίου συμπύκνωσης | Λέβητας Φ.Α. |
| Τζάκι κλειστού θαλάμου συνδεδεμένο στην υφιστάμενη υδραυλική εγκατάσταση του συστήματος θέρμανσης | Ενεργειακό τζάκι |
| Τζάκι ανοικτού θαλάμου τοπικής θέρμανσης τμήματος της κατοικίας | Παραδοσιακό τζάκι |
| Σύστημα ηλεκτρικών αντιστάσεων βαθμού απόδοσης 100% | Ηλεκτρικός λέβητας |
| Συνήθης λέβητας - καυστήρας πετρελαίου | Λέβητας πετρελαίου |

Τα συστήματα θέρμανσης “αντλία θερμότητας” και “ηλεκτρικός λέβητας”, που χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα, παρατίθενται και εξετάζονται στο παρόν κεφάλαιο για συγκριτικούς λόγους, παρόλο που το ηλεκτρικό ρεύμα δεν αποτελεί καύσιμο και άρα τα συστήματα αυτά δεν εμπίπτουν στο αντικείμενο του συνόλου της εργασίας. Ωστόσο, κρίθηκε ως σκόπιμο το να συμπεριληφθούν αυτά τα συστήματα στο παρόν κεφάλαιο, καθώς αποτελούν και αυτά συνηθισμένα συστήματα θέρμανσης κατοικιών.

Για τον σκοπό του παρόντος κεφαλαίου, πραγματοποιούνται μερικές παραδοχές, βάσει των οποίων γίνεται η συγκριτική μελέτη μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων οικιακής θέρμανσης:

- Αρχικά, θεωρείται μονοκατοικία εμβαδού 120 m².
- Τα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης μελετώνται για κατοικία εγκατεστημένη στην Αττική (που ανήκει στην κλιματική ζώνη Β), έτσι για διαφορετικές κλιματικές ζώνες (Α, Γ και Δ) υπάρχουν περιορισμένες διαφοροποιήσεις στους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται αναφορικά με το σύστημα θέρμανσης αντλίας θερμότητας.

Το σύστημα αντλίας θερμότητας είναι σύστημα θέρμανσης που χρησιμοποιεί είτε τη θερμοκρασία του αέρα (αντλία αέρα/ νερού), είτε τη θερμοκρασία του εδάφους (γεωθερμική αντλία). Η αρχή λειτουργίας προσομοιάζει σε αυτή του κλιματιστικού.

- Οι βαθμοί απόδοσης των διαφορετικών συστημάτων που λαμβάνονται υπόψη, βασίζονται στην Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη/ Ικανότητα του κάθε συστήματος θέρμανσης.

Ειδικά για τον λέβητα πετρελαίου και τον λέβητα φυσικού αερίου συμπύκνωσης, αυτοί λαμβάνονται όπως ορίζονται από τις ελάχιστες απαιτήσεις που θέτει η νομοθεσία.

Ως προς τον λέβητα καύσης βιομάζας με πελέτες ξύλου, θεωρείται βαθμός απόδοσης ίσος με 80%.

- Για κάθε σύστημα θέρμανσης λαμβάνεται υπόψη ένα τυπικό ετήσιο κόστος συντήρησης, με εξαίρεση την αντλία θερμότητας και τις συσκευές με ηλεκτρικές αντιστάσεις, συστήματα που δεν απαιτούν συντήρηση.

Ειδικά για το τζάκι κλειστού θαλάμου, το κόστος συντήρησης αυτού περιλαμβάνει τον καθαρισμό της καπνοδόχου.

Αναφορικά με τον λέβητα καύσης βιομάζας πελετών, το κόστος συντήρησης περιλαμβάνει τη συντήρηση και τον καθαρισμό του λέβητα αλλά και τον πιθανό καθαρισμό της καπνοδόχου που μπορεί να χρειαστεί.

- Ειδικά για το πετρέλαιο θέρμανσης, πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση των στοιχείων που δίνονται από τη Γενική Γραμματεία Εμπορίου & Προστασίας Καταναλωτή (ΤΙΜΕΣ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ - ΥΠ.Ε.Α.), το Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων (Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας) και το Σύνδεσμο Εταιριών Εμπορίας Πετρελαιοειδών Ελλάδας (Σύνδεσμο Εταιριών Εμπορίας Πετρελαιοειδών Ελλάδας).

Πιο συγκεκριμένα, για την χειμερινή περίοδο 2015-2016 (σεζόν περίπου 6 μηνών), σύμφωνα με το Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων (<http://www.fuelprices.gr>), οι μέσες τιμές λιανικής πώλησης του πετρελαίου θέρμανσης, για την Αττική και για το σύνολο της Ελλάδας, ανά εβδομάδα, καθώς και οι μέσοι όροι αυτών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2. Αυτές οι τιμές έχουν προκύψει από τους σταθμισμένους μέσους όρους με βάση τους όγκους πωλήσεων, για την περίοδο από 16 Οκτωβρίου 2015 έως 29 Απριλίου 2016 (δεν καταγράφεται η πώληση του πετρελαίου θέρμανσης για τη χρονική περίοδο από 30 Απριλίου έως 15 Οκτωβρίου). Για τους υπολογισμούς της συγκριτικής μελέτης, ελήφθη υπόψη ο μέσος όρος των τιμών λιανικής πώλησης για την ανωτέρω περίοδο για το Νομό Αττικής. Η λιανική τιμή πώλησης προκύπτει από την τιμή διυλιστηρίου, το περιθώριο κέρδους του πρατηρίου και τους φόρους/ δασμούς. (Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας)

Ο μέσος όρος των τιμών λιανικής πετρελαίου θέρμανσης για το Νομό Αττικής (0,754 €/lt) ανάγεται σε 0,075 €/kWh, βάσει θερμογόνου ικανότητας 10150 kcal/kg και πυκνότητας 0,85kg/lt (βλ. Πίνακα 4.2). (Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας) (Χατζηαθανασίου & Καδή, 2015)

Πίνακας 4.2 Εβδομαδιαίες μέσες τιμές λιανικής πώλησης πετρελαίου θέρμανσης κατ' οίκον (σε €/lt)

| Ημερομηνία | Νομός Αττικής | Σύνολο Ελλάδας |
|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 16 Οκτωβρίου 2015 | 0,828 | 0,838 |
| 23 Οκτωβρίου 2015 | 0,818 | 0,830 |
| 30 Οκτωβρίου 2015 | 0,821 | 0,830 |
| 6 Νοεμβρίου 2015 | 0,829 | 0,837 |
| 13 Νοεμβρίου 2015 | 0,828 | 0,838 |
| 20 Νοεμβρίου 2015 | 0,822 | 0,834 |
| 27 Νοεμβρίου 2015 | 0,822 | 0,833 |
| 4 Δεκεμβρίου 2015 | 0,819 | 0,831 |
| 11 Δεκεμβρίου 2015 | 0,792 | 0,810 |
| 18 Δεκεμβρίου 2015 | 0,758 | 0,777 |
| 25 Δεκεμβρίου 2015 | 0,749 | 0,763 |
| 1 Ιανουαρίου 2016 | 0,745 | 0,753 |
| 8 Ιανουαρίου 2016 | 0,739 | 0,746 |
| 15 Ιανουαρίου 2016 | 0,715 | 0,730 |
| 22 Ιανουαρίου 2016 | 0,689 | 0,706 |
| 29 Ιανουαρίου 2016 | 0,687 | 0,699 |
| 5 Φεβρουαρίου 2016 | 0,696 | 0,704 |
| 12 Φεβρουαρίου 2016 | 0,694 | 0,706 |
| 19 Φεβρουαρίου 2016 | 0,694 | 0,705 |
| 26 Φεβρουαρίου 2016 | 0,696 | 0,707 |
| 4 Μαρτίου 2016 | 0,706 | 0,715 |
| 11 Μαρτίου 2016 | 0,728 | 0,735 |
| 18 Μαρτίου 2016 | 0,733 | 0,743 |
| 25 Μαρτίου 2016 | 0,740 | 0,750 |
| 1 Απριλίου 2016 | 0,741 | 0,752 |
| 8 Απριλίου 2016 | 0,730 | 0,744 |
| 15 Απριλίου 2016 | 0,736 | 0,747 |
| 22 Απριλίου 2016 | 0,744 | 0,755 |
| 29 Απριλίου 2016 | 0,756 | 0,764 |
| Μέσος όρος | 0,754 | 0,765 |

- Ειδικά για το φυσικό αέριο, ελήφθησαν τα στοιχεία που δίνει η Εταιρεία Παροχής Αερίου Αττικής Α.Ε. για την αντίστοιχη περίοδο (Οκτώβριος 2015 - Απρίλιος 2016). Πιο συγκεκριμένα, βάσει του οικιακού τιμολογίου της εταιρείας, λαμβάνεται υπόψη χρέωση ισχύος 6,36 € / 60 μέρες (για εγκατεστημένο φορτίο συσκευών μέχρι 5 m³/ώρα) και χρέωση ενέργειας 0,05556 €/kWh, βάσει της Ανώτερης Θερμογόνου Δύναμης, που είναι ο μέσος όρος για τους ανωτέρω μήνες (Πίνακας 4.3). (Εταιρεία Παροχής Αερίου Αττικής Α.Ε.)

Πίνακας 4.3 Τιμές χρέωσης ενέργειας Φυσικού Αερίου, βάσει του οικιακού τιμολογίου (σε €/kWh)

| Μήνας | Χρέωση ενέργειας (€/kWh) |
|------------------|---------------------------------|
| Οκτώβριος 2015 | 0,05632 |
| Νοέμβριος 2015 | 0,05597 |
| Δεκέμβριος 2015 | 0,05649 |
| Ιανουάριος 2016 | 0,05701 |
| Φεβρουάριος 2016 | 0,05501 |
| Μάρτιος 2016 | 0,05379 |
| Απρίλιος 2016 | 0,05434 |
| Μέσος όρος | 0,05556 |

Σε αυτές τις τιμές συμπεριλαμβάνονται όλοι οι προβλεπόμενοι φόροι.

➤ Τα συστήματα με ηλεκτρικές αντιστάσεις που εξετάζονται, για τις ανάγκες της συγκριτικής μελέτης, περιλαμβάνουν τα διάφορα συστήματα θέρμανσης που κυκλοφορούν στο εμπόριο τα οποία αξιοποιούν τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα, όπως οι ηλεκτρικές σόμπες, τα πάνελ θερμότητας, οι σόμπες αλογόνου, τα αερόθερμα κ.α., με μέγιστο βαθμό απόδοσης $100\% = 1$.
(Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014)

➤ Αναφορικά με τα συστήματα θέρμανσης που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια, η χρέωση αυτής υπολογίστηκε βάσει του οικιακού τιμολογίου της ΔΕΗ Α.Ε. (www.dei.gr) για μονοφασική παροχή ρεύματος, χωρίς νυκτερινό τιμολόγιο (τιμολόγιο Γ1). Επιπλέον, θεωρείται ότι για τις ανάγκες θέρμανσης μιας μονοκατοικίας, μέσω κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, θα χρειαστεί συνολική παραγόμενη θερμική ισχύ 2000 kWh για ένα τετράμηνο. Επιπλέον, θεωρείται επίσης ότι η τυπική κατανάλωση ρεύματος για τις υπόλοιπες ανάγκες της μονοκατοικίας είναι 800 kWh για ένα τετράμηνο.
(Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014)

Βάσει των ανωτέρω:

- ✓ Για αντλία θερμότητας αέρα / νερού, με συντελεστή συμπεριφοράς (COP) ίσο με 3, για την απόδοση 2000 kWh ωφέλιμης ενέργειας, θα καταναλωθεί ενέργεια 666,67 kWh (2000/3). Επομένως, η κατανάλωση αυτή, προστιθέμενη στην κατανάλωση για τις υπόλοιπες ανάγκες της κατοικίας δίνει συνολική κατανάλωση 1466,67 kWh, έτσι αυτή τιμολογείται βάσει του 1^{ου} κλιμακίου (0-1600 kWh) χρέωσης.
Είναι χρήσιμο να σημειωθεί ότι μια γεωθερμική αντλία χαρακτηρίζεται από αρκετά υψηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς, γεγονός που θα μετέβαλε τους υπολογισμούς για το συγκεκριμένα σύστημα σημαντικά.
- ✓ Για ηλεκτρικό λέβητα (σύστημα με ηλεκτρικές αντιστάσεις) με βαθμό απόδοσης $100\% = 1$, η κατανάλωση για θέρμανση αντιστοιχεί σε 2000 kWh για ένα τετράμηνο, οπότε, μαζί με τις 800 kWh των υπόλοιπων αναγκών, η κατανάλωση ισούται με 2800 kWh, η οποία ανάγει τη χρέωση ρεύματος στο 3^ο κλιμάκιο (2001-3000 kWh).

Για αυτές τις καταλώσεις ανά τετράμηνο, υπολογίστηκε και παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.4 η χρέωση ηλεκτρικού ρεύματος από τη ΔΕΗ, για σύστημα θέρμανσης αντλίας θερμότητας και για σύστημα θέρμανσης ηλεκτρικού λέβητα, τόσο στο σύνολό της, όσο και ξεχωριστά για τις ανάγκες θέρμανσης και για τις υπόλοιπες ανάγκες ρεύματος τις κατοικίας, καθώς και η επιπλέον επιβάρυνση στο κόστος ρεύματος για τις υπόλοιπες ανάγκες, λόγω μετάβασης σε ανώτερο κλιμάκιο χρέωσης που προκύπτει στην περίπτωση χρήσης ηλεκτρικού λέβητα.
Όλες οι πάγιες χρεώσεις δεν υπολογίστηκαν επειδή αυτές αποδίδονται στις υπόλοιπες ανάγκες ηλεκτρικού ρεύματος οποιασδήποτε κατοικίας. (www.dei.gr)

Πίνακας 4.4 Χρεώσεις ηλεκτρικού ρεύματος οικιακού τιμολογίου ΔΕΗ Γ1 για δεδομένη κατανάλωση κατοικίας με αντλία θερμότητας και με ηλεκτρικό λέβητα

| | <i>Αντλία θερμότητας</i> | <i>Ηλεκτρικός λέβητας</i> |
|--|-----------------------------|---|
| Κατανάλωση ρεύματος για θέρμανση (τετραμηνιαία) (kWh) | 666,67 | 2000 |
| Κατανάλωση ρεύματος για υπόλοιπες ανάγκες (τετραμηνιαία) (kWh) | 800 | 800 |
| Συνολική κατανάλωση κατοικίας (τετραμηνιαία) (kWh) | 1466,67 | 2800 |
| Κλιμάκιο χρέωσης στο οποίο εμπίπτει η κατανάλωση | 1 ^ο (0-1600 kWh) | 3 ^ο (2000-3000 kWh) |
| Χρέωση ενέργειας (ανταγωνιστικές χρεώσεις) (€/kWh) | 0,09460 | 0,10252 |
| Χρέωση ενέργειας (δίκτυο μεταφοράς) (€/kWh) | 0,00541 | 0,00541 |
| Λοιπές χρεώσεις (δίκτυο μεταφοράς) (€/kWh) | 0,00046 | 0,00046 |
| Χρέωση ενέργειας (δίκτυο διανομής) (€/kWh) | 0,0214 | 0,0214 |
| Υπηρεσίες κοινής ωφέλειας (€/kWh) | 0,00699 | 0,03987 |
| ΕΤΜΕΑΡ (Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αερίων Ρύπων) (€/kWh) | 0,02487 | 0,02487 |
| Ειδικός φόρος κατανάλωσης (ΕΦΚ) (€/kWh) | 0,00220 | 0,00220 |
| Σύνολο (€/kWh) | 0,15593 | 0,19673 |
| Συνολική αξία ηλεκτρικού ρεύματος (μαζί με ΕΦΚ) (χωρίς πάγιες χρεώσεις) (€) | 228,698 | 550,844 |
| Συνολική αξία ηλεκτρικού ρεύματος (μαζί με ΕΦΚ) (χωρίς πάγιες χρεώσεις) Για θέρμανση (€) | 103,954 | 393,489 |
| Συνολική αξία ηλεκτρικού ρεύματος (μαζί με ΕΦΚ) (χωρίς πάγιες χρεώσεις) Για υπόλοιπες ανάγκες (€) | 124,744 | 157,384 |
| Επιπλέον επιβάρυνση στο κόστος ρεύματος για τις υπόλοιπες ανάγκες, λόγω μετάβασης σε ανώτερο κλιμάκιο χρέωσης(€) | | $157,384 - 124,744 = 32,64$ |
| Επιπλέον επιβάρυνση στο κόστος ρεύματος για τις υπόλοιπες ανάγκες, λόγω μετάβασης σε ανώτερο κλιμάκιο χρέωσης(€/kWh) | | $32,64/800$ ή $0,19673 - 0,15593 = 0,04080$ |
| Ειδικό τέλος 5% = [Συνολική αξία ηλεκτρικού ρεύματος (μαζί με ΕΦΚ) - ΕΤΜΕΑΡ] x 5% (€) | 0,961 | 2,406 |
| ΦΠΑ = Συνολική αξία ηλεκτρικού ρεύματος (μαζί με ΕΦΚ) x 13% (€) | 29,731 | 71,610 |
| ΦΠΑ για θέρμανσης (€) | 13,514 | 51,15 |
| ΦΠΑ για υπόλοιπες ανάγκες (€) | 16,217 | 20,46 |
| Επιπλέον επιβάρυνση στο ΦΠΑ για τις υπόλοιπες ανάγκες, λόγω μετάβασης σε ανώτερο κλιμάκιο χρέωσης(€) | | $20,46 - 16,217 = 4,243$ |
| ΦΠΑ συνολικό (€/kWh) | 0,02027 | 0,02558 |
| ΦΠΑ συνολικό για Θέρμανση (€/kWh) | 0,00921 | 0,01827 |
| ΦΠΑ συνολικό για υπόλοιπες ανάγκες (€/kWh) | 0,01106 | 0,00731 |
| Επιπλέον επιβάρυνση στο ΦΠΑ για τις υπόλοιπες ανάγκες, λόγω μετάβασης σε ανώτερο κλιμάκιο χρέωσης(€/kWh) | | $0,01106 - 0,00731 = 0,00375$ |
| Ολικό Σύνολο (τετράμηνο) | 259,39 | 624,86 |
| Ολικό Σύνολο για Θέρμανση (τετράμηνο) | 117,905 | 446,329 |
| Ολικό Σύνολο για Υπόλοιπες ανάγκες (τετράμηνο) | 141,485 | 178,531 |
| Επιπλέον επιβάρυνση στο Ολικό Σύνολο του κόστους ρεύματος για τις υπόλοιπες ανάγκες, λόγω μετάβασης σε ανώτερο κλιμάκιο χρέωσης(€) | | $178,531 - 141,485 = 37,046$ |

- Ο καυστήρας βιομάζας που μελετάται, θεωρείται ότι τροφοδοτείται με πελέτες ξύλου της ανώτερης ποιότητας EN Plus-A1, οι οποίες παρουσιάζουν, όπως αναφέρεται και στο 3^ο κεφάλαιο, τα εξής ποιοτικά χαρακτηριστικά:
 - ✓ 'Α ύλες: ξυλεία κορμού ή μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα βιομηχανίας επεξεργασίας ξύλου
 - ✓ Περιεχόμενη Υγρασία: μικρότερη από 10% κ.β.
 - ✓ Περιεκτικότητα σε τέφρα: μικρότερη από 0,7 % κ.β. ξηρό
 - ✓ Επιπλέον θεωρήθηκε η μέση τιμή της αγοράς πελετών: 0,32 €/Kg ή 0,064 €/kWh, βάσει κατώτερης θερμογόνου δύναμης 18 MJ/kg (απαίτηση νομοθεσίας: Κ.Θ.Δ. μεγαλύτερη από 16,2 MJ/kg. (www.enplus-pellets.eu/) (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014)
- Για τα τζάκια, θεωρήθηκε ότι αυτά καίνε καυσόξυλα οξιάς με χαρακτηριστικά:
 - ✓ Υγρασία: 20% κ.β
 - ✓ Μήκος: ~ 33 cm
 - ✓ Τυπική τιμή φαινόμενης πυκνότητας για στοιβαγμένα καυσόξυλα: 453 kg/m³
 - ✓ Τιμή αγοράς καυσίμου: 77 €/m³ ή 0,17 €/Kg ή 0,0437 €/kWh, βάσει κατώτερης θερμογόνου δύναμης ίσης με 14 MJ/kg. (Οδηγός για τη διακίνηση καυσόξυλων, 2012) (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014)

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται μπορεί να διαφέρει σημαντικά ως προς την τιμή αγοράς του, ανάλογα με τον κατασκευαστή.

Φυσικά, υπάρχει πάντα η πιθανότητα να χρειαστούν έκτακτες εργασίες συντήρησης ή/ και επισκευής, οι οποίες δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν και να υπολογιστούν.

Επιπλέον παραδοχές των ανωτέρω, πραγματοποιούνται και αναφέρονται όπου χρειάζονται.

4.2 Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά σύστημα θέρμανσης, απόλυτο και συγκριτικό

Βάσει των ανωτέρω (βλ. ενότητα 4.1), στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα κόστη ωφέλιμης θερμικής ενέργειας, ανά σύστημα θέρμανσης, που υπολογίζονται βάσει των βαθμών απόδοσης / συντελεστών συμπεριφοράς αυτών, αναφορικά με την Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται και συγκριτικά με το συνήθη λέβητα πετρελαίου (επί τοις εκατό).

Ειδικά αναφορικά με τα συστήματα που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια, όπως είδαμε στις παραδοχές, τα συστήματα με ηλεκτρικές αντιστάσεις (ηλεκτρικοί λέβητες) αυξάνουν πολύ την κατανάλωση του ρεύματος με αποτέλεσμα η χρέωση αυτού να ανάγεται σε ανώτερο κλιμάκιο (3^ο αντί για 1^ο), έτσι, για το συγκεκριμένο σύστημα, υπολογίζονται δύο φορές, με το

δεύτερο υπολογισμό να συμπεριλαμβάνει και την επιπλέον επιβάρυνση για τις υπόλοιπες ανάγκες σε ρεύμα, που προκύπτει από αυτή τη μετάβαση σε ανώτερο κλιμάκιο χρέωσης.

Πίνακας 4.5 Υπολογισμός κόστους ωφέλιμης θερμικής ενέργειας για τα διαφορετικά συστήματα και σύγκριση κόστους (%) με συνήθη λέβητα πετρελαίου

| Σύστημα θέρμανσης | Βαθμός απόδοσης/ συντελεστής συμπεριφοράς | Κόστος καυσίμου (€/kWh) | Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (€/kWh) | Σύγκριση κόστους με συνήθη λέβητα πετρελαίου |
|--|---|-------------------------------|--|---|
| Αντλία θερμότητας | 3 | 0,49542 | 0,16514 | 192,02% |
| Λέβητας βιομάζας | 0,80 | 0,064 | 0,080 | 93,02% |
| Λέβητας Φ.Α. (συμπύκνωσης) | 0,98 | 0,06170 | 0,06296 | 73,21% |
| Ενεργειακό τζάκι | 0,50 | 0,044 | 0,088 | 102,33% |
| Παραδοσιακό τζάκι | 0,25 | 0,044 | 0,176 | 204,65% |
| Ηλεκτρικός λέβητας | 1,0 | 0,215 | 0,215 | 250% |
| Ηλεκτρικός λέβητας συμπεριλαμβανομένης της επιβάρυνσης που προκαλείται | | 0,25955 | 0,25955 | 301,80% |
| Λέβητας πετρελαίου | 0,87 | 0,075 | 0,086 | 100% |

Για το κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας, αναφορικά με αντλία θερμότητας, λαμβάνεται υπόψη το άθροισμα των υπογραμμισμένων τιμών του Πίνακα 4.4 (σε €/kWh) (έχει ήδη ληφθεί υπόψη ο συντελεστής συμπεριφοράς). Έτσι λαμβάνουμε την τιμή $0,15593 + 0,00921 = 0,16514$ €/kWh.

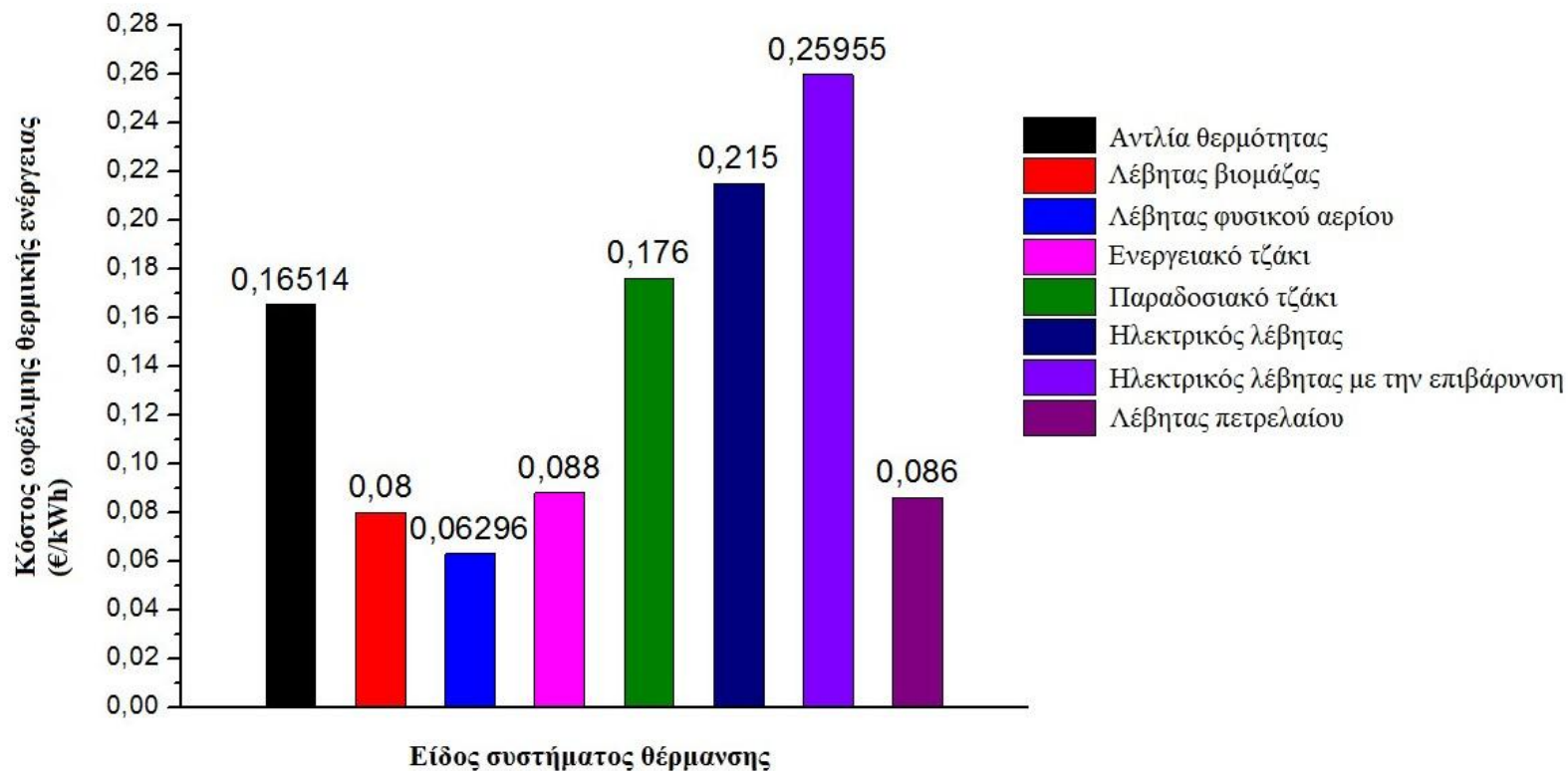
Για το κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας, αναφορικά με ηλεκτρικό λέβητα, λαμβάνεται υπόψη το άθροισμα των υπογραμμισμένων τιμών του Πίνακα 4.4 για τη δεύτερη τιμή και το άθροισμα των υπογραμμισμένων τιμών του Πίνακα 4.4 χωρίς εκείνες με το μωβ χρώμα για την πρώτη τιμή (έχει ήδη ληφθεί υπόψη ο βαθμός απόδοσης). Έτσι λαμβάνουμε τις τιμές: Για “ηλεκτρικό λέβητα”: 0,21500 €/kWh και για “ηλεκτρικό λέβητα συμπεριλαμβανομένης της επιβάρυνσης που προκαλείται” (που συμπεριλαμβάνει και την αύξηση του κόστους τους ηλεκτρικού ρεύματος για τις υπόλοιπες ανάγκες, λόγω μετάβασης σε μεγαλύτερο κλιμάκιο τιμολόγησης): 0,25955 €/kWh.

Στον υπολογισμό του κόστους ωφέλιμης ενέργειας για τα συστήματα που χρησιμοποιούν το ηλεκτρικό ρεύμα, δεν έχει ληφθεί υπόψη το ειδικό τέλος (5%), το οποίο συμβάλλει αμελητέα στη διαμόρφωσή του (βλ. Πίνακα 4.4).

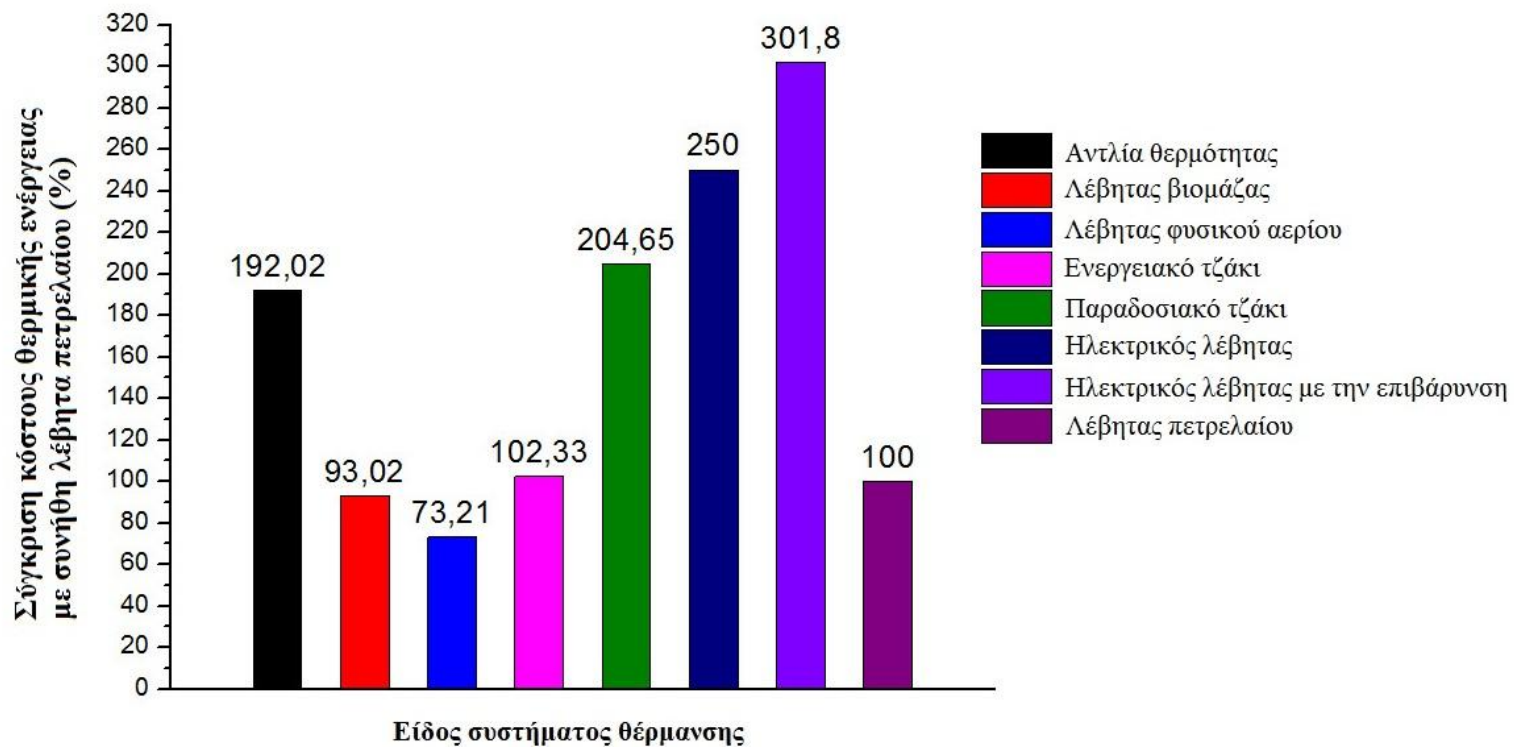
Επιπλέον, οι υπολογισμοί για τα συστήματα, που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια, θα οδηγούσαν σε χαμηλότερες τιμές, στην περίπτωση που για τον καταναλωτή διατίθεται χρέωση με νυχτερινό τιμολόγιο.

Για το λέβητα φυσικού αερίου συμπύκνωσης, έγινε αναγωγή του κόστους ωφέλιμης ενέργειας βάσει της Α.Θ.Δ. (αναφορά) σε αυτό βάσει της Κ.Θ.Δ., έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα.

Για την καλύτερη κατανόηση των μεγεθών που υπολογίζονται στον Πίνακα 4.5, αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.1 και 4.2. με τη μορφή στηλών.



Σχήμα 4.1 Συνολικό κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (€/kWh) ανά είδος συστήματος θέρμανσης



Σχήμα 4.2 Σύγκριση κόστους θερμικής ενέργειας των συστημάτων θέρμανσης με τον συνήθη λέβητα πετρελαίου (%)

Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 4.1. απεικονίζεται το συνολικό κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας, σε €/kWh, του κάθε συστήματος θέρμανσης που μελετάται, το οποίο περιλαμβάνει το καθαρό κόστος και το κόστος φόρων και λοιπών επιβαρύνσεων, ανάλογα με το κάθε σύστημα θέρμανσης (ανάλογα με τα διαφορετικά καύσιμα που χρησιμοποιεί το καθένα, ή με την χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια). Στο διάγραμμα του Σχήματος 4.2 απεικονίζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα (%) αναφορικά με το συνήθη λέβητα πετρελαίου του Πίνακα 4.5.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί ότι η μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του ΕΜΠ σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων του ΕΚΕΤΑ με τίτλο «Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες», Εμ. Κακαράς, Σ. Καρέλλας, Π. Βουρλιώτης, Π. Γραμμέλης, Π. Πάλλης, Εμ. Καραμπίνης, που δημοσιεύτηκε με ημερομηνία 18 Νοεμβρίου 2013 και αναδημοσιεύτηκε με επικαιροποιημένα στοιχεία με ημερομηνία 21 Νοεμβρίου 2014, παρουσιάζει μικρότερο εύρος αποκλίσεων από το 100% αναφορικά με τη σύγκριση του κόστους οφέλιμης ενέργειας που αποδίδουν τα διάφορα συστήματα σε σχέση με τον λέβητα πετρελαίου. Ωστόσο, για την εν λόγω μελέτη έχουν ληφθεί υπόψη οι λιανικές τιμές πετρελαίου 1,256 €/l και 1,021 €/l, για τις ημερομηνίες 8 Νοεμβρίου 2013 και 21 Νοεμβρίου 2014, αντίστοιχα για την 1^η και 2^η έκδοσή της, τιμές πολύ μεγαλύτερες από την τιμή 0,754 €/lt που είναι ο μέσος όρος των τιμών λιανικής του πετρελαίου θέρμανσης για το Νομό Αττικής για το διάστημα από 16 Οκτωβρίου 2015 έως 29 Απριλίου 2016, που ελήφθη υπόψη στην παρούσα εργασία (βλ. Πίνακα 4.2). Πιο συγκεκριμένα, η 1^η έκδοση της μελέτης του ΕΜΠ για τα μελετούμενα συστήματα της παρούσας μελέτης παρουσιάζει εύρος αποκλίσεων από 39,49% έως 162,58%, ενώ η 2^η έκδοση της μελέτης παρουσιάζει εύρος αποκλίσεων από 54,13% έως 210,71%. Το εύρος διακύμανσης της παρούσας μελέτης είναι από 66,28% έως 301,80%. Εκτός από την αλλαγή στην τιμή του πετρελαίου, έχουν διαφοροποιηθεί οι τιμές και των άλλων καυσίμων/ ηλεκτρικής ενέργειας και η φορολόγηση αυτών, γεγονότα που συμβάλλουν περαιτέρω στην πλάτυνση του εύρους των διακυμάνσεων. (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014) (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2013)

Πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι το κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας για το λέβητα πετρελαίου διαφοροποιείται μειούμενο, σε περίπτωση που ο καταναλωτής λάβει επιδότηση για το πετρέλαιο θέρμανσης, κάτι που δεν λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα μελέτη, καθώς δεν αποτελεί καθολικό γεγονός.

4.3 Εκτιμώμενο κόστος αντικατάστασης λέβητα πετρελαίου με εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης

Στην παρούσα ενότητα εξετάζεται η περίπτωση αντικατάστασης του συνηθέστερου υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης (λέβητα πετρελαίου) με εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης, αναφορικά με το κόστος της κάθε επένδυσης. Παράλληλα, υπολογίζεται το ετήσιο κόστος που καλείται να καταβάλει ο εκάστοτε καταναλωτής, αναφορικά με τις τιμές (συμπεριλαμβανομένων των φόρων και επιβαρύνσεων) που ίσχυσαν κατά τη χειμερινή περίοδο 2015-2016. Βάσει των δύο αυτών αξόνων, θα μπορούσαν να υπολογιστούν τα έτη

απόσβεσης της αντικατάστασης του λέβητα πετρελαίου με εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης, για τα συστήματα που παρουσιάζουν χαμηλότερο κόστος λειτουργίας συγκριτικά με το λέβητα πετρελαίου. Ωστόσο, ένας τέτοιος υπολογισμός εξαρτάται άμεσα από τις συγκυρίες που επηρεάζουν τις τιμές των διαφόρων καυσίμων και του ηλεκτρικού ρεύματος, οι οποίες είναι σημαντικά μεταβαλλόμενες ανά χρονική περίοδο. (Αγγελίδης, 2013) (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014)

Για το σκοπό συγκριτικής μελέτης, λαμβάνονται υπόψη ενδεικτικά κόστη αγοράς και εγκατάστασης νέου συστήματος θέρμανσης, τα κόστη συντήρησης του κάθε συστήματος καθώς και τα κόστη της ωφέλιμης θερμικής ενέργειας που το κάθε σύστημα αποδίδει. (Αγγελίδης, 2013) (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014)

Τα ενδεικτικά κόστη εγκατάστασης και συντήρησης προκύπτουν από διάφορες πηγές και από έρευνα αγοράς στο διαδίκτυο και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6. Έτσι, ιδιαιτέρως τα κόστη εγκατάστασης είναι δυνατό να διαφέρουν σε μικρό έως και μεγάλο βαθμό ανάλογα με τον κατασκευαστή, την ποιότητα του συστήματος και τη χρονική συγκυρία κατά την οποία πραγματοποιείται η αγορά. (Αγγελίδης, 2013) (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014)

Πίνακας 4.6 Εκτιμώμενο κόστος αντικατάστασης του λέβητα πετρελαίου με εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης και κόστος συντήρησης κάθε συστήματος

| Σύστημα θέρμανσης | Κόστος εγκατάστασης (€) | Ετήσιο Κόστος συντήρησης (€) |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Αντλία θερμότητας</i> | 7500 | - |
| <i>Λέβητας βιομάζας</i> | 4500 | 130 |
| <i>Λέβητας Φ.Α. (συμπύκνωσης)</i> | 4000 | 60 |
| <i>Ενεργειακό τζάκι</i> | 3500 | 60 |
| <i>Παραδοσιακό τζάκι</i> | 3000 | 100 |
| <i>Ηλεκτρικός λέβητας</i> | 1500 | - |
| <i>Λέβητας πετρελαίου</i> | - | 100 |

Επιπλέον των ανωτέρω, δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν και να υπολογιστούν επιπλέον κόστη, που μπορεί να κληθεί να καταβάλει ο καταναλωτής, που συνδέονται με τις ιδιαιτερότητες της κάθε κατοικίας, καθώς και άλλα έκτακτα κόστη που μπορεί να προκύψουν. (Αγγελίδης, 2013) (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014)

Αναφορικά με την ωφέλιμη θερμική ενέργεια του κάθε συστήματος, αρχικά υπολογίζεται το κόστος της ανά σεζόν (χειμερινή περίοδος κάθε έτους - 6 μήνες), για το κάθε σύστημα θέρμανσης και η διαφορά σε σχέση με αυτό του συνηθισμένου λέβητα πετρελαίου, για δύο περιπτώσεις: απόδοσης ωφέλιμης θερμικής ενέργειας 3000 kWh / σεζόν (6 μήνες) και 6000 kWh / σεζόν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7. (Αγγελίδης, 2013) (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2014)

Η κατανάλωση που θα πραγματοποιηθεί από την εκάστοτε κατοικία εξαρτάται από τις συνθήκες και την επιθυμητή θερμική άνεση του καταναλωτή.

Ωστόσο, για τις περιπτώσεις της αντλίας θερμότητας και του ηλεκτρικού λέβητα, το κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας έχει υπολογιστεί μόνο βάσει κατανάλωσης 3000 kWh / σεζόν (2000 kWh / τετράμηνο - βλ. Πίνακα 4.4) μαζί με τη μετάβαση σε ανώτερο κλιμάκιο χρέωσης που προκαλεί η αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι στην 2^η περίπτωση (κατανάλωση 6000 kWh / σεζόν), το κόστος αναμένεται να είναι μεγαλύτερο από το υπολογιζόμενο στον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7 Υπολογισμός κόστους ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά σεζόν για τα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και διαφορές αυτού συγκριτικά με του λέβητα πετρελαίου

| Σύστημα θέρμανσης | Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας (€/kWh) | Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας για απόδοση 3000 kWh / σεζόν (€) | Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας για απόδοση 6000 kWh / σεζόν (€) |
|--|--|---|---|
| Αντλία θερμότητας | 0,16514 | 495,42 | 990,84 |
| Λέβητας βιομάζας | 0,080 | 240 | 480 |
| Λέβητας Φ.Α. (συμπύκνωσης) | 0,06296 | 188,88 | 377,76 |
| Ενεργειακό τζάκι | 0,088 | 264 | 528 |
| Παραδοσιακό τζάκι | 0,176 | 528 | 1056 |
| Ηλεκτρικός λέβητας | 0,215 | 645 | 1290 |
| Ηλεκτρικός λέβητας συμπεριλαμβανομένης της επιβάρυνσης που προκαλείται | 0,25955 | 778,65 | 1557,3 |
| Λέβητας πετρελαίου | 0,086 | 258 | 516 |

4.4 Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται στις ενότητες 4.1-4.3 και ιδιαίτερα τα Σχήματα 4.1 και 4.2 δίνουν άμεσα το συμπέρασμα ότι, βάσει των τιμών των διαφορετικών καυσίμων και του ηλεκτρικού ρεύματος που ίσχυαν κατά τη χειμερινή περίοδο 2015-2016, τα οικονομικότερα του λέβητα πετρελαίου συστήματα θέρμανσης, ως προς το κόστος ωφέλιμης ενέργειας που αποδίδουν, είναι ο λέβητας βιομάζας και ο λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης. Στα ίδια επίπεδα κόστους με το λέβητα πετρελαίου κινείται το ενεργειακό τζάκι. (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2013)

Ωστόσο, και πιο συγκεκριμένα για το λέβητα βιομάζας, με αυτές τις τιμές, και για «μικρή» σχετικά θέρμανση της κατοικίας, η διαφορά κόστους είναι αμελητέα και δεν μπορεί να αποσβέσει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης νέου εξοπλισμού.

Το αποτέλεσμα αυτό, όμως, ισχύει μόνο για την εξεταζόμενη συγκυρία που καθιστά το πετρέλαιο θέρμανσης σχετικά φθινό. (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2013)

Για παράδειγμα, εάν λάβουμε υπόψη τιμή πετρελαίου θέρμανσης 1,256 €/l που ίσχυε την 8^η Νοεμβρίου του 2013 (τιμή που ελήφθη υπόψη στη μελέτη του ΕΜΠ του 2013) (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης

από διάφορες τεχνολογίες, 2013) και όχι την τιμή 0,754 €/lt που είναι ο μέσος όρος των τιμών λιανικής του πετρελαίου θέρμανσης για το Νομό Αττικής για το διάστημα από 16 Οκτωβρίου 2015 έως 29 Απριλίου 2016, που ελήφθη υπόψη στην παρούσα εργασία, οι υπολογισμοί για το κόστος καυσίμου πετρελαίου θέρμανσης τροποποιούνται ως εξής: (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2013)

$$\frac{1,256 \text{ €/lt}}{0,85 \text{ kg/lt}} = 1,478 \text{ €/kg} \quad \text{και} \quad \frac{1,478 \text{ €/kg}}{11,8045 \text{ kWh/kg}} = 0,1252 \text{ €/kWh}$$

Η διαφορά στο κόστος καυσίμου (0,1252 €/kWh έναντι του 0,075 €/kWh που υπολογίζεται στην παρούσα εργασία) είναι αρκετά σημαντική. Ακόμα μεγαλύτερη διαφορά στο κόστος θα υπήρχε εάν οι υπολογισμοί γίνονταν βάσει της τιμής του πετρελαίου θέρμανσης ένα ακόμα έτος νωρίτερα. Στις 8 Νοεμβρίου του 2012, η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης ήταν 1,327 €/l. (<http://www.fuelprices.gr>)

Συνακολούθως, στον Πίνακα 4.5, για δεδομένο βαθμό απόδοσης (0,87), το κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας που αποδίδει ο λέβητας καυσίμου δεν είναι 0,086 αλλά 0,144 €/kWh.

Συνεπώς, στον Πίνακα 4.7, στην περίπτωση του λέβητα πετρελαίου υπολογίζεται κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας για απόδοση 6000 kWh / σεζόν ίσο με 864 €.

Η αντίστοιχη τιμή για την περίπτωση του λέβητα βιομάζας, βάσει του Πίνακα 4.7, είναι 480 €. Η διαφορά, λοιπόν, μεταξύ των δύο συστημάτων είναι 864 - 480 = 384 € ετησίως (για μία χειμερινή σεζόν). Αν συνυπολογιστεί η διαφορά κόστους συντήρησης που ευνοεί το λέβητα πετρελαίου, η διαφορά του κόστους ωφέλιμης ενέργειας είναι 354 € ετησίως (Πίνακας 4.6).

Βάσει, λοιπόν, του ενδεικτικού κόστους εγκατάστασης ενός λέβητα βιομάζας (Πίνακας 4.6), η απόσβεση του συστήματος θέρμανσης μπορεί να γίνει σε 12,7 έτη. Για μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου (ισχυρότερη θέρμανση της κατοικίας, ή/ και μεγαλύτερη κατοικία), τα έτη απόσβεσης μειώνονται με υπολογισμό τρόπο. Παράλληλα, πρέπει να σημειωθεί ότι ο βαθμός απόδοσης του λέβητα βιομάζας που ελήφθη υπόψη (0,80) είναι αρκετά συντηρητικός, ενώ μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερος, ανάλογα με την ποιότητα του εξοπλισμού, γεγονός που θα έχει μειώσει ανάλογα τα αντίστοιχα κόστη, και άρα τα έτη απόσβεσης μιας τέτοιας αντικατάστασης. (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2013)

Συνεπώς, η μελέτη για μια τέτοια επένδυση, κατ' αρχήν θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα διαχρονικά επίπεδα των τιμών καυσίμων και ηλεκτρικού ρεύματος και των αντίστοιχων φόρων και λοιπών επιβαρύνσεων, ενώ, επιπλέον, φαίνεται σίγουρα πιο ελκυστική όταν πραγματοποιείται σε συγκυρία που η τιμή του πετρελαίου ακολουθεί τη διαχρονική παγκόσμια τάση αύξησης. (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2013)

Παράλληλα, όπως έχει ισχύσει στο πρόσφατο παρελθόν για την περίπτωση αντικατάστασης λέβητα πετρελαίου με λέβητα φυσικού αερίου, μια ενδεχόμενη επιδότηση αντίστοιχης αντικατάστασης του λέβητα πετρελαίου με λέβητα βιομάζας, που θα έχει ως σκοπό τη μείωση των αερίων ρύπων και κατά συνέπεια την προστασία του περιβάλλοντος, σε συνέργεια με την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση του κοινού για το θέμα αυτό, θα δώσει

σίγουρα ένα ισχυρό κίνητρο στους ιδιώτες έτσι ώστε να προχωρήσουν σε μια τέτοια ενέργεια. (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2013)

Βεβαίως, στην περίπτωση κατοικίας που χτίζεται εξ' αρχής, όπου δεν εξετάζεται η αντικατάσταση υπάρχοντος λέβητα πετρελαίου, αλλά η επιλογή συστήματος θέρμανσης προς εγκατάσταση, είναι ευκόλως εννοούμενο ότι δεν προκύπτει κανένας λόγος επιλογής λέβητα πετρελαίου, καθώς διατίθενται εναλλακτικές, οικολογικές λύσεις, όπως ο λέβητας βιομάζας, που με μικρή διαφορά στο κόστος εγκατάστασης, αποδίδουν φθηνότερη ωφέλιμη θερμική ενέργεια και παρουσιάζουν εξαιρετικά βελτιωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. (Κακαράς, Καρέλλας, Βουρλιώτης, Γραμμέλης, Πάλλης, & Καραμπίνης, Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, 2013)

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ PELLEΤ”

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, βάσει των σταδίων παραγωγής πελετών που αναλύθηκαν στην ενότητα 3.3, επιχειρείται η τεχνο-οικονομική ανάλυση σχεδιασμού μονάδας παραγωγής πελετών. Ο σχεδιασμός αυτός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος και εξαρτάται σχεδόν σε απόλυτο βαθμό από το είδος της διαθέσιμης α' ύλης, από τη δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας, καθώς και από άλλα ειδικότερα χαρακτηριστικά τα οποία αναλύονται στη συνέχεια. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007)

Έτσι, εξετάζονται διαφορετικά σενάρια εγκατάστασης μονάδας παραγωγής πελετών που διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς τα ανωτέρω. Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια ανάλυση κόστους του τεχνικού εξοπλισμού μιας μονάδας, καθαρά ως προς το παραγωγικό κομμάτι, και δεν αναφέρεται στη συνολική επένδυση ενός ανάλογου εγχειρήματος. Πιο συγκεκριμένα, από τρεις διαφορετικές πηγές εξετάζονται οι περιπτώσεις εγκατάστασης μονάδων παραγωγής πελετών δυναμικότητας:

- A) 250 - 300 kg/h,
- B) 450 - 500 kg/h,
- Γ) 1300 - 1500 kg/h,

Από την εταιρεία Π. Βροντάνης & ΣΙΑ Ο.Ε. (www.eco-heat.gr).

- 1,2 - 1,5 ton/h

Από την εταιρεία General Dies (www.generaldies.com), αν και η συγκεκριμένη εταιρεία προσφέρει πολλαπλές επιλογές από 150 kg/h έως 3,5 - 4 ton/h.

- 3,5 - 5 ton/h

Από εργασία με τίτλο «Μελέτη σκοπιμότητας εργοστασίου παραγωγής πελετών από μικτή βιομάζα στην Ελλάδα» που αποτέλεσε παραδοτέο στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα «Pellets@las» από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. (Voulgaraki, Balafoutis, & Papadakis, 2009).

Έτσι, οι ανωτέρω περιπτώσεις παρουσιάζονται ξεχωριστά, με τη σειρά που αναφέρονται, δηλαδή με αύξουσα σειρά δυναμικότητας.

5.2 Μικρο-μεσαίες μονάδες παραγωγής πελετών

Η εταιρεία Π. Βροντάνης & ΣΙΑ Ο.Ε. (www.eco-heat.gr) παρέχει ολοκληρωμένες λύσεις μηχανολογικού εξοπλισμού για βιομηχανικές μονάδες παραγωγής πελετών ξύλου. (www.eco-heat.gr)

Πιο συγκεκριμένα, η εταιρεία παρουσιάζει παραδείγματα κοστολόγησης εξοπλισμού για:

- μονάδες παραγωγικής δυναμικότητας
 - A) 250 - 300 kg/h,
 - B) 450 - 500 kg/h,
 - Γ) 1300 - 1500 kg/h,
- χρησιμοποιούμενη α' ύλη θρύμματα
- μήκους 20-30 mm
- μέγιστης υγρασίας 50%
- και παραγόμενο προϊόν (πελέτες) διαμέτρου 6 mm.

Τα αντίστοιχα κόστη του εξοπλισμού είναι A) 219.000 €, B) 428.000 € και Γ) 687.000 €.

Συγκεντρωτικά και συγκριτικά μεταξύ τους, τα κόστη του εξοπλισμού για τις τρεις περιπτώσεις μικρο-μεσαίων εγκαταστάσεων περιγράφονται και αναλύονται στον Πίνακα 5.1, ανάλογα με τα απαιτούμενα μηχανήματα ανά διεργασία.

Ο προϋπολογισμός που ακολουθεί δεν συμπεριλαμβάνει συνοδευτικές δαπάνες όπως:

- Πακετάρισμα
- Μεταφορά και ασφάλεια εξοπλισμού προς εγκατάσταση
- Κτιριακές εγκαταστάσεις και οικοδομικές εργασίες
- Μονάδα θρυμματισμού
- Αεροσυμπιεστές
- Ηλεκτρικά καλώδια και συνδέσεις μονάδων
- Ασφάλεια εγκατάστασης
- Μετασχηματιστής
- Φ.Π.Α.
- Εγκατάσταση, σύνδεση και εκκίνηση συστήματος
- Εργατικά κόστη κ.α..

Παρατηρείται ότι στην περίπτωση Α), δεν συμπεριλαμβάνεται εξοπλισμός για την ψύξη των διαμορφωμένων πελετών, διεργασία που είναι άκρως απαραίτητη για την παραγωγή καλής ποιότητας προϊόντων.

Επιπλέον, αν υπολογιστεί το κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού ανά kg/h παραγόμενου προϊόντος, με υπολογισμό που λαμβάνει υπόψη τη μέση παραγωγικότητα κάθε περίπτωσης, βρίσκεται ότι για την περίπτωση Α) αυτό είναι $796 \frac{\text{€}}{\text{kg/h}}$, για την περίπτωση Β) είναι $901 \frac{\text{€}}{\text{kg/h}}$ και για την περίπτωση Γ) είναι $491 \frac{\text{€}}{\text{kg/h}}$.

Παρατηρείται ότι το κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού ανά kg/h παραγόμενου προϊόντος είναι μέγιστο στην περίπτωση Β), της μεσαίας δυναμικότητας που αναλύουμε, ενώ ως η πιο συμφέρουσα επιλογή παρουσιάζεται η περίπτωση Γ), της μέγιστης δυναμικότητας στην κατηγορία των μικρο-μεσαίων μονάδων παραγωγής.

Ωστόσο, εάν, στην περίπτωση Α), λάβουμε υπόψη μας και κόστος εξοπλισμού για την ψύξη των πελετών, δεδομένου ότι οι τρεις περιπτώσεις μας θα είναι υπολογίσιμα ανόμοιες εάν δεν τον λάβουμε υπόψη και ότι ο εν λόγω εξοπλισμός είναι ζωτικής σημασίας για τις παραγόμενες πελέτες, το αντίστοιχο κόστος εξοπλισμού διαμορφώνεται στα 231.500 €, που προκύπτει εάν προσθέσουμε στο συνολικό κόστος εξοπλισμού το κόστος του ανακυκλωτή σκόνης με ψύξη πελετών που έχει ληφθεί υπόψη για την περίπτωση Β), ελείπει άλλων δεδομένων από την εταιρεία. Συνεπακολούθως. Το κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού ανά ανά kg/h παραγόμενου προϊόντος για την περίπτωση Α) διαμορφώνεται στα 842 €.

Έτσι, τα κόστη και για τις τρεις περιπτώσεις είναι: Α) $842 \frac{\text{€}}{\text{kg/h}}$, Β) $901 \frac{\text{€}}{\text{kg/h}}$ και Γ) $491 \frac{\text{€}}{\text{kg/h}}$.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα κόστη για τις περιπτώσεις Α) και Β) είναι συγκρίσιμα, ενώ στην περίπτωση που η δυναμικότητα της μονάδας αυξάνεται σημαντικά (περίπτωση Γ), μειώνεται σημαντικά το κόστος της επένδυσης σε τεχνικό εξοπλισμό ανά kg/h παραγόμενου προϊόντος, συγκεκριμένα στο 55% σε σχέση με εκίνο της περίπτωσης Β).

Πράγματι, η δυναμικότητα στην περίπτωση Γ) είναι σχεδόν τριπλάσια σε σχέση με αυτή της περίπτωσης Β), συγκεκριμένα είναι 2,95 φορές μεγαλύτερη, ενώ η δυναμικότητα στην περίπτωση Β) είναι 1,73 φορές μεγαλύτερη από εκείνη της περίπτωσης Α).

Επιπλέον, ο συγκεκριμένος σχεδιασμός είναι απαλλαγμένος από τον εξοπλισμό για το στάδιο του αρχικού τεμαχισμού της α' ύλης, και στις τρεις περιπτώσεις, αφού τα θρύμματα δεν απαιτούν τέτοια διεργασία.

Πίνακας 5.1 Προϋπολογισμός εγκατάστασης μικρο-μεσαίων μονάδων παραγωγής πελετών τριών διαφορετικών περιπτώσεων δυναμικότητας

| Περίπτωση παραγωγικής δυναμικότητας | Στάδιο - Διεργασία | Περιγραφή | Εξοπλισμός | Κόστος Α | Κόστος Β | Κόστος Γ |
|-------------------------------------|-----------------------------|--|--|----------|----------|----------|
| A,B | Φόρτωση α' ύλης | Το θρύμμα ή η ξυλόσκονη φορτώνεται σε ειδικό κοντέινερ - αποθήκη α' ύλης για τη ρύθμιση του ρυθμού τροφοδοσίας. | - Κοντέινερ - Αποθήκη 2,4 m ³ και - Εξαγωγέας και αλυσιδωτός τροφοδότης 5,5 kW | 19.500 | 18.000 | |
| Γ | | | - Κοντέινερ αποθήκευσης θρυμμάτων ξύλου με: ✓ ελαιοδυναμικό διαφορικό ✓ ειδική βάση ✓ χοάνη υποδοχής υλικού ✓ ατέρμονα δοσομετρικής εξαγωγής 14 kW | | | 34.600 |
| B | Απομάκρυνση ξένων στοιχείων | Σε περίπτωση που τα θρύμματα μπορεί να εμπεριέχουν ξένα σώματα όπως πέτρες και καρφιά, αυτά πρέπει να διαχωριστούν και να απομακρυνθούν. | - Ταινιόδρομος 0,7 kW | - | 6.500 | |
| Γ | | | - Μεταφορική ταινία 0,75 kW | | | 6.900 |
| B,Γ | | | - Σταθερός μαγνήτης για απομάκρυνση σιδηρούχων μετάλλων (πρόκες κ.α.) | - | 4.300 | 4.300 |
| B | | | - Κυκλικό παλλόμενο κόσκινο για την απομάκρυνση υλικών διαμέτρου μεγαλύτερης από 20 mm (1,5 kW) | - | 7.700 | |
| Γ | | | - Κυκλικό παλλόμενο κόσκινο για την απομάκρυνση υλικών διαμέτρου μεγαλύτερης από 25 mm (1,5 kW) | | | 10.500 |
| A,B | Μεταφορά προς ξήρανση | | - Ατέρμων κοχλίας μεταφοράς του υλικού 3 kW | 5.000 | 5.000 | |
| Γ | | | - Ατέρμων κοχλίας μεταφοράς του υλικού 4 kW | | | 6.400 |

Πίνακας 5.1 Προϋπολογισμός εγκατάστασης μικρο-μεσαίων μονάδων παραγωγής πελετών τριών διαφορετικών περιπτώσεων δυναμικότητας (συνέχεια)

| Περίπτωση παραγωγικής δυναμικότητας | Στάδιο - Διεργασία | Περιγραφή | Εξοπλισμός | Κόστος Α | Κόστος Β | Κόστος Γ |
|-------------------------------------|--------------------|--|---|----------|----------|----------|
| A | Ξήρανση | Η μονάδα ξήρανσης αποτελείται από περιστρεφόμενο τύμπανο, υποσύστημα μεταφοράς υλικού και καυστήρα τροφοδοτούμενο με πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή θρύμμα ξύλου. Η παραγωγική ικανότητα που αναφέρεται ισχύει για: ✓ αρχική υγρασία 50% ✓ τελική υγρασία 12% ✓ θερμοκρασία περιβάλλοντος 0 °C. | - Κύρια μονάδα ξηραντηρίου 18 kW: ✓ Παραγωγική ικανότητα 400 kg/h ✓ Σύστημα κυκλώνα για την απομάκρυνση της σκόνης ✓ Εξωτερικό τύμπανο και εσωτερικό τύμπανο αντιστρόφως περιστρεφόμενα ✓ Κώνος συλλογής και συσκευασίας σκόνης ✓ Φίλτρο σκόνης (απαιτείται από τη νομοθεσία) | 85.800 | | |
| B | | | - Κύρια μονάδα ξηραντηρίου 18 kW: ✓ Παραγωγική ικανότητα 572 kg/h | | 117.900 | |
| Γ | | | - Κύρια μονάδα ξηραντηρίου 42 kW: ✓ Παραγωγική ικανότητα 1480 kg/h | | | 211.200 |
| B | | Περιφερειακός εξοπλισμός μονάδας ξήρανσης | - Κυκλώνας σκόνης: ✓ Με εξωτερικό και εσωτερικό τύμπανο αντιστρόφως περιστρεφόμενα με κάδο συλλογής 3 kW | | 11.000 | |
| Γ | | | - Κυκλώνας σκόνης: ✓ Με εξωτερικό και εσωτερικό κύλινδρο αντιστρόφως περιστρεφόμενα με κάδο συλλογής 4 kW | - | | 13.300 |
| B | | | - Φίλτρο σκόνης 4,5 kW | | 19.500 | |
| Γ | | | - Φίλτρο σκόνης 16,5 kW | - | | 49.700 |
| | | | | | | |

Πίνακας 5.1 Προϋπολογισμός εγκατάστασης μικρο-μεσαίων μονάδων παραγωγής πελετών τριών διαφορετικών περιπτώσεων δυναμικότητας (συνέχεια)

| Περίπτωση παραγωγικής δυναμικότητας | Στάδιο - Διεργασία | Περιγραφή | Εξοπλισμός | Κόστος Α | Κόστος Β | Κόστος Γ |
|-------------------------------------|------------------------|--|---|----------|----------|----------|
| A,B,Γ | Κονιορτοποίηση α' ύλης | Κονιορτοποίηση με σύστημα αέρα για την ελαχιστοποίηση των διαστάσεων του θρύμματος (<6 mm) ώστε η α' ύλη να περάσει στο στάδιο της πελετοποίησης. Στο στάδιο αυτό αφαιρούνται όλα τα σιδηρούχα υλικά που μπορεί να είναι αναμεμιγμένα με το θρύμμα. Και οι τρεις μύλοι κονιορτοποίησης που περιγράφονται περιλαμβάνουν: ✓ 2 ημικυκλικά φίλτρα έτοιμου προϊόντος ✓ 4 αντιδονητικές βάσεις | - Κοχλίας μεταφοράς α' ύλης 2,2 kW | 5.000 | 2.200 | 2.200 |
| B,Γ | | | - Χοάνη τροφοδοσίας μύλου κονιορτοποίησης 3 m ² με εξαγωγή 1,1 kW | - | 4.300 | 4.300 |
| B,Γ | | | - Κοχλίας μεταφοράς α' ύλης στο μύλο κονιορτοποίησης 1,1 kW | - | 3.200 | 3.200 |
| A | | | - Μύλος κονιορτοποίησης α' ύλης 15-22 kW (εξαρτάται από το μέγεθος του θρύμματος) ✓ Επισκληρημένα σφυριά ✓ Με ενσωματωμένους διαχωριστήρες ξένων υλικών όπως μέταλλα, πέτρες κ.α. | 15.000 | | |
| B | | | - Μύλος κονιορτοποίησης α' ύλης 22 kW ✓ Πλήρης, με βαρυντικό διαχωριστή βαρέων στοιχείων (πέτρες, μέταλλα κ.α.) ✓ Επισκληρημένα σφυριά | | 18.000 | |
| Γ | | | - Μύλος κονιορτοποίησης α' ύλης 75 kW ✓ Πλήρης, με χοάνη και βαρυντικό διαχωριστή βαρέων στοιχείων (πέτρες, μέταλλα κ.α.) ✓ Επισκληρημένος θάλαμος θρυμματισμού με ειδικά σφυριά | | | 32.000 |
| B,Γ | | | - Ανιχνευτής σπινθήρων | - | 3.500 | 3.500 |
| B | | | - Εισπνευστήρας κονιορτοποιητή με σωλήνες σύνδεσης της χοάνης τροφοδοσίας της πρέσσας πελετών και σωλήνες σύνδεσης με τον κυκλώνα | - | 11.700 | |
| Γ | | | - Εισπνευστήρας κονιορτοποιητή με κανάλια τροφοδοσίας της πρέσσας, μέσω του κυκλώνα, με καταστολέα σπινθήρων | - | | 14.100 |

Πίνακας 5.1 Προϋπολογισμός εγκατάστασης μικρο-μεσαίων μονάδων παραγωγής πελετών τριών διαφορετικών περιπτώσεων δυναμικότητας (συνέχεια)

| Περίπτωση παραγωγικής δυναμικότητας | Στάδιο - Διεργασία | Περιγραφή | Εξοπλισμός | Κόστος Α | Κόστος Β | Κόστος Γ |
|-------------------------------------|---------------------|--|--|----------|----------|----------|
| B | Πελετοποίηση | Κατά το στάδιο της πελετοποίησης και πριν από αυτή, πραγματοποιείται και η ομογενοποίηση του υλικού, εντός του ίδιου μηχανήματος, μέσω διοχεύσεως νερού, σε περίπτωση που η υγρασία της α' ύλης είναι μικρότερη από 12%. Μετά την ομογενοποίηση, το υλικό εισέρχεται στον κύριο θάλαμο της πελετοποίησης, όπου 2 ράουλα συμπιέζουν το υλικό μέσα στις οπές της μήτρας. Στον εξοπλισμό που περιγράφεται περιλαμβάνονται 2 σετ ράουλων πίεσης, το 1 εγκατεστημένο και το άλλο εφεδρικό. Στον εξοπλισμό που περιγράφεται περιλαμβάνονται 2 μήτρες με οπές των 6 mm, η 1 εγκατεστημένη και η άλλη εφεδρική. Στην εξωτερική πλευρά της μήτρας, ειδικά μαχαίρια κόβουν τις παραγόμενες πελέτες στο επιθυμητό μήκος. Λόγω της πολύ υψηλής εφαρμοζόμενης πίεσης, η θερμοκρασία των έτοιμων πελετών ανέρχεται στους 70-80 °C. | - Κοντέινερ 1800 lt ραφιναρισμένης α' ύλης με δείκτη φόρτωσης και αναδευτήρα 2,2 kW | - | 7.800 | |
| Γ | | | - Κοντέινερ 1800 lt ραφιναρισμένης α' ύλης με δείκτη πλήρωσης 4 kW | | | 9.800 |
| B | | | - Σιλό με ατέρμωνα εξαγωγής για την τροφοδοσία της πρέσσας 4,5 kW | - | 4.900 | |
| Γ | | | - Ατέρμων εξαγωγής α' ύλης με ελεγκτή πίεσης 4,5 kW | | | 6.100 |
| A | | | - Πρέσσα πελλετοποίησης IOTA 25 / 30 kW (συνολικής ισχύος 31,18 kW) ✓ Κατάλληλη για ξύλο ✓ Χοάνη με αναδευτήρα και κυκλώνα ✓ Δοσομετρητής τροφοδοσίας ✓ Πιεστικός τροφοδότης ✓ Αυτόματο σύστημα λίπανσης ✓ Δοσομετρικό σύστημα πρόσθεσης υγρασίας στην α' ύλη | 35.000 | | |
| B | | | - Πρέσσα πελλετοποίησης CH133 (45 kW) ✓ Ειδική για ξύλο ✓ Αυτόματο σύστημα λίπανσης 2,2 kW ✓ Υπετροφοδότης 0,75 kW ✓ Σύστημα υγρασίας 0,18 kW | | 47.700 | |
| Γ | | | - Πρέσσα πελλετοποίησης TAU51 (138,43 kW) ✓ Ειδική για ξύλο ✓ Με ρύθμιση κατάστασης α' ύλης ✓ Υπετροφοδότης ✓ Ανυψωτής μήτρας ✓ Αυτόματη λίπανση ✓ Χειροκίνητη τροφοδοσία νερού | | | 81.000 |

Πίνακας 5.1 Προϋπολογισμός εγκατάστασης μικρο-μεσαίων μονάδων παραγωγής πελετών τριών διαφορετικών περιπτώσεων δυναμικότητας (συνέχεια)

| Περίπτωση παραγωγικής δυναμικότητας | Στάδιο - Διεργασία | Περιγραφή | Εξοπλισμός | Κόστος Α | Κόστος Β | Κόστος Γ |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--|---|----------|----------|----------|
| Β | Μεταφορά | | - Μεταφορικός εξοπλισμός έτοιμων καυτών πελετών 0,37 kW | - | 5.500 | |
| Γ | | | - Εξοπλισμός μεταφοράς και απομάκρυνσης καυτών πελετών 0,75 kW | | | 6.000 |
| Α | Κοσκίνιση | Κατά το στάδιο του κοσκινίσματος απομακρύνεται η ανεπιθύμητη σκόνη από τις έτοιμες πελέτες. | - Κοκλικό δονητικό κόσκινο από ανοξείδωτο ατσάλι A151 304 (1,5 kW) | 4.000 | | |
| Β | | | - Κοκλικό δονητικό κόσκινο από ανοξείδωτο ατσάλι (0,37 kW) | | 7.700 | |
| Γ | | | - Κοκλικό δονητικό κόσκινο από ανοξείδωτο ατσάλι (1,5 kW) | | | 10.500 |
| Β | Ψύξη | Ακολουθώς, απαιτείται η ψύξη των πελετών κατά προτίμηση σε θερμοκρασία 3-5 °C ώστε η εμπεριεχόμενη λιγνίνη στο ξύλο να συγκολλήσει τις πελέτες και να παραχθεί προϊόν καλής ποιότητας, υψηλής σκληρότητας που θρυμματίζεται δύσκολα. | - Ανακυκλωτής σκόνης με ψύξη πελετών: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ηλεκτρικό βεντιλατέρ για την ψύξη των πελετών με ταυτόχρονη ανάκτηση σκόνης 7,5 kW ✓ Σωλήνες σύνδεσης μεταξύ συλλέκτη ξυλόσκονης και πρέσσας | - | 12.500 | |
| Γ | | | - Γραμμή ανάκτησης ξυλόσκονης και ψύξης πελετών με: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Τουρμπίνα αέρα με σωληνώσεις τροφοδοσίας ✓ Κυκλώνα ✓ Εισπνευστή 7,5 kW | | | 14.400 |
| Α | Μεταφορά έτοιμου προϊόντος | | - Ταινία μεταφοράς (0,37 kW) | 3.500 | | |
| Β,Γ | | | - Ανελκυστήρας με κουβάδες 1,1 kW | | 5.800 | 5.800 |

Πίνακας 5.1 Προϋπολογισμός εγκατάστασης μικρο-μεσαίων μονάδων παραγωγής πελετών τριών διαφορετικών περιπτώσεων δυναμικότητας (συνέχεια)

| Περίπτωση παραγωγικής δυναμικότητας | Στάδιο - Διεργασία | Περιγραφή | Εξοπλισμός | Κόστος Α | Κόστος Β | Κόστος Γ |
|-------------------------------------|---|--|---|---|---|----------------|
| A | Συσκευασία (ενσάκιση) | Οι έτοιμες πελέτες μπορούν να τοποθετηθούν σε σιλό ή να φορτωθούν κατ' ευθείαν σε ειδικά φορτηγά, ή να ενσακιστούν σε σακούλες των 10-25 κιλών ή να μπουν σε μεγάλες σακούλες (big bags). Οι μηχανές ζύγισης και ενσακισμού μπορεί να είναι χειροκίνητες, ημιαυτόματες ή πλήρως αυτοματοποιημένες με παλετοποίηση και περιτύλιξη. | - Χοάνη πελετών από κράμα ψευδαργύρου-σιδήρου | 3.600 | | |
| A | | | - Απλή μονάδα πακεταρίσματος ✓ Με ζυγιστήριο και θερμοσυγκολλητικό για πλαστικές σακούλες των 25 kg | 8.500 | | |
| B | | | - Χειροκίνητος ενσακιστής μικρών σάκων ✓ με <u>χοάνη τροφοδοσίας</u> και θερμοσυγκόλληση | | 10.450 | |
| Γ | | | - Χειροκίνητος ενσακιστής μικρών σάκων ✓ με <u>χοάνη τροφοδοσίας</u> , χειροκίνητη μηχανή συσκευασίας και θερμοκολλητικό | | | 17.300 |
| B,Γ | | | - Μηχανή εξωτερικής περιτύλιξης 0,37 kW | - | 6.500 | 6.200 |
| B | | | - Μονάδα ενσάκισης σε μεγάλες σακούλες | | 6.500 | |
| Γ | | | - Συσκευαστήριο σε μεγάλες σακούλες | - | | 9.900 |
| A | | | Φιλτράρισμα | Το φιλτράρισμα είναι υποχρεωτικό κατά τις περιβαλλοντικές διατάξεις της Ε.Ε.. | - Απλή μονάδα φίλτρου εφοδιασμένη με σειρά από φίλτρα βάμβακος, ηλεκτρική αναρρόφηση και σάκο συλλογής (1,5 kW) | 6.300 |
| B | - Μονάδα φιλτραρίσματος υψηλής πίεσης 10,5 kW | | | | 21.800 | |
| Γ | - Μονάδα φιλτραρίσματος υψηλής πίεσης 10,5 kW | | | | | 28.000 |
| A,B | Επιπλέον εξοπλισμός | Αυτοματοποίηση της μονάδας παραγωγής | - Ηλεκτρικός πίνακας λειτουργίας διασυνδεδεμένος με τις επιμέρους μονάδες που εξασφαλίζει την αυτοματοποίηση του συστήματος | 27.800 | 58.050 | |
| Γ | | | - Σύστημα αυτοματισμού εντολών και και επικοινωνίας υποσυστημάτων της μονάδας | | | 95.800 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ | | | | 219.000 | 428.000 | 687.000 |

5.3 Μεσαίες μονάδες παραγωγής πελετών

- Η ιταλική εταιρεία General Dies (www.generaldies.com) παρέχει ολοκληρωμένες λύσεις μηχανολογικού εξοπλισμού για μονάδες παραγωγής πελετών ξύλου διαμέτρου 6 mm, ανάλογα με το είδος της διαθέσιμης α' ύλης, το ποσοστό υγρασίας αυτής, την επιθυμητή δυναμικότητα της παραγωγής (ανά ώρα), την επιθυμητή συσκευασία του παραγόμενου προϊόντος και τη χώρα εγκατάστασης της μονάδας αυτής. (www.generaldies.com)

Σε γενικές γραμμές, η εταιρεία παρέχει, ανά διεργασία της παραγωγικής διαδικασίας και ανάλογα με τη δυναμικότητα της παραγωγικής μονάδας, τις εξής ενδεικτικές τιμές του αντίστοιχου μηχανολογικού εξοπλισμού, που παρατίθενται στον Πίνακα 5.2:

Πίνακας 5.2 Ενδεικτικές τιμές μηχανολογικού εξοπλισμού ανά διεργασία της μονάδας παραγωγής πελετών, ανάλογα με τη δυναμικότητά της

| <i>Διεργασία</i> | <i>Ενδεικτικές τιμές για μονάδα δυναμικότητας από 400 έως 4000 κιλά/ώρα (€)</i> |
|--------------------------------------|---|
| <i>Αρχικός τεμαχισμός (chipping)</i> | <i>από 20.000 έως 90.000</i> |
| <i>Ξήρανση</i> | <i>από 120.000 έως 800.000</i> |
| <i>Λεπτός τεμαχισμός (grinding)</i> | <i>από 10.000 έως 270.000</i> |
| <i>Άλεση (mixing)</i> | <i>από 25.000 έως 70.000</i> |
| <i>Πελετοποίηση</i> | <i>από 50.000 έως 200.000</i> |
| <i>Ψύξη</i> | <i>από 10.000 έως 80.000</i> |
| <i>Κοσκίνιση</i> | |
| <i>Συσκευασία</i> | <i>από 17.000 έως 130.000</i> |

Πιο συγκεκριμένα, η εταιρεία παρέχει τις εξής επιλογές αναφορικά με τα ανωτέρω χαρακτηριστικά:

1. Α' ύλη
 - Κορμοί και κλαδιά δέντρων
 - Ροκανίδια
 - Πριονίδια
2. Περιεχόμενη υγρασία α' ύλης
 - Μεγαλύτερη από 12%
 - Μικρότερη από 12%
3. Δυναμικότητα του μύλου πελετοποίησης (και άρα παραγωγική δυναμικότητα της μονάδας)
 - 150 kg/h
 - 200 - 240 kg/h

- 400 - 450 kg/h
- 750 - 800 kg/h
- 1,2 - 1,5 ton/h
- 2 - 2,5 ton/h
- 3,5 - 4 ton/h

4. Συσκευασία

- Σε μικρές σακούλες (15 - 25 kg)
- Σε μεγάλες σακούλες
- Σε μικρές και σε μεγάλες σακούλες

Για τις ανάγκες της εργασίας επιλέχθηκαν οι επιλογές που είναι υπογραμμισμένες σε καθένα από τα 1, 2, 3 και 4.

Βάσει των ανωτέρω επιλογών, για μονάδα παραγωγής πελετών που χρησιμοποιεί κορμούς δέντρων και κλαδιά ως α' ύλη και άρα απαιτούνται οι διεργασίες του αρχικού τεμαχισμού και του λεπτού τεμαχισμού ως στάδια της παραγωγικής διαδικασίας (βλ. ενότητες 3.3.3 και 3.3.7 αντίστοιχα), με ποσοστό υγρασίας μεγαλύτερο από 12% και έως 50% (που σημαίνει ότι απαιτείται το στάδιο της ξήρανσης όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.3.5), για δυναμικότητα μύλου πελετοποίησης 1,2 - 1,5 ton/h, με δυνατότητα συσκευασίας του παραγόμενου προϊόντος σε μικρές αλλά και σε μεγάλες σακούλες και για εγκατάσταση του εν λόγω εξοπλισμού στην Ελλάδα, η εν λόγω εταιρεία δίνει προσφορά στα **768.500 ευρώ** για το σύνολο του μηχανολογικού εξοπλισμού. (www.generaldies.com)

Ο εξοπλισμός που περιλαμβάνεται στην εν λόγω προσφορά απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1, συνδεδεμένος με την αντίστοιχη διεργασία που εξυπηρετεί.

Πιο συγκεκριμένα, στην προσφορά περιλαμβάνονται: (www.generaldies.com)

- Φορητό όχημα μεταφοράς της α' ύλης (1. στο Σχήμα 5.1) και σύστημα φόρτωσης αυτής στη γραμμή παραγωγής (2. έως 5. στο Σχήμα 5.1).
- Ξηραντήρας για τη διεργασία της ξήρανσης (9. στο Σχήμα 5.1).
- Σιλό αποθήκευσης του ενδιάμεσου προϊόντος και τροφοδοσίας του σταδίου του λεπτού τεμαχισμού (11. στο Σχήμα 5.1).
- Σφυρόμυλος για το στάδιο του λεπτού τεμαχισμού - άλεσης (13. έως 16. στο Σχήμα 5.1).
- Μύλος πελετοποίησης - Ψύκτήρας - Κόσκινο (19. έως 23. στο Σχήμα 5.1).
- Συσκευασία (26. έως 30. στο Σχήμα 5.1).
- Υπολογιστικό σύστημα και κοντέινερ αποθήκευσης των προϊόντων (33. και 32. στο Σχήμα 5.1).

Αντίθετα, στη συγκεκριμένη προσφορά δεν περιλαμβάνονται τα: (www.generaldies.com)

- Αποθήκη α' υλών
- Μηχάνημα αρχικού διαχωρισμού των προσμίξεων (6. έως 8. στο Σχήμα 5.1).
- Τεμαχιστής-Θρυμματιστής (wood chipper) για τον αρχικό τεμαχισμό, παρόλο που απαιτείται ως στάδιο εφόσον την α' ύλη αποτελούν κορμοί και κλαδιά δέντρων
- Κόσκινα για τις αντίστοιχες διεργασίες των ενοτήτων 3.3.4 και 3.3.10 (12. και 31. Στο Σχήμα 5.1)

- Αναδευτήρας conditioning για την προετοιμασία των λεπτών τεμαχιδίων προς πελετοποίηση (στάδιο πριν την πελετοποίηση - ενότητα 3.3.8)

Οι ενδεικτικές διαστάσεις του κτιρίου που απαιτείται για την εγκατάσταση και λειτουργία της εν λόγω μονάδας παραγωγής, ανά τμήμα είναι οι εξής:

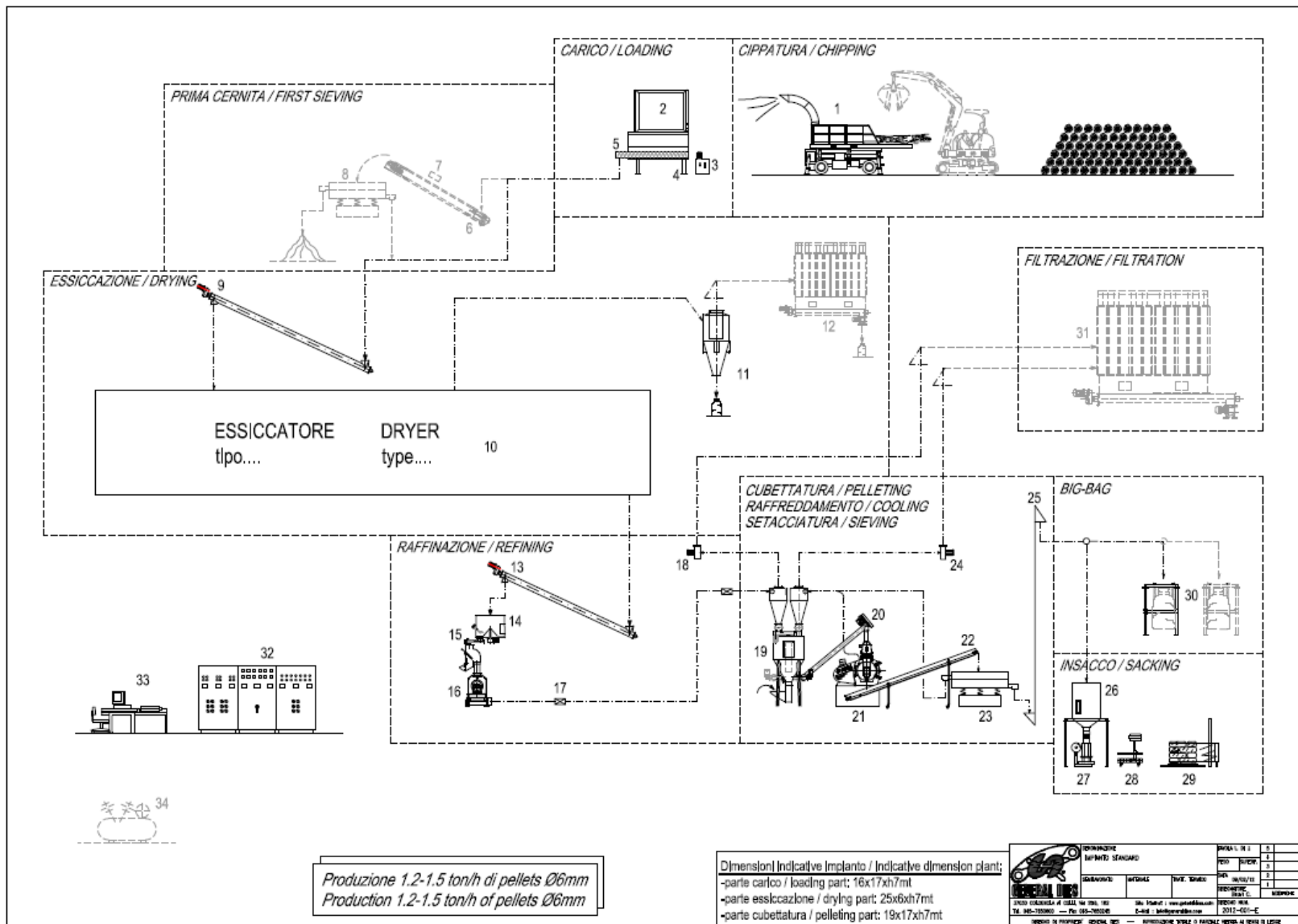
- Τμήμα φόρτωσης: 16 x 17 x 7 (ύψος) m.
- Τμήμα ξήρανσης: 25 x 6 x 7 (ύψος) m.
- Τμήμα πελετοποίησης: 19 x 17 x 7 (ύψος) m.

Στον ανωτέρω προϋπολισμό, θα πρέπει να συμπεριληφθεί ο απαιτούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός που δεν περιλαμβάνεται στην προσφορά.

Κατά τον υπολογισμό του κόστους εγκατάστασης του εξοπλισμού ανά kg/h παραγόμενου προϊόντος, λαμβάνοντας υπόψη τη μέση παραγωγικότητα που δίνεται (1,2-1,5 ton/h, μέσος όρος 1,35 ton/h), βρίσκεται ότι αυτός είναι $570 \frac{\text{€}}{\text{kg/h}}$. Το κόστος αυτό, συγκρινόμενο με το αντίστοιχο για την ανάλογη δυναμικότητα στην περίπτωση των μικρο-μεσαίων μονάδων που εξετάστηκαν στην παράγραφο 5.2 ($491 \frac{\text{€}}{\text{kg/h}}$), είναι μεγαλύτερο, παρόλο που στον τρέχοντα σχεδιασμό δεν συμπεριλαμβάνονται αρκετά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, και άρα εάν συμπεριληφθούν, θα ανεβάσουν το κόστος με υπολογίσιμο τρόπο.

Η διαφορά αυτή, η οποία, όπως είπαμε, θα αυξηθεί κι άλλο, συμπεριλαμβανομένου και του εξοπλισμού που έχει παραληφθεί, αποδίδεται πιθανώς στα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές του εξοπλισμού που θα εγκατασταθεί σε κάθε περίπτωση.

Επιπλέον, σε αυτή αλλά και στο σύνολο των περιπτώσεων εγκατάστασης μονάδων που εξετάζονται, θα πρέπει να συμπεριληφθεί το κόστος του οικοπέδου και των κτιριακών εγκαταστάσεων που απαιτούνται.



Σχήμα 5.1 Μηχανολογικός εξοπλισμός μονάδας παραγωγής πελετών δυναμικότητας 1,2-1,5 τόνων ανά ώρα - Προσφορά General Dies

5.4 Μεγάλες μονάδες παραγωγής πελετών

Η εργασία με τίτλο «Μελέτη σκοπιμότητας εργοστασίου παραγωγής πελετών από μικτή βιομάζα στην Ελλάδα» κατατέθηκε ως παραδοτέο στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα «Pellets@las» από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, από τους Σταματία Βουλγαράκη, Αθανάσιο Μπαλαφούτη και Γεώργιο Παπαδάκη. (Voulgaraki , Balafoutis , & Papadakis , 2009)

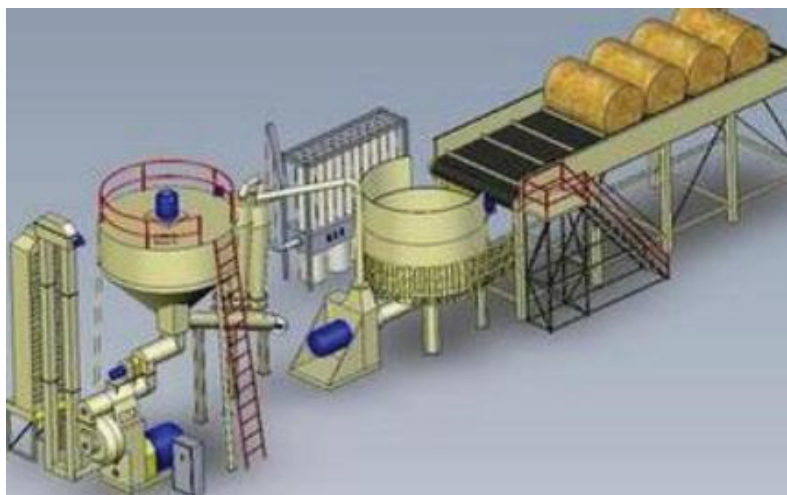
Η εργασία περιγράφει και αναλύει τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της επιλεγμένης περιοχής για την εγκατάσταση της μονάδας παραγωγής (Λάρισα), τη διαθεσιμότητα των διαφορετικών ειδών βιομάζας στη συγκεκριμένη περιοχή, τα χαρακτηριστικά ποιότητας και τις τιμές και προχωρά στο σχεδιασμό μεγάλης μονάδας παραγωγής πελετών, 3,5 - 5 ton/h, που τροφοδοτείται με μπάλες αχύρου τις οποίες παραλαμβάνει έτοιμες με δικό της μεταφορικό μέσο.

Ο σχεδιασμός βασίζεται σε εξοπλισμό των εταιρειών που διαθέτουν τα μηχανήματα παραγωγής:

- Bühler GmbH, Germany,
- DONG Energy,
- CPM (California Pellet Mill), USA,
- Sprout – Matador, Denmark,
- Amandus Kahl, Germany,
- Moretti Macchine, Italy,
- C.F. Nielsens Maskinfabrik, Denmark,
- Salmatec, Germany.

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός που περιγράφεται, βασίζεται στον εξοπλισμό που διαθέτουν οι συγκεκριμένες εταιρείες και περιλαμβάνει:

1. Μεταφορά της α' ύλης
2. Τεμαχισμό και άλεση
3. Μεταφορά προς κονιορτοποίηση
4. Απομάκρυνση ξένων στοιχείων
5. Πρέσση πελετοποίησης
6. Γραμμή συσκευασίας



Σχήμα 5.2 Γραμμή τεμαχισμού μπαλών αχύρου (πηγή: Voulgaraki , Balafoutis , & Papadakis , 2009)

Παρατηρείται ότι αφού στην προκειμένη περίπτωση η α' ύλη είναι αρκετά ξηρή, δεν περιλαμβάνεται στο σχεδιασμό η φάση της ξήρανσης.

Βάσει των ανωτέρω, προκύπτει ο προϋπολογισμός που περιγράφεται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 Προϋπολογισμός επένδυσης εγκατάστασης μονάδας παραγωγής πελετών δυναμικότητας 3,5-5 ton/h

| <i>Διεργασία</i> | <i>Κόστος (€)</i> |
|---|---|
| <i>Τεχνικός εξοπλισμός</i> | <i>1.800.000</i> |
| <i>Κτιριακή υποδομή 900 m² σε οικόπεδο 1200 m²</i> | <i>850.000</i> |
| <i>Αγορά και ανάπτυξη γης</i> | <i>(36 €/m² και 9€/m² αντίστοιχα) 540.000</i> |
| <i>Μεταφορικό φορτηγό έτοιμου προϊόντος VOLVO FH400 - 400hp</i> | <i>108.000</i> |
| <i>Όχημα φόρτωσης και μεταφοράς α' ύλης VOLVO L70 - 2m³ - 140 kW</i> | <i>120.000</i> |

Η συγκεκριμένη μελέτη έχει κοστολογήσει τον τεχνικό εξοπλισμό στο σύνολό του (1.800.000€ για δυναμικότητα 3,5-5 ton/h), ενώ περιλαμβάνει και ανάλυση κόστους παραγόντων πέραν του τεχνικού εξοπλισμού, που δεν εξετάστηκαν στις παραγράφους 5.2 και 5.3, αφού δεν αποτελούν άμεσο αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου, ωστόσο παρατίθενται στον Πίνακα 5.3, ως ενδεικτικοί παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σε μια τέτοια μελέτη, όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 5.3. (Voulgaraki , Balafoutis , & Papadakis , 2009)

Το κόστος εγκατάστασης τεχνικού εξοπλισμού ανά kg/h παραγόμενου προϊόντος, με υπολογισμό που λαμβάνει υπόψη τη μέση δυναμικότητα (3,5-5 ton/h, μέσος όρος 4,25 ton/h) Είναι $425 \frac{\text{€}}{\text{kg/h}}$. (Voulgaraki , Balafoutis , & Papadakis , 2009)

Σημειώνεται ότι, στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν περιλαμβάνεται ο τεχνικός εξοπλισμός για το στάδιο της ξήρανσης, αφού το είδος της α' ύλης δεν το απαιτεί, σε αντίθεση με τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν στις παραγράφους 5.2 και 5.3. Επιπλέον όμως, δεν περιλαμβάνεται ο εξοπλισμός ούτε για το στάδιο της ψύξης, παρόλο που αυτό αποτελεί οργανικό στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. (Parraglia, Gonzalez, & Saloni, 2010) (Obernberger & Thek, 2010) (Doring, 2013) (Kofman, 2007) (Voulgaraki , Balafoutis , & Papadakis , 2009)

Το κόστος εγκατάστασης τεχνικού εξοπλισμού ανά kg/h παραγόμενου προϊόντος, στην προκειμένη περίπτωση, υπολογίστηκε ότι είναι το μικρότερο, παρόλο που ο εξοπλισμός που έχει ληφθεί υπόψη είναι κατά βάση Γερμανικός, Δανέζικος και Αμερικάνικος, και άρα πληροί αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας. Βεβαίως, όμως, αν συμπεριληφθεί ο εξοπλισμός των σταδίων που δεν υπολογίστηκαν, το κόστος θα αυξηθεί σε μικρό βαθμό.

Και σε αυτή την περίπτωση, όπως και στις περιπτώσεις των μικρο-μεσαίων μονάδων παραγωγής (βλ. ενότητες 5.2 και 5.3), επιβεβαιώνεται ότι αυξανόμενης της δυναμικότητας μιας παραγωγικής μονάδας, μειώνεται το κόστος της επένδυσης σε τεχνικό εξοπλισμό ανά kg/h παραγόμενου προϊόντος.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ”

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, σε πρώτο επίπεδο, κατέδειξε την αναγκαιότητα για προώθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, αναγκαιότητα που εναρμονίζεται με την παγκόσμια τάση προστασίας του περιβάλλοντος, με περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου, συνυπολογίζοντας τη μακροπρόθεσμη εξάντληση των ορυκτών καυσίμων.

Εν συνεχεία, αποδείχθηκαν τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, σε όλα τα επίπεδα, οι διάφορες μορφές βιομάζας, χρησιμοποιούμενες για την παραγωγή ενέργειας, συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα αλλά και άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Τα πλεονεκτήματα αυτά επεκτείνονται σε επίπεδο περιβαλλοντικό, βάσει των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της βιομάζας, αλλά και σε επίπεδο οικονομικό, καθώς η τεχνολογία αξιοποίησης της βιομάζας αναπτύσσεται, συνυπολογίζοντας και τη διαχρονική αυξητική τάση της τιμής του πλέον χρησιμοποιούμενου συμβατικού καυσίμου, του πετρελαίου.

Μέσω της τεχνο-οικονομικής συγκριτικής μελέτης συμβατικών και εναλλακτικών συστημάτων οικιακής θέρμανσης υπολογίστηκε το κόστος εγκατάστασης αλλά και λειτουργίας μιας σειράς συστημάτων, καθώς και η αναμενόμενη απόσβεση που θα πραγματοποιηθεί στην περίπτωση αντικατάστασης λέβητα πετρελαίου με καυστήρα πελετών ξύλου.

Στην περίπτωση δε, της εξ' αρχής εγκατάστασης ενός συστήματος θέρμανσης, για παράδειγμα σε οικοδόμημα υπό κατασκευή, αποδείχτηκε ότι ένα εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης, όπως ο λέβητας βιομάζας αποτελεί ιδανική επιλογή, από όλες τις απόψεις.

Τέλος, κατά την τεχνο-οικονομική ανάλυση σχεδιασμού μονάδων παραγωγής πελετών, διαφόρων δυναμικοτήτων, κατέστη σαφές ότι το είδος της διαθέσιμης α' ύλης, η επιθυμητή δυναμικότητα της μονάδας αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τεχνικού εξοπλισμού επηρεάζουν άμεσα το κόστος εγκατάστασης μιας τέτοιας μονάδας. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλα κόστη όπως αυτά του οικοπέδου, της κτιριακής υποδομής και του εξοπλισμού μεταφοράς της α' ύλης και του τελικού προϊόντος. Σε κάθε περίπτωση, έγινε φανερό ότι αυξανόμενης της δυναμικότητας μιας παραγωγικής μονάδας, μειώνεται το κόστος της επένδυσης σε τεχνικό εξοπλισμό ανά kg/h παραγόμενου προϊόντος. Ωστόσο, κατά τη μελέτη σκοπιμότητας μιας τέτοιας επένδυσης, θα πρέπει απαραίτητα να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα διάθεσης του προϊόντος στην εγχώρια ή στην παγκόσμια αγορά, καθώς και η διαθεσιμότητα της α' ύλης που θα χρησιμοποιείται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agroenergy. Ιστοσελίδα εταιρείας αξιοποίησης ΑΠΕ: <http://www.agroenergy.gr>, , Ημ/νία πρόσβασης 14 Μαΐου 2016
- ALA Planning Partnership (Enviroment) Ltd, (Φεβρουάριος, 2013), Μελέτη εκτίμησης επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη δημιουργία μονάδας παραγωγής pellets, στην κοινότητα Βοροκκληνη, στη Λάρνακα.
- Balat, M. (2008), Mechanisms of Thermochemical Biomass Conversion Processes. Part 1: Reactions of Pyrolysis. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Vol. 30 (7), 620-635.
- Biomass guide, Ανάκτηση 2016, από Ιστοσελίδα ΚΑΠΕ: http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf
- Biomass.net, Ανάκτηση 2016, από Biomass Information Portal: <http://www.biomass.net/BioMaxEff>, (2014, Σεπτέμβριος), Οδηγός στερεών βιοκαυσίμων και λεβήτων βιομάζας για εφαρμογές οικιακής θέρμανσης. Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογική Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων.
- Bridgwater, A. (2009), Fast Pyrolysis of Biomass. Στο Thermal Biomass Conversion. eds: Bridgwater A.V., Hofbauer H., van Loo S., CPL Press.
- Doring, S. (2013), Power form Pellets: Technology and Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- EnergyPress - Δημοσιογραφικό ενημερωτικό portal για την ενέργεια, Ανάκτηση 2016, από [energypress.gr](http://www.energypress.gr): <http://www.energypress.gr>
- Hansen, M., Rosentoft Jein, A., Hayes, S., & Bateman, P. (2009), English Handbook for Wood Pellet Combustion. PELLETSATLAS Project.
- Kofman, P. (2007), The production of wood pellets. Ireland: woodenergy.ie.
- NPRO Engineering, Ltd (2010), Μελέτη εκτίμησης επιπτώσεων στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία σταθμού επεξεργασίας στερεάς βιομάζας στην Αραδίππου, για λογαριασμό της εταιρείας G. J. New Energy Ltd.
- Obernberger, I., & Thek, G. (2010), The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Pellets. Earthscan.
- Orykta.gr, Ανάκτηση Μάιος 3, 2016, από www.orykta.gr
- Parraglia, A., Gonzalez, R., & Saloni, D. (2010), Wood Pellets Feasibility: Techno-Economical Analysis of Wood Pellets Production from U.S. Manufacturers. BioResources 5 (4), 2374-2390.
- Voulgaraki, S., Balafoutis, A., & Papadakis, G. (2009). *MBP pre-feasibility study GREECE, Feasibility Study for a Mixed Biomass Pellets Manufacturing Plant in Greece.* available at: pelletsatlas.info: Deliverable to the EU Project "Pellets@las", AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS.
- Wikipedia, Ανάκτηση 2016, από el.wikipedia.org
- www.eco-heat.gr. Ανάκτηση Σεπτέμβριος 2016 από Ιστοσελίδα εταιρείας Π. Βροντάνης & ΣΙΑ Ο.Ε.: www.eco-heat.gr
- www.generaldies.com. Ανάκτηση Σεπτέμβριος 2016 από Ιστοσελίδα εταιρείας General Dies S.r.l. - Italy: www.generaldies.com
- Αγγελίδης, Α. (2013). Θέρμανση κατοικιών, Πόρισμα Ο.Ε. του ΤΕΕ/ΤΚΜ. Τεχνογράφημα, ΤΕΕ Ελλάδα, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Τεύχος 462, 12-14.

- Αμανατίδης, Ε., Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Ενότητα 9: Εισαγωγή στη Βιομάζα, Πηγές - Ιδιότητες - Βιοκαύσιμα. Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ανανεώσιμες - Ήπιες Πηγές Ενέργειας. (2008), Πρόγραμμα Ανοικτών Περιβαλλοντικών Τάξεων - "Καλλιστώ". Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης II.
- Βούλγαρης, Ι. (2005), Διπλωματική εργασία. Πηγές ενέργειας και μετατροπή τους σε ηλεκτρική ενέργεια. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- ΔΕΗ Α.Ε., Ιστοσελίδα www.dei.gr, Ημ/νία πρόσβασης 22 Ιουνίου 2016.
- Εγχειρίδιο καυσίμων ξύλου, ΚΑΠΕ, Biomass trade centre 2, 2008.
- Ελευθεριάδης, Ι. (2013), Δυναμικό βιομάζας και στερεά βιοκαύσιμα. Τμήμα Βιομάζας, ΚΑΠΕ.
- Ελευθεριάδης, Ι. (28 Μαρτίου 2013), Στερεά ξυλώδη βιοκαύσιμα και παραγωγή θερμότητας. Ημερίδα "Ρύπανση από Αιθαλομίχλη". Τμήμα Βιομάζας ΚΑΠΕ, ΤΕΕ.
- Εταιρεία Παροχής Αερίου Αττικής Α.Ε.: <http://www.aerioattikis.gr/>, Ημ/νία πρόσβασης 21 Ιουνίου 2016.
- Ιστοσελίδα Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και εξοικονόμησης Ενέργειας, Ανάκτηση 2016, από ΚΑΠΕ: www.cres.gr
- Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ανάκτηση Απρίλιος 2, 2016, από <http://www.ypeka.gr>
- Ιστοσελίδα: Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας, Ανάκτηση Απρίλιος 2, 2016, από <http://www.allaboutenergy.gr>
- Ιστοσελίδα www.enplus-pellets.eu, Ημ/νία πρόσβασης 22 Ιουνίου 2016.
- Κακαράς Εμ., Καρέλλας Σ., Βουρλιώτης Π., Γραμμέλης Π., Πάλλης Π., Καραμπίνης Εμ. (2013) Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων ΕΜΠ, Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων, ΕΚΕΤΑ.
- Κακαράς Εμ., Καρέλλας Σ., Βουρλιώτης Π., Γραμμέλης Π., Πάλλης Π., Καραμπίνης Εμ. (2014) Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες, Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων ΕΜΠ, Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων, ΕΚΕΤΑ.
- Καμπερίδου, Β., & Μπαρμπούτης, Ι. (2011), Η χρήση της δασικής βιομάζας για παραγωγή ενέργειας. 15ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, 16-19 Οκτωβρίου 2011. Καρδίτσα. ΚΑΠΕ. (2006), Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για Δυνητικούς Χρήστες.
- Κατσίρη, Α. (2010-2011), Ενέργεια από βιομάζα. Εισαγωγή στην ενεργειακή τεχνολογία, Ενέργεια από βιομάζα. Αθήνα: Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.
- Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς. (2008), Ενέργεια και Περιβάλλον. Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα, Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης II.
- Λυμπεράτος, Γ. (6 Οκτωβρίου 2013), Αναερόβια χώνευση - Κομποστοποίηση: Απαραίτητος συνδυασμός για ολοκληρωμένη ενεργειακή αξιοποίηση οργανικών αποβλήτων. Ενέργεια από βιομάζα: Ενεργειακή αξιοποίηση γεωργικών υπολειμμάτων και αφροτοβιομηχανικών αποβλήτων. Αττική.
- Νόμος υπ' αριθ. 3851 (4 Ιουνίου 2010), Αρ. Φύλλου 85.
- ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23^{ης} Απριλίου 2009.
- Οδηγός για τη διακίνηση καυσόξυλων, Γενική Γραμματεία Εμπορίου - ΚΑΠΕ, 2012
- Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων, Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας: <http://www.fuelprices.gr/>, Ημ/νία πρόσβασης 21 Ιουνίου 2016.

- Σύνδεσμος Εταιριών Εμπορίας Πετρελαιοειδών Ελλάδας, www.seere.gr, Ημ/νία πρόσβασης 21 Ιουνίου 2016.
- ΤΙΜΕΣ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ - ΥΠ.Ε.Α.: <http://oil.gge.gov.gr/>, Ημ/νία πρόσβασης 21 Ιουνίου 2016.
- Τριανταφυλλίδης, Κ. (2012). Αξιοποίηση βιομάζας για παραγωγή καυσίμων και χημικών: Έρευνα & Τεχνολογία - Περιβάλλον - Οικονομία. Διαλέξεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Πράσινη Χημεία", Τμήμα Χημείας, Εργαστήριο Γενικής & Ανόργανης Χημικής Τεχνολογίας, ΑΠΘ.
- Τσακαλάκης, Κ. (n.d.). Παραγωγή ενέργειας από συμβατικά ορυκτά καύσιμα και εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Σημειώσεις, Αναπλ. Καθηγητής, Σχολή Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.
- Υ.Α. 198/2013, ΦΕΚ Β 2499/4.10.2013 Καύσιμα στερεής βιομάζας για μη βιομηχανική χρήση - Απαιτήσεις Μεθόδων και Δοκιμών.
- Υ.Α. 36060/1155/Ε.103/2013, ΦΕΚ 1450, (14 Ιουνίου 2013).
- Φουντή, Μ. (2004). Καύσιμα. Σημειώσεις, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.
- Χαραλαμπίδης, Δ. Α. (n.d.). Βιομάζα, Σημειώσεις. Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Χατζηαθανασίου, Β., & Καδή, Σ. (2015). Σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας, Ενότητα 3: Καύσιμα. Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ψημμένος, Σ. (2010, 21 Νοεμβρίου). Τεχνοοικονομικά δεδομένα στην χρήση βιομάζας. 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας, Συνεδριακή Ημερίδα για τις τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας.

Αθήνα

Ιανουάριος - 2018