



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***«ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ
ΜΕΣΩ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ RANKINE
(ORC)»***

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Μουμούρη Σωτηρίου

Επιβλέπων

Κος. Καρέλλας Σωτήριος, Καθηγητής
Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

« Η Φύση δεν γνωρίζει εξαφάνιση αλλά μεταμόρφωση...»

Αναξαγόρας 500-427 π.Χ.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

*«Ενεργειακή Αναβάθμιση Πυρηνολιουργείων μέσω Τεχνολογίας Οργανικού
Κύκλου Rankine (ORC)»*

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Κος. Καρέλλας Σωτήριος, Καθηγητής
Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

.....
Κος. Καρέλλας Σωτήριος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.,
Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

.....
Κος. Χατζηαργυρίου Νικόλαος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.,
Σχολής Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών

.....
Κος. Βλυσίδης Απόστολος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.,
Σχολής Χημικών Μηχανικών

.....
Μουμούρης Σωτήριος

Πτυχιούχος Γεωπόνος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Copyright © Μουμούρης Σωτήριος, 2020.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, η αποθήκευση και η διανομή της παρούσας εργασίας εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Δύναται η ανατύπωση, η αποθήκευση και η διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Οποιαδήποτε ερωτήματα κερδοσκοπικής φύσεως πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό τ έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Ενεργειακή Αναβάθμιση Πυρηνελαιουργείων μέσω Τεχνολογίας Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC)»

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

Μουμούρης Σωτήριος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Κος. Καρέλλας Σωτήριος, Καθηγητής
Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:

2019-2020

Σύνοψη

Βασικό αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνο-οικονομική ανάλυση εγκατάστασης Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC) σε υφιστάμενη μονάδα παραγωγής πυρηνέλαιου με ταυτόχρονη εκμετάλλευση τοπικής υπολειμματικής βιομάζας (κλαδέματα ελιάς) για παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων μέσω μονάδας Pellet. Ειδικότερα το πυρηνελαιουργείο μελετήθηκε με βάση τις καταναλώσεις σε καύσιμο και ηλεκτρική ενέργεια και διερευνήθηκε η αναβάθμισή του ως προς το τμήμα ξήρανσης, μέσω της εγκατάστασης ενός νέου ενεργειακά αποδοτικότερου ξηραντήρα, με στόχο τη μείωση τους. Στη συνέχεια μελετήθηκε η εγκατάσταση μονάδας ORC, της οποίας οι θερμικές απαιτήσεις θα καλύπτονται από την αξιοποίηση του υφιστάμενου εξοπλισμού του πυρηνελαιουργείου. Το μεγαλύτερο μέρος της απαίτησης σε καύσιμο (πυρηνόξυλο) θα προέρχεται μέσω της εξοικονόμησης από την εγκατάσταση του νέου ξηραντήρα. Σκοπός είναι να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια η οποία θα διατίθεται προς πώληση στο δίκτυο αλλά και θα καλύπτει τις ηλεκτρικές απαιτήσεις κατά την περίοδο μέγιστης ζήτησης (ταυτόχρονη ή/και μεμονωμένη λειτουργία) των παρακάτω υπό μελέτη μονάδων:

- **Μονάδα Παραγωγής Πυρηνέλαιου** (Πυρηνελαιουργείο)
- **Μονάδα Παραγωγής Στερεών Βιοκαυσίμων** (Μονάδα Pellet)
- **Μονάδα Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC)**

Τέλος, εκτός από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια το προτεινόμενο σύστημα έχει και σαν στόχο να τροφοδοτεί με θερμότητα (ζεστό νερό) την γύρω περιοχή, καθώς η κύρια χρήση της θα είναι ο αγροτοβιομηχανικός τομέας.

Η εγκατάσταση της μονάδας παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων έγκειται στο γεγονός ότι θα αξιοποιεί τον αναβαθμισμένο εξοπλισμό του τμήματος ξήρανσης του πυρηνελαιουργείου κατά τη περίοδο μη λειτουργίας του, για ξήρανση της υπολειμματικής βιομάζας που θα έχει συλλεχθεί και προ κατεργαστεί κατά το στάδιο συγκομιδής του ελαιόκαρπου (κλαδέματα ελιάς). Σκοπός είναι η παραγωγή και η προώθηση pellet προς βιομηχανική κατανάλωση.

Στόχος της μελέτης είναι η αναβάθμιση των πυρηνελαιουργείων μέσω της παραγωγής μεγαλύτερου εύρους προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας (Ηλεκτρισμός, Αναβαθμισμένα Στερεά Βιοκαύσιμα, Κάλυψη Θερμικών Απαιτήσεων), της αύξησης του χρόνου λειτουργίας τους αλλά και της δημιουργίας αποκεντρωμένων παραγωγών ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω αξιοποίησης τεχνολογιών συμπαραγωγής (ORC) με χρήση υπολειμματικής βιομάζας.

Περίληψη

Βασικό αντικείμενο της μελέτης είναι η διαχείριση και η μεταποίηση της υπολειμματικής βιομάζας με ταυτόχρονη αναβάθμιση των υφιστάμενων βιομηχανιών τροφίμων έχοντας ως στόχο την μετατροπή τους σε κέντρα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας μέσω τεχνολογιών συμπαραγωγής. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος μελετήθηκαν και αναλύθηκαν τεχνικό-οικονομικά τα παρακάτω:

Αρχικά έγινε μια εισαγωγή σε βασικές έννοιες που σχετίζονται με το περιεχόμενο που πραγματεύεται η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκαν οι ορισμοί της Βιομάζας και των Βιοκαυσίμων, αναλύθηκε η έννοια της Ενέργειας και του τρόπου μετατροπής της σε αξιοποιήσιμες μορφές καθώς και η εφαρμογή μονάδων Συμπαραγωγής με χρήση Βιομάζας.

Ξεκινώντας την ανάλυση για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων μελετήθηκαν ως βιομάζα τα κλαδέματα ελιάς. Αναλυτικότερα έγινε σύγκριση μεταξύ των διαδικτυακών εργαλείων ως προς την συνολική καλλιεργούμενη έκταση ελαιώνων με τα αντίστοιχα δυναμικά βιομάζας και προσδιορίστηκε το συνολικό δυναμικό υπολειμματικής βιομάζας κλαδιών στον Ελλαδικό χώρο σε επίπεδα (NUTS) 1,2 & 3, σύμφωνα με υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν από τα δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, των ευρωπαϊκών διαδικτυακών Πλατφορμών S₂BIOM & BioRaise αλλά και της διαδικτυακής πλατφόρμας MyGIS, που δημιουργήθηκε από το Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΙΠ) του Εθνικού Κέντρου Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου AGROinLOG. Η αναζήτηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων με το αντίστοιχο δυναμικό ξεκίνησε με ελάχιστη χιλιομετρική απόσταση τα 5 km και με μέγιστη τα 25 km. Στόχος ήταν η εύρεση της κατάλληλης απόστασης από τις υπομελέτη μονάδες οι οποίες θα παρείχαν το αναγκαίο δυναμικό με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος διαχείρισης υπολειμματικής βιομάζας. Τέλος, προσδιορίστηκε η εποχικότητα διαφόρων καλλιεργειών στην περιοχή με πιθανή αξιοποίηση τους για την κάλυψη των απαραίτητων θερμικών αναγκών ή την παραγωγή pellet.

Στη συνέχεια μελετήθηκε το Πυρηνελαιουργείο της ΕΛΣΑΠ Α.Ε., που βρίσκεται στην περιφερειακή ενότητα Αργολίδος του Δήμου Άργους-Μυκηνών, ως προς τις καταναλώσεις του στα τμήματα ξήρανσης και εκχύλισης μαζί με τις αντίστοιχες παραγωγές σε προϊόντα (Πυρηνόξυλο και Πυρηνέλαιο). Μετά τους απαραίτητους υπολογισμούς και σε επικοινωνία με την Ισπανική εταιρεία ξηραντήρων Recalor, από το τμήμα ξήρανσης αναβαθμίστηκαν δυο από τους τέσσερις υφιστάμενους ξηραντήρες με έναν ενεργειακά αποδοτικότερο. Τα αποτελέσματα της αναβάθμισης συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της υφιστάμενης κατάστασης και υπολογίστηκε το ποσοστό του κόστους εξοικονόμησης σε καύσιμο και ηλεκτρική ενέργεια, το οποίο ισούται με 26.6%. Ο νέος ξηραντήρας έχει επίσης τη δυνατότητα να αποξηραίνει και στερεή υπολειμματική βιομάζα. Έτσι με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα εγκατάστασης μιας μονάδας παραγωγής pellet δίπλα στο πυρηνελαιουργείο, αξιοποιώντας τον εξοπλισμό του. Επίσης, έγινε και μία οικονομική προσέγγιση των εσόδων και εξόδων της μονάδας.

Η μονάδα Pellet μελετήθηκε στο πλαίσιο της διαχείρισης και μεταποίησης της υπολειμματικής βιομάζας. Συγκεκριμένα έχοντας επιλέξει την κατάλληλη χιλιομετρική απόσταση με κέντρο το πυρηνελαιουργείο, υπολογίστηκε μέσω του διαδικτυακού προγράμματος MyGIS το δυναμικό βιομάζας που θα αποφέρει την ετήσια προσδοκώμενη παραγωγή pellet. Παράλληλα,

προσδιορίστηκε το κόστος διαχείρισης της υπολειμματικής βιομάζας για συνολική ποσότητα 5,450 tDM κλαδεμάτων ελιάς σε μια απόσταση 10 km από την μονάδα μελέτης. Μετά από την χρήση του νέου ξηραντήρα για τους παραγωγικούς σκοπούς της μονάδας η τελική εξοικονόμηση παρουσίασε μια πτώση της τάξης του 4.5%. Αφού υπολογίστηκαν τα βασικά μεγέθη (ακτίνα συλλογής, ποσότητα βιομάζας και τιμή διαχείρισης βιομάζας) έγινε μια προσέγγιση σε ότι αφορά την οικονομική ανάλυση τους κόστους εγκατάστασης της μονάδας με τα αντίστοιχα έξοδα και έσοδα. Η τιμή πώλησης των pellet ορίστηκε μετά από ανάλυση ευαισθησίας.

Αφού μελετήθηκαν οι μονάδες Πυρηνελαιουργείου και Pellet ως προς τις καταναλώσεις τους έγινε μελέτη εγκατάστασης μιας μονάδας Υποκρίσιμου Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC) με ετήσια διάρκεια λειτουργίας 8,000 h. Η εγκατάσταση μονάδας συμπαραγωγής με τεχνολογία ORC συνδυάστηκε με την χρήση του υφιστάμενου εξοπλισμού του πυρηνελαιουργείου, με σκοπό την κάλυψη των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια των μονάδων αλλά και την ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας προς διάθεση.

Συγκεκριμένα, μέρος του καυσίμου (πυρηνόξυλο) που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των απαραίτητων θερμικών αναγκών θα προέρχεται από την εξοικονόμηση σε ποσοστό 62%, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα θα προέρχεται από την αγοράς του καυσίμου με μία τιμή κοντά στα 48.4 €/t (χωρίς Φ.Π.Α.). Βασικός στόχος της μελέτης ήταν η επιλογή του ιδανικότερου εργαζόμενου ρευστού με το οποίο δύναται τόσο να καλυφθούν οι ηλεκτρικές απαιτήσεις και των τριών μονάδων στην περίοδο μέγιστης ζήτησης όσο και να διατεθεί η ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Βέβαια, εκτός από την ηλεκτροπαραγωγή, προϊόν της μονάδας ORC αποτελεί και η θερμική ενέργεια την οποία διοχετεύει σε ζεστό νερό χρήσης, προκειμένου να καλύπτει μέρος των θερμικών αναγκών στην ευρύτερη περιοχή. Οι υπολογισμοί έγιναν σε περιβάλλον ASPEN PLUS™.

Τέλος, για όλες τις υπό μελέτη μονάδες έγινε οικονομική ανάλυση NPV, IRR και ετών απόσβεσης επένδυσης, μεμονωμένα αλλά και σαν μια ενιαία μονάδα (Biomass CHP Plan). Επίσης έγινε και ανάλυση ευαισθησίας ως προς την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα της μονάδας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης προέκυψαν μετά από μελέτη στα κόστη εγκατάστασης των μονάδων, στα μεταβλητά και σταθερά κόστη αλλά και στα έσοδα από την διάθεση των παραγόμενων προϊόντων.

Ολοκληρώνοντας θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα της παραπάνω μελέτης και οι μελλοντικές προοπτικές επέκτασης της.

POST-GRADUATE THESIS: « Energy Upgrading of Kernel Mills through Rankine Organic Cycle Technology (ORC)»

STUDENT: Mournouris Sotirios

SUPERVISOR: Mr. Karellas Sotirios, Professor
School of Mechanical Engineering, N.T.U.A

ACADEMIC YEAR: 2019-2020

Abstract

The main object of the study of this thesis is the techno-economic analysis of Organic Rankine Cycle installation (ORC) in an existing plant producing olive pomace oil with simultaneous exploitation of local residual biomass (olive pruning) for the production of solid biofuels through a Pellet plant. In particular, the pomace mill was studied in terms of fuel and electricity consumption as well as the upgrade of its drying section was investigated, through the installation of a new energy-efficient dryer. Subsequently, the installation of an ORC unit, the thermal requirements of which will be covered by the utilization of the existing equipment of the pomace mill, was studied. Most of the fuel requirements (Olive cake) will come through the savings from installing the new dryer. The purpose is to produce electricity that will be available for sale in the grid and will cover the electrical requirements during the period of maximum demand (simultaneous and / or individual operation) of the following units examined:

- **Pomace Oil Production Plant** (Pomace Mill)
- **Solid Biofuel Production Unit** (Pellet Unit)
- **Organic Rankine Cycle Unit** (ORC)

Finally, apart from the electricity produced, the proposed system aims to supply heat (hot water) to the surrounding area, as its main use will be the agro-industrial sector.

The installation of the solid biofuel production plant consists of the fact that it will use the upgraded dryer of the pomace mill during the non-operation period, for drying the residual biomass that will have been collected and pre-treated during the harvesting stage of the olive fruit (olive pruning). The aim is to produce and promote pellets for industrial consumption.

The study aims to upgrade pomace mills through the production of a larger range of high added value products (electricity, upgraded solid biofuels, covering thermal requirements), increase their operating time and produce decentralized electricity and heat through the utilization of co-generation technologies (ORC), using residual biomass.

Summary

The main subject of the study is the management and processing of residual biomass while upgrading the existing food industries to convert them into electrical and thermal energy production centers through cogeneration technologies. To achieve that goal, the following technical economics were studied and (listed below) analyzed:

Initially, an introduction was made to basic concepts related to the content of the compared postgraduate thesis. More specifically, the definitions of biomass and biofuels were presented, the concept of energy, and how to convert it into usable forms, and the application of cogeneration units using biomass were analyzed.

Starting the analysis for the production of solid biofuels, olive pruning was studied as biomass. In more detail, a comparison was made between the online tools for the total cultivated area of olive groves with the corresponding biomass potentials, and the total residual biomass potential of branches in Greece was determined at levels (NUTS) 1,2 & 3, according to calculations carried out by the data of the Greek Statistical Authority, the European online platforms S₂BIOM & BioRaise and the MyGIS online platform, created by the Chemical Processes and Energy Resources Institute (CPERI) of the National Center for research & technological development (CERTH) within the framework of the European project AGROinLOG. The search for cultivated areas with the corresponding potential began with a minimum mileage of 5 km and a maximum of 25 km. The aim was to find the appropriate distance from the sub-study units that would provide the necessary potential with as low as possible residual biomass management costs. Finally, the seasonality of various crops in the area was determined with possible utilization to meet the necessary thermal needs or pellet production.

Then the pomace oil mill of ELSAP S.A. was located studied at the regional unit of Argolida of the municipality of Argos-Mycenae, as to its consumption in the drying and extraction departments along with the corresponding productions in products (olive cake and pomace oil). After the necessary calculations and in communication with the Spanish dryers company Recalor, the drying Department upgraded two of the four existing dryers with a more energy-efficient one. The results of the upgrade were compared with the corresponding results of the current situation and calculated the percentage of the cost of saving in fuel and electricity, which is 26.6%. The new dryer also can dry and solid residual biomass. In this way, it is possible to install a pellet production unit next to the olive pomace oil mill, utilizing its equipment. A financial approach was also made to the unit's income and expenses.

The Pellet unit was studied in the context of the management and processing of residual biomass. Specifically, having selected the appropriate kilometer distance with the center of the olive-pomace mill, the biomass potential that will yield the annual expected pellet production was calculated through the MyGIS web program. At the same time, the cost of managing the residual biomass was determined for a total amount of 5,450 tDM olive pruning at a distance of 10 km from the study unit. After the use of the new dryer for the production purposes of the unit (fuel and electricity consumption), the final savings showed a fall of 4.5%. After the basic sizes (collection radius, amount of biomass, and price of biomass management) were calculated, an approach was made by the economic analysis of the installation costs of the plant with the corresponding costs and revenues. The price of pellets was determined after sensitivity analysis.

After studying the kernel olive stone and Pellet plants in terms of their consumption, a study was carried out on the installation of a Organic Rankine Cycle (ORC) unit with an annual operating life of 8,000 h. The installation of a cogeneration unit with ORC technology was combined with the use of the existing equipment of the olive pomace oil mill, to meet the electricity requirements of the units and the simultaneous production of thermal and electricity for disposal (allocation). Specifically, part of the fuel (kernel olive stone) used for the production of the necessary thermal needs will come from the savings in 62%, while the remaining amount will come from the purchase of the fuel with a price close to 48.4 €/t (without F.P.P.). The main objective of the study was to select the ideal working fluid with which the electrical requirements of all three units can be met in the period of maximum demand and to allocate electricity to the network. Of course, apart from the power generation, the product of the ORC unit is the thermal energy which it channels into hot water to cover part of the thermal needs in the wider area. The calculations were made in an ASPEN PLUS™ environment.

Finally, for all the units under study, an economic analysis was carried out NPV, IRR, and years of investment depreciation, individually and as a single unit (Biomass CHP Plan). Sensitivity analysis for reliability and efficiency of the unit was also carried out. The results of the analysis were obtained after studying the installation costs of the units, the variable and fixed costs, and the revenue from the disposal of the products produced.

To conclude, the above study and the future prospects for its expansion will be presented.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τις μεταπτυχιακές μου σπουδές, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Καρέλλα Σωτήριο της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. που μου έδωσε την ευκαιρία να εκπονήσω ένα θέμα κοντά στο γνωστικό μου αντικείμενο αλλά και να εμβαθύνω τις γνώσεις μου στον τομέα της μηχανολογίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιστημονικούς συνεργάτες του ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ κ. Καραμπίνη Εμμανουήλ και κ.Κουγιουμτζή Μιχαήλ-Αλέξανδρο που με την συνεχή καθοδήγηση, ενημέρωση και στήριξη βοήθησαν στο να επιτευχθεί ο στόχος της μεταπτυχιακής εργασίας.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα κ. Μπραϊμάκη Κωνσταντίνο που ήταν πάντοτε διαθέσιμος για την επίλυση αποριών και διευκρίνισης ζητημάτων μηχανολογικής φύσεως.

Τέλος, θα ήθελα να δηλώσω ιδιαίτερα χαρούμενος για την άψογη συνεργασία που είχα με τον Γενικό Γραμματέα της Ελληνικής Εταιρείας Ανάπτυξης Βιομάζας κ. Δαμάτη Νικόλαο, όπως επίσης και με τους υπευθύνους της μονάδας Πυρηνελαιουργείου ΕΛΣΑΠ Α.Ε. κα. και κ. Γκούζ.

Όμως, οι μεγαλύτερες ευχαριστίες ανήκουν στην οικογένειά μου και σε όσους με στήριξαν κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Μουμούρης Σωτήριος

Αθήνα, 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	14
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	14
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	15
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (ΟΡΙΣΜΟΙ)	18
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	18
1.2. ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥΣ	19
1.3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	21
1.4. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ-ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	23
2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ - ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	25
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΕΛΛΑΙΟΔΕΝΤΡΟ	25
2.2. ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΕΛΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	26
2.2.1. Συνοπτική παρουσίαση των διαδικτυακών εργαλείων μελέτης υπολειμματικής βιομάζας (κλαδέματα ελιάς) για διάφορες χιλιομετρικές ακτίνες με κέντρο τη μονάδα μελέτης.....	27
2.2.2. Μελέτη Δυναμικού Υπολειμματικής Βιομάζας Ελιάς στην περιοχή του Ναυπλίου.....	36
3. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥ (ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ)	40
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ	40
3.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ	41
3.3. ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟ.....	43
3.4. ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ ΕΛΣΑΠ Α.Ε. (ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ)	44
3.4.1. Υφιστάμενη Κατάσταση	45
3.4.1.1. Οικονομική Κατάσταση Μονάδας (Υφιστάμενη Κατάσταση).....	50
3.4.2. Αναβάθμιση Τμήματος Ξήρανσης του Πυρηνελαιουργείου	54
3.4.2.1. Οικονομική Κατάσταση Μονάδας (Αναβάθμιση Τμήματος Ξήρανσης).....	60
3.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.	64
4. ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ (ΜΟΝΑΔΑ PELLETT)	68
4.1. ΣΤΕΡΕΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ	68
4.1.1. Εμπορικές Μορφές Στερεών Βιοκαυσίμων.....	69
4.1.2. Συστήματα Πιστοποίησης Pellet.....	71
4.1.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των Στερεών Βιοκαυσίμων.....	73
4.1.4. Συστήματα Καύσης για Στερεά Βιοκαύσιμα.....	74
4.1.4.1. Συστήματα Οικιακής Θέρμανσης με Βιομάζα.....	75
4.1.4.2. Συστήματα Καύσης με Βιομάζα στην Βιομηχανία.....	77
4.2. ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	78
4.2.1. Στάδια λειτουργίας μονάδας Pellet	78
4.2.2. Περιγραφή των βασικών αρχών και της τεχνολογίας γραμμής πελλετοποίησης	79
4.2.3. Παρουσίαση δεδομένων από την εγκατάσταση νέας μονάδας παραγωγής Pellet.....	83
4.2.3.1. Προσδιορισμός της χιλιομετρικής απόστασης και υπολογισμός του κόστους διαχείρισης της βιομάζας	83
4.2.3.2. Παρουσίαση Μηχανολογικού και Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού μονάδας Pellet	90
4.3. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ-PELLET.....	95
5. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΣΩ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ RANKINE (ORC)	102
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ	102
5.2. ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ RANKINE (ORC).....	104
5.3. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ORC	105
5.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ORC ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ	107
5.5. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΥΠΟΜΕΛΕΤΗ ORC.....	110
5.5.1. Ατμοποιητής (Evaporator)	110
5.5.2. Συμπυκνωτής (Condenser).....	110
5.5.3. Εκτονωτής (Expander).....	111
5.5.4. Ελάχιστη Θερμοκρασιακή Διαφορά Εναλλακτών Θερμότητας.....	111
(Pinch Point of Heat Exchanger)	111
5.5.5. Αφυπερθερμαντήρας (Desuperheater)	111
5.5.6. Θερμικό Έλαιο (Thermal Oil).....	112

5.6.	ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΜΕΛΕΤΗ ORC	113
5.7.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ORC	115
5.8.	ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΑ ΡΕΥΣΤΑ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ.....	116
5.9.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ – ΕΠΙΛΟΓΗ ΡΕΥΣΤΟΥ	118
5.10.	ΕΙΔΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟ) ΑΝΗΓΜΕΝΟ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ	126
5.11.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΡΕΥΣΤΟΥ	128
5.12.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ORC.....	129
6.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ.....	132
6.1.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	132
6.1.1.	Καθαρές Ταμειακές Ροές (ΚΤΡ)	132
6.1.2.	Περίοδος Αποπληρωμής Κεφαλαίου (Payback Period - PB).....	132
6.1.3.	Μέθοδος Προ εξοφλημένης Περιόδου Αποπληρωμής Κεφαλαίου (Discounted Payback Period - DPB) 132	
6.1.4.	Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value - NPV).....	133
6.1.5.	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR).....	133
6.2.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ – ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ	134
6.3.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ	137
6.4.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ RANKINE (ORC)	144
6.5.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΩΝ (ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ – ΜΟΝΑΔΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ - ORC).....	147
6.6.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ – ΜΟΝΑΔΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ - ORC)	150
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	158
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	163

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1.1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ RANKINE ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	24
ΣΧΗΜΑ 2.1: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	26
ΣΧΗΜΑ 3.1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ. ΣΤΟ ΣΥΝΕΧΟΜΕΝΟ ΜΑΥΡΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΕ Η ΔΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ ΕΝΩ ΣΤΟ ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΟ ΜΑΥΡΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ Η ΔΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ.....	42
ΣΧΗΜΑ 3.2: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΝΕΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ RECALOR.....	54
ΣΧΗΜΑ 4.1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΟ ΠΡΟΪΟΝ.	81
ΣΧΗΜΑ 4.2: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ – ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. ...	82
ΣΧΗΜΑ 4.3: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.	85
ΣΧΗΜΑ 4.4: ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.	86
ΣΧΗΜΑ 5.1: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (ORC).	105
ΣΧΗΜΑ 5.2: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ (Α) ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ (Β).....	106
ΣΧΗΜΑ 5.3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ T-S ΥΓΡΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ ^[53]	108
ΣΧΗΜΑ 5.4: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ T-S ΞΗΡΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ ^[53]	108
ΣΧΗΜΑ 5.5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ T-S ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ. ^[53]	109
ΣΧΗΜΑ 5.6: ΔΙΑΤΑΞΗ ORC ΜΕ ΑΦΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ (DESUPERHEATER).	112
ΣΧΗΜΑ 5.7: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ T-S) ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ.	117
ΣΧΗΜΑ 5.8: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	120
ΣΧΗΜΑ 5.10: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.	121
ΣΧΗΜΑ 5.9: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	121
ΣΧΗΜΑ 5.11: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ - ΠΙΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΛΟΥΕΝΙΟΥ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΕΞΑΝΙΟΥ.....	122
ΣΧΗΜΑ 5.12: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ – ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΡΕΥΣΤΟ.....	122
ΣΧΗΜΑ 5.13: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ T-S ΓΙΑ ΤΟ ΕΠΙΛΕΓΟΜΕΝΟ ΡΕΥΣΤΟ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΥΠΟΜΕΛΗΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ORC.....	125
ΣΧΗΜΑ 5.14: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	127
ΣΧΗΜΑ 5.15: ΕΙΔΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑ ORC ^[63]	130
ΣΧΗΜΑ 5.16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY ΜΟΝΑΔΑΣ ORC (ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΡΕΥΣΤΟ ΤΟΛΟΥΕΝΙΟ).	131
ΣΧΗΜΑ 6.1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ PELLEΤ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	143
ΣΧΗΜΑ 6.2: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΕΥΡΕΣΗ ΤΙΜΗΣ ΠΩΛΗΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ ORC.....	146
ΣΧΗΜΑ 6.3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ.....	151
ΣΧΗΜΑ 6.4: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ.....	152
ΣΧΗΜΑ 6.5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΔΙΑΘΕΣΗΣ PELLEΤ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ.....	153
ΣΧΗΜΑ 6.6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ORC ΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ.....	154
ΣΧΗΜΑ 6.7: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (PELLET) ΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ.....	155
ΣΧΗΜΑ 6.8: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.....	156

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1.1: ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΙΔΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.3: ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ BIO RAISE. ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΩΝ (ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΧΡΩΜΑ).....	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ BIO RAISE. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΞΗΡΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΚΤΙΝΑ 15 ΚΜ ΑΠΟ ΤΟ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ	29

ΕΙΚΟΝΑ 2.3: ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΒΙΟRAISE. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ. ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΞΗΡΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΚΤΙΝΑ 15 ΚΜ ΑΠΟ ΤΟ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ.	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΜΥGIS. ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΕ ΕΛΑΙΩΝΕΣ.....	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.5: ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΜΥGIS. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ 10 [ΚΜ] ΑΠΟ ΤΟ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ.	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.6: ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΜΥGIS. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ.	32
ΕΙΚΟΝΑ 2.7: ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ S2ΒΙΟΜ. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΛΑΔΕΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ NUTS 3 ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ.	33
ΕΙΚΟΝΑ 2.8: ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ S2ΒΙΟΜ. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΛΑΔΕΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ NUTS 3 ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.	33
ΕΙΚΟΝΑ 4.1: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ. ^[30]	68
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: ΛΟΓΟΤΥΠΟ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟΥ ΒΙΟΜΑΣUD ^[37]	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.3: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΥΠΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΤΖΑΚΙΟΥ. ^[7]	76
ΕΙΚΟΝΑ 4.4: ΛΕΒΗΤΑΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΟΞΥΛΑ ΤΥΠΟΥ ΚΑΘΟΔΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΕΡΑ. ^[7]	76
ΕΙΚΟΝΑ 4.5: ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΦΑΣΜΑ.	79
ΕΙΚΟΝΑ 4.6: ΣΤΑΔΙΟ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΩΝ ΚΛΑΔΕΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.	79
ΕΙΚΟΝΑ 4.7: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΜΕΣΩ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟCAD.	93
ΕΙΚΟΝΑ 4.8: ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟCAD	94

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΔΕΙΚΤΗΣ RPR ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΟΜΙΑΣ ΓΙΑ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΑ.	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ, ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ) ΓΙΑ ΤΟ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ ΕΛΣΑΠ Α.Ε. ΝΑΥΠΛΙΟΥ.....	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ, ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ) ΓΙΑ ΤΟ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ ΕΛΣΑΠ Α.Ε. ΝΑΥΠΛΙΟΥ.....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ ΕΛΑΙΩΝΩΝ, ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΔΕΝΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑ.	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ-ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ.....	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ.....	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΠΡΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΟΧΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ.....	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.9: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ.	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ. ^[29]	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ (ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΑ) ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ.....	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ – ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ.	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ.	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΣ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ – ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ.	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7: ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΩΤΟ. ΠΛΗΡΗΣ ΠΩΛΗΣΗ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΟΥ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.8: ΣΕΝΑΡΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ. ΠΛΗΡΗΣ ΠΩΛΗΣΗ ΡΑΦΙΝΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΞΥΛΑΚΙ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9: ΣΕΝΑΡΙΟ ΤΡΙΤΟ. ΠΩΛΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΖΗΤΗΣΗ ΑΓΟΡΑΣ (ΜΕ Φ.Π.Α.)	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.10: ΣΕΝΑΡΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ. ΠΛΗΡΗΣ ΠΩΛΗΣΗ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΟΥ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΞΥΛΑΚΙ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.11: ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΕΜΠΤΟ. ΠΛΗΡΗΣ ΠΩΛΗΣΗ ΡΑΦΙΝΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ (ΜΕ Φ.Π.Α.).	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.12: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΡΟΕΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.13: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΘΑΡΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΚΕΡΑΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΩΛΗΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.14: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	56

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.15: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΝΕΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ.	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.16: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΞΗΡΑΝΣΗΣ (ΠΑΛΑΙΟ ΚΑΙ ΝΕΟ) ΚΑΙ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ-ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ.....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.17: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.18: ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΩΤΟ (ΝΕΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ). ΠΛΗΡΗΣ ΠΩΛΗΣΗ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΟΥ ΠΥΡΗΝΕΛΛΙΟΥ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.19: ΣΕΝΑΡΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ (ΝΕΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ). ΠΛΗΡΗΣ ΠΩΛΗΣΗ ΡΑΦΙΝΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΠΥΡΗΝΕΛΛΙΟΥ ΚΑΙ ΞΥΛΑΚΙ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.20: ΣΕΝΑΡΙΟ ΤΡΙΤΟ (ΝΕΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ). ΠΩΛΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΖΗΤΗΣΗ ΑΓΟΡΑΣ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.21: ΣΕΝΑΡΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ (ΝΕΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ). ΠΛΗΡΗΣ ΠΩΛΗΣΗ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΟΥ ΠΥΡΗΝΕΛΛΙΟΥ ΚΑΙ ΞΥΛΑΚΙ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.22: ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΕΜΠΤΟ (ΝΕΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ). ΠΛΗΡΗΣ ΠΩΛΗΣΗ ΡΑΦΙΝΑΡΙΣΜΕΝΟΥ ΠΥΡΗΝΕΛΛΙΟΥ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.23: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΝΕΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΡΟΕΣ ΜΟΝΑΔΑΣ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.24: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΘΑΡΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΚΕΡΔΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΩΛΗΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.25: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.26: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.27: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΚΑΘΑΡΩΝ ΚΕΡΔΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΕΛΕΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΕΙΔΙΚΗ ΣΗΜΑΝΣΗ.....	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ PELLEΤ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΑΣΗ ΠΟΥ ΚΑΤΑΤΑΣΣΕΤΑΙ.....	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΜΜΗΝΗΣ ΧΛΙΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ.....	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6: ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΓΡΟΥ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9: ΚΟΣΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ PELLEΤ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΤΙΜΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11: ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.....	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12: ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.....	91
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13: ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΧΩΡΟΥ ΣΤΕΓΑΣΗΣ/ΑΚΑΛΥΠΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.14: ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (ΜΕ Φ.Π.Α.).....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.15: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΛΕΙΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ.....	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.16: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ ΠΡΟ ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.17: ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΝΕΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ.....	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.18: ΣΕΝΑΡΙΑ ΩΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ.....	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.19: ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ ΓΙΑ ΞΗΡΑΝΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.20: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΚΑΘΕ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	99
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.21: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.....	100
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.22: ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.....	100
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.23: ΚΟΣΤΟΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.....	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.24: ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΠΩΛΗΣΗ PELLEΤ ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ.....	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ORC.....	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΜΕΣΩ ASHRAE STANDARD 34-2013 ^[62]	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3: ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ, ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ^[48]	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΜΕΛΕΤΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ASPEN PLUS TM ...	119

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5: ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ 8,000 [H] ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΡΕΥΣΤΟ.	123
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6: ΕΝΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΠΩΛΗΣΗ ΓΙΑ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΖΗΤΗΣΗΣ.	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7: ΕΙΔΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟ) ΜΕΣΩ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ (ΜΕ Φ.Π.Α.).	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ.	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ PELLEΤ.	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ PELLEΤ.	137
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.	138
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΚΟΣΤΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.8: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΚΟΣΤΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.	140
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.9: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΣΟΔΩΝ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.	140
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ.	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ.	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.12: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ORC.	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.13: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΚΟΣΤΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ORC.	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.14: ΕΤΗΣΙΑ ΈΣΟΔΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ORC ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΩΛΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.	146
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.15: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ PELLEΤ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ.	147
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.16: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΚΟΣΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ.	148
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.17: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΤΗΣΙΩΝ ΕΣΟΔΩΝ ΤΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.	149
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.18: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.	149

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (Ορισμοί)

1.1. Εισαγωγικές Πληροφορίες

Στην εποχή που διανύουμε η ανάγκη για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων σε διάφορους τομείς της κοινωνίας, όπως για παράδειγμα βιομηχανικό, αγροτικό και οικιακό τομέα, είναι συνεχώς αυξανόμενη. Αποτέλεσμα αυτής της ανάγκης είναι η εξάρτηση από την χρήση συμβατικών τεχνολογιών για παραγωγή ενέργειας που έχει, όμως, άμεσο αντίκτυπο στο περιβάλλον μέσω της απελευθέρωσης μεγάλων ποσοτήτων CO₂ και άλλων επιβλαβών εκπομπών και ρύπων. Η ανεξέλεγκτη έκλυση των ποσοτήτων αυτών επιδρά αρνητικά στις κλιματολογικές συνθήκες του πλανήτη δημιουργώντας ανησυχία όχι μόνο στην επιστημονική κοινότητα αλλά και στην ίδια την κοινωνία. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να γίνουν μεταβάσεις και αλλαγές ως προς τον τρόπο παραγωγής της απαιτούμενης ενέργειας, με στόχο την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Κάποιες κατευθυντήριες οδηγίες ως προς την επίτευξη του στόχου αυτού έχει εκδώσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, όπου σύμφωνα με αυτές θα πρέπει να γίνεται [1]:

1. Αξιοποίηση και χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας για την κάλυψη μέρους ή και ολόκληρων των ενεργειακών αναγκών μέσω αιολικών πάρκων, αξιοποίησης γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας, εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων, χρήση ηλιακών συλλεκτών, κατασκευή υδροηλεκτρικών μονάδων αλλά και εκμετάλλευση της βιομάζας.
2. Συμπαράγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού λόγω του υψηλού βαθμού αξιοποίησης της πρωτογενούς ενέργειας.
3. Αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας (waste heat recovery) για παραγωγή ηλεκτρισμού.

Τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά και να υλοποιήσει τις παραπάνω κατευθύνσεις είναι ο οργανικός κύκλος Rankine (Organic Rankine Cycle, ORC). Πρόκειται για παρόμοιο κύκλο νερού-ατμού (Clausius-Rankine), με την βασική διαφορά πως το εργαζόμενο μέσο είναι οργανικό ρευστό και όχι νερό. Το πλεονέκτημα του οργανικού μέσου είναι πως έχει χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης έναντι του νερού πράγμα που καθιστά εφικτή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πηγές χαμηλής θερμοκρασίας, αλλά με σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης. Επίσης για μικρές κλίμακες ισχύος, όπως στην παρούσα διπλωματική, προτιμάται έναντι του κλασσικού κύκλου νερού-ατμού.

Με την τεχνολογία ORC μπορεί να γίνει ανάκτηση αυτής της απορριπτόμενης θερμότητας (Waste Heat Recovery) και αξιοποίησή της για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μπορεί είτε να καταναλωθεί τοπικά για τις ανάγκες της βιομηχανίας (ιδιοκαταναλώσεις) ή της ευρύτερης περιοχής είτε να τροφοδοτήσει το δίκτυο (πώληση). Η αξιοποίηση αποβλήτων (π.χ. καυσαέρια) χαμηλής ή μεσαίας θερμοκρασίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί έναν ενδιαφέροντα και συμπληρωματικό τρόπο κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει στην μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τις εκπομπές αυτές (CO₂, NO_x, SO_x). Οι περισσότερες τυπικές πηγές απορριπτόμενης ενέργειας βρίσκονται σε βιομηχανικές διεργασίες όπως χάλυβα, τσιμέντου, γυαλιού, μονάδες τροφίμων και αγροτικών προϊόντων αλλά και φυσικού αερίου [2]. Αποτέλεσμα αυτής της διαχείρισης είναι το οικονομικό

όφελος που έχει η μονάδα ως προς την εξοικονόμηση καυσίμου που μπορεί να πετύχει, τη μείωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος αλλά και την ενίσχυση των εσόδων της.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πώς η τεχνολογία ORC αποτελεί μια καλή επιλογή σε συνδυασμό με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Χρήση Βιομάζας, Γεωθερμίας και σε μικρότερο βαθμό η Ηλιακή Ενέργεια) για ηλεκτροπαραγωγή, διότι κάποιες από αυτές είναι εν γένει πηγές χαμηλής θερμοκρασίας σε σχέση με τους συμβατικούς θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Για παράδειγμα ιδανικοί συνδυασμοί, με τη χρήση υπολειμματικής βιομάζας, είναι: η αξιοποίηση γεωθερμικών πεδίων και η χρήση ηλιακών συλλεκτών. Η διαθεσιμότητα των πηγών αυτών χαρακτηρίζεται από τοπικό χαρακτήρα, πράγμα που τους δίνει το πλεονέκτημα στην επιλογή τους για εφαρμογές μικρής και αποκεντρωμένης κλίμακας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (1kW-10MW). Το κόστος επένδυσης μια τέτοιας μονάδας είναι αρκετά υψηλό, με αποτέλεσμα να μην είναι πάντα εφικτή η υλοποίηση επενδύσεων με στόχο αποκλειστικά την ηλεκτροπαραγωγή. Για τον λόγο αυτό η αποδοτικότερη αξιοποίηση που τις καθιστά οικονομικά βιώσιμες είναι μέσω της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας.

1.2. Μορφές Ενέργειας και Τρόποι Αξιοποίησης τους

Μιλώντας για την ενέργεια, μιλάμε για μία σχετικά απροσδιόριστη έννοια που μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσω διαφόρων φαινομένων, όπως η μεταφορά θερμότητας. Με τον όρο ενέργεια, από φυσική άποψη, νοείται η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο σε ένα άλλο σύστημα. Θα μπορούσε να θεωρηθεί πως με τον όρο ενέργεια αναφερόμαστε στην ιδιότητα της ύλης να μπορεί να μετασχηματιστεί σε έργο, θερμότητα ή ακτινοβολία (άλλες μορφές ενέργειας). Η ενέργεια κατηγοριοποιείται σε δυο βασικά είδη: την κινητική ενέργεια (έργο που πραγματοποιείται από την κίνηση της ύλης) και τη δυναμική ενέργεια (έργο που βρίσκεται αποθηκευμένο ή σε αδράνεια εντός της ύλης). Είτε ως κινητική είτε ως δυναμική η ενέργεια εμφανίζεται με μια από τις παρακάτω μορφές [3], [4]:

- **Χημική ενέργεια:** Προέρχεται από την αλλαγή της χημικής δομής των ουσιών (καύση ορυκτών καυσίμων) και αποδίδεται από ένα σύστημα είτε ως θερμική είτε ως ηλεκτρική.
- **Ηλεκτρική ενέργεια:** Αναφέρεται στην κινητική ενέργεια (ηλεκτρικό ρεύμα) ηλεκτρονίων εξαιτίας ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού.
- **Θερμική ενέργεια:** Ονομάζεται η κινητική ενέργεια των μορίων λόγω συνεχών και τυχαίων κινήσεων τους, με συνέπεια να αναπτύσσουν μια θερμοκρασία. Η κίνηση αυτή για να μεταβληθεί (αύξηση κινητικότητας) απαιτεί ενέργεια εξωτερικής προέλευσης. Πρόκειται για την ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας σε ένα χαμηλότερης.
- **Μηχανική Ενέργεια:** Η ενέργεια (κινητική ή δυναμική) που εφαρμόζεται σε ένα σώμα (Στερεό, Υγρό ή Αέριο) ή ένα σύστημα και μετατρέπεται σε κάποιο άλλο είδος ενέργειας (π.χ. ηλεκτρική)
- **Ηλεκτρομαγνητική Ενέργεια:** Η μεταφορά ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως η ηλιακή ακτινοβολία.

- **Πυρηνική Ενέργεια:** Πρόκειται για την ενέργεια που απελευθερώνεται όταν μετασχηματιστούν (σχάση ή σύντηξη) οι ατομικοί πυρήνες ενός καυσίμου (ουράνιο). Πρόκειται για τη δυναμική ενέργεια που είναι εγκλεισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων μεταξύ τους. Χρησιμοποιείται κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ενέργεια μπορεί να υποδιαιρεθεί στις παρακάτω πέντε κατηγορίες [3], [4]:

- **Κύρια ενέργεια:** Το σύνολο των ενεργειακών πόρων που βρίσκονται αποθηκευμένοι στη γη.
- **Πρωτογενής ενέργεια:** Η ενέργεια που δεν απαιτεί επεξεργασία για την μετατροπή της σε ωφέλιμη ενέργεια.
- **Δευτερογενής Ενέργεια:** Περιλαμβάνει τις μορφές ενέργειας που προκύπτουν από την μετατροπή της πρωτογενούς ενέργειας (χημικές, θερμικές, μηχανικές διεργασίες) σε χρήσιμη ενέργεια.
- **Ανανεώσιμη Ενέργεια:** Με τον όρο Ανανεώσιμη Ενέργεια εννοείται η ενέργεια από πηγές που μπορούν και αναπληρώνονται με φυσικό τρόπο, σχετικά γρήγορα και είναι πρακτικά ανεξάντλητες σε διάρκεια αλλά περιορίζονται ως προς την πλήρη αξιοποίηση του ενεργειακού τους περιεχομένου που είναι διαθέσιμο ανά μονάδα χρόνου.
- **Μη Ανανεώσιμη Ενέργεια:** Πρόκειται για ενέργεια που προέρχεται από πηγές που έχουν πάρα πολύ αργό ρυθμό ανανέωσης, όπως για παράδειγμα ορυκτά καύσιμα.

Στην Ελλάδα σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Ενεργειακού Οργανισμού (IEA) για το 2017 η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας ήταν περίπου 22.75 Mtoe (εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου) με κύρια πηγή παραγωγής να είναι τα ορυκτά καύσιμα 88.6 % (Πετρέλαιο 48.9%, Λιγνίτης 21.2%, Φυσικό Αέριο 18,5%) και το υπόλοιπο 11.4% να προέρχεται από Α.Π.Ε. (Βιοκαύσιμα και Απορρίμματα 5%, Α.Π.Ε. μηδενικών εκπομπών CO₂ 4,8 %, Υδροηλεκτρικά 1,5%). Η κατανάλωση ενέργειας για το 2017 ήταν της τάξης των 16.6 Mtoe (εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου) και από αυτή την ενέργεια το 35.1% καταναλώθηκε στον τομέα των Μεταφορών, το 26.2% στο Οικιακό τομέα, το 18.7% στη Βιομηχανία, το 11.8% στα Εμπορικά και τις Δημόσιες Υπηρεσίες, ένα 6.3% σε απροσδιόριστες καταναλώσεις/απώλειες και τέλος το 1.9% στον Πρωτογενή τομέα (Αγροτικός τομέας, Αλιεία) [5].

Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το 2017 ήταν 55,266 GWh με το 74.9% να παράγεται από ορυκτά καύσιμα (Λιγνίτης 33.9%, Φυσικό Αέριο 31%, Πετρέλαιο 10%) ενώ το υπόλοιπο 25.1% μέσω Α.Π.Ε.(Αιολικά 10%, Υδροηλεκτρικά 7,3%, Ηλιακά 7,2% και Βιοκαύσιμα 0,6%). Από αυτό το ποσοστό των βιοκαυσίμων το 96.8% παρήχθη από βιοαέριο ενώ το 3.2% από πρωτογενή στερεά βιοκαύσιμα. Η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το 2017 ήταν περίπου 53,970 GWh με το 36.4% της συνολικής κατανάλωσης να το κατέχει ο Οικιακός τομέας, το 35.6% τα Εμπορικά και οι Δημόσιες Υπηρεσίες, το 22.8% η Βιομηχανία και το υπόλοιπο 5.3% ο Πρωτογενής τομέας (Αγροτικός τομέας, Αλιεία) [5].

Τέλος, αξίζει να τονισθεί πως για την παραγωγή θερμικής ενέργειας η Ελλάδα για το 2017 βασίστηκε στο πετρέλαιο και τον λιγνίτη με συνολική παραγωγή 604 GWh_{th} από τα οποία το 99.3% προέρχεται από την χρήση λιγνίτη ενώ το 0,7% από πετρέλαιο. Στην Ευρώπη για το 2017 η παραγωγή θερμότητας ήταν περίπου 690,860 GWh_{th} με το 69.3% να παρήχθη από ορυκτά

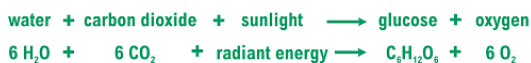
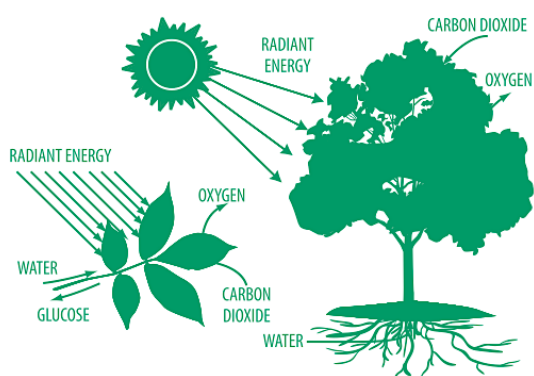
καύσιμα, το 0.2% από πυρηνική ενέργεια ενώ το 30,5% από Α.Π.Ε. Από το 30.5% των Α.Π.Ε. το 88.5% προήλθε από Πρωτογενή Στερεά Βιοκαύσιμα, το 5.9% από Βιοαέριο, το 2.4% από χρήση Βιομηχανικών αποβλήτων, το 2.1% από Γεωθερμία, το 0,8% από Υγρά Βιοκαύσιμα και το 0.3% από Ηλιοθερμικά συστήματα [5].

Στα πλαίσια της ερευνητικής εργασίας μελετήθηκε από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας η υπολειμματική βιομάζα (κλαδέματα ελιάς) και η αξιοποίηση της για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και για παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων βιομηχανικού τύπου.

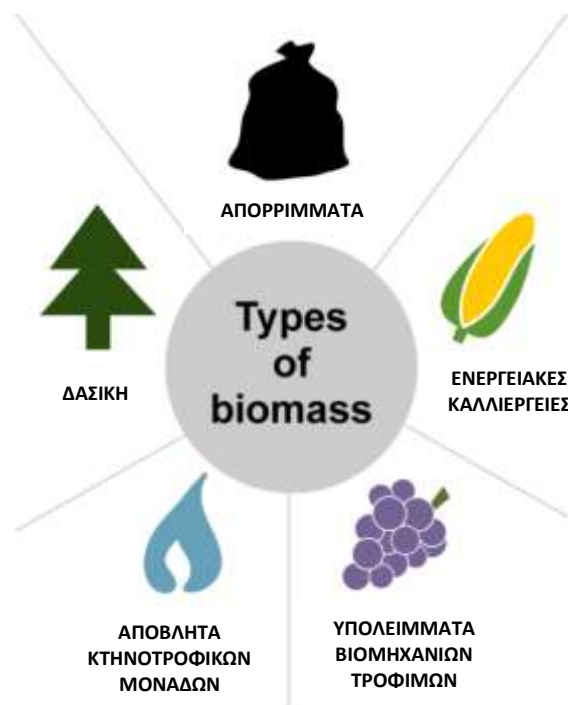
1.3. Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιομάζας

Με τον όρο βιομάζα εννοούμε κάθε οργανικό υλικό που προέρχεται από φυτά και ζώα και αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η φυτική βιομάζα εμπεριέχει αποθηκευμένη ενέργεια μέσω του ηλίου με μία διαδικασία που ονομάζεται φωτοσύνθεση, Εικόνα 1.2. Η αξιοποίηση της βιομάζας γίνεται με σκοπό την παραγωγή θερμότητας που μπορεί να γίνει με απευθείας καύση ή την μετατροπή της σε υγρά βιοκαύσιμα ή σε βιοαέριο για χρήση στις μεταφορές. Όταν η βιομάζα καεί ή δεχτεί χημική/ενζυματική μετατροπή η ενέργεια που έχει αποθηκευμένη απελευθερώνεται είτε ως θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας (θέρμανση) ή σε κάποια άλλη διεργασία για παραγωγή ηλεκτρισμού είτε να μετατραπεί σε υγρό/αέριο βιοκαύσιμο (μεταφορές) [6], Εικόνα 1.1. Χαρακτηριστικά παραδείγματα βιομάζας:

- Απόβλητα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου
- Υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών – Ενεργειακές καλλιέργειες
- Υπολειμματική βιομάζα (κλαδέματα)
- Απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων
- Απορρίμματα από ανθρώπινη δραστηριότητα
- Μικροφύκη (Άλγη)



Εικόνα 1.2: Διαδικασία Φωτοσύνθεσης



Εικόνα 1.1: Διάφορα Είδη Βιομάζας.

Η μετατροπή της βιομάζας σε εκμεταλλεύσιμη ενέργεια γίνεται μέσω των παρακάτω διεργασιών:

1. Θερμική μετατροπή (Πυρόλυση, Αεριοποίηση, Torrefraction)
2. Χημική μετατροπή (Μετατροπή βιομάζας μέσω χημικής διεργασίας σε υγρό/αέριο καύσιμο)
3. Βιοχημική μετατροπή (Μετατροπή βιομάζας σε υγρό/αέριο καύσιμο με την χρήση μικροοργανισμών)

Στην περίπτωση που η βιομάζα χρησιμοποιείται ως καύσιμο (βιοδιασπώμενο κλάσμα προϊόντων ή αποβλήτων ανθρώπινης ή μη δραστηριότητας) για παραγωγή ενέργειας τότε αναφερόμαστε σε βιοκαύσιμα. Ανάλογα με την φυσική τους μορφή διακρίνονται σε στερεά, υγρά και αέρια βιοκαύσιμα [7]. Αυτά είναι:

- **Στερεά Βιοκαύσιμα:** Πελέτες, Μπρικέτες ξύλου, Κασσόξυλα, Πυρηνόξυλο κ.α. Για παραγωγή θερμότητας (οικιακή και βιομηχανική χρήση) και ηλεκτρισμού (βιομηχανική κλίμακα).
- **Υγρά Βιοκαύσιμα:** Βιοαιθανόλη, Βιοντίζελ. Χρήση στις μεταφορές.
- **Αέρια Βιοκαύσιμα:** Βιοαέριο, Βίο-υδρογόνο. Χρήση στις μεταφορές, για θέρμανση (οικιακή και βιομηχανική χρήση) και για παραγωγή ηλεκτρισμού (βιομηχανική κλίμακα).

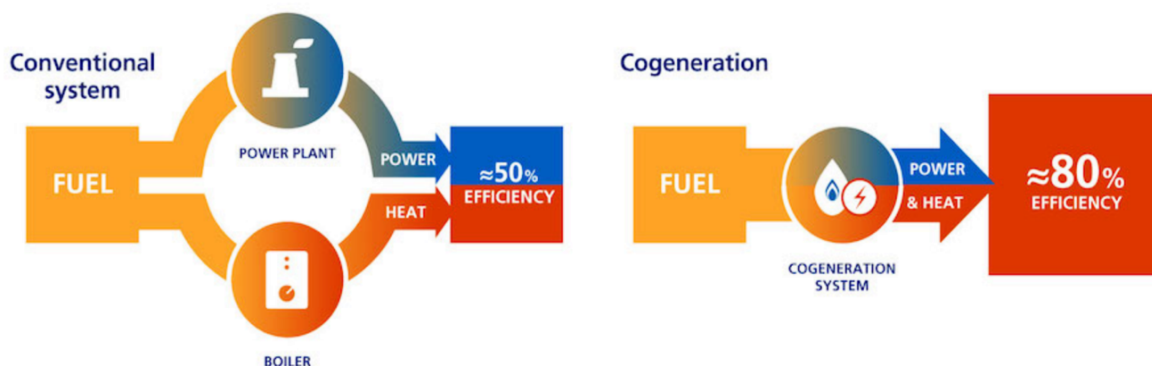
Τα περιβαλλοντικά οφέλη από την χρήση βιομάζας σαν καύσιμο είναι πολλά. Αρχικά, πρόκειται για μια πηγή ενέργειας όπου κατά την διαδικασία καύσης είναι ουδέτερη στον άνθρακα. Δηλαδή, κατά την απελευθέρωση του δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα. Σε πολλές περιπτώσεις ο εκλυόμενος άνθρακας απορροφάται εκ νέου από κάποιο άλλο φυτό, οπότε δεν φτάνει στην ατμόσφαιρα, κλείνοντας έτσι τον κύκλο του άνθρακα που υπάρχει στο περιβάλλον. Επίσης, ως καύσιμο χρησιμοποιούνται απορρίμματα, απόβλητα και υπολείμματα βιομάζας, με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνονται περισσότερο οι χώροι υγειονομικής ταφής, τα αστικά κέντρα ή οι βιομηχανίες. Δίνονται κίνητρα στους παραγωγούς για εναλλακτική χρήση των καλλιεργειών τους, όπως πώληση της βιομάζας, κρατικές επιδοτήσεις για ενεργειακές καλλιέργειες αλλά και χρήσης βιοκαυσίμων. Τέλος, αποτελεί οικονομικότερη λύση ως καύσιμο έναντι των ορυκτών καυσίμων για παραγωγή θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων. Μια ιδανική λύση αξιοποίησης βιομάζας είναι η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού - θερμότητας. Πρέπει να τονισθεί πως η χρήση της βιομάζας για να θεωρηθεί σαν ανανεώσιμη θα πρέπει να καλλιεργείται με σωστό τρόπο (φυσικά λιπάσματα) και κατά το στάδιο συλλογής και μεταφοράς να γίνεται όσο το δυνατόν λιγότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

1.4. Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας με χρήση Βιομάζας

Όταν αναφερόμαστε στην έννοια της συμπαράγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας (ΣΗΘ) αναφερόμαστε στη παραγωγή δύο μορφών ωφέλιμης ενέργειας στο πλαίσιο μίας μόνο διαδικασίας, όπως φαίνεται στη Εικόνα 1.3 [8]. Για την ακρίβεια η χημική ενέργεια του συμβατικού καυσίμου ή βιοκαυσίμου (Βιομάζα) μετατρέπεται σε μηχανική και θερμική. Η μηχανική μέσω του συστήματος στροβίλου-γεννήτριας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενώ η θερμική χρησιμοποιείται για παραγωγή ατμού, θερμού αέρα ή ζεστού νερού χρήσης. Αποτελεί ιδανική λύση για την καλύτερη ενεργειακή εκμετάλλευση των καυσίμων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση φυσικών αλλά και οικονομικών πόρων καθώς και μείωση ρύπων προς το περιβάλλον [9]. Επίσης εξασφαλίζει πολύ υψηλούς βαθμούς απόδοσης σε σχέση με την ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Πρόκειται για συστήματα που έχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης έναντι των συμβατικών συστημάτων.

Ένα σύστημα συμπαράγωγής αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Σύστημα θερμομηχανικής μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε μηχανική.
- Σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική (στρόβιλος - γεννήτρια).
- Σύστημα ανάκτησης θερμότητας και αξιοποίησης της.
- Τροφοδοτική αντλία
- Μέσο για την θερμοδυναμική διεργασία του κύκλου (νερό ή οργανικό ρευστό)
- Συμπυκνωτής



Εικόνα 1.3: Διαφορά συμβατικού συστήματος παραγωγής ενέργειας έναντι συστήματος συμπαράγωγής.

Επίσης, πρέπει να τονιστούν τα βασικότερα πλεονεκτήματα της ΣΗΘ, όπου είναι:

1. Αυξημένος βαθμός απόδοσης των συστημάτων παραγωγής ενέργειας.
2. Δυνατότητα αποκεντρωμένης ηλεκτροπαραγωγής, με αποτέλεσμα την τοπική οικονομική ανάπτυξη.
3. Μείωση κόστους κάλυψης ενεργειακών αναγκών.
4. Εναλλακτική χρήση πολλών και διάφορων καυσίμων (φυσικό αέριο, βιομάζα, λιγνίτη).

Η συμπαράγωγή με χρήση βιομάζας θεωρείται αποτελεσματική εναλλακτική λύση για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου λόγω των χαμηλών εκπομπών CO₂. Πολλές έρευνες έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για τη βελτίωση της οικονομικής και περιβαλλοντικής

2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ - ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. Εισαγωγή-Ελαιόδεντρο

Η ελιά είναι γνωστή ως δέντρο από τους αρχαίους χρόνους. Η εμφάνιση της και η καλλιέργειά της φθάνουν έως και στην προϊστορική εποχή. Μερικοί βοτανολόγοι θεωρούν ότι κατάγεται από τις ανατολικές μεσογειακές περιοχές, ωστόσο κάποιοι άλλοι θεωρούν πως έφτασε στις περιοχές αυτές από την Β.Δ. Ινδία δια μέσου του Ιράν, με το γένος *Olea* να εκπροσωπείται από έναν αριθμό διαφορετικών ειδών. Αργότερα επεκτάθηκε προς τις δυτικές μεσογειακές περιοχές. Η πραγματική της προέλευση παραμένει ακόμη και σήμερα ένα αίνιγμα για τους βοτανολόγους [11].

Το συνηθέστερο καλλιεργούμενο είδος ελιάς ανά τον κόσμο είναι η *Olea europaea* που σημαίνει ευρωπαϊκή ελιά. Πρόκειται για ένα είδος μικρού δέντρου της οικογένειας *Oleaceae* που βρίσκεται παραδοσιακά στην λεκάνη της Μεσογείου. Το είδος αυτό καλλιεργείται σε όλες τις χώρες της Μεσογείου, καθώς και στη Νότια Αμερική, τη Νότια Αφρική, την Αυστραλία, τη Νέα Ζηλανδία και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η εμπορική καλλιέργεια της ελιάς περιορίζεται σε δυο ζώνες, τη ζεστή εύκρατη και την υποτροπική, μεταξύ 30° και 45° βορείου και νοτίου πλάτους. Σε υψηλότερα πλάτη η καλλιέργεια ελιάς είναι αδύνατη [11].

Στον κόσμο υπάρχουν πάνω από 139 ποικιλίες ελαιόδεντρων. Στην χώρα μας υπολογίζονται περίπου 38 ποικιλίες ελιάς. Η ονομασία τους προέρχεται κυρίως από τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά (φύλλα, καρπό, πυρήνα, εμφάνιση δέντρου, σχέση σάρκας/πυρήνα). Έτσι χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες [11], [12]:

- **Μικρόκαρπες** για παραγωγή ελαιόλαδου (Κορωνέϊκη, Αγριελιά, Μαστοειδής, Λιανιλιά Κερκύρας, Μυρτολιά).
- **Μεσόκαρπες** συνήθως χρησιμοποιούνται για κατανάλωση αλλά και για παραγωγή ελαιόλαδου (Μεγαρείτικη, Θρουμπολιά, Βαλανολιά, Πικρολιά, Δαφνελιά).
- **Αδρόκαρπες** χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο για φαγητό (Καλαμών, Κονσερβολιά, Καρυδολιά, Ελιά Χαλκιδικής, Κοθρέϊκη).

Στον ελλαδικό χώρο οι κύριες περιοχές καλλιεργούμενων εκτάσεων ελαιόδεντρων είναι προς τα νότια της χώρας, δηλαδή περιοχές που είναι θερμές και ξηρές, όπως η Κρήτη, η Πελοπόννησος, τα νησιά του Ιονίου Πελάγους και τα νησιά του Αιγαίου. Οι περιοχές αυτές αποτελούν την κύρια παραγωγή ελαιόλαδου στην Ελλάδα με την υψηλότερη παραγωγή να προέρχεται από τις περιφέρειες Κρήτης και Πελοποννήσου. Οι βρώσιμες ελιές παράγονται κατά κύριο λόγο στις Περιφερειακές Ενότητες Λάρισας, Εύβοιας, Αιτωλοακαρνανίας, Μαγνησίας, Μεσσηνίας, Φθιώτιδας, Χαλκιδικής, Λακωνίας, Άρτας [11]. Τέλος, τα βασικότερα προϊόντα/παραπροϊόντα από την καλλιέργεια ελιάς είναι:

1. Το ελαιόλαδο (Μονάδα παραγωγής: Ελαιοτριβείο).
2. Οι βρώσιμες ελιές.
3. Το πυρηνέλαιο (Μονάδα παραγωγής: Πυρηνελαιουργείο).
4. Το σαπούνι από ελαιόλαδο.
5. Το πυρηνόξυλο. Στερεό βιοκαύσιμο που χρησιμοποιείται στη λειτουργία των μονάδων παραγωγής πυρηνέλαιου.

6. Το ξυλάκι. Το ξυλώδες μέρος του καρπού (κουκούτσι) χωρίς το σαρκώδες μέρος και χρησιμοποιείται ως καύσιμο.
7. Η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων κλαδεμάτων που χρησιμοποιούνται και ως καυσόξυλα.

2.2. Υπολειμματική Βιομάζα Ελιάς και Επιλογή Περιοχής Μελέτης

Η συνολική έκταση της Ελλάδας υπολογίζεται περίπου στα 131,957,000 στρ. από τα οποία σε καλλιεργήσιμη έκταση ανέρχονται τα 32,209,000 στρ. καταλαμβάνοντας περίπου το 24% της συνολικής έκτασης της. Από την έκταση αυτή το 2% αντιστοιχεί σε κηπευτικές καλλιέργειες, το 11% σε αγραναπαύσεις, το 34% σε μόνιμες καλλιέργειες και τέλος το 53% σε αροτραίες καλλιέργειες, Σχήμα 2.1. Από τις μόνιμες καλλιέργειες μελετήθηκαν οι ελαιώνες που καταλαμβάνουν το 68.1% της αντίστοιχης έκτασης. [13]

ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ ΕΚΤΑΣΗ ΕΛΛΑΔΟΣ



Σχήμα 2.1: Ποσοστιαία παρουσίαση διαφόρων καλλιεργειών στην Ελλάδα

Ξεκινώντας θα γίνει παρουσίαση των διαδικτυακών εργαλείων (η Πλατφόρμα S₂BIOM [14], η Πλατφόρμα BioRaise [15] και τέλος η Πλατφόρμα MyGIS [16] που δημιουργήθηκε από το Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ) του Εθνικού Κέντρου Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου AGROinLOG) αλλά και του τρόπου υπολογισμού της υπολειμματικής βιομάζας από δενδρώδεις καλλιέργειες για το καθένα ξεχωριστά. Επίσης θα ακολουθήσει και συγκριτική μελέτη μεταξύ των διαδικτυακών εργαλείων και των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ως προς την συνολική καλλιεργούμενη έκταση μόνιμων καλλιεργειών (ελαιώνων) και των αντίστοιχων δυναμικών βιομάζας.

Σε επόμενο στάδιο, έπειτα από τους απαραίτητους υπολογισμούς και με βάση τις οδηγίες του τρέχοντος ευρωπαϊκού προγράμματος αλλά και τις κατευθύνσεις των επιστημονικών συνεργατών του ΕΚΕΤΑ, έγινε η επιλογή της περιοχής υπολογισμού των αντίστοιχων δυναμικών βιομάζας ανά χιλιομετρική απόσταση από την μονάδα μελέτης. Η περιοχή που επιλέχθηκε ήταν:

- **Περιφέρεια:** Πελοποννήσου
- **Περιφερειακή Ενότητα:** Αργολίδος
- **Δήμος:** Άργους-Μυκηνών (Νέας Κίου)
- **Μονάδα προς μελέτη:** ΕΛΣΑΠ Α.Ε.

Έχοντας επιλέξει την τοποθεσία μελέτης, έγινε εύρεση (υπολογισμοί) της καλλιεργούμενης έκτασης και του αντίστοιχου δυναμικού ξηρής βιομάζας με ελάχιστη χιλιομετρική απόσταση από το πυρηνελαιουργείο τα 5 km και με μέγιστη τα 25 km. Στόχος, ήταν η επιλογή της κατάλληλης χιλιομετρικής απόστασης και ο προσδιορισμός της αναγκαίας ποσότητας υπολειμματικής βιομάζας για την λειτουργία της υφιστάμενης μονάδας (πυρηνελαιουργείο) αλλά και των μελλοντικών μονάδων (Pellet και ORC), έχοντας ως κριτήρια το χαμηλότερο δυνατό κόστος προμήθειας και μεταφοράς της αλλά και την εποχικότητα της. Στο τελευταίο στάδιο πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί, με σκοπό την παρουσίαση της εποχικότητας της βιομάζας διαφόρων καλλιεργειών, εκτός των ελαιόδεντρων, με πιθανή εναλλακτική αξιοποίηση της κατά τη διάρκεια του έτους.

2.2.1. Συνοπτική παρουσίαση των διαδικτυακών εργαλείων μελέτης υπολειμματικής βιομάζας (κλαδέματα ελιάς) για διάφορες χιλιομετρικές ακτίνες με κέντρο τη μονάδα μελέτης.

BioRaise GIS: Πρόκειται για ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Biomass Plus. Σκοπός, του προγράμματος μέσω της πλατφόρμας είναι η ποιοτική αξιολόγηση διαφόρων ειδών βιομάζας στις Μεσογειακές χώρες, με στόχο την αξιοποίησή τους για παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων προς τον οικιακό τομέα. Επίσης μία από τις δυνατότητες του είναι η εκτίμηση του ισοδύναμου ενεργειακού περιεχομένου της περιοχής που μελετάται μαζί με τα αντίστοιχα κόστη μεταφοράς. Από την πλατφόρμα αξιοποιήθηκαν πληροφορίες που αφορούν το δυναμικό βιομάζας από γεωργικές καλλιέργειες (ελαιώνες).

Η μεθοδολογία υπολογισμού των δυναμικών αυτών βασίζεται σε δεδομένα της EUROSTAT σχετικά με την παραγωγικότητα και τις αντίστοιχες καλλιεργούμενες επιφάνειες γης (μέσους όρους δεκαετίας) που έχουν συνδεθεί με γεωργικά δεδομένα από το παγκόσμιο σύστημα παρακολούθησης εκτάσεων γης Copernicus και συγκεκριμένα μέσω του CORINE LAND COVER. Για τον υπολογισμό των θεωρητικών δυναμικών βιομάζας εφαρμόστηκε ο συντελεστής **RPR** (Residue to Product Ratio, Ποσότητα κλαδεμάτων προς αριθμό δέντρων) για κάθε γεωργική παραγωγή και η αποδοτικότητα της παραγωγής (t/ha) που είναι εγκατεστημένη στην περιοχή μελέτης. Ενώ για τον προσδιορισμό του πραγματικού δυναμικού βιομάζας λήφθηκαν υπόψιν τα ποσοστά απόδοσης που σχετίζονται με την διαδικασία συγκομιδής. Η μονάδα μέτρησης και του θεωρητικού αλλά και του πραγματικού δυναμικού είναι tDM/year [17].

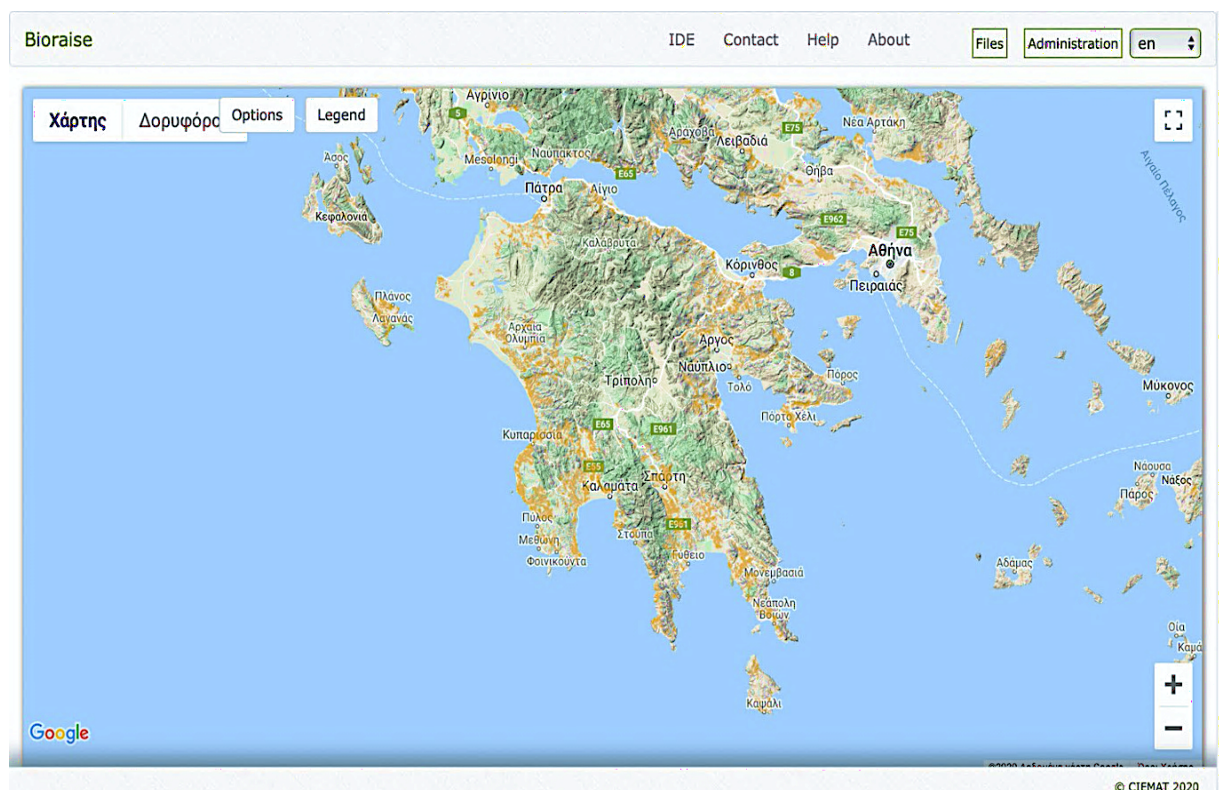
Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από το περιβάλλον του προγράμματος αλλά και οι Πίνακες 2.1 και 2.2 με το δείκτη RPR, το ποσοστό απόδοσης συγκομιδής για την ελιά στον Ελλαδικό χώρο και τα αντίστοιχα δυναμικά βιομάζας με τις αντίστοιχες καλλιέργειες ανά χιλιομετρική απόσταση από την μονάδα μελέτης.

Πίνακας 2.1: Δείκτης RPR και ποσοστό αποδοτικότητας συγκομιδής για ελαιόδεντρα.

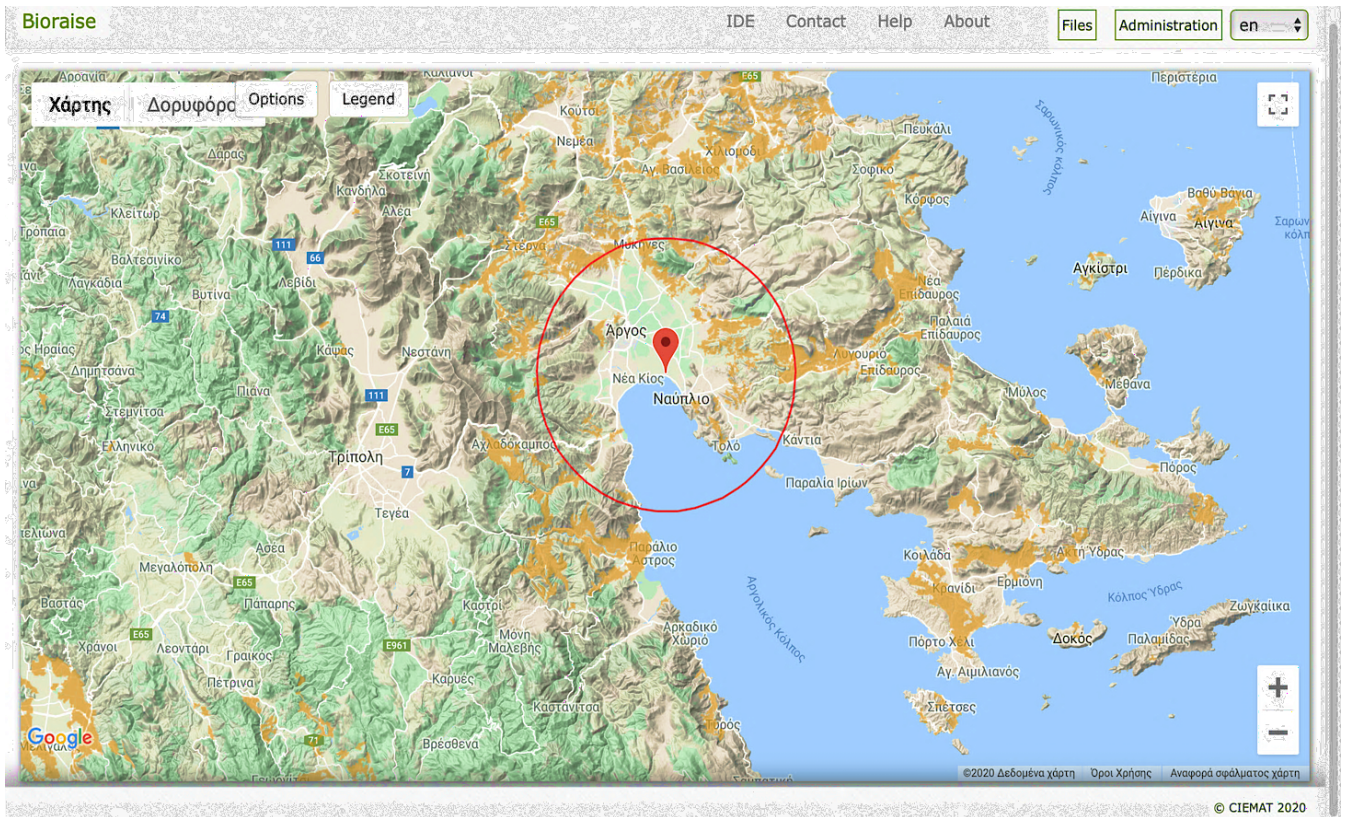
Δείκτης RPR [tDM/tWM]	0.50
Ποσοστό Αποδοτικότητας συγκομιδής (%)	94

Πίνακας 2.2: Παρουσίαση δεδομένων (χιλιομετρικής απόστασης, εκτάσεων και δυναμικού βιομάζας) για το Πυρηνελαιουργείο ΕΛΣΑΠ Α.Ε. Ναυπλίου.

ΕΛΣΑΠ Α.Ε. ΝΑΥΠΛΙΟΥ (BioRaise)						
Χιλιομετρική Απόσταση από την μονάδα μελέτης	[km]	5	10	15	20	25
Έκταση Ελαιώνων	[στρμ.]	/	8,174	35,454	73,592	136,437
Σύνολο Υπολειμματικής Βιομάζας	[tDM/year]	/	832	3,611	7,494	13,895



Εικόνα 2.1: Πλατφόρμα BioRaise. Διαμέρισμα Πελοποννήσου με τις καλλιεργούμενες εκτάσεις ελαιόδεντρων (πορτοκαλί χρώμα).



Εικόνα 2.2: Πλατφόρμα BioRaise. Περιφερειακή ενότητα Αργολίδος. Προσδιορισμός δυναμικού ξηρής βιομάζας σε χιλιομετρική ακτίνα 15 km από το πυρηνελαιουργείο

Calculation results

Resources and costs

Agricultural Biomass	Potential resources (tDM/year)	Available resources (tDM/year)	Average cost of collection (€/tDM)	Resources surface (ha)	Average transport cost (€/tDM)
Olive	42.51	29.76	38	87.63	415.89
Mixed	2,361.88	1,180.94	45	929.61	414.72

Forest Biomass	Potential resources (tDM/year)	Available resources (tDM/year)	Average cost of collection (€/tDM)	Surface of potential resources (ha)	Surface of available resources (ha)	Average transport cost (€/tDM)
Conifers	1,598.74	683.83	58.8	4,025.3	4,000.98	415.73
Broadleaved species	1,359.36	605.66	48.94	1,212.2	1,144.31	421.31
Mixed	961	387.15	46.69	1,272.38	1,272.38	423.47
Shrub	6.57	1.97	50.3	10.95	10.95	414.84

A Transportation fuel cost €/liter

Εικόνα 2.3: Πλατφόρμα BioRaise. Περιφερειακή ενότητα Αργολίδος. Πίνακας αποτελεσμάτων υπολογισμού ξηρής βιομάζας σε χιλιομετρική ακτίνα 15 km από το πυρηνελαιουργείο.

MyGIS: Πρόκειται για μια διαδικτυακή πλατφόρμα γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος AGROinLOG μέσω του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης και αποσκοπεί στον προσδιορισμό υπολειμματικής βιομάζας από κλαδέματα ελιάς σε όλη την Ελλάδα για διάφορα NUTS. Ένας από τους στόχους του προγράμματος είναι η δημιουργία ενός Ολοκληρωμένου Κέντρου Εφοδιασμού Βιομάζας (Ο.Κ.Ε.Β) με την ενσωμάτωση του σε μια αγρό-βιομηχανία. Αναφέρεται στην έναρξη μιας νέας δραστηριότητας στον χώρο της βιομάζας, η οποία θα περιλαμβάνει: τη συγκομιδή, τη συλλογή και την προμήθεια της προς την αγρό-βιομηχανία, με σκοπό τη μετατροπή της σε αγαθό υψηλότερης προστιθέμενης αξίας (pellet, τσιπς ξύλου, μπρικέτες) και την τελική εμπορία αυτής. Στην υλοποίηση αυτής της δράσης έπαιξε σημαντικό ρόλο η δημιουργία της πλατφόρμας MyGIS.

Η πλατφόρμα αξιοποιεί κτηματολογικά δεδομένα από την Υπηρεσία Ελληνικού Κτηματολογίου, δεδομένα από τον Οργανισμό Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε) και από την ΕΛΣΤΑΤ, όπου σε συνδυασμό με τα γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα παρέχει πληροφορίες ως προς τις καλλιεργούμενες εκτάσεις ελαιόδεντρων acre, τον αριθμό δέντρων, των ποικιλιών, του προσδιορισμού ξηρής βιομάζας kg και την αποδοτικότητα του αγροτεμαχίου/ων που μελετάμε t/stremma **RSR** (Residue to Surface Ratio). Η ξηρή βιομάζα προσδιορίζεται μέσω απλής εξίσωσης χρησιμοποιώντας λόγους βιομάζας ανά δέντρο (biomass per tree ratio). Αυτοί οι λόγοι προέκυψαν μέσα από μετρήσεις που εφαρμόστηκαν εντός των αγρών στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος AGROinLOG και up Running από το ΕΚΕΤΑ. Η πλατφόρμα υπολογίζει τη δυναμικότητα ξηρής βιομάζας ως:

$$\text{Ξηρή Βιομάζα (kg)} = \text{αριθμός δέντρων} * (\text{βιομάζας/δέντρο}) \quad \text{Εξίσωση 2.1}$$

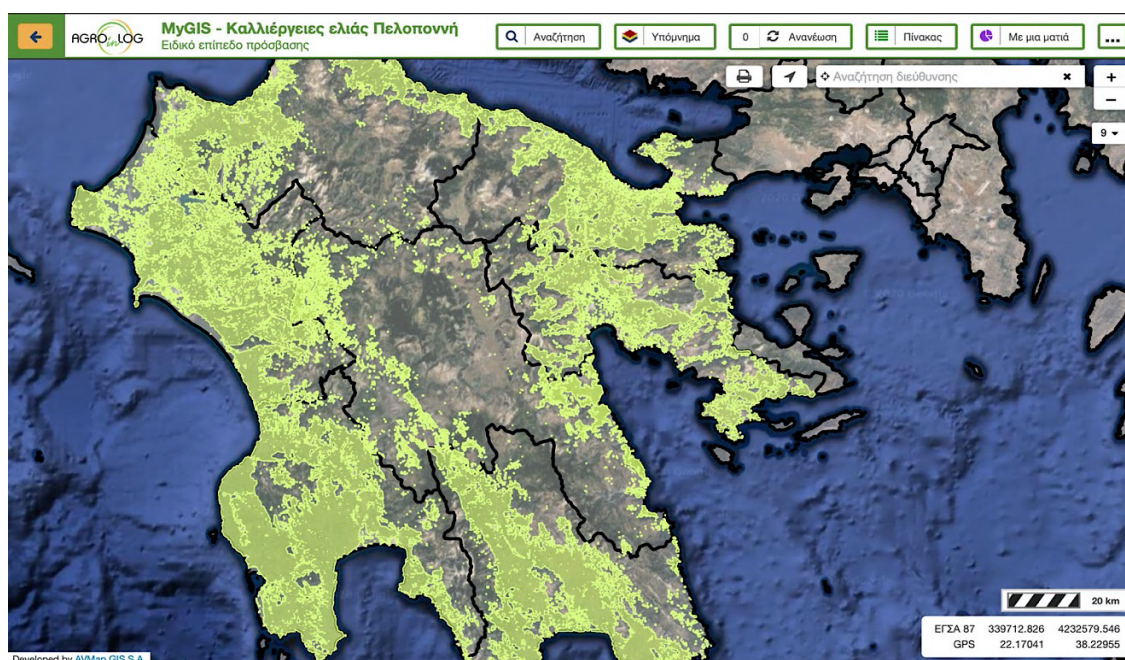
Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού της αποδοτικότητας των αγροτεμαχίων από το πηλίκο των παραγόμενων κιλών κλαδεμάτων ανά δέντρο (διαφορετικό για κάθε ποικιλία) επί τον αριθμό των δέντρων του αγροτεμαχίου προς την έκταση του αγροτεμαχίου, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω σχέση, με μονάδα μέτρησης [t/stremma] :

$$\text{Αποδοτικότητα (RSR)} = ((\text{kg/Δέντρο}) * \text{Αριθμός Δέντρων}) / \text{Έκταση} \quad \text{Εξίσωση 2.2}$$

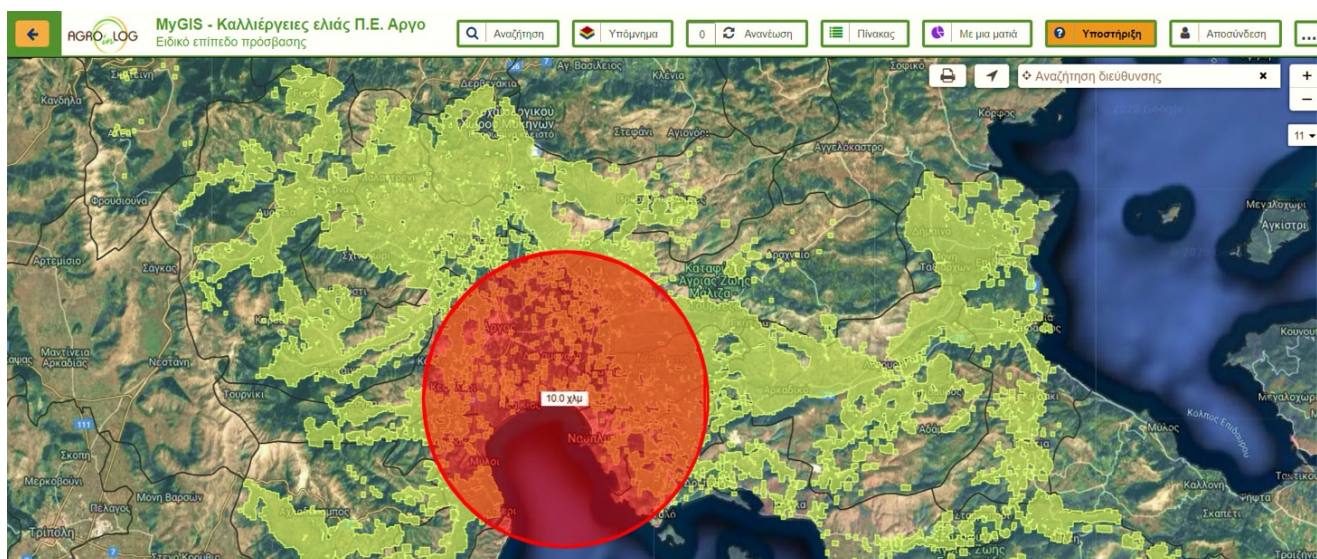
Τέλος, έχοντας ως κέντρο τη τοποθεσία του πυρηνελαιουργείου υπολογίστηκαν για διάφορες χιλιομετρικές αποστάσεις οι αντίστοιχες καλλιεργούμενες εκτάσεις με τα αντίστοιχα δυναμικά βιομάζας Πίνακας 2.3. Σκοπός, ήταν η επιλογή της κατάλληλης χιλιομετρικής απόστασης με το αντίστοιχο αναγκαίο δυναμικό βιομάζας και με το χαμηλότερο δυνατό κόστος μεταφοράς της προς αυτή. Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από το περιβάλλον λειτουργίας της πλατφόρμας αλλά και της περιοχής που μελετήθηκε.

Πίνακας 2.3: Παρουσίαση δεδομένων (χιλιομετρική απόσταση, εκτάσεις και δυναμικού βιομάζας) για το Πυρηνελαιουργείο ΕΛΣΑΠ Α.Ε. Ναυπλίου.

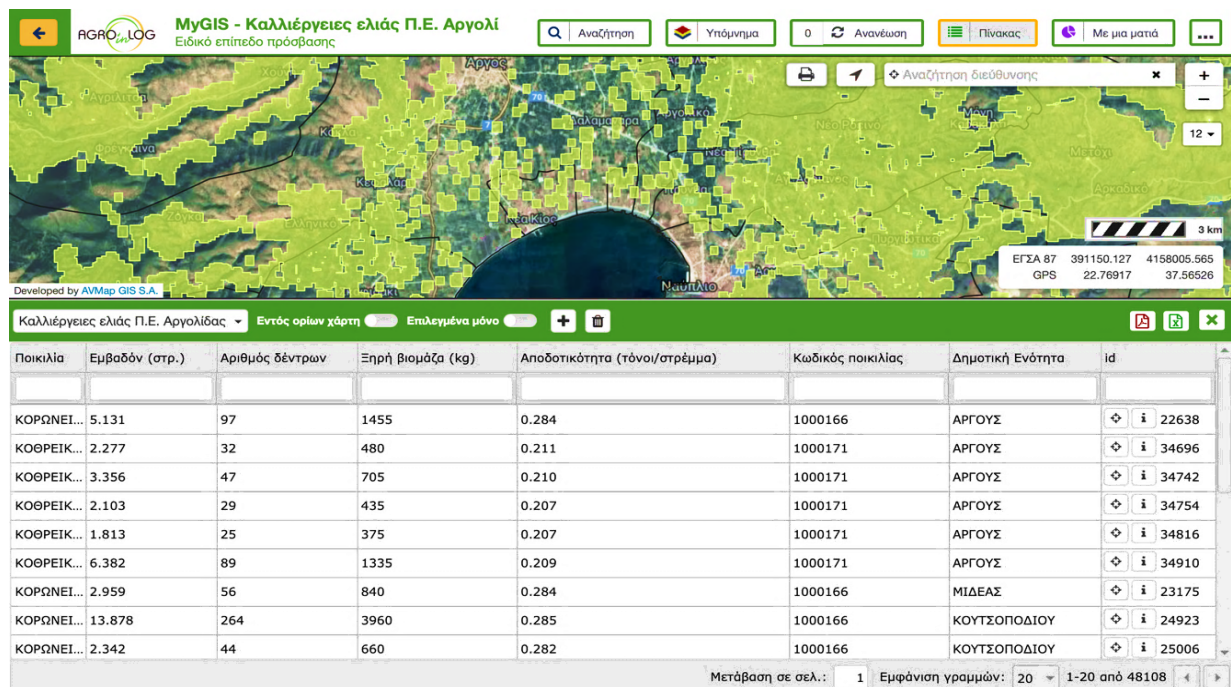
ΕΛΣΑΠ Α.Ε. ΝΑΥΠΛΙΟΥ (AGROinLOG - MyGIS)						
Χιλιομετρικό Εύρος	[km]	5	10	15	20	25
Έκταση Ελαιώνων	[στρμ.]	2,234	25,340	64,475	115,873	244,642
Σύνολο Υπολειμματικής Βιομάζας	[tDM/year]	560	5,450	14,020	25,715	54,711



Εικόνα 2.4: Πλατφόρμα MyGIS. Διαμέρισμα Πελοποννήσου με τις καλλιεργούμενες περιοχές σε ελαιώνες.

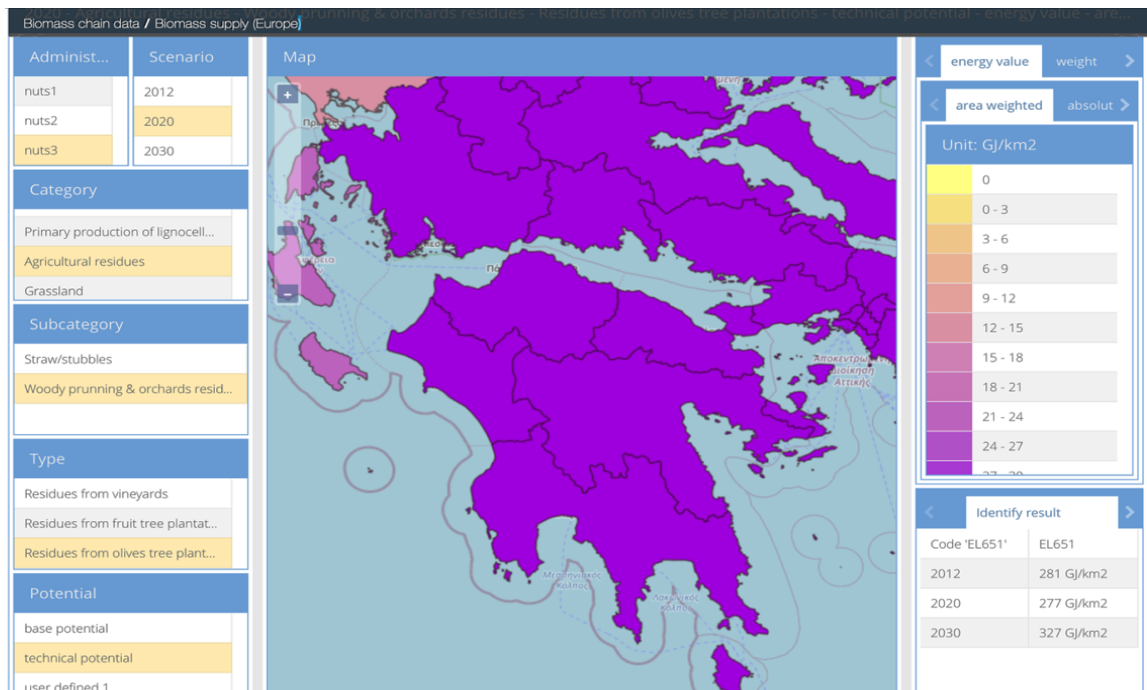


Εικόνα 2.5: Πλατφόρμα MyGIS. Περιοχή μελέτης απόστασης 10 [km] από το Πυρηνελαιουργείο.

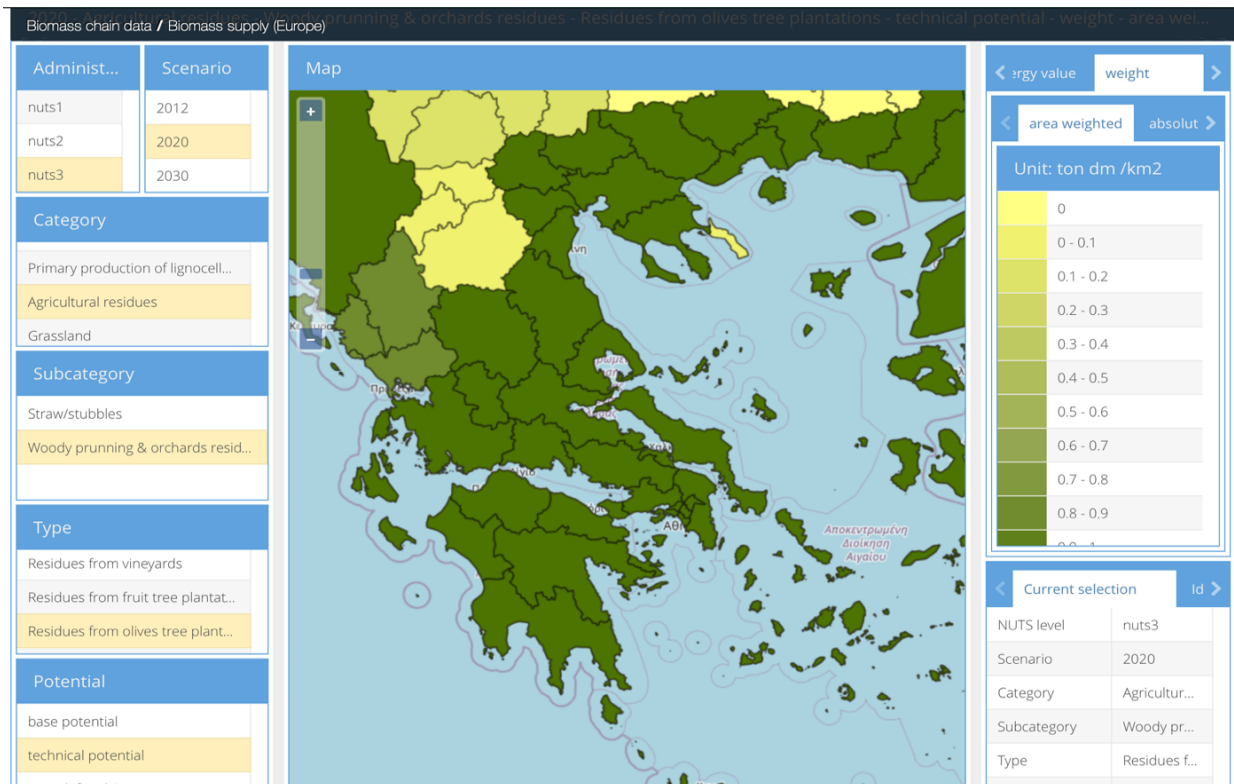


Εικόνα 2.6: Πλατφόρμα MyGIS. Παρουσίαση δεδομένων καλλιέργειας ελιάς για την Περιφερειακή Ενότητα Αργολίδος.

S2Biom: Η πλατφόρμα S2Biom δημιουργήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος EuroPruning. Στόχος του EuroPruning είναι να καλύψει το κενό σε δεδομένα σχετικά με τη διαθεσιμότητα υπολειμματικής βιομάζας (κλαδέματα) στην Ευρώπη και να αναπτύξει εφοδιαστικές αλυσίδες, με σκοπό την αξιοποίηση της είτε για παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων είτε για απευθείας χρήση σε λέβητες βιομάζας. Η πλατφόρμα σχετικά με την υπολειπόμενη βιομάζα προσδιορίζει: το τεχνικό δυναμικό που αντιπροσωπεύει την απόλυτη μέγιστη ποσότητα λιγνοκυτταρινικών υπολειμμάτων που είναι πιθανώς διαθέσιμα, το βασικό δυναμικό (θεωρητικό) που λαμβάνει υπόψη το ποσό της υπολειμματικής βιομάζας που δεν αξιοποιείται για να διατηρηθεί σταθερή η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα του εδάφους, και τέλος το δυναμικό που καθορίζεται από τον χρήστη. Για τον προσδιορισμό κλαδεμάτων ελιάς αξιοποιήθηκε το τεχνικό δυναμικό για το έτος 2020. Μερικά από τα δεδομένα που αντλεί προέρχονται από στατιστικές έρευνες της Eurostat, του IASA/FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), του BEE (Biomass Energy Europe), μέσω του European Environment Agency αλλά και μοντέλων υπολογισμού βιομάζας όπως το CAPRI (Common Agriculture Policy Regionalized impact), το Globiom και το MITERRA-Europe που σε συνδυασμό με τα συστήματα GIS (Copernicus, ESRI κ.α.) παρέχει τις πληροφορίες δυναμικών υπολειμματικής βιομάζας. Η μεθοδολογία υπολογισμού που ακολουθεί για το δυναμικό υπολειμματικής βιομάζας μόνιμων καλλιεργειών έγινε μέσω παραμετροποίησης του δείκτη RSR για κάθε είδος μόνιμης καλλιέργειας (νερό βροχόπτωσης, ποτίσματος, καλλιεργητικές τεχνικές κ.α.) προς την έκταση της καλλιέργειας που μελετάμε, ανάλογα το επίπεδο NUTS που χρησιμοποιούμε για την μελέτη. Τέλος, ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα του εργαλείου (S2Biom) πέρα από την έλλειψη παρουσίασης των συνολικών καλλιεργούμενων εκτάσεων και τον συνολικό αριθμό δέντρων για διάφορα επίπεδα NUTS είναι και η έλλειψη επιλογής και παρουσίασης των προαναφερθέντων δεδομένων με βάση την χλιομετρική απόσταση από ένα σημείο μελέτης. Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από το περιβάλλον λειτουργίας της πλατφόρμας αλλά και της περιοχής που μελετήθηκε.



Εικόνα 2.7: Πλατφόρμα S2Biom. Παρουσίαση τεχνικού ενεργειακού δυναμικού βιομάζας κλαδεμάτων σε επίπεδο NUTS 3 για το διαμέρισμα της Πελοποννήσου.



Εικόνα 2.8: Πλατφόρμα S2Biom. Παρουσίαση τεχνικού δυναμικού βιομάζας κλαδεμάτων σε επίπεδο NUTS 3 για τον Ελλαδικό χώρο.

Στη συνέχεια της μελέτης πραγματοποιήθηκε σύγκριση των δεδομένων άντλησης από τα διαδικτυακά εργαλεία και από τα δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (2017). Αποδείχθηκε πως οι πλατφόρμες και τα αντίστοιχα δεδομένα είχαν αποκλίσεις μεταξύ τους ως προς την έκταση των ελαιώνων, το δυναμικό βιομάζας αλλά και τον αριθμό των δέντρων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε εργαλείο στην μεθοδολογία προσδιορισμού της υπολειμματικής βιομάζας χρησιμοποιεί διαφορετικής χρονολογίας δεδομένα και διαφορετικό τρόπο υπολογισμού. Έτσι, επιλέχθηκε η πιο αξιόπιστη μέθοδος υπολογισμού των αναγκαίων δεδομένων με την μικρότερη δυνατή απόκλιση. Στους παρακάτω Πίνακες 2.4 και 2.5, φαίνονται αναλυτικά οι υπολογισμοί και οι αντίστοιχες αποκλίσεις μεταξύ των δεδομένων και των διαδικτυακών εργαλείων.

Πίνακας 2.4: Παρουσίαση αποτελεσμάτων μεταξύ των εργαλείων ως προς τη συνολική έκταση ελαιώνων, το συνολικό δυναμικό βιομάζας και τον συνολικό αριθμό δέντρων στην επικράτεια.

Πλατφόρμα	Χρονολογία Υπολογισμών Ανά Πλατφόρμα	Συνολική έκταση Καλλιεργούμενων Ελαιώνων [στρμ.]	Συνολικό Δυναμικό Κλαδεμάτων Ελαιόδέντρων [tDM]	Συνολικός Αριθμός Ελαιόδέντρων
Ελληνική Στατιστική Αρχή	2017	7,926,425	-	148,053,557
AGROinLOG MyGIS	ΟΠΕΚΕΠΕ 2017	7,391,854	2,098,059	132,981,238
BioRaise	Eurostat 2005-2014	6,727,841	685,855	-
S2Biom	2013	-	943,600	-

Πίνακας 2.5: Παρουσίαση αποκλίσεων μεταξύ των εργαλείων-δεδομένων.

Πλατφόρμα	Απόκλιση Έκταση Καλλιεργούμενων Ελαιώνων	Απόκλιση Δυναμικό Κλαδεμάτων Ελαιόδέντρων	Απόκλιση Αριθμός Ελαιόδέντρων
ΕΛΣΤΑΤ-MyGIS	6.7%	-	10.2%
ΕΛΣΤΑΤ-BioRaise	15.1%	-	-
ΕΛΣΤΑΤ-S2Biom	-	-	-
MyGIS-BioRaise	9.0%	67.3%	-
MyGIS-S2Biom	-	55.0%	-
BioRaise-S2Biom	-	27.3%	-

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται πως η αξιολόγηση των δεδομένων που πρόκειται να παρουσιαστούν για τον προσδιορισμό της έκτασης των καλλιεργούμενων ελαιώνων, του δυναμικού υπολειμματικής βιομάζας κλαδεμάτων ελιάς και του αριθμού ελαιόδεντρων στην Ελλάδα, θα προέλθουν από την διαδικτυακή πλατφόρμα AGROinLOG-MyGIS και από τα δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής. Η τελική επιλογή καθορίστηκε με γνώμονα την εγκυρότητα των δεδομένων (προέλευση και έτος παρουσίασης, το πλέον ολοκληρωμένο πλήθος πληροφοριών που παρέχει κάθε εργαλείο αλλά και την ελάχιστη ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των δεδομένων). Οπότε με βάση την συγκριτική μελέτη που έγινε ως προς τα δεδομένα άντλησης (αριθμό δέντρων, παρουσίαση εκτάσεων, δυνατότητα προσδιορισμού βιομάζας με βάση την χιλιομετρική απόσταση από ένα σημείο μελέτης και τον υπολογισμό βιομάζας), το περιβάλλον χρήσης του εργαλείου για τον τρόπο υπολογισμού δυναμικών υπολειμματικής βιομάζας επιλέχθηκε να είναι το AGROinLOG-MyGIS.

2.2.2. Μελέτη Δυναμικού Υπολειμματικής Βιομάζας Ελιάς στην περιοχή του Ναυπλίου.

Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η περιοχή μελέτης ήταν ο Δήμος Άργους-Μυκηνών. Η επιλογή έγινε με βάση την καλλιεργούμενη έκταση ελαιόδεντρων και την πρόσβαση δεδομένων στην μονάδα που θα μελετηθεί (ΕΛΣΑΠ Α.Ε.). Συγκεκριμένα στους παρακάτω Πίνακες 2.6 και 2.7 θα παρουσιαστούν δεδομένα μετά από υπολογισμούς που έγιναν για τη περιφέρεια Πελοποννήσου και ειδικότερα για την περιφερειακή ενότητα Αργολίδος. Κάποια από τα υπάρχοντα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ χρησιμοποιήθηκαν ως επι το πλείστον σαν δείκτης αναφοράς.

Πίνακας 2.6: Παρουσίαση δεδομένων Επεξεργασίας για Περιφέρεια Πελοποννήσου.

Περιφέρεια	Καλλιεργούμενη Έκταση [στρμ.]		Δυναμικό Κλαδεμάτων Ελαιόδεντρων [tDM]		Αριθμός Ελαιόδεντρων	
	MyGIS	ΕΛΣΤΑΤ	MyGIS	ΕΛΣΤΑΤ	MyGIS	ΕΛΣΤΑΤ
Πελοποννήσου	1,967,904	2,210,395	496,488	-	35,724,158	40,905,486

Στην Πελοπόννησο οι ποικιλίες ελιάς που καλλιεργούνται για παραγωγή ελαιόλαδου είναι: Κορωνέικη, Μαστοειδής, Κοθρέικη, Αγουρομανακοελιά, Κουτσουρελιά και Μεγαρείτικη. Ενώ για επιτραπέζια χρήση: Καλαμών, Γαϊδουρολιά, Μεγαρείτικη [18]. Η μέση δυναμικότητα παραγωγής ξηρής βιομάζας (κλαδέματα) μετά από επιτόπιες μετρήσεις στους αγρούς ήταν για της Αμφίσσης και Καλαμών 30 Dry kg/tree/year ενώ για τις υπόλοιπες ποικιλίες κοντά στα 15 Dry kg/tree/year. Η δυναμικότητα ποικίλει ανάλογα με την περίοδο, τις συνθήκες και το είδος κλαδέματος. Η συνολική έκταση της Πελοποννήσου ανέρχεται στα 15,486,900 στρμ. Από αυτή την έκταση οι καλλιέργειες ελιάς ανέρχονται στο 12.71%. Για τον νομό Αργολίδας το ποσοστό εκμεταλλευσιμότητας της γης για καλλιέργεια ελαιώνων ανέρχεται στο 12.22%, Πίνακας 2.7.

Πίνακας 2.7: Παρουσίαση δεδομένων Επεξεργασίας για την Περιφερειακή Ενότητα Αργολίδος.

Περιφερειακή Ενότητα	Καλλιεργούμενη Έκταση [στρμ.]		Δυναμικό Κλαδεμάτων Ελαιόδεντρων [tDM]		Αριθμός Ελαιόδεντρων	
	MyGIS	ΕΛΣΤΑΤ	MyGIS	ΕΛΣΤΑΤ	MyGIS	ΕΛΣΤΑΤ
Αργολίδος	240,424	283,580	54,711	-	3,635,874	4,740,140

Από τα παραπάνω διαφαίνεται πως η Πελοπόννησος, αλλά και συγκεκριμένα ο νομός Αργολίδος αποτελούν ενδιαφέρουσα περίπτωση μελέτης δυναμικού υπολειμματικής βιομάζας από κλαδέματα ελιάς.

Επίσης, για την περιφερειακή ενότητα Αργολίδος μελετήθηκαν και τα δυναμικά υπολειμματικής βιομάζας από εναλλακτικές καλλιέργειες (αμπέλι, πορτοκαλιές, μηλιές κ.α.), η αντίστοιχη εποχικότητα τους και το κατά προσέγγιση δυναμικό κλαδεμάτων χρησιμοποιώντας σαν δεδομένα τον συνολικό αριθμό δέντρων ανά είδος καλλιέργειας (ΕΛΣΤΑΤ). Για τον υπολογισμό της υπολειμματικής βιομάζας ανά καλλιέργεια λήφθηκε σαν δεδομένο ο συνολικός αριθμός δέντρων για κάθε καλλιέργεια για την συγκεκριμένη περιφερειακή ενότητα. Στη συνέχεια μέσα από βιβλιογραφικές πηγές για την παραγωγή κλαδεμάτων (kg/Δέντρο-Πρέμνο) [19], [20], [21], [22] και κάνοντας μια παραδοχή για τον αριθμό των δέντρων ανά καλλιεργούμενη έκταση [23] (ανάλογα με τον τρόπο φύτευσης κάθε καλλιέργειας και τον αντίστοιχο αριθμό δέντρων ανά τρόπο) υπολογίστηκε ένα εύρος (min-max) του δείκτη RSR για κάθε καλλιέργεια ανά χρόνο. Μόνο για το δυναμικό βιομάζας από ελαιόδεντρα χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο MyGIS. Στους Πίνακες 2.8 και 2.9 παρουσιάζονται τα δεδομένα των καλλιεργειών που μπορούν να αξιοποιηθούν ως εναλλακτικές πηγές κλαδεμάτων, με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων (καύσιμο) της υφιστάμενης μονάδας (πυρηνελαιουργείο) αλλά και των υπό μελέτη μονάδων (Pellet και ORC), για όλη την διάρκεια του έτους

Όπως, είναι φανερό, Πίνακας 2.8, υπάρχει μια περίοδος 3 με 10 μηνών μέσα στο έτος, όπου δεν μπορούν να γίνουν κλαδέματα (ανάλογα την καλλιέργεια), με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός κενού στην αλυσίδα εφοδιασμού. Επίσης παρατηρήθηκε, Πίνακας 2.9, μια αύξηση στον αριθμό των δέντρων από το 2017 στο 2018 με την αντίστοιχη αύξηση της παραγόμενης βιομάζας ανά καλλιέργεια. Η κάλυψη αυτή είναι αναγκαία να γίνει, διότι εξυπηρετεί την ομαλή και συνεχή λειτουργία των μονάδων στη διάρκεια του έτους με σταθερή παροχή καυσίμου. Οι πιθανές λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν είναι:

1. Συλλογή βιομάζας από ένα μόνο είδος καλλιέργειας και αποθήκευση της είτε στο χώρο συλλογής είτε σε διαμορφωμένο χώρο δίπλα από τις μονάδες.
2. Αξιοποίηση πολλαπλών ειδών βιομάζας με την αντίστοιχη μετασυλλεκτική διαχείριση.
3. Αγορά της αναγκαίας υπολειπομένης βιομάζας για την κάλυψη των αναγκών από τοπικούς παραγωγούς.
4. Μίγμα καυσίμου. Αξιοποίηση του μέγιστου δυναμικού βιομάζας από μία ή περισσότερες καλλιέργειες της περιοχής για ένα ορισμένο διάστημα μέσα στο έτος και κάλυψη της εναπομένουσας ενεργειακής απαίτησης των μονάδων από ένα συμβατικό καύσιμο, όπως το Φυσικό Αέριο.

Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει αναλυτική προσέγγιση της επιλεγόμενης μεθόδου.

Πίνακας 2.8: Παρουσίαση Εναλλακτικών Καλλιεργειών προς Αξιοποίηση με ταυτόχρονη παρουσίαση της Εποχικότητας τους για την Περιφερειακή Ενότητα Αργολίδος.

ΕΠΟΧΙΚΟΤΗΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ																
Είδος Καλλιέργειας	Υπολειμματική Βιομάζα (Κλαδέματα)			Περίοδος Κλαδέματος										RSR [t _{DM} /στρέμμα/γ]		
	Δέντρα/Στρέμμα	kg/Δέντρο	Συχνότητα Κλαδέματος/χρόνο	Ι.	Φ.	Μ.	Α.	Μ.	Ι.	Ι.	Α.	Σ.	Ο.		Ν.	Δ.
Ελιά (<i>Olea europaea</i>) ^[MyGIS]	15 - 20	15-30	1 - 2													0.2 – 0.8
Πορτοκαλιά (<i>Citrus sinensis</i>)	25 - 40	10.7 – 6.7	1													0.268 – 0.3
Αμπέλι (<i>Vitis vinifera</i>)	200 - 350	0.5 - 1	1 - 2													0.1 – 0.4
Μηλιά (<i>Malus domestica</i>)	28 - 40	12 - 17	1													0.48
Αχλαδιά (<i>Pyrus communis L.</i>)	20 - 40	12 - 6	1													0.23 - 0.248
Ροδιά (<i>Punica granatum</i>)	50 - 125	8 - 3	1													0.4
Ροδακινιά (<i>Prunus persica</i>)	50- 130	11 - 4	1													0.55 – 0.6
Νεκταρινιά (<i>Prunus persica nectarina</i>)	50- 130	12.5 - 5	1													0.6 – 0.62
Βερυκοκιά (<i>Prunus armeniaca</i>)	12 - 30	14.5 - 11	1													0.2 – 0.25

* Τα δεδομένα των στηλών: Δέντρα/Στρέμμα, Κιλά/Δέντρο, Συχνότητα κλαδέματος αξιοποιήθηκαν μέσα από τις αντίστοιχες πηγές [19], [20], [21], [22], [23].

** Στους μήνες **Ιούλιο-Αύγουστο** (ανοιχτό πράσινο χρώμα) σε κάποιες ποικιλίες ελιών εφαρμόζεται και ένα επιπλέον κλάδεμα αφαίρεσης λαιμάργων (πολλοί ζωηροί βλαστοί) ανάλογα την κατάσταση του δέντρου.

Πίνακας 2.9: Παρουσίαση δυναμικού βιομάζας ανά καλλιεργούμενο είδος στην περιφερειακή ενότητα Αργολίδος.

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ								
Είδος Καλλιέργειας	Υπολειμματική Βιομάζα (Κλαδέματα)			Αριθμός Δέντρων (2017)	Αριθμός Δέντρων (2018)	ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΜΑΖΑΣ [t]		Ποσοστιαία Διαφορά %
	Δέντρα/Στρέμμα	kg/Δέντρο	Συχνότητα Κλαδέματος/χρόνο			2017	2018	
Ελιά (<i>Olea europaea</i>) ^[MyGIS]	15 - 20	15-30	1 - 2	4,740,140	4,630,852	106,653	104,194	-2%
Πορτοκαλιά (<i>Citrus sinensis</i>)	25 - 40	10.7 - 6.7	1	4,297,275	4,375,087	37,386	38,063	2%
Αμπέλι (<i>Vitis vinifera</i>)	200 - 350	0.5 - 1	1 - 2	1,798,225	1,937,253	13,487	14,529	8%
Μηλιά (<i>Malus domestica</i>)	28 - 40	12 - 17	1	7,370	9,730	107	141	32%
Αχλαδιά (<i>Pyrus communis L.</i>)	20 - 40	12 - 6	1	33,522	35,674	302	321	6%
Ροδιά (<i>Punica granatum</i>)	50 - 125	8 - 3	1	67,975	65,047	374	358	-4%
Ροδακινιά (<i>Prunus persica</i>)	50- 130	11 - 4	1	94,672	105,947	710	795	12%
Νεκταρινιά (<i>Prunus persica nectarina</i>)	50- 130	12.5 - 5	1	40,574	45,406	365	409	12%
Βερυκοκιά (<i>Prunus armeniaca</i>)	12 - 30	14.5 - 11	1	597,065	592,988	7,583	7,531	-1%

* Τα δεδομένα των στηλών: Δέντρα/Στρέμμα, Κιλά/Δέντρο, Συχνότητα κλαδέματος αξιοποιήθηκαν μέσα από τις αντίστοιχες πηγές [19], [20] [21], [22], [23].

** Ο Αριθμός των Δέντρων για τις χρονολογίες 2017 και 2018 αντλήθηκε μέσα από δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ και οι υπολογισμοί του δυναμικού βιομάζας έγιναν με βάση τον εμπειρικό δείκτη RSR από τον Πίνακα 2.8.

3. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥ (*Πυρηνελαιουργείο*)

3.1. Εισαγωγή-Πυρηνελαιουργείο

Οι μονάδες επεξεργασίας του ελαιόκαρπου (ελαιοτριβεία) εκτός από το κύριο προϊόν τους που είναι το ελαιόλαδο παράγουν και μεγάλες ποσότητες από παραπροϊόντα (στερεά και υγρά) που ανάλογα με το σύστημα επεξεργασίας που διαθέτουν (παραδοσιακό σύστημα πίεσης ή διφασικό/τριφασικό φυγοκεντρικό σύστημα) διαφέρουν σε σύσταση και όγκο. Στα διφασικά συστήματα τα απόβλητα που προκύπτουν είναι υγρός ελαιοπυρήνας ενώ στα παραδοσιακά και τριφασικά συστήματα είναι στερεά και υγρά (ελαιοπυρήνας και κατσίγαρος). Στον διφασικό ελαιοπυρήνα (2Φ) η περιεκτικότητα σε υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 64 και 70% ενώ στον τριφασικό ελαιοπυρήνα (3Φ) κυμαίνεται μεταξύ 48 και 55%. Και στις δυο περιπτώσεις το εναπομένον έλαιο του ελαιοπυρήνα μετά την διαδικασία εξαγωγής ελαιόλαδου είναι της τάξης του 8% με 12% (επι του ξηρού) [24] [25].

Η παραλαβή των παραπροϊόντων από τα ελαιοτριβεία και η τελική αποδέσμευση του υπολειπόμενου ελαίου γίνεται στις μονάδες παραγωγής πυρηνέλαιου (πυρηνελαιουργεία) με την μέθοδο της εκχύλισης. Στα πυρηνελαιουργεία η αποδέσμευση του πυρηνέλαιου υλοποιείται σε τρεις βασικές διεργασίες:

1. **Διεργασία Ξήρανσης:** Μεταφορά ελαιοπυρήνα (σε αναλογία 80-20 ή 70-30 διφασικό-τριφασικό) σε κυλινδρικά ξηραντήρια (περιστρεφόμενοι κλίβανοι), με σκοπό την μείωση της υγρασίας του στο 8 έως 10%. Η ξήρανση γίνεται με ανάμειξη θερμού ρεύματος αέρα, που παράγεται από έναν καυστήρα βιομάζας καταναλώνοντας ως καύσιμο πυρηνόξυλο, και αναρροφώμενου ατμοσφαιρικού αέρα.
2. **Διεργασία Εκχύλισης:** Στη συνέχεια ο σχεδόν απαλλαγμένος από υγρασία ελαιοπυρήνας μεταφέρεται στο τμήμα εκχύλισης για την προετοιμασία παραλαβής του εναπομένου ελαίου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση εκχυλιστικού υγρού εξανίου (διαλύτης) το οποίο εκχυλίζει το έλαιο μέσα από τον ξηρό ελαιοπυρήνα, δημιουργώντας ένα μίγμα ελαίου-εξανίου-υγρασίας (μισέλα).
3. **Διεργασία Απόσταξης:** Τέλος, το μίγμα (μισέλα) μεταφέρεται σε συνεχές αποστακτικό συγκρότημα, όπου πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του εξανίου (εξάτμιση) και του νερού (υδρατμοί) από το πυρηνέλαιο. Μετά τον διαχωρισμό το εξάνιο υγροποιείται και αποθηκεύεται για να ξαναχρησιμοποιηθεί ενώ το απαλλαγμένο από διαλύτη πυρηνέλαιο είναι έτοιμο προς αποθήκευση και επεξεργασία [24].

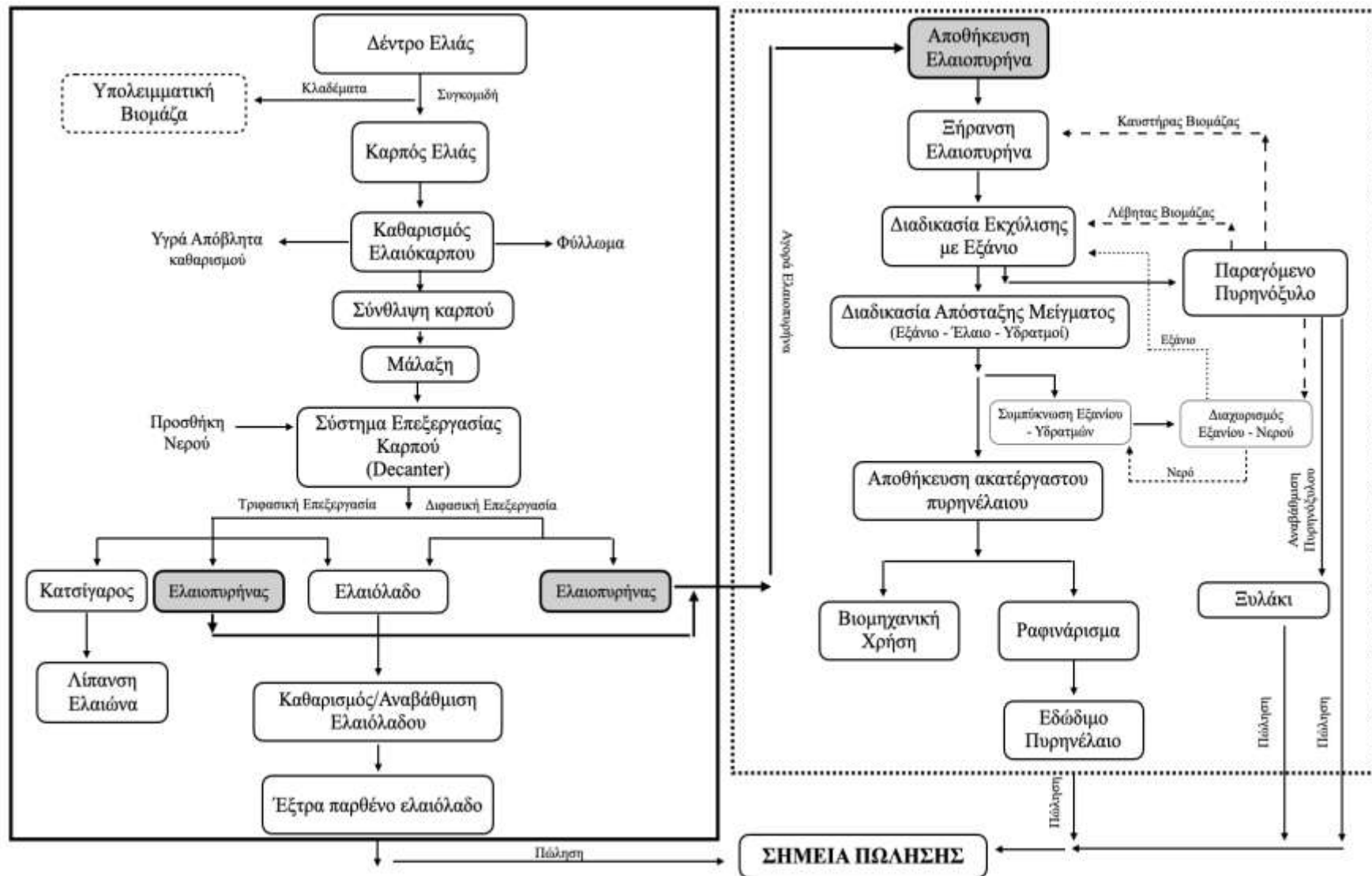
Ωστόσο, κάποιες μονάδες έχουν και μία έξτρα διεργασία που ονομάζεται ραφινάρισμα (εξευγενισμός) του ελαίου. Το ακατέργαστο πυρηνέλαιο συνήθως χρησιμοποιείται στην σαπωνοποιία εξαιτίας της χημικής του σύστασης (μεγάλη οξύτητα). Για να μπορέσει να γίνει εδώδιμο από τον άνθρωπο θα πρέπει η οξύτητα του να μην ξεπερνάει το 1% και να έχουν απομακρυνθεί ρητινώδεις ουσίες, ελεύθερα λιπαρά οξέα και υπολείμματα από τον πυρήνα [26]. Κατά την διαδικασία αυτή, όμως, το έλαιο χάνει πολλά από τα βασικά του χαρακτηριστικά (άρωμα, γεύση, χρώμα, αλλοίωση της χημικής του σύστασης) και για αυτόν τον λόγο πωλείται σε μίγμα, δηλαδή ένα μέρος εξευγενισμένου πυρηνέλαιου και ένα μέρος παρθένου ελαιόλαδου. [27]

Ο χρόνος λειτουργίας μιας τέτοιας μονάδας ξεκινά μαζί με την ελαιοκομική περίοδο (συγκομιδή ελαιόκαρπου-κλαδέματα). Συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4 έως 6 μηνών (Νοέμβριο έως Μάρτιο-Απρίλιο) ανάλογα τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή αλλά και την ποικιλία της ελιάς που έχει καλλιεργηθεί.

3.2. Διάγραμμα Ροής Πυρηνελαιουργείου

Τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας ενός πυρηνελαιουργείου και η σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω Σχήμα 3.1 [24], [11]:

- **Παραλαβή και αποθήκευση ελαιοπυρήνα:** Παραλαβή ελαιοπυρήνα (διφασικό-τριφασικό) από τα ελαιοτριβεία και προσωρινή αποθήκευση του.
- **Ξήρανση Ελαιοπυρήνα:** Μεταφορά ελαιοπυρήνα από τον χώρο αποθήκευσης με μεταφορικούς κοχλίες και αναβατόρια στους περιστροφικούς κλιβάνους, με σκοπό την μείωση της υγρασίας του.
- **Εκχύλιση ξηρού ελαιοπυρήνα:** Μετά το στάδιο της ξήρανσης ο ξηρός ελαιοπυρήνας μεταφέρεται στο τμήμα εκχύλισης, όπου κατά την διαδικασία αυτή παραλαμβάνεται πυρηνόξυλο και μείγμα ελαίου-εξανίου-υγρασίας (μισέλα).
- **Απόσταξη:** Το μείγμα οδηγείται σε συνεχές σύστημα απόσταξης που με την βοήθεια ατμού διαχωρίζεται στους πύργους απόσταξης με προϊόντα κορυφής να είναι το εξάνιο και οι υδρατμοί ενώ από τον πυθμένα να παραλαμβάνεται το έλαιο με ορισμένη ποσότητα εξανίου. Στη συνέχεια για τον πλήρη διαχωρισμό του ελαίου από το εξάνιο, ο παραγόμενος ατμός από τον ατμολέβητα προθερμαίνει την μισέλα μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας, όπου το αέριο μείγμα (εξάνιο-υδρατμοί) οδηγείται προς διαχωρισμό και συμπύκνωση ενώ το καθαρό έλαιο οδηγείται προς αποθήκευση.
- **Συμπύκνωση εξανίου-νερού:** Το μείγμα εξάνιο-υδρατμοί συμπυκνώνεται διερχόμενο από σερπαντίνες βυθισμένες σε δεξαμενές με κρύο νερό ψύξης.
- **Διαχωρισμός εξανίου-νερού:** Σε επόμενο στάδιο το συμπυκνωμένο υγρό μεταφέρεται σε δεξαμενές, όπου γίνεται ο διαχωρισμός του εξανίου από το νερό λόγω της αμελητέας διαλυτότητας του ($\sim 13 \text{ g/m}^3$ για $20 \text{ }^\circ\text{C}$) [28]. Από την κορυφή της δεξαμενής παραλαμβάνεται το κλάσμα εξανίου για επαναχρησιμοποίηση στο τμήμα εκχύλισης ενώ το νερό μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί στο σύστημα ψύξης. Κατά την διαδικασία εκχύλισης υπάρχει ένα ποσοστό απωλειών της τάξης του 10% στο εξάνιο που θα πρέπει να αναπληρωθεί.
- **Αποθήκευση Πυρηνέλαιου:** Το ακατέργαστο πυρηνέλαιο μετά τη διεργασία απόσταξης μεταφέρεται για αποθήκευση σε ανοξείδωτες δεξαμενές με τελικό σκοπό είτε τη βιομηχανική χρήση είτε τον εξευγενισμό του (ραφινάρισμα).
- **Παραγόμενο Πυρηνόξυλο:** Κατά το στάδιο της εκχύλισης παράγεται το βασικό παραπροϊόν που είναι και το καύσιμο της μονάδας, το πυρηνόξυλο. Στη συνέχεια απομακρύνεται από τους εκχυλιστήρες και αποθηκεύεται, με σκοπό την χρήση του στους λέβητες ξήρανσης και εκχύλισης για την παραγωγή του αναγκαίου θερμικού φορτίου κατά την παραγωγική διαδικασία αλλά και για την πώληση σε παραγωγούς.
- **Ξυλάκι:** Αναβάθμιση του πυρηνόξυλου. Αναλογία περίπου 60% ξυλώδης - 40% σαρκώδης. Αφαίρεση του ξυλώδους μέρους από το αποξηραμένο σαρκώδες μέρος.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα λειτουργίας ελαιοτριβείου και πυρηνελαιοργείου. Στο συνεχόμενο μαύρο περίγραμμα παρουσιάζεται η δομή λειτουργίας ενός ελαιοτριβείου ενώ στο διακεκομμένο μαύρο περίγραμμα η δομή λειτουργίας ενός πυρηνελαιοργείου.

Κύρια προϊόντα από την λειτουργία ενός πυρηνελαιουργείου και βασική πηγή εσόδων του αποτελούν τα ακόλουθα:

- Ακατέργαστο πυρηνέλαιο
- Εξευγενισμένο πυρηνέλαιο
- Πυρηνέλαιο
- Πυρηνόξυλο (Παραπροϊόν)
- Ξυλάκι (Σε κάποιες περιπτώσεις γίνεται η παραγωγή του)

3.3. Πυρηνόξυλο

Το βασικό καύσιμο για την λειτουργία της μονάδας αποτελεί και το βασικό παραπροϊόν της από την παραγωγική διαδικασία. Πρόκειται για το πυρηνόξυλο και συγκαταλέγεται στα στερεά βιοκαύσιμα. Το πυρηνόξυλο αποτελείται από:

- Τον πυρήνα της ελιάς (κουκούτσι) που είναι ξυλώδης και κατακερματισμένος κατά την παραγωγή ελαιόλαδου.
- Τη ψύχα της ελιάς (σαρκώδες μέρος) σε μορφή σκόνης.
- Τη φλούδα του ελαιόκαρπου σε μορφή σκόνης.

Το ξυλώδες μέρος ανέρχεται περίπου στο 55% του βάρους του, ενώ το υπόλοιπο 45% είναι σκόνη (φλούδα και ψύχα). Πρέπει να τονισθεί πως ακόμη και μετά το στάδιο της εκχύλισης υπάρχει ένα πολύ μικρό ποσοστό ελαίου (0.5 έως 1.2% επι ξηρού) που δεν έχει παραληφθεί κατά την παραπάνω διαδικασία. Καθώς αναφερόμαστε σε ένα καύσιμο φιλικό προς το περιβάλλον η περιεκτικότητά του σε θείο αλλά και σε άλλες επιβλαβείς ουσίες (τοξικές ενώσεις και βαρέα μέταλλα) βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα [24], όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1 μετά από χημική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης. Εκτός από τα θετικά, τα αρνητικά που έχει σαν βιοκαύσιμο είναι:

1. **Έντονη μυρωδιά-οσμή:** Ζυμώσεις μικροοργανισμών που λαμβάνουν χώρα στο σαρκώδες μέρος του καυσίμου όταν το καύσιμο δεν αναδεύεται συχνά.
2. **Κίνδυνος αυτανάφλεξης:** Αύξηση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της σωρού από την μικροβιακή δραστηριότητα (σαρκώδες μέρος) και ταυτόχρονα μη σωστού αερισμού της.
3. **Απαέρια:** Οπτική όχληση (άσπρος καπνός) κατά την διαδικασία καύσης που οφείλεται στην εμπεριεχόμενη υγρασία του καυσίμου.

Τέλος, κάποιες μονάδες αναβαθμίζουν μέσω αεροδιαχωρισμού το καύσιμο τους κρατώντας μόνο το ξυλώδες μέρος (ξυλάκι) και το εναπομένον σαρκώδες μέρος το χρησιμοποιούν για παραγωγή ζωοτροφών. Έτσι δεν παρουσιάζονται τα παραπάνω μειονεκτήματα [24].

Πίνακας 3.1: Στοιχειακή Ανάλυση Πυρηνόξυλου. ^[29]

Στοιχειακή Ανάλυση Πυρηνόξυλου % [d.b]	
C	51.0%
H	7.10%
O	36.3%
N	1.43%
S	0.08%
Cl	0.14%
Τέφρα [% a.r]	4.1%
Πτητικά	74.6%
Υγρασία [% a.r]	10%
Κ.Θ.Δ. [kcal/kg]	4,199
Α.Θ.Δ. [kcal/kg]	4,904

Στη παρούσα μελέτη η μονάδα παραγωγής πυρηνέλαιου της περιοχής του Ναυπλίου, μελετήθηκε ως προς τις θερμικές και ηλεκτρικές καταναλώσεις κατά την διάρκεια λειτουργίας της, όπως επίσης και τις παραγωγές σε πυρηνέλαιο και πυρηνόξυλο. Επίσης, μελετήθηκαν τα ίδια δεδομένα μετά από την αναβάθμιση του τμήματος ξήρανσης (Ξηραντήριο και καυστήρα βιομάζας) και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων. Στις επόμενες ενότητες θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων της υφιστάμενης κατάστασης και της αναβαθμισμένης.

3.4. Πυρηνελαιουργείο ΕΛΣΑΠ Α.Ε. (Μελέτη και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων)

Το υπό μελέτη πυρηνελαιουργείο βρίσκεται στο νομό Αργολίδος και συγκεκριμένα στο 3^ο χλμ. της Παραλιακής Οδού Ναυπλίου-Νέας Κίου στην περιοχή δήμων Άργους και Μιδέας. Η μονάδα έχει πολυετή δράση στον ελαιοκομικό χώρο. Κυρία σημεία εμπορίας προϊόντων και υποπροϊόντων ελιάς είναι σε Ναύπλιο, Μεσολόγγι και Κέρκυρα. Βασικά προϊόντα πώλησης είναι το εξευγενισμένο/ακατέργαστο πυρηνέλαιο, το απλό και διαχωρισμένο πυρηνόξυλο και τα υποπροϊόντα εξευγενισμού. Η περίοδος λειτουργίας της συμπίπτει με την ελαιοκομική περίοδο, περίπου 5-6 μήνες μέσα στον χρόνο, ανάλογα την παραγωγή. Συλλέγει ελαιοπυρήνα από περίπου 30 ελαιοτριβεία σε ακτίνα 120 km (Αργολίδα, Αρκαδία, Κορινθία και ένα μέρος της Αχαΐας) και μετά από εκσυγχρονισμό κάποιων τμημάτων των εγκαταστάσεων, τα τελευταία 8 χρόνια επεξεργάζεται διφασικό και τριφασικό ελαιοπυρήνα. Λειτουργεί για 5 μήνες, 24 ώρες την ημέρα 7 ημέρες την εβδομάδα. Η συλλογή δεδομένων έγινε μετά από επικοινωνία με την κα. Γκούζ Αλεξάνδρα, Χημικό της ΕΛΣΑΠ Α.Ε. και του κ. Γκούζ Μάριου, Υπεύθυνο Μηχανικό της μονάδας αλλά και της παραγωγικής διαδικασίας.

3.4.1. Υφιστάμενη Κατάσταση

Το πυρηνελαιουργείο της ΕΛΣΑΠ Α.Ε. έχει δυνατότητα επεξεργασίας πρώτης ύλης (ελαιοπυρήνα) περίπου 45,000 t σε κάθε περίοδο λειτουργίας του. Η ποσότητα αυτή προέρχεται από 30 ελαιοτριβεία σε ακτίνα 120 km. Η μονάδα μετά από εκσυγχρονισμό κάποιων τμημάτων της μπορεί και επεξεργάζεται εκτός από τριφασικό και διφασικό ελαιοπυρήνα με αναλογία 80% διφασικό και 20% τριφασικό. Το τμήμα ξήρανσης του πυρηνελαιουργείου αποτελείται από 4 ξηραντήρες (δυναμικότητα επεξεργασίας κάθε ξηραντήρα 5,000 kg/h) με τους αντίστοιχους καυστήρες βιομάζας για την απαιτούμενη παραγωγή καυσαερίου κατά το στάδιο ξήρανσης, ενώ το τμήμα εκχύλισης αποτελείται από τις δεξαμενές αποθήκευσης υγρού εξανίου, τους κατακόρυφους εκχυλιστήρες, το σύστημα απόσταξης (εναλλάκτες θέρμανσης) μισέλας με τον αντίστοιχο λέβητα βιομάζας και το σύστημα ψύξης εξανίου – νερού (εναλλάκτες ψύξης).

Στην υφιστάμενη κατάσταση μελετήθηκε:

- Το θερμοδυναμικό μέρος της μονάδας (ανάγκες σε καύσιμο, Θερμικές απαιτήσεις του κάθε τμήματος)
- Το ηλεκτρολογικό μέρος της μονάδας (ηλεκτρικές καταναλώσεις του κάθε τμήματος)
- Η παραγωγή των προϊόντων της μονάδας (ποσότητες).
- Το οικονομικό «σκέλος» της μονάδας (έσοδα-έξοδα).

Στους παρακάτω Πίνακες, θα παρουσιαστεί αναλυτικά η δομή (εγκατεστημένα μηχανήματα) και η λειτουργία της μονάδας για χρονική διάρκεια 5 μηνών με τα αντίστοιχα έσοδα, τα λειτουργικά κόστη, τις αντίστοιχες παραγωγές σε βασικά προϊόντα αλλά και τις ανάγκες σε καύσιμο.

ΔΕΛΟΜΕΝΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Πίνακας 3.2: Στοιχεία πρώτης ύλης (Ελαιοπυρήνα) για τη λειτουργία του πυρηνελαιουργείου.

ΔΕΛΟΜΕΝΑ ΠΡΩΤΗΣ ΎΛΗΣ (Ελαιοπυρήνα)		
Συνολική Ποσότητα Ελαιοπυρήνα	45,000 [t/season]	
Αναλογία Πρώτης Ύλης	2-Φ. Ελαιοπυρήνα	3-Φ. Ελαιοπυρήνα
	80%	20%
	36,000	9,000
Υγρασία Πρώτης Ύλης	70	56.5
		[%]
Αρχική Ποσότητα Πυρηνέλαιου στην πρώτη ύλη	10% [% κ.β. επί ξηρού]	
Τιμή Αγοράς Πρώτης Ύλης (Με Φ.Π.Α.)	6	16
		[€/t]

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα λειτουργίας και επεξεργασίας του τμήματος ξήρανσης.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ			
Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ξηραντήρα			
Διάμετρος Ξηραντηρίου	2.22	[m]	
Περίμετρος Ξηραντηρίου	7	[m]	
Ολικό Μήκος Ξηραντηρίου	22	[m]	
Επιφάνεια Ξηραντηρίου	154	[m]	
Όγκος Ξηραντηρίου	85	[m ³]	
Λειτουργία Ξηραντήρων			
Αριθμός Ξηραντηρίων	4		
Υποχρεωτική Λειτουργία	3		
Σε Αναμονή/Εκτός Λειτουργίας	1		
Παροχή Εισόδου Υγρού Ελαιοπυρήνα/ Ξηραντήρα (Αρχική Υγρασία-Αρχικό Έλαιο)	Λειτουργία Δυο Ξηραντήρων	Για λειτουργία Ενός Ξηραντήρα (Μισή δυναμικότητα από την ονομαστική)	[kg/h]
	10,000	2,500	
Ποσότητα Εξόδου Ξηρού Ελαιοπυρήνα/ Ξηραντήρα (Τελική Υγρασία-Αρχικό Έλαιο)	3,634	908	[kg/h]
Αρχική Υγρασία Ελαιοπυρήνα (Μέση Τιμή)	63% w.b		
Τελική Υγρασία Ελαιοπυρήνα	10% w.b		
Εξάτμιση Νερού	6,363	1,592	[kg/h]
Θερμοκρασία Εισόδου Μίγματος Αέρα στον Ξηραντήρα	400 [°C]		
Θερμοκρασία Εξόδου Μίγματος Αέρα από τον Ξηραντήρα	95 [°C]		
Ενεργειακή Κατανάλωση	4,419 [KJ/kg water evap.]		
Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση / Ξηραντήρα	1,600	400	[kg/h]
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση / Ξηραντήρα	160 [kg Πυρηνόξυλο /t Α Ύλης]		
Βαθμός Απόδοσης Συστήματος	63%		
Προσφερόμενη Θερμική Ενέργεια	7.82	1.95	[MWh _{th} .]
Απαίτηση Θερμικής Ενέργειας	4.97	1.23	[MWh _{th} .]

Ο παραπάνω Πίνακας 3.3, παρουσιάζει τα αποτελέσματα για τη λειτουργία ενός ξηραντήρα. Σύμφωνα με τους υπευθύνους της μονάδας κατά το στάδιο της ξήρανσης έχουμε υποχρεωτική λειτουργία τριών ξηραντήρων, προκειμένου να μπορέσει η μονάδα να επεξεργαστεί τη συνολική ποσότητα ελαιοπυρήνα. Ο εναπομένον ξηραντήρας βρίσκεται σε αναμονή σε περίπτωση δυσλειτουργίας ή επισκευής κάποιου από αυτών που εργάζονται ή ακόμη και απροσδόκητης αύξησης της ποσότητας ελαιοπυρήνα που πρόκειται να επεξεργαστεί.

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα λειτουργίας και επεξεργασίας του τμήματος εκχύλισης – απόσταξης.

ΔΕΛΟΜΕΝΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ - ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ		
Παροχή Εισόδου Ξηρού Ελαιοπυρήνα (Τελική Υγρασία - Αρχικό Έλαιο)	[kg/h]	10,000
Παροχή Εξανίου ανά ποσότητα ξηρού ελαιοπυρήνα	[kg/h]	7,000
Ανάγκες τμήματος για Ατμό	[kg/h]	6,000
Παροχή Μισέλας	[kg/h]	7,897
Βαθμός Απόδοσης Διεργασίας		85%
Προσφερόμενη Θερμική Ενέργεια	[MWh _{th}]	7.31
Απαίτηση σε Θερμότητα	[MWh _{th}]	6.21
Συνολικές Ανάγκες Καυσίμου κατά το στάδιο Εκχύλισης-Απόσταξης	[kg/h]	1,496
Τελική Ποσότητα Πυρηνέλαιου στη πρώτη ύλη	[% κ.β. επί ξηρού]	1.1%
Παραγόμενο Πυρηνέλαιο	[kg/h]	897
Παραγόμενο Πυρηνόξυλο (Τελική Υγρασία – Τελικό Έλαιο)	[kg/h]	9,100

Πρέπει να σημειωθεί πως αμέσως μετά το στάδιο της ξήρανσης ο ελαιοπυρήνας δεν μεταφέρεται απευθείας στο τμήμα εκχύλισης αλλά αποθηκεύεται μέχρι να συγκεντρωθεί η απαιτούμενη ποσότητα. Η αποθήκευση εξυπηρετεί στην πτώση της θερμοκρασίας του ξηρού ελαιοπυρήνα από τους 90 °C στους περίπου 20 °C, διευκολύνοντας έτσι την ομαλότητα και τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας στο στάδιο της εκχύλισης. Τέλος, σε παρακάτω πίνακες θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα τελικά αποτελέσματα από την επεξεργασία της ολικής ποσότητας ελαιοπυρήνα που δέχεται η μονάδα μαζί με τις τελικές ποσότητες των προϊόντων (σύγκριση των υπολογισμών που έγιναν έναντι των δεδομένων που λήφθηκαν μετά από επικοινωνία με την ΕΛΣΑΠ), τις ηλεκτρικές καταναλώσεις αλλά και την οικονομική κατάσταση της μονάδας.

Πίνακας 3.5: Παρουσίαση τελικών αποτελεσμάτων και απόκλιση μεταξύ δεδομένων και υπολογισμών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ		Δεδομένα ΕΛΣΑΠ Α.Ε.	Υπολογισμοί	Απόκλιση (Ως προς ΕΛΣΑΠ)
Συνολικό Παραγόμενο Πυρηνόξυλο (Τελική Υγρασία - Τελικό Έλαιο)	[t/season]	15,000	14,879	-1%
Παραγόμενο Πυρηνέλαιο	[t/season]	1,600	1,471	-8.1%
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση	[kg Πυρηνόξυλου / t Α΄Υλης]	158	160	1.3%
Ανάγκες Καυσίμου για Εκχύλιση-Απόσταξη	[kg/h]	1,400	1,496	6.8%
ΣΥΝΟΛΙΚΗ Ποσότητα Καυσίμου προς κατανάλωση	[t/season]	10,000	12,584	25.8%
ΣΥΝΟΛΙΚΟ Παραγόμενο Πυρηνόξυλο προς Πώληση	[t/season]	14% επι της συνολικής ποσότητας υγρού ελαιοπυρήνα	2,294	10.1%
		2,083		
ΣΥΝΟΛΙΚΑ Προσφερόμενη Θερμική Ενέργεια	[GWh _{th}]	-	61.5	-
ΣΥΝΟΛΙΚΗ Απαίτηση σε Θερμική Ενέργεια	[GWh _{th} /y]	-	44.7	-
Περίσσεια Θερμικής Ενέργειας	[GWh _{th} /y]	-	17	-

Παρατηρούμε πως σύμφωνα με τα δεδομένα που δόθηκαν από το πυρηνελαιουργείο της ΕΛΣΑΠ Α.Ε. υπάρχει μια απόκλιση σε σχέση με τους υπολογισμούς που έγιναν. Ο λόγος έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να μην δόθηκαν ακριβή δεδομένα κατά το στάδιο επικοινωνίας, ώστε να μην γίνει πλήρης γνωστοποίηση των βασικών δομών λειτουργίας και παραγώγων της μονάδας για λόγους ανταγωνισμού.

Σε μια τέτοια βιομηχανική μονάδα οι θερμικές απαιτήσεις για την παραγωγική διαδικασία είναι σχετικά μεγάλες, με αποτέλεσμα να υπάρχει η απαιτούμενη ζήτηση σε καύσιμο για την κάλυψη των αναγκών αυτών. Είναι φανερό από τον παραπάνω Πίνακα 3.4 πως ενώ οι συνολικές ετήσιες θερμικές απαιτήσεις της μονάδας ανέρχονται σε 44.5 GWh_{th}., στο σύστημα προσφέρονται 61.5 GWh_{th}. με μια διαφορά σε περίσσεια ή απώλειες θερμότητας της τάξης των 17 GWh_{th}. Αυτό υποδηλώνει πως υπάρχουν μεγάλα ποσά απορριπτόμενης θερμότητας προς το περιβάλλον (απώλειες θερμικές από τα τμήματα ξήρανσης - εκχύλισης και απαέρια) και ότι απαιτείται

αναβάθμιση στο σύστημα ξήρανσης εξαιτίας του πολύ χαμηλού βαθμού απόδοσης που έχει (63%).

Τέλος, για διάστημα λειτουργίας 3,648 h (5 μήνες) εκτός από τον προσδιορισμό των θερμικών αναγκών και των προϊόντων του πυρηνελαιουργείου έγινε και εύρεση των βασικών ηλεκτρικών καταναλώσεων της μονάδας ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ (τμήμα ξήρανσης και τμήμα εκχύλισης-απόσταξης). Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζεται αναλυτικά η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς των τμημάτων ξήρανσης και εκχύλισης-απόσταξης.

Πίνακας 3.6: Αναλυτική παρουσίαση της εγκατεστημένης ισχύς των τμημάτων Ξήρανσης και Εκχύλισης – Απόσταξης.

Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς τμήματος Ξήρανσης (4 Ξηραντήρες)		Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς τμήματος Εκχύλισης-Απόσταξης	
Ανεμιστήρας (55 kW _e)	[kW _e] 220	1 Αντλία Νερού	[kW _e] 22
Περιστροφέας Ξηραντηρίου (30 kW _e)	[kW _e] 120	2 Αντλίες Νερού (11kW _e)	[kW _e] 22
Καυστήρας (7.5 kW _e)	[kW _e] 30	Αντλίες Καθαρού Εξανίου	[kW _e] 7.5
Τροφοδότης Καυστήρα (5.5 kW _e)	[kW _e] 22	Αντλίες «Βρώμικου» Εξανίου	[kW _e] 7.5
Τροφοδοτική ταινία Ξηραντηρίου (1.5 kW _e)	[kW _e] 6	1 Αντλία Μείγματος	[kW _e] 5.5
4 Κοχλίες Ξηραντηρίων (2 kW _e)	[kW _e] 8	1 Αντλία Μείγματος	[kW _e] 4
Κοχλίες (7.5 kW _e)	[kW _e] 22.5	1 Αντλία Λαδιού	[kW _e] 2
Κοχλίες (3 kW _e)	[kW _e] 9	ΣΥΝΟΛΟ	[kW_e] 70.7
2 Αναβατόρια (4 kW _e)	[kW _e] 8		
6 Ταινίες Μεταφοράς (1.5 kW _e)	[kW _e] 9		
ΣΥΝΟΛΟ	[kW_e] 454.5		

Η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς της μονάδας ανέρχεται στα **525.2 kW_e**. Ανάλογα με τον αριθμό λειτουργίας των ξηραντήρων και το χρονικό διάστημα που λειτουργεί η μονάδα υπάρχουν οι αντίστοιχες καταναλώσεις. Ο ελάχιστος αριθμός ταυτόχρονης λειτουργίας ξηραντήρων είναι τρεις (υφιστάμενη κατάσταση), ενώ ο μέγιστος αριθμός είναι τέσσερις (αύξηση της ποσότητας ελαιοπυρήνα). Και στις δυο περιπτώσεις έχουμε συνεχή λειτουργία του τμήματος εκχύλισης. Οπότε σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά οι ηλεκτρικές καταναλώσεις είναι:

- Για μέγιστο αριθμό λειτουργίας ξηραντήρων: **4 (525.2 kW_e)**, Ωρες εργασίας: **3,648 h**, Ετήσια κατανάλωση: **1,915,930 kWh_e/season**.
- Για ελάχιστο Αριθμό λειτουργίας ξηραντήρων: **3 (423.7 kW_e)**, Ωρες εργασίας: **3,648 h**, Ετήσια κατανάλωση: **1,545,658 kWh_e/season**.

Όπως είναι φανερό και στις δυο περιπτώσεις αλλά και με βάση τον Πίνακα 3.5 την μεγαλύτερη απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια την έχει το σύστημα μεταφοράς μίγματος αέρα ξήρανσης (ανεμιστήρες) του κάθε ξηραντήρα και κυμαίνεται από 42% έως 39% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της μονάδας, ανάλογα βέβαια με τον αριθμό λειτουργίας των ξηραντήρων. Η δεύτερη μεγαλύτερη απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια εμφανίζεται στον ίδιο τον ξηραντήρα και κυμαίνεται μεταξύ 21% και 23% της συνολικής ισχύος.

3.4.1.1. Οικονομική Κατάσταση Μονάδας (Υφιστάμενη Κατάσταση)

Σε αυτή την υποενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των οικονομικών της μονάδας (Έσοδα-Έξοδα) σύμφωνα με δεδομένα που δόθηκαν αλλά και μετά από τους απαραίτητους υπολογισμούς που έγιναν. Τα έσοδα της μονάδας προέρχονται από βασικά προϊόντα λειτουργίας του πυρηνελαιουργείου τα οποία είναι: το πυρηνέλαιο (ακατέργαστο), το ραφινρισμένο πυρηνέλαιο, το πυρηνόξυλο και το ξυλάκι. Οι τιμές πώλησης (με Φ.Π.Α.) των παραπάνω προϊόντων μετά από επικοινωνία με την μονάδα για το 2018 είναι:

- **Ακατέργαστο Πυρηνέλαιο:** 500 €/t
- **Ραφινρισμένο Πυρηνέλαιο:** 1,100 €/t
- **Πυρηνόξυλο:** 60 €/t
- **Ξυλάκι:** 124 €/t

Κάθε μονάδα ανάλογα με τον ανταγωνισμό και την ζήτηση που επικρατεί ακολουθεί μια πολιτική πώλησης των προϊόντων της για να έχει το μέγιστο δυνατό κέρδος. Παρακάτω θα παρουσιαστούν ενδεικτικά διάφορα σενάρια πώλησης με τα αντίστοιχα ετήσια έσοδα και το/τα επικρατέστερο/α θα είναι αυτό /αυτά που θα έχει τις μεγαλύτερες εισροές σύμφωνα με τους υπευθύνους αλλά ταυτόχρονα θα συνάδει και με την λειτουργία και την πολιτική της μονάδας.

Πρέπει να τονισθεί πως για να γίνει σωστή σύγκριση εξόδων-εσοδών της μονάδας θα πρέπει να υπάρχουν δεδομένα και από το τμήμα που επεξεργάζεται το πυρηνέλαιο (έξοδα), με σκοπό να το αναβαθμίσει σε εδώδιμο πυρηνέλαιο που στην περίπτωση μας δεν ήταν εφικτό (λόγοι ανταγωνισμού). Ωστόσο, για την πληρότητα των βασικών οικονομικών θα παρουσιαστούν και τα έσοδα από πώληση πυρηνελαιου. Στο τελευταίο κεφάλαιο θα γίνει αναλυτικότερη προσέγγιση των οικονομικών της μονάδας.

ΈΣΟΔΑ ΜΟΝΑΔΑΣ

Πίνακας 3.7: Σενάριο πρώτο. Πλήρης πώληση ακατέργαστου πυρηνελαιου και πυρηνόξυλου (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Ετήσια Έσοδα [€/y]
1)	Ακατέργαστο Πυρηνέλαιο	1,471	500	100%	735,500	873,140
	Πυρηνόξυλο	2,294	60	100%	137,640	

Πίνακας 3.8: Σενάριο δεύτερο. Πλήρης πώληση ραφινρισμένου πυρηνέλαιου και ξυλάκι (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Ετήσια Έσοδα [€/y]
2)	Ραφινρισμένο Πυρηνέλαιο (80% Πυρηνέλαιο-20% ελαιόλαδο)	1,839	1,100	100%	2,022,900	2,193,574
	Ξυλάκι ^[24] (60% Ξυλώδες)	1,376	124	100%	170,674	

Πίνακας 3.9: Σενάριο τρίτο. Πώληση προϊόντων ανάλογα με την ζήτηση αγοράς (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Ετήσια Έσοδα [€/y]
3)	Ακατέργαστο Πυρηνέλαιο	471	500	32%	235,500	1,769,520
	Ραφινρισμένο Πυρηνέλαιο (80% Πυρηνέλαιο-20% ελαιόλαδο)	1,250	1,100	68%	1,375,000	
	Πυρηνόξυλο	803	60	35%	48,180	
	Ξυλάκι ^[24] (60% Ξυλώδες)	895	124	65%	110,980	

Πίνακας 3.10: Σενάριο τέταρτο. Πλήρης πώληση ακατέργαστου πυρηνέλαιου και ξυλάκι (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Ετήσια Έσοδα [€/y]
4)	Ακατέργαστο Πυρηνέλαιο	1,471	500	100%	735,500	906,174
	Ξυλάκι ^[24] (60% Ξυλώδες)	1,376	124	100%	170,674	

Πίνακας 3.11: Σενάριο πέμπτο. Πλήρης πώληση ραφινარიσμένου πυρηνέλαιου και πυρηνόξυλου (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Τελικά Έσοδα [€/y]
5)	Ραφινარიσμένο Πυρηνέλαιο (80% Πυρηνέλαιο-20% ελαιόλαδο)	1,839	1,100	100%	2,022,900	2,160,540
	Πυρηνόξυλο	2,294	60	100%	137,640	

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα αλλά και σύμφωνα με τις πληροφορίες που δόθηκαν, για να υπάρχει μια προσέγγιση της οικονομικής κατάστασης της μονάδας θα πρέπει να υπολογιστούν και τα έξοδα της. Πρέπει να τονισθεί πως τα ποσοστά για το ραφινარიσμένο πυρηνέλαιο δόθηκαν μετά από επικοινωνία με τους υπευθύνους της μονάδας και είναι κατά προσέγγιση.

ΈΞΟΔΑ ΜΟΝΑΔΑΣ

Όπως, κάθε βιομηχανική μονάδα έτσι και το πυρηνελαιουργείο έχει κάποια βασικά έξοδα. Τα μεταβλητά έξοδα της μονάδας είναι: η αγορά διφασικού και τριφασικού ελαιοπυρήνα, οι ηλεκτρικές καταναλώσεις, η αναπλήρωση εξανίου, η αγορά πετρελαίου κίνησης, ενώ στα σταθερά έξοδα είναι τα λοιπά έξοδα (ενοίκια, πάγια έξοδα μονάδας κ.α.) και οι πληρωμές προσωπικού. Στον παρακάτω Πίνακα 3.11 παρουσιάζονται τα ετήσια έξοδα (με Φ.Π.Α.) μόνο του πυρηνελαιουργείου μετά από σχετική επικοινωνία με την μονάδα, ενώ στον Πίνακα 3.12 παρουσιάζονται τα σενάρια πώλησης με τα αντίστοιχα καθαρά έσοδα. Η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας για βιομηχανία που εντάσσεται στην Μέση Τάση του δικτύου είναι 0.0647 €/kWh_e. Επίσης πρέπει να τονισθεί πως γίνεται μία προσεγγιστική οικονομική ανάλυση των εξόδων, διότι δεν έχουν ληφθεί δεδομένα για τα έξοδα λειτουργίας του τμήματος ραφινάρισματος (ανταγωνιστικοί λόγοι).

Πίνακας 3.12: Συνολικές ετήσιες εκροές μονάδας.

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΡΟΕΣ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ [€/y]						
Μεταβλητά Έξοδα					Σταθερά Έξοδα	
Αγορά Ελαιοπυρήνα 2Φασικό [€/t/season]	3Φασικό [€/t/season]	Αναπλήρωση Εξανίου [€/season]	Ηλεκτρικές Καταναλώσεις [€/season]	Αγορά Πετρελαίου Κίνησης [€/season]	Μισθοδοσία Προσωπικού [€/season]	Λοιπά Έξοδα (Ενοίκιο, έξοδα μονάδας κ.α.) [€/y]
6	16					
216,000	144,000	100,000	100,004	50,000	400,000	200,000
ΣΥΝΟΛΟ						
1,210,004						

Πίνακας 3.13: Παρουσίαση καθαρών ετήσιων κερδών μονάδας ανάλογα με το αντίστοιχο σενάριο πώλησης προϊόντων.

Έξοδα Πυρηνελαιουργείου [€/y]	Σενάρια Πωλήσεων	Ετήσια Έσοδα [€/y]	Ετήσια Καθαρά Έσοδα [€/y]
1,210,004	1	873,140	-336,864
	2	2,193,524	983,520
	3	1,769,520	559,516
	4	906,174	-303,830
	5	2,160,540	950,536

Όπως φαίνεται τα σενάρια 1 και 4 απορρίπτονται, διότι υπάρχει ζημία στη μονάδα. Τα σενάρια 2,5 και 3 είναι αποδεκτά. Σύμφωνα με τις πληροφορίες που δόθηκαν αυτό το σενάριο που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται για πηγή εσόδων, παρόλο που έχει τα λιγότερα έσοδα από τα τρία αποδεκτά, είναι το 3 (τα ποσοστά πώλησης στο συγκεκριμένο σενάριο είναι κατά προσέγγιση, δόθηκαν από τους υπευθύνους της μονάδας και διαμορφώνονται ανάλογα από την ζήτηση, από την αγορά και από την παραγωγή της μονάδας). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πρέπει να:

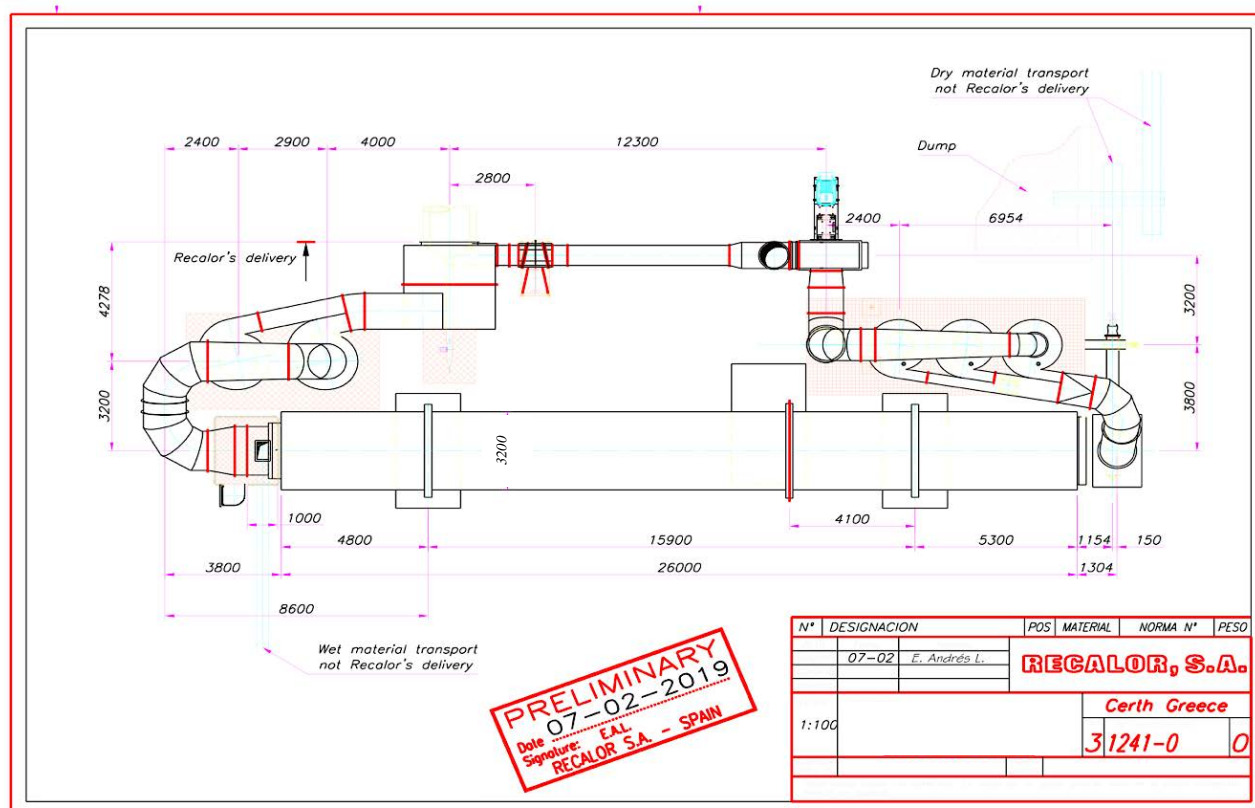
- Γίνει πλήρης αξιοποίηση του μηχανολογικού εξοπλισμού της μονάδας.
- Υπάρχει κάλυψη από όλα τα προϊόντα στην αγορά.
- Γίνεται παραγωγή αναβαθμισμένων προϊόντων (Ραφιναρισμένο πυρηνέλαιο και ξυλάκι). Σημειώνεται πως η παραγωγή σε ξυλάκι εξαρτάται κάθε χρόνο από την ζήτηση του.

Τέλος, η επιλογή του/των κατάλληλου/κατάλληλων σεναρίου/ων πώλησης εξαρτάται από την ζήτηση των προϊόντων, από την διακύμανση των τιμών πώλησης των προϊόντων του πυρηνελαιουργείου, από την αγορά ελαιοπυρήνα και από το δυναμικό πρώτης ύλης που επεξεργάζεται η μονάδα ανάλογα με το πόσο καλή ποιοτικά θα είναι η συγκομιδή και η επεξεργασία ελαιόκαρπου (ελαιοτριβεία) κατά την ελαιοκομική περίοδο. Άρα η επιλογή του κατάλληλου πλαισίου πωλήσεων έγκειται στην ευελιξία και την προσαρμοστικότητα της μονάδας, με σκοπό την μεγιστοποίηση των κερδών της. Επίσης, δεν πρέπει να προσπερνάμε τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η σωστή και αποδοτική λειτουργία των μηχανημάτων κατά την παραγωγική διαδικασία αλλά και η επιλογή του σωστού τρόπου προώθησης των προϊόντων, στην παραπάνω επιλογή. Τα αποτελέσματα δεν είναι πλήρως συγκρίσιμα, διότι δεν έχουν συμπεριληφθεί τα έξοδα λειτουργίας και τα έσοδα του τμήματος ραφιναρίσματος, ωστόσο γίνεται ένας βασικός υπολογισμός κατά προσέγγιση για να μπορούν να εξαχθούν αποτελέσματα σε ότι αφορά στην αναβάθμιση του τμήματος ξήρανσης και το ποσό της εξοικονόμησης. Στο τελευταίο κεφάλαιο της μελέτης θα γίνει πλήρης ανάλυση του επενδυτικού σχεδίου.

3.4.2. Αναβάθμιση Τμήματος Ξήρανσης του Πυρηνελαιουργείου

Στο πλαίσιο της ενεργειακής αναβάθμισης του πυρηνελαιουργείου αλλά και μετά από τον υπολογισμό των απαραίτητων θερμικών φορτίων, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει η αναβάθμιση μόνο του τμήματος της ξήρανσης λόγω του χαμηλού βαθμού απόδοσης αυτού του τμήματος, με προσανατολισμό τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση στο καύσιμο. Σκοπός είναι να εφαρμοστεί ένα νέο σύστημα ξήρανσης αποδοτικότερο από το εγκατεστημένο, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση του καυσίμου με ταυτόχρονη επεξεργασία περισσότερου δυναμικού πρώτης ύλης ανά ώρα αλλά και χρησιμοποίησης λιγότερου μηχανολογικού εξοπλισμού.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου ξηραντήρα έγινε μετά από επικοινωνία και ζήτηση οικονομικών προσφορών με διάφορες εταιρείες που είναι γνωστές στον χώρο. Η προσφορά που λήφθηκε για τον ξηραντήρα έγινε μέσω του ΕΚΕΤΑ στα πλαίσια του AGROinLOG και με βάση την δυναμικότητα της πρώτης ύλης (ελαιοπυρήνας) για την περίοδο λειτουργίας της μονάδα, με βάση τα χαρακτηριστικά της όπως προαναφέρθηκε στην παραπάνω υποενότητα 3.4.1., αλλά και με την δυνατότητα τροποποίησης του ξηραντήρα για ξήρανση υπολειμματικής βιομάζας κλαδιών ελιάς για παραγωγή βιομηχανικού pellet. Η εταιρεία που επιλέχθηκε ήταν η Ισπανική Recalor με εμπειρία 30 ετών στον χώρο ξήρανσης, καθιστώντας την κύριο προμηθευτή ξηραντηρίων στην Ευρώπη. Στο παρακάτω Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται το μηχανολογικό σχέδιο του νέου ξηραντήρα που θα εγκατασταθεί στην μονάδα. Πρέπει να τονισθεί πως οι απαιτούμενες θερμικές ανάγκες του νέου ξηραντήρα καλύφθηκαν από τους ήδη υφιστάμενους καυστήρες βιομάζας.



Σχήμα 3.2: Μηχανολογικό σχέδιο νέου ξηραντήρα από την εταιρεία Recalor.

Στην αναβαθμισμένη κατάσταση μελετήθηκαν:

- Το θερμοδυναμικό μέρος της μονάδας (ανάγκες σε καύσιμο, Θερμικές απαιτήσεις νέου τμήματος ξήρανσης).
- Το ηλεκτρολογικό μέρος της μονάδας.
- Οι νέες παραγωγές των προϊόντων της μονάδας.

Τέλος, έγινε συγκριτική μελέτη σε όλα τα υπολογισμένα μέρη (οικονομικό σκέλος, τελικές παραγόμενες ποσότητες προϊόντων και θερμικές καταναλώσεις) μεταξύ της υφιστάμενης και της αναβαθμισμένης μονάδας .

Πρέπει να αναφερθεί πως στα τελικά αποτελέσματα έχει συνυπολογισθεί το τμήμα της εκχύλισης-απόσταξης προκειμένου να είναι ολοκληρωμένοι οι υπολογισμοί. Το τμήμα δεν μελετήθηκε ως προς αναβάθμιση. Αυτό έγκειται στο γεγονός πως η λειτουργία του περιορίζεται μόνο κατά την ελαιοκομική περίοδο (περίπου 5 μήνες) και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλη διεργασία. Αντίθετα, το τμήμα ξήρανσης προορίζεται για λειτουργία 6 έως 8 μηνών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά και για ξήρανση κλαδεμάτων και κατά την μη ελαιοκομική περίοδο.

Τα δεδομένα για την πρώτη ύλη παραμένουν ίδια με της υφιστάμενης κατάστασης, δηλαδή:

- **Συνολική ποσότητα:** 45.000 t/season
- **Αναλογία:** 80% 2-Φασικός Ελαιοπυρήνας επι της αρχικής ποσότητας και 20% 3-Φασικός Ελαιοπυρήνας επι την αρχική ποσότητα.
- **Υγρασία Ελαιοπυρήνα:** 2-Φασικός 70% και 3-Φασικός 56.5%
- **Αρχική ποσότητα ελαίου στον ελαιοπυρήνα:** 10 % κ.β. επί ξηρού
- **Τιμή αγοράς (Με Φ.Π.Α.):** 2-Φασικός 6 €/t και 3-Φασικός 16 €/t

Παρακάτω θα παρουσιαστούν πίνακες με τα αποτελέσματα (θερμικές καταναλώσεις και απαιτήσεις, ποσότητες σε πυρηνέλαιο - πυρηνόξυλο και το οικονομικό κομμάτι της μονάδας) από την επεξεργασία των δεδομένων του νέου ξηραντηρίου. Στην αναβαθμισμένη κατάσταση έγινε αντικατάσταση των τριών εκ των τεσσάρων ξηραντήρων, που λειτουργούσαν με σκοπό την πλήρη επεξεργασία του συνολικού δυναμικού βιομάζας, με έναν καινούργιο. Στον παρακάτω Πίνακα 3.13 παρουσιάζονται κάποια βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του νέου ξηραντήρα και τα αποτελέσματα από την λειτουργία του.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟΥ

Πίνακας 3.14: Αποτελέσματα λειτουργίας και επεξεργασίας του νέου τμήματος ξήρανσης.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΝΕΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ		
Τεχνικά Χαρακτηριστικά Νέου Ξηραντήρα		
Διάμετρος Ξηραντηρίου	3.2	[m]
Ολικό Μήκος Ξηραντηρίου	26	[m]
Όγκος Ξηραντηρίου	212.5	[m ³]
Κόστος Εγκατάστασης Ξηραντήρα	1,197,000	[€]
Λειτουργία Ξηραντήρα		
Αριθμός Ξηραντηρίων	3	
Αριθμός ΝΕΩΝ Ξηραντηρίων σε λειτουργία	1	
Σε Αναμονή/Εκτός Λειτουργίας	2	
Παροχή Εισόδου Υγρού Ελαιοπυρήνα/ Ξηραντήρα <i>(Αρχική Υγρασία - Αρχικό Έλαιο)</i>	[kg/h]	12,500
Ποσότητα Εξόδου Ξηρού Ελαιοπυρήνα/ Ξηραντήρα <i>(Τελική Υγρασία - Αρχικό Έλαιο)</i>	[kg/h]	4,542
Αρχική Υγρασία Ελαιοπυρήνα <i>(Μέση Τιμή)</i>	%	63%
Τελική Υγρασία Ελαιοπυρήνα	%	10%
Εξάτμιση Νερού	[kg/h]	7,958
Θερμοκρασία Εισόδου Μίγματος Αέρα στον Ξηραντήρα	[°C]	450
Θερμοκρασία Εξόδου Μίγματος Αέρα από τον Ξηραντήρα	[°C]	115
Ενεργειακή Κατανάλωση	[KJ/kg water evap.]	3,245
Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση / Ξηραντήρα	[kg/h]	1,496
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση / Ξηραντήρα	[kg Πυρηνόξυλο /t Α·Υλης]	117.5
Βαθμός Απόδοσης Διεργασίας	87%	
Προσφερόμενη Θερμική Ενέργεια	[MWh th.]	7.17
Απαίτηση Θερμικής Ενέργειας	[MWh th.]	6.21

Όπως, προαναφέρθηκε στην αρχή της υποενότητας για την αναβάθμιση του πυρηνελαιουργείου μελετήθηκε μόνο το τμήμα ξήρανσης ενώ το τμήμα εκχύλισης-απόσταξης παρέμεινε ως έχει. Για λόγους πληρότητας θα ξαναπαρουσιαστούν συνοπτικά κάποια από τα δεδομένα του Πίνακα 3.2

από την λειτουργία του τμήματος αυτού χωρίς να υπάρχει κάποια τροποποίηση. Τα δεδομένα είναι τα εξής:

- **Παροχή Εισόδου Ξηρού Ελαιοπυρήνα** (Τελική Υγρασία - Αρχικό Έλαιο): 10,000 kg/h
- **Παροχή Εξανίου ανά ποσότητα ξηρού ελαιοπυρήνα:** 7,000 kg/h
- **Ανάγκες τμήματος για Ατμό:** 6,000 kg/h
- **Βαθμός Απόδοσης Διεργασίας:** 85%
- **Προσφερόμενη Θερμική Ενέργεια:** 7.31 MWh_{th}.
- **Απαίτηση σε Θερμική Ενέργεια:** 6.21 MWh_{th}.
- **Συνολικές Ανάγκες Καυσίμου κατά το στάδιο Εκχύλισης-Απόσταξης:** 1,496 kg/h

Πίνακας 3.15: Παρουσίαση τελικών αποτελεσμάτων νέου ξηραντήρα και απόκλιση μεταξύ δεδομένων και υπολογισμών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	Δεδομένα ΕΛΣΑΠ Α.Ε.	Υπολογισμοί Νέου Ξηραντήρα	Απόκλιση
Συνολικό Παραγόμενο Πυρηνόξυλο (Τελική Υγρασία - Τελικό Έλαιο) [t/season]	15,000	14,879	-1%
Παραγόμενο Πυρηνέλαιο [t/season]	1,600	1,471	-8%
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση [kg Πυρηνόξυλου / t _A Υλης]	158	117.5	-25.6%
Ανάγκες Καυσίμου για Εκχύλιση-Απόσταξη [kg/h]	1,400	1,496	6.8%
ΣΥΝΟΛΙΚΗ Ποσότητα Καυσίμου προς κατανάλωση [t/season]	10,000	10,671	6.7%
ΣΥΝΟΛΙΚΟ Παραγόμενο Πυρηνόξυλο προς Πώληση [t/season]	2,083	4,207	102%
ΣΥΝΟΛΙΚΑ Προσφερόμενα Θερμική Ενέργεια [GWh _{th} .]	-	52.1	-
ΣΥΝΟΛΙΚΗ Απαίτηση σε Θερμική Ενέργεια [GWh _{th} .]	-	44.7	-
Περίσσεια Θερμικής Ενέργειας [GWh _{th} .]	-	7.3	-

Στον παραπάνω Πίνακα 3.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της λειτουργίας του νέου ξηραντήρα μετά από επεξεργασία 45,000 t αλλά και η απόκλιση τους σε σχέση με τα δεδομένα (υφιστάμενη κατάσταση) που δόθηκαν από την ΕΛΣΑΠ Α.Ε. Παρατηρήθηκε πως η συνολική κατανάλωση καυσίμου μειώθηκε και είναι πολύ κοντά στα δεδομένα που δόθηκαν και επίσης οι

ανάγκες καυσίμου για ξήρανση kg πυρηνόξυλου / t Α Ύλης μειώθηκαν σημαντικά. Οι παραγωγές σε αρχικό πυρηνόξυλο (Τελική υγρασία-Τελικό έλαιο) και πυρηνέλαιο παρουσίασαν μικρή απόκλιση έναντι των δεδομένων που λήφθηκαν.

Τέλος, για διάστημα λειτουργίας 5 μηνών έγινε και υπολογισμός των βασικών ηλεκτρικών καταναλώσεων της μονάδας ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ του κάθε τμήματος. Τα δεδομένα για την εγκατεστημένη ισχύ, Πίνακας 3.5, του τμήματος εκχύλισης παραμένουν ως έχουν ενώ για το τμήμα ξήρανσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύ αναφέρονται σε δυο από τα τέσσερα παλαιά ξηραντήρια και στο νέο που θα εφαρμοστεί. Στον παρακάτω Πίνακα 3.16 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς των τμημάτων ξήρανσης (παλαιό και νέο) και εκχύλισης-απόσταξης.

Πίνακας 3.16: Εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς των τμημάτων ξήρανσης (παλαιό και νέο) και εκχύλισης-απόσταξης.

Εγκατεστημένη Ισχύς Παλαιού Τμήματος Ξήρανσης (Μέγιστη Λειτουργία 2 Ξηραντήρων) [kW _e]		Ισχύς Νέου Ξηραντήρα μαζί με αξιοποίηση τμημάτων υφιστάμενης κατάστασης [kW _e]		Εγκατεστημένη Ισχύς Τμήματος Εκχύλισης [kW _e]	
Ανεμιστήρας (55 kW _e)	110	1 Ανεμιστήρας	160	1 Αντλία Νερού	22
Περιστροφέας Ξηραντηρίου (30 kW _e)	60	Περιστροφέας Ξηραντηρίου	30	2 Αντλίες Νερού (11kW _e)	22
4 Καυστήρες (7.5 kW _e)	30	3 Τροφοδότες Καυστήρων (Υφιστάμενη κατάσταση)			
4 Τροφοδότες Καυστήρα (5.5 kW _e)	22	3 Καυστήρες (Υφιστάμενη κατάσταση)		Αντλίες Καθαρού Εξανίου	7.5
Τροφοδοτική ταινία Ξηραντηρίου (1.5 kW _e)	3	Βαλβίδες Διαφορετικών Λειτουργιών	4.8		
2 Κοχλίες Ξηραντηρίου (2 kW _e)	4	Κοχλίες	7.1	Αντλίες «Βρώμικου» Εξανίου	7.5
3 Κοχλίες (7.5 kW _e)	22.5	Λοιπά	2.2		
3 Κοχλίες (3 kW _e)	9	Τροφοδοτική ταινία Ξηραντηρίου (1.5 kW _e)	1.5	1 Αντλία Μείγματος	5.5
2 Αναβατόρια (4 kW _e)	8	1 Αναβατόριο (4 kW _e) (Υφιστάμενη κατάσταση)	4	1 Αντλία Μείγματος	4
4 Ταινίες Μεταφοράς (1.5 kW _e)	6	2 Ταινίες Μεταφοράς (1.5 kW _e) (Υφιστάμενη κατάσταση)	3	1 Αντλία Λαδιού	2
ΣΥΝΟΛΟ	274.5	ΣΥΝΟΛΟ	212.6	ΣΥΝΟΛΟ	70.7

Η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς της μονάδας ανέρχεται στα 557.8 kW_e. Μαζί με την εγκατάσταση του νέου ξηραντηρίου υπάρχει αύξηση περίπου 6.2% έναντι της υφιστάμενης κατάστασης. Η βασική λειτουργία του τμήματος ξήρανσης θα υλοποιείται μέσω του νέου ξηραντηρίου και των τριών υφιστάμενων καυστήρων βιομάζας, ενώ ο άλλος ένας ξηραντήρας θα λειτουργεί σε περίπτωση αύξησης της δυναμικότητας της πρώτης ύλης ή θα λειτουργούν δύο σε περίπτωση επισκευής του νέου ξηραντήρα. Στον παρακάτω Πίνακα 3.17 θα παρουσιαστούν οι ηλεκτρικές καταναλώσεις σύμφωνα με την λειτουργία της μονάδας (Σενάρια λειτουργίας).

Πίνακας 3.17: Καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας μετά από διάφορα σενάρια λειτουργίας.

ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ					
Σενάριο 1		Σενάριο 2 (>50,000 [t] Υγρού Ελαιοπυρήνα)		Σενάριο 3	
Αριθμός Λειτουργίας Νέων Ξηραντήρων	1	Αριθμός Λειτουργίας Νέων Ξηραντήρων	1	Αριθμός Λειτουργίας Νέων Ξηραντήρων	0
Αριθμός Λειτουργίας Παλαιών Ξηραντήρων	0	Αριθμός Λειτουργίας Παλαιών Ξηραντήρων	1	Αριθμός Λειτουργίας Παλαιών Ξηραντήρων	2
Ισχύς ΝΕΟΥ και ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ τμήματος Ξήρανσης [kW _e]	251.6	Ισχύς τμήματος Ξήρανσης [kW _e]	400	Ισχύς τμήματος Ξήρανσης [kW _e]	250
Ισχύς τμήματος Εκχύλισης-Απόσταξης [kW _e]	70.7	Ισχύς τμήματος Εκχύλισης-Απόσταξης [kW _e]	70.7	Ισχύς τμήματος Εκχύλισης-Απόσταξης [kW _e]	70.7
Εγκατεστημένη Ισχύς σε Λειτουργία [kW _e]	322.3	Εγκατεστημένη Ισχύς σε Λειτουργία [kW _e]	470.7	Εγκατεστημένη Ισχύς σε Λειτουργία [kW _e]	321
Ώρες Λειτουργίας [h]	3,648	Ώρες Λειτουργίας [h]	2,857	Ώρες Λειτουργίας [h]	4,500
Συνολικές Ηλεκτρικές καταναλώσεις [kWh_e/season]	1,175,750	Συνολικές Ηλεκτρικές καταναλώσεις [kWh_e/season]	1,344,790	Συνολικές Ηλεκτρικές καταναλώσεις [kWh_e/season]	1,445,400

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρήθηκε πως το ιδανικότερο σενάριο λειτουργίας της μονάδας είναι το πρώτο. Σε αυτό το σενάριο γίνεται λειτουργία μόνο του νέου τμήματος ξήρανσης, έχοντας τις λιγότερες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Σε περίπτωση αύξησης της δυναμικότητας της πρώτης ύλης (>50,000 t) η μονάδα μπορεί να εφαρμόσει το σενάριο δυο (λειτουργία και του παλαιού συστήματος ξήρανσης) με σημαντική αύξηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων. Το σενάριο τρία θα εφαρμοστεί σε περίπτωση που ο νέος ξηραντήρας σταματήσει την λειτουργία του εξαιτίας

βλάβης ή συντήρησης, ώστε να μπορέσει η μονάδα να επεξεργαστεί το συνολικό δυναμικό ελαιοπυρήνα με τον αντίστοιχο χρονικό προγραμματισμό (αύξηση των μηνών επεξεργασίας της μονάδας). Το σενάριο λειτουργίας ξηραντήρων που μελετήθηκε (Έσοδα-Έξοδα) στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής εργασίας είναι το πρώτο.

3.4.2.1. Οικονομική Κατάσταση Μονάδας (Αναβάθμιση Τμήματος Ξήρανσης)

Για την παρουσίαση της οικονομικής κατάστασης της αναβαθμισμένης μονάδας αλλά και για λόγους πληρότητας της υποενότητας, θα παρουσιαστούν οι βασικές τιμές πώλησης των προϊόντων (έσοδα) αλλά και τα έξοδα της μονάδας σύμφωνα με την υποενότητα 3.4.1.1. Οι τιμές πώλησης (με Φ.Π.Α.) των προϊόντων προς πώληση μετά από επικοινωνία με τους υπευθύνους είναι:

- **Ακατέργαστο Πυρηνέλαιο:** 500 €/t
- **Ραφινρισμένο Πυρηνέλαιο:** 1,100 €/t
- **Πυρηνόξυλο:** 60 €/t
- **Ξυλάκι:** 124 €/t

Όπως και στην υφιστάμενη κατάσταση έτσι και στην αναβαθμισμένη θα παρουσιαστούν ενδεικτικά διάφορα σενάρια πωλήσεων με τα αντίστοιχα κέρδη ανάλογα με τις ποσότητες των παραγόμενων προϊόντων αλλά θα πρέπει να τονισθεί πως είναι κατά προσέγγιση με την πραγματικότητα, διότι δεν έχουν συμπεριληφθεί τα έξοδα από το τμήμα ραφινρίσματος.

ΈΣΟΔΑ ΜΟΝΑΔΑΣ

Πίνακας 3.18: Σενάριο πρώτο (Νέο Ξηραντήριο). Πλήρης πώληση ακατέργαστου πυρηνέλαιου και πυρηνόξυλου (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Ετήσια Έσοδα [€/y]
1)	Ακατέργαστο Πυρηνέλαιο	1,471	500	100%	735,500	987,920
	Πυρηνόξυλο	4,207	60	100%	252,420	

Πίνακας 3.19: Σενάριο δεύτερο (Νέο Ξηραντήριο). Πλήρης πώληση ραφινρισμένου πυρηνέλαιου και ξυλάκι (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/ season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Ετήσια Έσοδα [€/y]
2)	Ραφινρισμένο Πυρηνέλαιο (80% Πυρηνέλαιο-20% ελαιόλαδο)	1,839	1,100	100%	2,022,900	2,335,901
	Ξυλάκι [24] (60% Ξυλώδες)	4,207	124	100%	313,001	

Πίνακας 3.20: Σενάριο τρίτο (Νέο Ξηραντήριο). Πώληση προϊόντων ανάλογα με την ζήτηση αγοράς (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Ετήσια Έσοδα [€/y]
3)	Ακατέργαστο Πυρηνέλαιο	471	500	32%	235,500	1,902,298
	Ραφινρισμένο Πυρηνέλαιο (80% Πυρηνέλαιο-20% ελαιόλαδο)	1250	1,100	68%	1,375,000	
	Πυρηνόξυλο	1,472	60	35%	88,320	
	Ξυλάκι [24] (60% Ξυλώδες)	1,641	124	65%	203,484	

Πίνακας 3.21: Σενάριο τέταρτο (Νέο Ξηραντήριο). Πλήρης πώληση ακατέργαστου πυρηνέλαιου και ξυλάκι (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Ετήσια Έσοδα [€/y]
4)	Ακατέργαστο Πυρηνέλαιο	1,471	500	100%	735,500	1,048,501
	Ξυλάκι [24] (60% Ξυλώδες)	2,524	124	100%	313,000	

Πίνακας 3.22: Σενάριο πέμπτο (Νέο Ξηραντήριο). Πλήρης πώληση ραφινρισμένου πυρηνέλαιου και πυρηνόξυλου (Με Φ.Π.Α.).

ΣΕΝΑΡΙΟ	Προϊόντα	Παραγωγή [t/season]	Τιμή Πώλησης [€/t]	Ποσοστό Πώλησης	Έσοδα ανά προϊόν [€/y]	Ετήσια Έσοδα [€/y]
5)	Ραφινρισμένο Πυρηνέλαιο (80% Πυρηνέλαιο-20% ελαιόλαδο)	1,839	1100	100%	2,022,900	2,275,320
	Πυρηνόξυλο	4,207	60	100%	252,420	

Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες αλλά και με βάση τα αποτελέσματα της υφιστάμενης κατάστασης παρατηρούμε αύξηση των εσόδων σε όλα τα σενάρια. Ωστόσο, για να υπάρχει πλήρη παρουσίαση της οικονομικής κατάστασης της μονάδας θα πρέπει να υπολογιστούν και τα νέα ετήσια έξοδα της μονάδας. Τα ποσοστά πώλησης ειδικά για το σενάριο 3 είναι κατά προσέγγιση και δόθηκαν από τους υπευθύνους της μονάδας. Η διαμόρφωση τους εξαρτάται από την ζήτηση και από την αγορά. Τέλος, η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας για βιομηχανία που εντάσσεται στην Μέση Τάση του δικτύου είναι 0.0647 €/kWh_e.

ΈΞΟΔΑ ΜΟΝΑΔΑΣ

Στα ετήσια έξοδα της μονάδας και συγκεκριμένα στις ηλεκτρικές καταναλώσεις σαν βασικό σενάριο λειτουργίας με τις αντίστοιχες καταναλώσεις χρησιμοποιήθηκε μόνο το πρώτο. Το σενάριο 3 απορρίφθηκε, διότι αντιπροσωπεύει μέρος της λειτουργίας της υφιστάμενης κατάστασης χωρίς να μπορεί να ικανοποιήσει όλο το δυναμικό της πρώτης ύλης, όπως επίσης και το σενάριο 2 απορρίφθηκε διότι θα πρέπει να γίνει αύξηση της ποσότητας της πρώτης ύλης και οι υπολογισμοί έγιναν με δεδομένα που δόθηκαν από την πραγματική λειτουργία της μονάδας. Σημειώνεται ότι στον υπολογισμό των εξόδων κρατήθηκαν σταθερές οι δαπάνες ανά κατηγορία.

Πίνακας 3.23: Συνολικές νέες ετήσιες εκροές μονάδας (Με Φ.Π.Α.).

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΡΟΕΣ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ [€/y]						
Μεταβλητά Έξοδα					Σταθερά Έξοδα	
Αγορά Ελαιοπυρήνα		Αναπλήρωση Εξανίου [€/season]	Ηλεκτρικές Καταναλώσεις [€/season]	Αγορά Πετρελαίου Κίνησης [€/season]	Μισθοδοσία Προσωπικού [€/season]	Λοιπά Έξοδα (Ενοίκιο, έξοδα μονάδας κ.α.) [€/y]
2Φασικό [€/t/season]	3Φασικό [€/t/season]					
6	16					
216,000	144,000	100,000	76,071	50,000	400,000	200,000
ΣΥΝΟΛΟ						
1.186,071						

Πίνακας 3.24: Παρουσίαση καθαρών ετήσιων κερδών μονάδας ανάλογα με το αντίστοιχο σενάριο πώλησης προϊόντων (Με Φ.Π.Α.).

Έξοδα Πυρηνελαιουργείου [€/y]	Σενάρια Πωλήσεων	Ετήσια Έσοδα Μονάδας [€/y]	Ετήσια Καθαρά Έσοδα [€/y]
1,186,071	1	987,920	-198,151
	2	2,335,901	1,149,830
	3	1,902,298	716,227
	4	1,048,501	-137,570
	5	2,275,320	1,089,249

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.24 το σενάριο 1 και 4 απορρίπτονται, διότι υπάρχει ζημία στη μονάδα. Τα σενάρια 2,3 και 5 είναι αποδεκτά. Παρατηρούμε πως υπάρχει μείωση στα συνολικά έξοδα της μονάδας (μόνο του πυρηνελαιουργείου) με ταυτόχρονη αύξηση στα έσοδα της μετά την αναβάθμιση του τμήματος ζήρασης.

Με σκοπό την ορθή σύγκριση των δυο καταστάσεων, όπως έχει προ ειπωθεί, στα έσοδα λήφθηκε υπόψιν η πώληση ραφινρισμένου πυρηνέλαιου αλλά στα έξοδα δεν συνυπολογίστηκε η λειτουργία του τμήματος ραφινρίσματος. Παράλληλα είναι σκόπιμο και αναγκαίο να αναφερθεί ότι δεν αποτελούν κριτήριο οικονομικής ανάλυσης της επένδυσης τα αποτελέσματα/συγκρίσεις των υπό ενοτήτων 3.4.1.1 και 3.4.2.1 Η αξιολόγηση της επένδυσης θα γίνει στο τελευταίο κεφάλαιο της μελέτης και θα μελετάει το επενδυτικό σχέδιο από την σκοπιά της εξοικονόμησης (απαίτηση σε καύσιμο και ηλεκτρικές καταναλώσεις) που επιτυγχάνεται μέσω της εγκατάστασης ενός ενεργειακά αποδοτικότερου ξηραντήρα.

3.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων Υφιστάμενης και Αναβαθμισμένης κατάστασης του Τμήματος Ξήρανσης.

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν στους συγκριτικούς Πίνακες 3.25 και 3.26 τα αποτελέσματα λειτουργίας της μονάδας σε υφιστάμενη και αναβαθμισμένη κατάσταση, όπως επίσης και οι τελικές ποσότητες των προϊόντων που παρήχθησαν κατά τις λειτουργίες αυτές.

Πίνακας 3.25: Συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ των καταστάσεων λειτουργίας της μονάδας.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ		
ΤΜΗΜΑ ΞΗΡΑΝΣΗΣ		
ΔΕΛΟΜΕΝΑ	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
Συνολική Ποσότητα Ελαιοπυρήνα [t/season]	45,000	45,000
Εγκατεστημένοι Ξηραντήρες	4	3
Υποχρεωτική Λειτουργία	3	1
Σε αναμονή/Εκτός Λειτουργίας Ξηραντήρες	1	2
Παροχή Εισόδου Πρώτης ύλης/ Ξηραντήρα (Αρχική Υγρασία-Αρχικό Λάδι) [kg/h]	5,000 και 2,500	12,500
Παροχή Εισόδου Πρώτης ύλης (Αρχική Υγρασία-Αρχικό Λάδι) [kg/h]	12,500	
Συνολική Ημερήσια Παροχή Εισόδου Πρώτης Ύλης (Τελική Υγρασία- Αρχικό Λάδι) [t/day]	300	300
Παροχή Εξόδου Πρώτης ύλης (Τελική Υγρασία- Αρχικό Λάδι) [1,1817 kg/h]	4,542	4,542
Συνολική Ημερήσια Παροχή Εξόδου Πρώτης Ύλης (Τελική Υγρασία- Αρχικό Λάδι) [t/day]	109	109
Όγκος Ξηραντήρα [m ³]	85	212.5
Εξάτμιση Νερού ανά Ξηραντήρα [kg/h]	1,592 και 3,183	7,958
Εξάτμιση Νερού [kg/h]	7,958	

Συνολική Ημερήσια Εξάτμιση Νερού [t/day]	191	191
Ενεργειακή Κατανάλωση [KJ/kg _{water evap.}]	4,419	3,245
Θερμοκρασία Εισόδου Μίγματος Αέρα στον Ξηραντήρα [°C]	400	450
Θερμοκρασία Εξόδου Μίγματος Αέρα από τον Ξηραντήρα [°C]	95	115
Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση / Ξηραντήρα [kg/h]	800 και 1,200	1,469
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση / Ξηραντήρα [kg Πυρηνόξυλο/t Α΄Υλης]	160	117.5
Συνολική Ημερήσια Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση [t/day]	48	35
Βαθμός Απόδοσης Διεργασίας Ξήρανσης	63%	87%
Προσφερόμενη Θερμότητα στο Σύστημα Ξήρανσης [MWh _{th.}]	9.8	7.2
Απαίτηση Θερμότητας Συστήματος Ξήρανσης [MWh _{th.}]	6.21	6.21
ΤΜΗΜΑ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ - ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ		
Απαιτήσεις σε καύσιμο του τμήματος Εκχύλισης [kg/h]		1,496
Βαθμός Απόδοσης Συστήματος Εκχύλισης		85%
Προσφερόμενη Θερμότητα στο Σύστημα Εκχύλισης-Απόσταξης [MWh _{th.}]		7.3
Απαίτηση Θερμότητας Συστήματος Εκχύλισης - Απόσταξης [MWh _{th.}]		6.2

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.25 μπορούμε να διακρίνουμε σε αρκετά σημεία την αποδοτικότερη λειτουργία του νέου τμήματος ξήρανσης έναντι του παλαιού. Συγκεκριμένα :

- Στην υφιστάμενη κατάσταση για να γίνει πλήρης επεξεργασία της συνολικής ποσότητας ελαιοπυρήνα πρέπει να λειτουργούν τρεις από του τέσσερις ξηραντήρες, ενώ στην αναβαθμισμένη λειτουργεί ο νέος μόνο ξηραντήρας, ενώ οι παλαιοί είναι σε αναμονή.

- Η παροχή πρώτης ύλης που δέχεται ο νέος ξηραντήρας αντιστοιχεί στην ίδια ποσότητα που δέχονται και οι τρεις μαζί παλαιοί ξηραντήρες και αυτό οφείλεται στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του (σχεδόν τριπλάσιος όγκος).
- Η διεργασία έχει πολύ υψηλότερο βαθμό απόδοσης έναντι του εγκατεστημένου πράγμα που το καθιστά αποδοτικότερο (μείωση καυσίμου).
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου ανά τόνο πρώτης ύλης της μονάδας μετά την εγκατάσταση του νέου ξηραντήρα έχει πτώση της τάξης του 26.6%.
- Για να γίνει η κάλυψη της απαιτούμενης θερμότητας θα πρέπει να λειτουργούν 3 από τους 4 καυστήρες. Οι δυο με μέγιστη παροχή καυσίμου 1,175 kg/h και ο τρίτος με μία παροχή 294 kg/h.
- Η ενεργειακή κατανάλωση στην υφιστάμενη κατάσταση είναι 4,419 KJ/kg_{water evap.} ενώ στην αναβαθμισμένη έχει μειωθεί κατά 26.6% και είναι 3,245 KJ/kg_{water evap.}.
- Τέλος, η προσφερόμενη θερμότητα στο σύστημα μειώθηκε κατά 26.6% ενώ η απαίτηση σε θερμότητα παρέμεινε ως έχει.

Πρέπει να τονισθεί πως η λειτουργία του τμήματος εκχύλισης-απόσταξης και στις δυο περιπτώσεις παραμένει ως έχει.

Πίνακας 3.26: Συγκριτικός πίνακας παραγόμενων προϊόντων μεταξύ των καταστάσεων λειτουργίας της μονάδας.

ΤΕΛΙΚΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ - ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ		
ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
Τελική Ποσότητα Ξηρού Ελαιοπυρήνα (Τελική Υγρασία - Τελικό Έλαιο) [t/season]	14,879	14,879
Τελική Ποσότητα Πυρηνέλαιου [t/season]	1,471	1,471
Κατανάλωση Καυσίμου για Ξήρανση ανά Ξηραντήρα [kg Πυρηνόξυλο/t Α΄Υλης]	160	117,5
Συνολική Απαίτηση για Καύσιμο [t/season]	12,584	10,671
Ποσότητα Πυρηνόξυλου προς Πώληση [t/season]	2,294	4,207
Ετήσια Έξοδα Πυρηνελαιουργείου (Με Φ.Π.Α.) [€/y]	1,210,004	1,186,071
Εξοικονόμηση Καυσίμου [t/season]	1,913	
Εξοικονόμηση Χρημάτων [€/y]	23,393	

Είναι φανερό πως τα αποτελέσματα λειτουργίας του νέου ξηραντήρα έχουν άμεσο αντίκτυπο στις τελικές ποσότητες των παραγόμενων προϊόντων και στα έξοδα του πυρηνελαιουργείου συγκριτικά με την λειτουργία των ήδη εγκατεστημένων ξηραντήρων, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.25. Επίσης παρατηρήθηκε μείωση των ετήσιων εξόδων της μονάδας. Συγκεκριμένα:

- Η τελική ποσότητα παραγόμενου ακατέργαστου πυρηνέλαιου και η τελική ποσότητα πυρηνόξυλου (Τελική Υγρασία-Τελικό Έλαιο) παραμένουν σταθερές, διότι έχουμε ίδια ποσότητα αρχικής πρώτης ύλης και σταθερά ποσοστά υγρασίας και ποσότητας ελαίου στον ελαιοπυρήνα, οπότε γίνεται η ίδια επεξεργασία.
- Στην υφιστάμενη κατάσταση η συνολική απαίτηση σε καύσιμο είναι 12,584 t/y ενώ στην αναβαθμισμένη είναι 10,671 t/y με συνολική εξοικονόμηση καυσίμου γύρω στους 2,000 t/y (1,913 t).
- Στην υφιστάμενη κατάσταση η συνολική απαίτηση σε ηλεκτρισμό είναι 1,545,658 kWh_e/season ενώ στην αναβαθμισμένη είναι 1,175,750 kWh_e/season με συνολική εξοικονόμηση καυσίμου γύρω στους 369,908 kWh_e/season.
- Η τελική ποσότητα πυρηνόξυλου προς πώληση μετά την αναβάθμιση είχε μια αύξηση της τάξης του 83.4% έναντι της υφιστάμενης και αυτό μπορεί να φανεί από τα σενάρια πωλήσεων που παρατηρείται αύξηση στα έσοδα..
- Τέλος, στα ετήσια έξοδα του πυρηνελαιουργείου παρατηρείται πτώση της τάξης του 2% μετά την εγκατάσταση του νέου ξηραντηρίου, με μια εξοικονόμηση χρήματων στα 23,393 €/y.

Όμως, λόγω της επένδυσης που έγινε θα πρέπει να γίνει οικονομική ανάλυση, με σκοπό την εύρεση του έτους απόσβεσης της αλλά και τα πραγματικά καθαρών κερδών που θα έχει η επιχείρηση. Στο τελευταίο κεφάλαιο της μελέτης θα γίνει συνολική παρουσίαση των οικονομικών (Έσοδα-Έξοδα) με τις μονάδες που μελετήθηκαν και εγκαταστάθηκαν. Ωστόσο, μπορούν να παρουσιαστούν ενδεικτικά κάποια συγκρίσιμα αποτελέσματα μεταξύ των καταστάσεων λειτουργίας. Λαμβάνουμε υπόψιν πως το επικρατέστερο σενάριο πώλησης προϊόντων και στις δυο περιπτώσεις είναι το τρίτο και σαν σενάριο λειτουργίας ξηραντήρων της αναβαθμισμένης κατάστασης το πρώτο.

Πίνακας 3.27: Συγκριτικά αποτελέσματα των ετήσιων καθαρών κερδών μεταξύ των καταστάσεων λειτουργίας (Με Φ.Π.Α.)

ΔΕΔΟΜΕΝΑ		ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
Λειτουργία Ξηραντήρων		3	1
Σενάριο Πωλήσεων 3	Ετήσια Έσοδα [€/y]	1,769,520	1,902,298
Ετήσια Έξοδα [€/y]		1,210,004	1,186,071
Ετήσια Καθαρά Έσοδα [€/y]		559,516	716,227

Έτσι μπορούμε να πούμε πως σύμφωνα με τον Πίνακα 3.27 στα ετήσια καθαρά έσοδα, κατά το σενάριο πωλήσεων 3, μετά την αναβάθμιση παρατηρήθηκε μια αύξηση της τάξης του 28%. Πρέπει να επισημανθεί πως σε όλα τα σενάρια πωλήσεων παρατηρήθηκε αύξηση στα κέρδη.

4. ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ (Μονάδα Pellet)

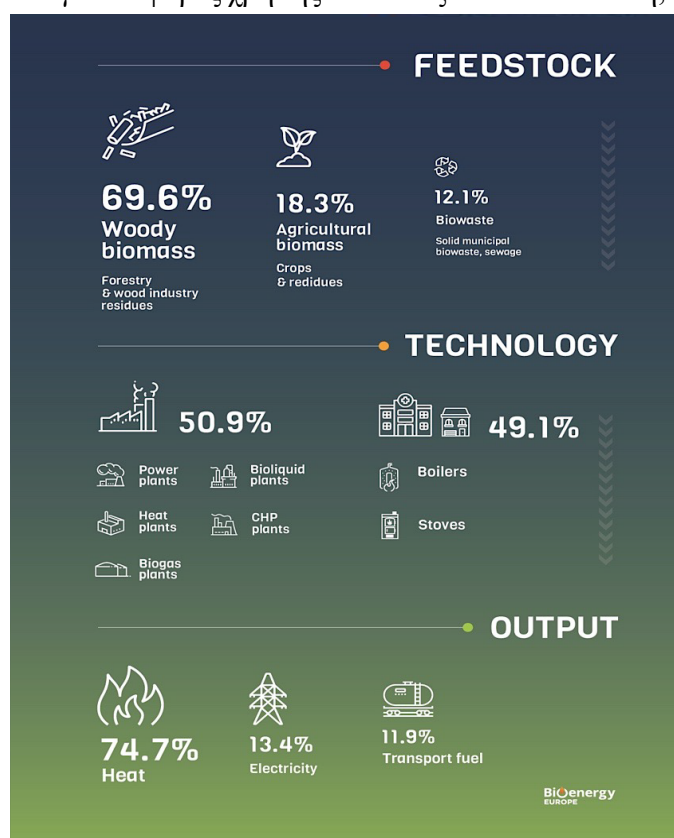
Σε προηγούμενο κεφάλαιο έγινε ο προσδιορισμός του υπολειμματικού δυναμικού βιομάζας από ελαιόδεντρα (κλαδέματα) για το διαμέρισμα της Πελοποννήσου και συγκεκριμένα του νομού Αργολίδος μέσα από διάφορα διαδικτυακά εργαλεία. Επίσης μελετήθηκε μια μονάδα παραγωγής πυρηνέλαιου σε υφιστάμενη και αναβαθμισμένη κατάσταση. Συγκεκριμένα στην αναβαθμισμένη κατάσταση μελετήθηκε το τμήμα ξήρανσης της μονάδας μέσω τοποθέτησης νέου ξηραντήρα με εναλλαγή της χρήσης του από ξήρανση ελαιοπυρήνα σε ξήρανση κλαδεμάτων. Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μελέτη και εγκατάσταση μιας μονάδας παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων (Pellet), αξιοποιώντας τον αναβαθμισμένο μηχανολογικό εξοπλισμό (ξηραντήριο) του πυρηνελαιουργείου, στα πλαίσια της αναβάθμισής του.

4.1. Στερεά Βιοκαύσιμα

Η βιομάζα ανάλογα με την μορφή που χρησιμοποιείται ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας διακρίνεται σε: Αέριο Βιοκαύσιμο, Υγρό Βιοκαύσιμο και Στερεό Βιοκαύσιμο. Στη παρούσα εργασία θα μελετηθεί η παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων (Pellet) από υπολείμματα γεωργίας (κλαδέματα ελιάς). Βασικές χρήσεις των στερεών βιοκαυσίμων είναι: για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή/και θερμότητας σε βιομηχανική κλίμακα (ανάλογα την πιστοποίηση και το πρότυπο που επιπύτουν) και για την παραγωγή θερμότητας στον οικιακό τομέα.

Στην Ευρώπη η βιομάζα που χρησιμοποιείται για διάφορες χρήσεις είναι το ξύλο από τα δάση, τις γεωργικές καλλιέργειες και τα υπολείμματα, τα υποπροϊόντα βιομηχανίας ξύλου και γεωργίας, τα ποώδη και ξυλώδη ενεργειακά φυτά, τα δημοτικά οργανικά απόβλητα και τέλος τα ζωικά οργανικά απόβλητα (κοπριά). Περίπου το 70% προέρχεται από ξυλώδη βιομάζα, το 18.3% από γεωργικά προϊόντα και παραπροϊόντα ενώ το υπόλοιπο 12% από απόβλητα πόλεων, άγλη κ.τ.λ. Η χρήση της βιομάζας ανάλογα με την τεχνολογία που αξιοποιήσης της περίπου το 75% καταναλώνεται για θέρμανση ενώ το υπόλοιπο 25% για παραγωγή ηλεκτρισμού και βιοκαυσίμων, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1. [30]

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία [31], τα στερεά βιοκαύσιμα, ορίζονται με βάση το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 14961-1. Σύμφωνα με αυτό ορίζεται σαν στερεό βιοκαύσιμο κάθε τι που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από πηγές βιομάζας, όπως είναι τα:



Εικόνα 4.1: Ποσοστιαία εκμετάλλευση στερεών βιοκαυσίμων στην Ευρώπη ανάλογα το είδος βιομάζας και την τελική χρήση τους. [30]

- Προϊόντα ή υπολείμματα γεωργίας και δασοκομίας (π.χ. κλαδέματα).
- Παραπροϊόντα από βιομηχανίες επεξεργασίας προϊόντων γεωργίας ή υπολείμματα ξυλείας.
- Ινώδη φυτικά υπολείμματα από παραγωγή χαρτοπολτού.
- Υπολείμματα φελλού (Κυρίως οινοποιεία).

Επίσης, μέσω αυτού του προτύπου αποτελούν επιτρεπόμενο καύσιμο για εγκαταστάσεις θέρμανσης κτιρίων ή παραγωγής θερμού νερού χρήσης και ατμού σε όλη τη χώρα. Δεν επιτρέπεται η χρήση τους ως στερεό βιοκαύσιμο και δεν εμπίπτουν στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 14961-1 τα παρακάτω:

- Απόβλητα ξυλείας που μπορεί να περιέχουν αλογονούχες οργανικές ενώσεις ή βαρέα μέταλλα, π.χ. ξυλεία κατεδαφίσεων.
- Προϊόντα ή παραπροϊόντα ζωικής προέλευσης, π.χ. κοπριά, κόκκαλα κ.τ.λ.
- Θερμικά επεξεργασμένη βιομάζα, π.χ. ξυλοκάρβουνο.
- Βιομάζα υδατικής προέλευσης, π.χ. άλγη.

4.1.1. Εμπορικές Μορφές Στερεών Βιοκαυσίμων

Με βάση τον ορισμό της βιομάζας πολλά υλικά θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως στερεά βιοκαύσιμα, όμως οι μορφές που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο είναι συγκεκριμένες και είναι οι εξής [31], [7]:

1. **Πελέτες Ξύλου (Wood Pellets):** Πρόκειται για στερεό κυλινδρικό προϊόν με τυπική διάμετρο 6 έως 8 mm. Η παραγωγή τους γίνεται μέσω κονιοποίησης της ξυλώδους βιομάζας και μετά συμπίεσης της, με κύρια χαρακτηριστικά τα χαμηλά ποσοστά τέφρας και τα χαμηλά ποσοστά υγρασίας (< 10 % κ.β.). Η παραγωγή τους μπορεί να γίνει και με χρήση άλλων υλών υπολειμματικής βιομάζας, όπως το άχυρο.
2. **Μπριγκέτες Ξύλου (Wood Briquettes):** Προϊόν συμπίεσης βιομάζας με ή χωρίς πρόσθετα με τυπική μορφή κυλινδρική ή κυβοειδής και πολύ μεγαλύτερα σε μέγεθος έναντι των πελετών.
3. **Ροκανίδια Ξύλου (Wood Chips):** Προϊόν από την επεξεργασία ξύλου (υλοτομία, πριονιστήρια κ.α.) μικρού μήκους από 5 έως 50 mm. Η ποιότητα των θρυμμάτων βιομάζας εξαρτάται από την πρώτη ύλη αλλά και από την τεχνολογία παραγωγής της. Δεν υπόκεινται σε κάποια επεξεργασία ή ξήρανση, με αποτέλεσμα να έχουν σχετικά υψηλά ποσοστά υγρασίας (20 έως 50% κ.β.).
4. **Καυσόξυλα (Firewood):** Αποτελεί την συνηθέστερη μορφή στερεού βιοκαυσίμου. Η πρώτη ύλη, το ξύλο, προέρχεται κυρίως από την υλοτομία και από διάφορα είδη δέντρων. Πρόκειται για ξύλο κομμένο και χωρισμένο σε τεμάχια (μικρού ή μεγάλου μεγέθους) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε σταθερές εστίες θέρμανσης (σόμπες και τζάκια).
5. **Πυρηνόξυλο (Exhausted olive cake):** Ξυλώδες υπόλειμμα που προκύπτει μετά από την αφαίρεση της υγρασίας και του εναπομένοντος ελαίου κατά την παραγωγική διαδικασία του πυρηνέλαιου. Πρόκειται για ένα προϊόν με υψηλά ποσοστά τέφρας έναντι άλλων στερεών βιοκαυσίμων και επιβάλλεται βάση νομοθεσίας το έλαιο να μην υπερβαίνει το 2% επι ξηρού.

Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες κατηγορίες βιομάζας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στερεά βιοκαύσιμα που δεν είναι τόσο εμπορικά διαδεδομένες. Μερικές από αυτές είναι: Φλοιός δέντρων, μπάλες και δέματα αχύρου, ελαιοπυρήνας, το ίδιο το άχυρο αλλά και μη ξυλώδης πελέτες (Χρήση βιομάζας πέρα του ξύλου με ακανόνιστο μήκος σε κυλινδρική μορφή). Συνήθως χρησιμοποιούνται (απευθείας ή πωλούνται) από βιομηχανίες για την παραγωγή των αναγκαίων θερμικών φορτίων. Στον παρακάτω Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται συγκριτικές τιμές (L.H.V, Χύδη Πυκνότητα και Ενεργειακό Περιεχόμενο κατ'όγκο) μεταξύ στερεών βιοκαυσίμων και μερικών συμβατικών καυσίμων για παραγωγή θερμότητας [32].

Πίνακας 4.1: Συγκριτικός πίνακας μεταξύ στερεών βιοκαυσίμων και συμβατικών καυσίμων για παραγωγή θερμότητας.




ΚΑΥΣΙΜΟ		Τιμή Αγοράς [€/t]	L.H.V κατά Βάρος.	Χύδη Πυκνότητα (Bulk Density)	Ενεργειακό Περιεχόμενο κατ'όγκο	Τιμή ανά Ενέργεια
Είδος	Moisture Content	2020	[MJ/kg]	[kg/m ³]	[MJ/m ³]	[€/GJ]
Wood Chips (a.r)	≤ 30% [29]	~75 [33]	12.5 [32]	250	3,125	6
Firewood (a.r)	≤ 20% [29]	~159 [33]	14.7 [32]	350-500	5,145-7,350	11
Πυρηνόξυλο (a.r)	≤ 14% [29]	50-80	16.0 [29]	660 [29]	10,560	3-5
Wood Pellet A1	≤ 10% [29]	260 [34]	>16.5 [34]	>600 [34]	9,900	16
Wood Pellet A2	≤ 10% [29]	210 [34]	>16.3 [34]	>600 [34]	9,780	13
Pellet Ηλιόσπορου (Φλοιό)	10-12% [29]	80-120 [34]	15.7 [29]	540 [29]	8,478	5-8
Πετρέλαιο Θέρμανσης	-	~0.84 [35] [€/lt]	42.5 [35]	845 [35]	35,912	23
Φυσικό Αέριο (NG)	-	-	47.1 [35]	428 [35]	20,800	21.4 [35]
Υγραέριο (LPG)	-	~0.730 [35] [€/lt]	46.3 [35]	510 [35]	23,600	30.9

4.1.2. Συστήματα Πιστοποίησης Pellet

Τα Pellet αποτελούν ένα ανανεώσιμο καύσιμο που παράγεται κυρίως από ξυλώδη υπολειμματική βιομάζα μέσω διαφόρων πηγών προέλευσης, πληρώντας παράλληλα τους απαραίτητους νομοθετικούς όρους. Η κύρια χρήση τους είναι ως καύσιμο σε συστήματα θέρμανσης κατοικιών αλλά και σε βιομηχανικούς καυστήρες. Αποτελεί ένα εκλεπτυσμένο καύσιμο που μπορεί να υποστεί ζημιά κατά τον χειρισμό του. Για τον λόγο αυτό η διαχείριση της ποιότητας του θα πρέπει να καλύπτει ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, από την επιλογή της πρώτης ύλης έως την τελική παράδοση του στον τελικό καταναλωτή.

Ως εκ τούτου, προκειμένου να υπάρχει αυτή η διασφάλιση ποιότητας, έχουν δημιουργηθεί διάφορα πρότυπα πιστοποίησης για pellet ξύλου. Στην Ευρώπη οι πιο διαδεδομένες πιστοποιήσεις είναι οι ENPlus και η DINPlus. Οι συσκευασίες που έχουν ελεγχθεί σύμφωνα με τα πρότυπα αυτά φέρουν επάνω τους την αντίστοιχη ειδική σήμανση. Το πρότυπο για τα pellet ξύλου που χρησιμοποιείται είναι το ISO 17225-2 το οποίο περιγράφει τις ποιοτικές κλάσεις ανάλογα με την πρώτη ύλη και τις ιδιότητες τους. Αξίζει να σημειωθεί πως το πρότυπο ISO 17225-2 έχει αντικαταστήσει το πρότυπο EN 14961-2 από το 2015 και οι έλεγχοι γίνονται με βάση αυτό. Οι κατηγορίες ποιότητας με την αντίστοιχη σήμανση αλλά και με την προέλευση της πρώτης ύλης βάσει του συστήματος ENPlus παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2 [7], [36].

Πίνακας 4.2: Κατηγορίες ποιότητας πελετών ανάλογα με την επιτρεπόμενη προέλευση της πρώτης ύλης και την αντίστοιχη ειδική σήμανση.

ENPlus A1		ENPlus A2		ENPlus B	
					
Προέλευση Πρώτης Ύλης					
1)	Κορμοί Δέντρων	1)	Ολόκληρα δέντρα (Αφαίρεση Ριζικού συστήματος)	1)	Καθαρή Ξυλεία από δάση και φυτείες
2)	Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα από βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου	2)	Κορμοί Δέντρων	2)	Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα από βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου
		3)	Υπολείμματα Υλοτομίας		
		4)	Χρήση φλοιών από ξυλουργικές εργασίες και υπολείμματα φελλών		
2)	Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα από βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου	5)	Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα από βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου	3)	Μη χημικά επεξεργασμένη και χρησιμοποιούμενη ξυλεία (Όχι ξυλεία οικοδομικών χρήσεων)

Ανάλογα με το είδος της πρώτης ύλης, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, η κάθε κατηγορία ποιότητας πληροί και κάποιες ιδιότητες ως προς τη δομή των pellet αλλά και τον τρόπο αξιοποίησής τους. Ο επόμενος Πίνακας 4.3 [36], παρουσιάζει κάποιες από τις ιδιότητες αυτές ανάλογα την κλάση του καυσίμου.

Πίνακας 4.3: Ιδιότητες Pellet ανάλογα με την κλάση που κατατάσσεται.

Ιδιότητες Συσσωμάτων (Pellet)	Μονάδες	ENPlus A1	ENPlus A2	ENPlus B
Διάμετρος	[mm]	6±1 ή 8±1		
Μήκος	[mm]	3.15 < L < 40 ⁽²⁾		
Υγρασία	[w-% d.b] ⁽³⁾	≤ 10		
Λεπτόκοκκα	[w-% d.b] ⁽¹⁾	≤ 1 ⁽⁴⁾ (≤ 0.5) ⁽⁵⁾		
Μηχανική Αντοχή	[w-% d.b] ⁽¹⁾	≥ 98.0	≥ 97.5	
Χύδην Πυκνότητα	[kg/m ³] ⁽¹⁾	600 ≤ B.D. ≤ 750		
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη	[MJ/kg] ⁽¹⁾	16.6		
Τέφρα	[w-% d.b] ⁽³⁾	≤ 0.7	≤ 1.2	≤ 2.0
Θερμοκρασία Τήξης Τέφρας	[°C]	≥ 1,200	≥ 1,100	
Βασική Χρήση		Οικιακή	Οικιακή	Κυρίως Βιομηχανική

(1): Ως έχει.

(2): Η ποσότητα των pellet με μήκος μεγαλύτερο των 40 mm είναι της τάξης 5%. Μέγιστο μήκος 45 mm.

(3): Επι ξηρού.

(4): Όταν φτάνει στην είσοδο του εργοστασίου (χύδην μεταφορά) ή κατά την μεταφορά στους τελικούς χρήστες (μικροί σάκοι πώλησης).

(5): Κατά τη διαδικασία πλήρωσης των σάκων πώλησης (μικρών/μεγάλων).

Σύμφωνα με τους πίνακες 4.2 και 4.3 είναι φανερό πως γίνεται κατηγοριοποίηση της πρώτης ύλης ανάλογα με την προέλευση της αλλά και με βάση των ιδιοτήτων των αντίστοιχων παραγόμενων pellet. Οι ποιοτικές κλάσεις είναι: **ENPlus A1**, **ENPlus A2** και **ENPlus B**. Συγκεκριμένα:

- **Κλάση A1:** Πρόκειται για την ποιοτικά καλύτερη κατηγορία. Κύριο και σημαντικό χαρακτηριστικό της κλάσης αυτής, έναντι των άλλων κατηγοριών, είναι πως τα pellet έχουν πολύ χαμηλό ποσοστό σε παραγόμενη στάχτη. Επίσης, πρόκειται για καύσιμο που χρησιμοποιείται κυρίως σε οικιακούς λέβητες ή σόμπες pellet.
- **Κλάση A2:** Εξαιτίας των σχετικά υψηλών ποσοστών παραγόμενης τέφρας η κύρια χρήση των pellet αυτών είναι σε συστήματα θέρμανσης μεγαλύτερης δυναμικότητας (θέρμανση πολυκατοικιών).
- **Κλάση B:** Έχοντας το μεγαλύτερο ποσοστό παραγόμενης τέφρας τα συγκεκριμένα pellet δεν χρησιμοποιούνται στον οικιακό τομέα αλλά η βασική τους χρήση είναι στον βιομηχανικό τομέα (Παραγωγή απαραίτητων θερμικών φορτίων) [7].

Επίσης, υπάρχει και ένα άλλο Ευρωπαϊκό σύστημα πιστοποίησης που αφορά τα μεσογειακά βιοκαύσιμα (κλαδέματα ελιάς, τσόφλια καρπών, κλαδέματα αμπέλου κ.α.) το Biomass Certification System. Το σύστημα αυτό κατηγοριοποιεί τα παραγόμενα Pellet από κλαδέματα ελιάς σε κλάσεις **Class P1, P2, P3 [37]** (Βιομηχανική χρήση $B > 400$ kW, Εικόνα) ανάλογα με την ποιότητα, την προέλευση και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του καυσίμου. Ένα από τα βασικά κριτήρια των Pellet (κλαδέματα ελιάς) είναι η παραγόμενη στάχτη η οποία ανά κατηγορία είναι:

- P1: ≤ 0.7 w% d.b.
- P2: ≤ 1.2 w% d.b.
- P3: ≤ 2 w% d.b.



Εικόνα 4.2: Λογότυπο Πιστοποίησης Στερεού Βιοκαυσίμου Biomass^[37]

4.1.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των Στερεών Βιοκαυσίμων

Όπως κάθε είδος καυσίμου έτσι και τα στερεά βιοκαύσιμα παρουσιάζουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Κύριοι τομείς μελέτης είναι ο τεχνικός τομέας, ο οικονομικός τομέας και τέλος ο περιβαλλοντικός [38]. Ως προς τα πλεονεκτήματα σε ότι αφορά στους παραπάνω τομείς ισχύουν τα εξής:

- **Τεχνικός Τομέας:**
 - Αξιοποίηση των στερεών βιοκαυσίμων μέσω διαφόρων τεχνολογιών ανάλογα με το είδος του καυσίμου (Ευελιξία ως προς τη χρήση τους).
 - Παροχή σχετικά υψηλής διαθεσιμότητας έναντι άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα έναντι άλλων μορφών βιοκαυσίμων.
- **Οικονομικός Τομέας:**
 - Χαμηλό κόστος αγοράς για κάποιες κατηγορίες στερεών βιοκαυσίμων (καυσόξυλα, πριονίδια).
 - Ανταγωνιστικότητα σαν καύσιμα έναντι κάποιων συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο θέρμανσης).
 - Απουσία επιβάρυνσης για αγορά δικαιωμάτων εκπομπών CO₂, διότι αναφερόμαστε σε οικολογικό καύσιμο. Αφορά κυρίως στις βιομηχανίες η επιβάρυνση CO₂.
 - Δυνατότητα δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας σε τοπικό επίπεδο.
- **Περιβαλλοντικός Τομέας:**
 - Απουσία επιβάρυνσης του περιβάλλοντος με εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
 - Μικρότερες εκπομπές SO_x και NO_x.
 - Δυνατότητα ανακύκλωσης τέφρας και χρησιμοποίηση της ως λίπασμα. Βασική προϋπόθεση το καύσιμο να είναι απαλλαγμένο από κάθε χημικό επιπρόσθετο.

Πέρα από τις θετικές επιδράσεις που παρουσιάζουν τα στερεά βιοκαύσιμα θα πρέπει να παρουσιαστεί και η αρνητική επίπτωση που μπορεί να έχει σαν εναλλακτική πηγή καυσίμου. Συγκεκριμένα για τους αντίστοιχους τομείς τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- **Τεχνικός Τομέας:**
 - Δυσκολίες στην διαχείριση / τροφοδοσία του καυσίμου.

- Διακυμάνσεις την ποιότητα του καυσίμου. Ανάλογα με την ποιότητα της πρώτης ύλης και πόσο έχει επηρεαστεί από εξωγενείς παράγοντες (κλίμα, έδαφος, ασθένειες κ.α.).
- Λειτουργικά προβλήματα εξαιτίας της παραγόμενης τέφρας.
- Προβλήματα διάβρωσης στα συστήματα καύσης (χλώριο).
- Χαμηλός βαθμός απόδοσης των μονάδων βιομάζας συγκριτικά με τις μονάδες ορυκτών
- **Οικονομικός Τομέας:**
 - Μεγάλο κόστος επένδυσης στην παραγωγή βιοκαυσίμων ή στην χρήση τους (βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρισμού).
 - Εξασφάλιση συνεχούς τροφοδοσίας καυσίμου (επάρκεια) στις βιομηχανικές μονάδες για όλη την διάρκεια του έτους.
 - Εποχικότητα της βιομάζας που επηρεάζει και την χρήση στέρεων βιοκαυσίμων.
 - Αυξημένο κόστος αγοράς σε σχέση με άλλα ορυκτά καύσιμα (λιγνίτης)
- **Περιβαλλοντικός Τομέας:**
 - Παραγωγή οσμών κατά το στάδιο καύσης (πυρηνόξυλο) αλλά και κατά το στάδιο της αποθήκευσης (Ζυμώσεις από μικροοργανισμούς).
 - Κίνδυνος αυτανάφλεξης από υψηλές θερμοκρασίες και μη σωστή διαχείριση τους κατά την αποθήκευση.
 - Εκπομπές επιβλαβών ουσιών, όπως διοξίνες και μικροσωματίδια.
 - Μη σωστή διαχείριση στην διάθεση και επεξεργασία της παραγόμενης τέφρας (μεγάλες ποσότητες), με αποτέλεσμα να γίνεται επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

4.1.4. Συστήματα Καύσης για Στερεά Βιοκαύσιμα

Η βιομάζα έναντι άλλων συμβατικών καυσίμων διαφέρει σε πολλά πεδία. Για την ακρίβεια διαφέρει σε περιεκτικότητα οργανικής και ανόργανης ύλης, σε φυσικές ιδιότητες αλλά και σε περιεχόμενη ενέργεια. Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα (ποσοστιαία διαφορά) εμπεριέχει [39]:

- Λιγότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα.
- Περισσότερη περιεκτικότητα σε οξυγόνο.
- μεγάλα ποσά σε υγρασία και πτητικά.
- Χαμηλή θερμογόνο δύναμη.
- Σχετικά υψηλές τιμές σε κάλιο, πυρίτιο και χλώριο.
- Χαμηλές τιμές σε αλουμίνιο και σίδηρο.
- Μεγάλες ποσότητες παραγόμενης τέφρας.

Εξαιτίας των συγκεκριμένων φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών της απαιτεί συγκεκριμένες τεχνικές/τεχνολογίες καύσης. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το μέγεθος τους, δηλαδή [38]:

- Μικρού τύπου συστήματα θέρμανσης (οικιακός τομέας).
- Μεγάλου τύπου (βιομηχανικός τομέας) για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Στόχος του κάθε συστήματος καύσης είναι:

- Η μεγιστοποίηση του βαθμού απόδοσης του.

- Η ελαχιστοποίηση απωλειών.
- Η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την διαδικασία της καύσης και των παραγώγων της.
- Η αποφυγή ή ελαχιστοποίηση σχηματισμού στερεών και αέριων ρύπων.

Για λόγους πληρότητας της ενότητας θα γίνει σύντομη παρουσίαση του κάθε συστήματος χρήσης των στερεών βιοκαυσίμων (οικιακό τομέα και βιομηχανικό τομέα) με τις επιμέρους τεχνολογίες καύσης.

4.1.4.1. Συστήματα Οικιακής Θέρμανσης με Βιομάζα

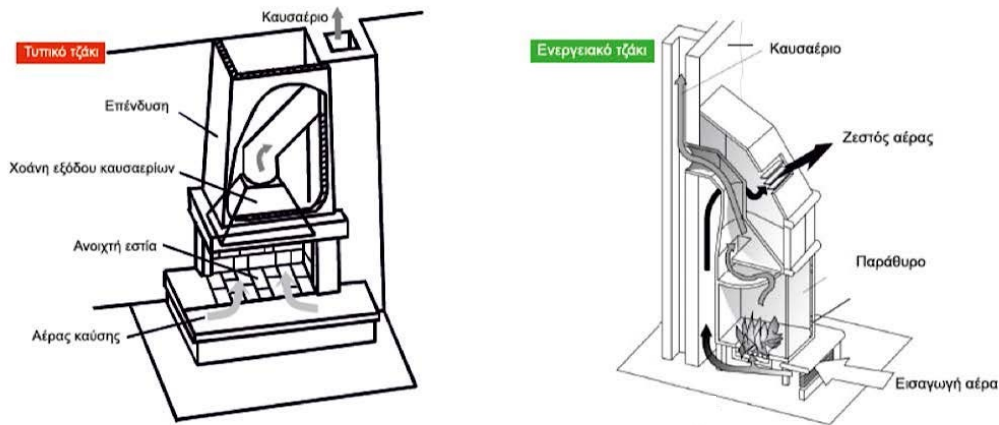
Τα συγκεκριμένα συστήματα θέρμανσης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για παραγωγή θερμότητας ή ζεστού νερού χρήσης για τον οικιακό τομέα μέσω χρήσης στερεών βιοκαυσίμων. Διακρίνονται σε:

1. **Συστήματα τοπικής θέρμανσης:** Παραγωγή θερμότητας και πρόσδοση αυτής απευθείας στον χώρο που βρίσκεται χωρίς να παρεμβάλλεται κάποιο σύστημα μεταφοράς.
2. **Σύστημα κεντρικής θέρμανσης:** Παραγωγή θερμότητας μέσω ενός λέβητα βιομάζας και απόδοση της σε ένα σύστημα μεταφοράς (Εναλλάκτες), με σκοπό την θέρμανση διαφορετικών χώρων (Θερμαντικά Σώματα).

Όταν αναφερόμαστε σε συστήματα τοπικής θέρμανσης τότε κάνουμε λόγο για τυπικά ή ενεργειακά τζάκια και για σόμπες. Ωστόσο υπάρχουν και κάποιες κατηγορίες ενεργειακών τζακιών και σομπών που έχουν την δυνατότητα σύνδεσης με το κεντρικό σύστημα θέρμανσης της οικίας. Αναλυτικότερα:

- Το τυπικό τζάκι, Εικόνα 4.3, πρόκειται για ένα κλασικό σύστημα τοπικής θέρμανσης με πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης, της τάξης του 10 με 20%. Αυτό οφείλεται στην ατελή καύση και την μη επαρκή ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια που παράγονται. Επίσης, πρόκειται για ένα σύστημα που προκαλεί σοβαρή επιβάρυνση στο περιβάλλον λόγω των εκπομπών του. Ένα τυπικό τζάκι μπορεί να μετατραπεί σε ενεργειακό μέσω κατάλληλης θερμομόνωσης στην εστία αλλά και τοποθέτησης πυρίμαχου προστατευτικού τζαμιού μπροστά από την εστία. Βασικό καύσιμο είναι τα καυσόξυλα.
- Αντίθετα το ενεργειακό τζάκι, Εικόνα 4.3, επιτυγχάνει καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση, την οποία αποδίδει στον χώρο με την μορφή θερμού αέρα. Συγκριτικά με ένα τυπικό τζάκι ο βαθμός απόδοσης τους κυμαίνεται μεταξύ 70 έως 85% και δεν επιβαρύνει τόσο πολύ το περιβάλλον (μείωση παραγόμενων ρύπων). Το ενεργειακό τζάκι μπορεί να συνδεθεί με το κεντρικό σύστημα θέρμανσης όταν αναφερόμαστε σε μονοκατοικία και να αποδίδει την θερμότητα αυτή σε όλο το οίκημα μέσω θερμαντικών σωμάτων. Βασικά καύσιμα: καυσόξυλα, μπρικήτες, αιθανόλη, φυσικό αέριο κ.α.
- Τέλος, οι σόμπες είναι επιδαπέδιες συσκευές που χρησιμοποιούνται κυρίως για τοπική θέρμανση και έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν με διάφορα είδη καυσίμων (καυσόξυλα, pellets, μπρικήτες, ροκανίδια). Μέσω της μόνωσης της εστίας αλλά και του

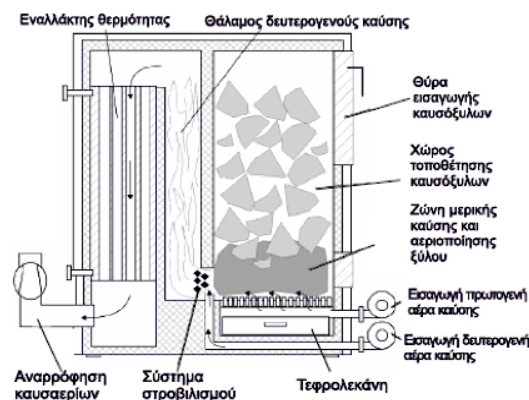
συστήματος ρύθμισης αέρα καύσης μπορούν να επιτύχουν υψηλό βαθμό απόδοσης. Επίσης και οι σόμπες έχουν την δυνατότητα σύνδεσης με κεντρικό σύστημα θέρμανσης [7].



Εικόνα 4.3: Λειτουργία μεταξύ τυπικού και ενεργειακού τζακιού. [7]

Τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης με βιομάζα απαρτίζονται από τον λέβητα βιομάζας, Εικόνα 4.4, όπου σε αυτό το τμήμα γίνεται η καύση και η παραγωγή θερμότητας και από το τμήμα που παραλαμβάνει την θερμότητα αυτή μέσω ενός εργαζόμενου μέσου (νερό) που ανακυκλοφορεί σε κλειστό δίκτυο. Οι λέβητες χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και για παραγωγή ατμού (κυρίως βιομηχανικό επίπεδο). Ο βαθμός απόδοσης τους κυμαίνεται μεταξύ 80 έως 93%. Μπορούν να διακριθούν σε διάφορους τύπους ανάλογα με:

- Το Είδος καυσίμου (καυσόξυλα, pellets, ροκανίδια, πυρηνόξυλο).
- Τον τρόπο τροφοδοσίας:
 - Χειροκίνητη τροφοδοσία (καυσόξυλα, μπρικέςτες)
 - Αυτόματο σύστημα τροφοδοσίας (pellets, ροκανίδια, πυρηνόξυλο)
- Το αν επιτυγχάνεται συμπύκνωση ή μη των υδρατμών των καυσαερίων. Με την συμπύκνωση μπορεί να επιτευχθεί πολύ υψηλός βαθμός απόδοσης αλλά με την χρήση βιομάζας είναι δύσκολο να γίνει αυτό. Συνήθως παρατηρείται μόνο σε λέβητες με καύσιμο pellet [7].



Εικόνα 4.4: Λέβητας Κεντρικής θέρμανσης με καυσόξυλα τύπου καθοδικού ρεύματος αέρα. [7]

4.1.4.2. Συστήματα Καύσης με Βιομάζα στην Βιομηχανία

Η καύση της βιομάζας για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού τα τελευταία χρόνια τείνει να έχει ολοένα και περισσότερο ανοδική πορεία. Για την ακρίβεια για το έτος 2017 από την συνολική παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω χρήσης βιομάζας, το 69.5% (388,521 GWh_e) παράχθηκε από στερεά βιοκαύσιμα, ενώ από την συνολικά παραγόμενη θερμότητα μέσω αξιοποίησης βιομάζας, το 70.3% (582,972 TJ) προήλθε από τη χρήση στερεών βιοκαυσίμων [40]. Σε σχέση με άλλες θερμοχημικές διεργασίες (πυρόλυση, αεριοποίηση), η καύση είναι πιο απλή μέθοδος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευκολότερα στις ήδη υπάρχουσες μονάδες παραγωγής και διανομής ενέργειας. Σε βιομηχανική κλίμακα η καύση στερεών βιοκαυσίμων αποσκοπεί σε: [38]

- Παραγωγή θερμότητας/ατμού (τσιμεντοβιομηχανία)
- Παραγωγή θερμότητας για δίκτυα τηλεθέρμανσης
- Ηλεκτροπαραγωγή
- Συμπαράγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού

Τα κύρια συστήματα καύσης που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στον βιομηχανικό τομέα είναι τα εξής [38], [41]:

- **Καύση σε Σχάρα:** Τα συστήματα αυτά ενδείκνυται για βιομάζα με υψηλά ποσοστά υγρασίας, με μεταβλητό μέγεθος των σωματιδίων του καυσίμου και σε στερεά βιοκαύσιμα με μεταβαλλόμενα ποσοστά στάχτης. Επίσης αποτελεί βασική τεχνολογία και για καύση απορριμμάτων. Πρόκειται για μια οικονομική και λειτουργικά ασφαλή τεχνολογία. Ο χρόνος παραμονής του καυσίμου είναι σχετικά μεγάλος και οι θερμοκρασίες φτάνουν τους 1,000 με 1,200 °C. Βασικό μειονέκτημα είναι το μη αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης της τέφρας που διαθέτει.
- **Ρευστοποιημένη Κλίνη:** Πρόκειται για σύστημα με καύση σε μια ρευστοποιημένη κλίνη. Η κλίνη αποτελείται 90 έως 98% από θερμό, αδρανές και κοκκώδες στερεό (πυριτική άμμος ή δολομίτης, διαμέτρου από 1 έως 50 mm). Λόγω της έντονης ανάδευσης και της μεταφοράς θερμότητας, δημιουργούνται συνθήκες πλήρους καύσης με χαμηλή περίσσεια αέρα. Η θερμοκρασία περιορίζεται σε χαμηλά επίπεδα (800 με 900 °C) λόγω τέφρας. Εξαιτίας της ανάμειξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μίγματα καυσίμου αλλά απαιτείται προ κατεργασία του καυσίμου. Το κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό, για αυτό θεωρείται κατάλληλη για μονάδες που έχουν ανάγκη πάνω από 20 MW_{th}, ενώ μειονέκτημα τους αποτελεί η λειτουργία με μειωμένη τροφοδοσία βιομάζας. Ειδική περίπτωση των καυστήρων ρευστοποιημένης κλίνης είναι οι καυστήρες ανακυκλοφορίας. Επιτρέπουν καλύτερη μεταφορά θερμότητας και ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στην κλίνη λόγω υψηλότερης τύρβης. Κύριο μειονέκτημα τους το υψηλότερο κόστος εγκατάστασης, το οποίο τους καθιστά οικονομικά βιώσιμους σε μονάδες άνω των 30 MW_{th}.
- **Καυστήρες Κονιοποιημένου καυσίμου:** Κατάλληλοι για καύσιμα διαθέσιμα σε μορφή σκόνης (> 2 mm), συνήθως σκόνη από κοπή ξύλου. Ο χρόνος παραμονής είναι ελάχιστος 2-5 s, με κοκκομετρία 50 μm και σε θερμοκρασία περίπου 1,650°C. Επιτυγχάνεται υψηλός ρυθμός έκλυσης θερμότητας και επιτρέπεται η εύκολη μεταβολή του φορτίου του καυστήρα. Χρησιμοποιείται για μονάδες από 2 έως 8 MW_{th}.

4.2. Μελέτη Εγκατάστασης Μονάδας Παραγωγής Στερεών Βιοκαυσίμων

Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε προσδιορισμός της υπολειμματικής βιομάζας κλαδεμάτων ελιάς για τον νομό Αργολίδος μέσω του διαδικτυακού εργαλείου AGROinLOG-MyGIS για διάφορες χιλιομετρικές αποστάσεις γύρω από μια μονάδα επεξεργασίας ελαιοπυρήνα. Σκοπός ήταν η εύρεση της κατάλληλης χιλιομετρικής απόστασης με το απαιτούμενο δυναμικό κλαδεμάτων για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων. Η κατάλληλη απόσταση κρίθηκε να είναι σύμφωνα με τον Πίνακα 2.3 τα 10 km με έκταση ελαιόδεντρων περίπου στα 25,340 στρμ. και 5,450 tDM/year παραγόμενη ποσότητα υπολειμματικής βιομάζας.

Στην ενότητα αυτή μελετήθηκε η εγκατάσταση νέας μονάδα Pellet με παραγωγή κοντά στους 5,450 t/y, αξιοποιώντας το αναβαθμισμένο τμήμα ξήρανσης του πυρηνελαιουργείου κατά την περίοδο μη λειτουργίας του. Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση της νέας μονάδας ως προς τον τρόπο λειτουργίας της με τις αντίστοιχες καταναλώσεις, τα αντίστοιχα έσοδα και το κόστος εγκατάστασης.

4.2.1. Στάδια λειτουργίας μονάδας Pellet

Η πρώτη ύλη που απαιτείται για να λειτουργήσει μια τέτοια μονάδα προέρχεται από οποιαδήποτε μορφή φυτικής βιομάζας αγροτικής ή/και ξυλώδους προέλευσης. Η μονάδα έχει δυναμικότητα παραγωγής σε Pellet από 2.5 t/h και θα εγκατασταθεί πλησίον της υφιστάμενης μονάδας του πυρηνελαιουργείου. Βασικό στοιχείο κατά την παραγωγική διαδικασία ήταν η επιλογή ευπροσάρμοστης μήτρας στη μηχανή συμπίεσης, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε πρώτης ύλης που θα επεξεργάζεται. Συνοπτικά παρουσιάζονται τα στάδια λειτουργίας της μονάδας:

- Συλλογή της αναγκαίας ποσότητας βιομάζας με εξοπλισμό από την ίδια την μονάδα Pellet
- Αποθήκευση της πρώτης ύλης (προ θρυμματισμένη ή μη)
- Εισαγωγή πρώτης ύλης στην μονάδα προς επεξεργασία
- Καθαρισμός από προσμίξεις
- Τεμαχισμός πρώτης ύλης (σε περίπτωση που δεν έχει δεχθεί προ κατεργασία)
- Διαχωρισμός-Κοσκίνισμα
- Ξήρανση Βιομάζας
- Αποθήκευση αποξηραμένης βιομάζας (Σιλό ή αποθήκη)
- Τεμαχισμός/Άλεση αποξηραμένης πρώτης ύλης
- Πελλετοποίηση
- Ψύξη Pellet
- Κοσκίνισμα Pellet
- Ζύγισμα, Συσκευασία και Αποθήκευση Pellet

Πρέπει να τονισθεί πως κάποια από τα παραπάνω στάδια γίνονται εκτός της μονάδας όπως: η προ κατεργασία (θρυμματισμός) της βιομάζας που γίνεται εντός του χωραφιού μέσω γεωργικού παρελκόμενου (θρυμματιστή) αμέσως μετά την συγκομιδή της ελιάς και η ξήρανση της βιομάζας που γίνεται στο πυρηνελαιουργείο. Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστεί αναλυτικά και διαγραμματικά η λειτουργία και ο μηχανολογικός εξοπλισμός της εγκατάστασης.

4.2.2. Περιγραφή των βασικών αρχών και της τεχνολογίας γραμμής πελλετοποίησης

Σε αρχικό στάδιο και σύμφωνα με την καθοδήγηση των επιστημονικών συνεργατών του ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ κ. Καραμπίνη Εμμανουήλ και κ.Κουγιουμτζή Μιχάλη-Αλέξανδρου αλλά και με βάση το ευρωπαϊκό πρόγραμμα AGROinLOG κρίθηκε σκόπιμη η αξιοποίηση της υπολειμματικής βιομάζας από ελαιόδεντρα ξεκινώντας την επεξεργασία της απευθείας από το χωράφι. Συγκεκριμένα κατά την περίοδο συγκομιδής της ελιάς στην Ελλάδα, παράλληλα με την συλλογή του καρπού, εκτελείται και το ετήσιο κλάδεμα των ελαιόδεντρων για την επόμενη χρονιά. Συνήθως τα υπολείμματα καίγονται απευθείας στο χωράφι ή ενσωματώνονται στο έδαφος (χλωρή λίπανση), όπου σύμφωνα με τους παραγωγούς θεωρούνται παραπροϊόν και μη εκμεταλλεύσιμα. Έτσι, αρχίζοντας θα μπορούσαμε να πούμε πως στο πρώτο κομμάτι της εφοδιαστικής αλυσίδας της μονάδας έχουμε:

1. Ενημέρωση κόστους παροχής υπηρεσιών επεξεργασίας υπολειμματικής βιομάζας.
2. Συλλογή υπολειμματικής βιομάζας σε σωρούς εντός του αγρού
3. Θρυμματισμός της βιομάζας εντός του αγρού μέσω μηχανολογικού εξοπλισμού της μονάδας (Ελκυστήρας, θρυμματιστή και καρότσας μεταφοράς)
4. Μεταφορά της θρυμματισμένης βιομάζας προς την μονάδα παραγωγής Pellet

Στο στάδιο **1** η μονάδα παρέχει τις υπηρεσίες της στους παραγωγούς με το ελάχιστο δυνατό κόστος εκμετάλλευσης του «παραπροϊόντος» αυτού.

Στο στάδιο **2** αναλαμβάνει το προσωπικό από την μονάδα να στοιβάξει τα κλαδέματα εντός του αγρού, με σκοπό τον θρυμματισμό τους.

Στο στάδιο **3** για τον θρυμματισμό, πραγματοποιήθηκε αγορά μεταχειρισμένων ελκυστήρων, των θρυμματιστών τύπου Comby TR200 από την Ιταλική εταιρεία Facma (**Για τους υπολογισμούς θεωρήθηκε πως η ικανότητα θρυμματισμού της μηχανής είναι 3.5 tDM/h**), Εικόνα 4.5 [42], και των μεταφορέων βιομάζας (ανατρεπόμενη καρότσα), ώστε να μη επιβαρυνθούν οι παραγωγοί με αυτό το κόστος.

Τέλος, στο στάδιο **4** η θρυμματισμένη βιομάζα (2.5 έως 10 cm), εναποτίθεται στις καρότσες μεταφοράς των 10 t Εικόνα 4.6, και στη συνέχεια μεταφέρεται προς τις αποθήκες με σκοπό την ξήρανση τους στο πυρηνελαιουργείο. Ανάλυση του τρόπου γίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4.5: Θρυμματιστής Εταιρείας Facma.



Εικόνα 4.6: Στάδιο εκφόρτωσης θρυμματισμένων κλαδεμάτων στην πλατφόρμα μεταφοράς.

Η αμέσως επόμενη φάση, μετά την μεταφορά της θρυμματισμένης βιομάζας στην μονάδα Pellet, είναι η επεξεργασία της για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Τα στάδια παραγωγής είναι τα εξής:

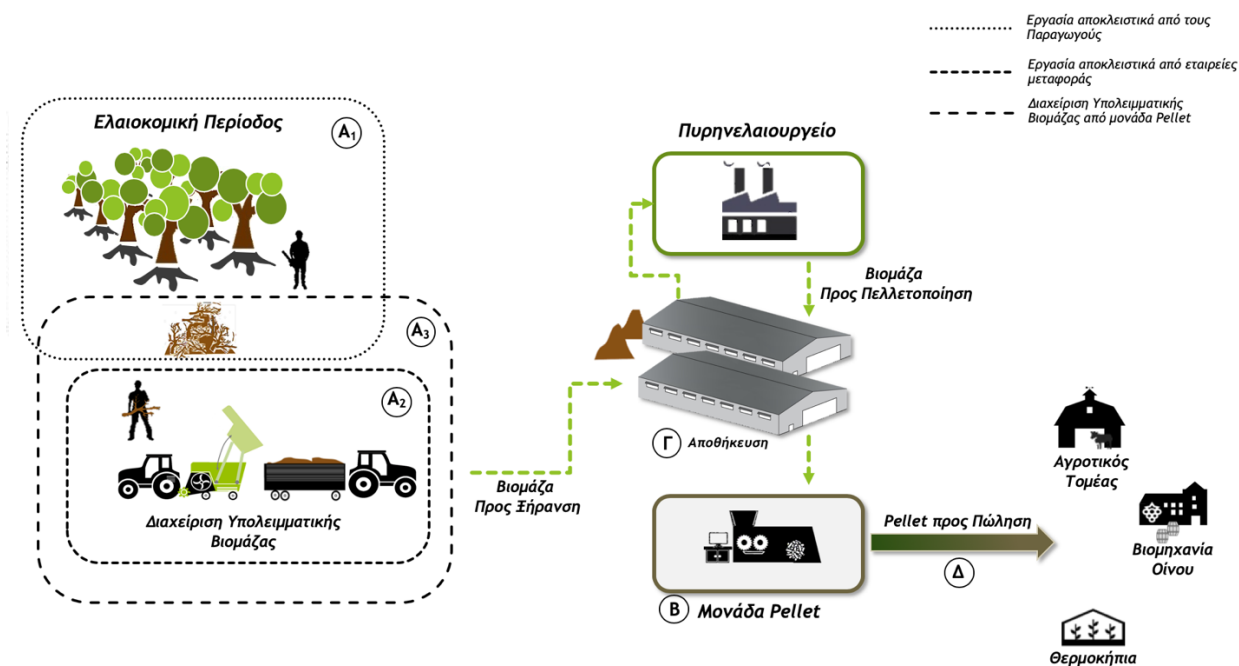
5. Αποθήκευση της προ κατεργασμένης βιομάζας σε χύδην σωρούς κάτω από υπόστεγα ή αποθήκες με καλές συνθήκες αερισμού. Η κατασκευή ενός τέτοιου οικήματος προϋποθέτει μελέτη πρόβλεψης του μεγέθους της ανάλογα με την παραγωγή που έχουμε θέσει σαν στόχο, με το αντίστοιχο κόστος.
6. Στη συνέχεια τα προ κατεργασμένα υπολείμματα βιομάζας τοποθετούνται σε «κινητό δάπεδο» (μηχανική κίνηση) όπου, από εκεί προωθούνται με ρυθμιζόμενη ταχύτητα προς τον μεταφορέα και στη συνέχεια τον διαχωριστή. Στο διαχωριστή το υλικό απαλλάσσεται από ξένα σώματα όπως πέτρες, ρίζες, μεταλλικά αντικείμενα, κ.λ.π., τα οποία συλλέγονται σε ειδικό δοχείο.
7. Το καθαρό υλικό στη συνέχεια εισέρχεται μέσω βαρύτητας στο τμήμα φόρτωσης της μονάδας ταυτόχρονης άλεσης/ξήρανσης. Στη μονάδα αυτή χρησιμοποιείται μίγμα καυσαερίου (καυστήρα)-ατμοσφαιρικού αέρα (σωλήνα εισροής), με σκοπό την παραγωγή θερμού ρεύματος αέρα για ξήρανση. Αμέσως μετά το αποξηραμένο προϊόν με μία υγρασία γύρω στο 10% [κ.β ξηρής ύλης] οδηγείται προς άλεση. Σε αυτό το στάδιο η ο καυστήρας της μονάδας δεν θα λειτουργεί και η ξήρανση θα πραγματοποιείται στο τμήμα ξήρανσης του πυρηνελαιουργείου. Η μεταφορά της ξηράς πρώτης ύλης θα γίνεται αυτόματα στο μηχάνημα άλεσης μέσω ταινίας μεταφοράς.
8. Το αποξηραμένο υλικό στη συνέχεια μεταφέρεται σε δυναμικό επιλογήα όπου επαναπροωθεί τα υγρά και μεγάλα υλικά πίσω στη διαδικασία άλεσης-ξήρανσης, η οποία επαναλαμβάνεται έως ότου το υλικό αποκτήσει τις επιθυμητές διαστάσεις και την επιθυμητή υγρασία.
9. Το αλεσμένο υλικό απορροφάται από έναν ιζηματογενή κυκλώνα, όπου το μεν υλικό κατακάθεται μέσω της φυγόκεντρης δύναμης, ενώ το θερμό ρεύμα αποβάλλεται από την καπνοδόχο.
10. Από τον κυκλώνα το υλικό μεταφέρεται μέσω δοσομετρικής βαλβίδας σε κοχλιομεταφορέα ή αλυσσομεταφορέα και εισέρχεται στο σιλό της πρέσας συμπίεσης (πελλετοποίησης). Η πούδρα (αλεσμένη πρώτη ύλη) μέσω τελικού διαχωριστή ακαθαρσιών προωθείται προς τη μηχανή συμπίεσης.
11. Στο θάλαμο συμπίεσης η πούδρα συμπιέζεται ανάμεσα σε μία περιστροφική μήτρα και τα ράουλα συμπίεσης και εξωθείται διαμέσου των οπών της μήτρας, όπου λόγω της υψηλής πίεσης δημιουργούνται τα συσσωματώματα. Κατά την έξοδό τους από τις οπές της μήτρας με ένα στατικό μαχαίρι αποκόπτονται και απομακρύνονται από την πρέσα.
12. Επειδή σε αυτό το στάδιο τα Pellet είναι ζεστά και εύθραυστα, μεταφέρονται μέσω αναβατορίου στη στήλη ψύξης. Η ψύξη επιτυγχάνεται μέσω ενός ανεμιστήρα από κυκλώνα που αναρροφά αέρα και ψύχει τα Pellet ενώ ταυτόχρονα απομακρύνει τα μικρά κομμάτια και τη σκόνη. Κατά τη διάρκεια της ψύξης, η υγρασία των Pellet μειώνεται, οι υδρατμοί απομακρύνονται και στα Pellet πραγματοποιούνται φυσικές και χημικές διεργασίες. Ως αποτέλεσμα, αποκτούν την απαιτούμενη σκληρότητα, υγρασία (~ 6.3% κ.β επι ξηρού) και θερμοκρασία.
13. Στη συνέχεια αμέσως μετά την ψύξη, τα Pellet εισέρχονται σε δονούμενο διαχωριστή, όπου ξεχωρίζουν τα ποιοτικά προϊόντα από τα μικρά κομμάτια. Τα έτοιμα Pellet

προωθούνται στο αναβατήριο ετοιμών προϊόντων και τα μικρά κομμάτια απορροφώνται από κυκλώνα και επιστρέφουν για επανάληψη της συμπίεσης.

14. Τα έτοιμα προς πώληση Pellet μέσω αναβατηρίου μεταφέρονται σε σιλό, όπου αποθηκεύονται έως ότου ζυγιστούν και συσκευαστούν.

15. Τέλος, κάτω από το σιλό υπάρχουν ηλεκτρονικοί ζυγοί και θέσεις ανάρτησης μεγάλων σάκων (1 t) και σάκων των 15 kg προς πλήρωση. Αμέσως μετά μεταφέρονται στην αποθήκη και από εκεί στα σημεία πώλησης.

Για την αναλυτική επισκόπηση των παραπάνω σταδίων για την συλλογή της υπολειμματικής βιομάζας και της παραγωγής των στερεών βιοκαυσίμων θα γίνει παρακάτω και διαγραμματική παρουσίαση. Συμβολή στην κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας, της λειτουργίας της επικειμένης μονάδας αλλά και την εύρεση του μηχανολογικού εξοπλισμού έπαιξε ο Γενικός Γραμματέας της Ελληνικής Εταιρείας Ανάπτυξης Βιομάζας κος. Δαμάτης Νικόλαος που παρείχε αυτές τις πληροφορίες για την εκπόνηση της μελέτης μέσω της εταιρείας Modern Fuels.



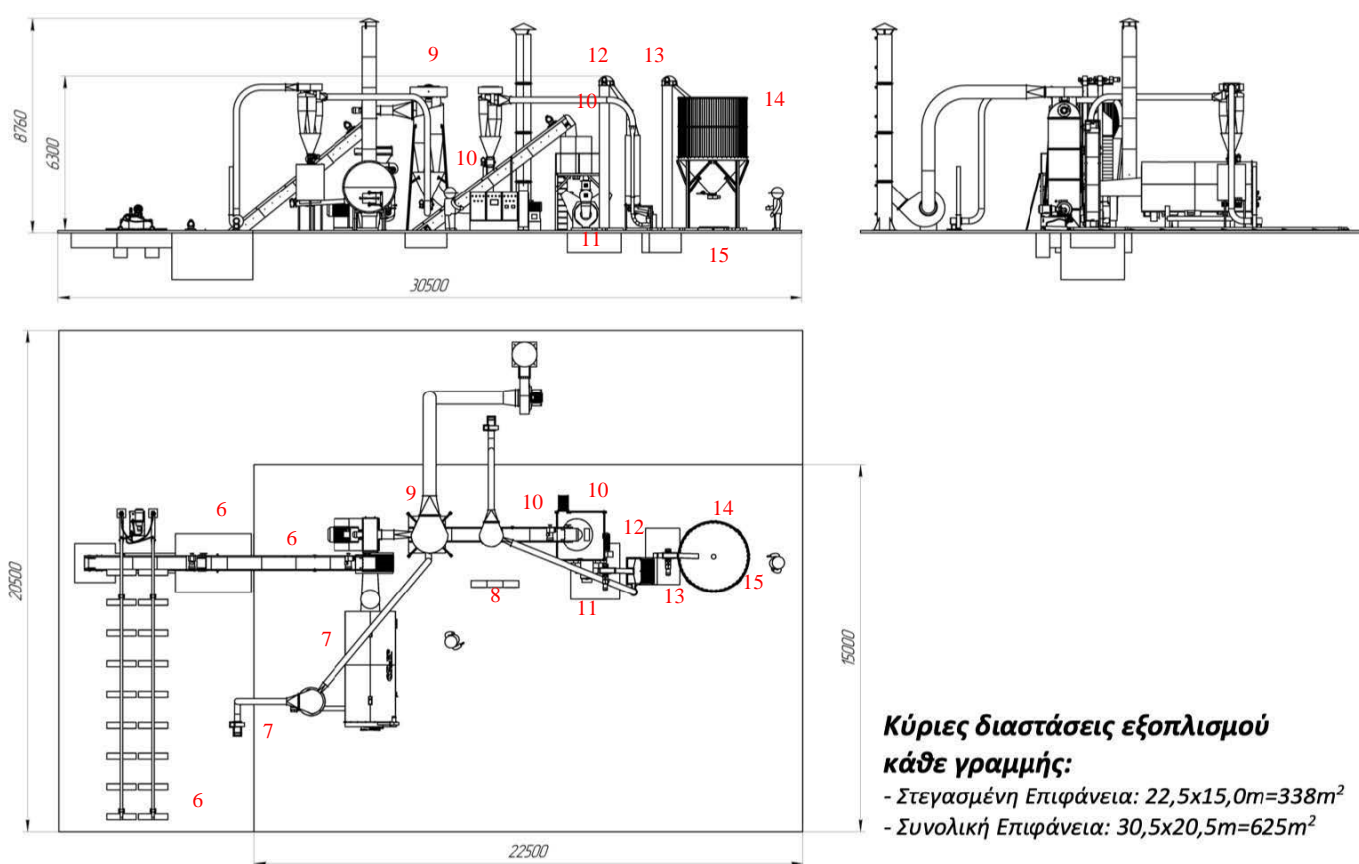
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής μεταποίησης υπολειμματικής βιομάζας σε εμπορεύσιμο προϊόν.

Το Σχήμα 4.1 παρουσιάζει συνοπτικά την αξιοποίηση των κλαδεμάτων ελιάς και τον τρόπο μεταποίησής τους σε εμπορεύσιμο προϊόν με τους αντίστοιχους καταναλωτές. Όπως προαναφέρθηκε κατά την ελαιοκομική περίοδο μαζί με την συλλογή του ελαιόκαρπου εφαρμόζονται ταυτόχρονα και κλαδέματα από τους ίδιους τους παραγωγούς. Στη συνέχεια τα υπολείμματα αυτά καίγονται εντός του αγρού. Στο τμήμα (A1) του παραπάνω σχήματος η εργασία αυτή γίνεται αποκλειστικά από τους παραγωγούς. Ένας μέρος των παραγωγών αυτών αξιοποιεί τα κλαδέματα και τα προμηθεύει σε μονάδες παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων ή σε σημεία πώλησης καυσόξυλων (όταν πρόκειται για εκριζώσεις δέντρων) πληρώνοντας αντίστοιχες εταιρείες μεταφοράς για την μεταφορά τους στα σημεία αυτά (A2). Στην παρούσα μελέτη το σενάριο που εφαρμόστηκε ήταν το (A3) με την προμήθεια της υπολειμματικής βιομάζας (κλαδέματα) απευθείας από τους παραγωγούς χωρίς να υπάρχει η αναγκαιότητα μηχανολογικού εξοπλισμού από τους ίδιους για την διαδικασία θρυμματισμού και την μεταφοράς της βιομάζας

καθώς αυτά θα παρέχονται από την μονάδα. Η μονάδα με αυτό τον τρόπο θα εξασφαλίσει το αναγκαίο δυναμικό βιομάζας, σταθερούς πελάτες έσοδα από την πώληση των Pellet και την απαραίτητη προμήθεια βιομάζας. Το σενάριο (Α3.) περιγράφεται από τα στάδια 1 έως και 4. Περισσότερη ανάλυση θα γίνει στην επόμενη υποενότητα του κεφαλαίου. Στο τμήμα του πυρηνελαιουργείου επιτελείται η ξήρανση της υπολειμματικής βιομάζας.

Για το τμήμα (Β) του σχήματος θα παρουσιαστεί παρακάτω μηχανολογικό-τοπογραφικό σχέδιο της μονάδας σύμφωνα με τα στάδια λειτουργίας του, ενώ στα τμήματα (Γ) και (Δ) γίνεται αναφορά στην αποθήκευση και τη διανομή στα σημεία πώλησης του προϊόντος με τους αντίστοιχους καταναλωτές.

Γραμμή Παραγωγής Pellet



Σχήμα 4.2: Μηχανολογικό – τοπογραφικό σχέδιο της μονάδας Pellet με τα αντίστοιχα στάδια παραγωγής.

Πρέπει να σημειωθεί πως οι κόκκινες ενδείξεις στην κάτοψη και την πλαϊνή όψη του σχεδίου αντιπροσωπεύουν τα στάδια παραγωγής με τον αντίστοιχο μηχανολογικό εξοπλισμό, όπως προαναφέρθηκαν παραπάνω, με σκοπό την κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας της μονάδας.

4.2.3. Παρουσίαση δεδομένων από την εγκατάσταση νέας μονάδας παραγωγής Pellet

Στην ενότητα αυτή θα γίνει πλήρης παρουσίαση της λειτουργίας της μονάδας παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων, αξιοποιώντας υπολείμματα (κλαδέματα) που προκύπτουν κατά την ελαιοκομική περίοδο. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν:

- Το κόστος αγοράς της βιομάζας με τα αντίστοιχα κόστη μεταφοράς και συλλογής, ανάλογα με την χιλιομετρική απόσταση.
- Το κόστος εγκατάστασης της μονάδας μαζί με το κόστος αγοράς των μηχανημάτων θρυμματισμού και μεταφοράς.
- Η ετήσια παραγωγή Pellet.
- Οι θερμικές και ηλεκτρικές καταναλώσεις.
- Τέλος, τα έσοδα της μονάδας ανάλογα την πολιτική πώλησης που θα εφαρμόσει σε παραγόμενο προϊόν και εξοπλισμό.

4.2.3.1. Προσδιορισμός της χιλιομετρικής απόστασης και υπολογισμός του κόστους διαχείρισης της βιομάζας

Στο Κεφάλαιο 2 έγινε η παρουσίαση των διαδικτυακών εργαλείων και η επιλογή του κατάλληλου για τον προσδιορισμό της υπολειμματικής βιομάζας. Το εργαλείο που επιλέχθηκε ήταν το AGROinLOG MyGIS. Επίσης μέρος των δεδομένων διαχείρισης υπολειμματικής βιομάζας βασίστηκε σε αντίστοιχη επιδεικτική δράση που πραγματοποιήθηκε στη Περιοχή του Αγίου Κωνσταντίνου μέσω του Ευρωπαϊκού Προγράμματος AGROinLOG. Η επιλογή της απόστασης αυτής εξυπηρετεί τις ανάγκες σε πρώτη ύλη για την ετήσια παραγωγή Pellet. Οι 5,450 tDM κλαδεμάτων ελιάς προέρχονται από 6,827 tWM υγρασίας περίπου 30% (στοιχειομετρική ανάλυση δειγμάτων από το ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ), ωστόσο επειδή θεωρούμε ότι υπάρχει και ένα 10% σε απώλειες, η τελική ποσότητα βιομάζας θεωρούμε πως προέρχεται από 7,586 tWM. Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση την εναπομένουσα ποσότητα μετά από αυτή την απώλεια, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.4: Παρουσίαση δεδομένων μετά από επιλογή της κατάλληλης χιλιομετρικής απόστασης.

Χιλιομετρική απόσταση	Καλλιεργούμενη Έκταση Ελαιόδεντρων	Αριθμός Δέντρων	Μέση Τιμή RSR	Απαιτούμενη ποσότητα Βιομάζας	Ξηρή Βιομάζα
[km]	[στρμ.]		[tDM/stremma]	[tWM]	[tDM]
10	25,340	361,400	~ 0.2152	~ 6,827	~5,450

Την περίοδο που συγκομίζεται ο ελαιόκαρπος ταυτόχρονα εκτελείται και κλάδεμα των δέντρων. Η χρονική διάρκεια των κλαδεμάτων ποικίλει ανάλογα με την επιλογή του χρόνου που θα το εφαρμόσει ο παραγωγός, το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή, το ίδιο το δέντρο (ποικιλία) και την τεχνική που θα εφαρμοστεί. Συνήθως διαρκεί 2 με 3 μήνες μέγιστο [11]. Για τους

υπολογισμούς θεωρήθηκαν ευνοϊκές καιρικές συνθήκες (χωρίς βροχοπτώσεις, με θερμοκρασία κοντά στους 20°C και με χωρίς μεγάλα ποσοστά υγρασίας). Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα βασικά δεδομένα των υπολογισμών προκειμένου να βρεθεί η τιμή αγοράς υπολειμματικής βιομάζας από τους παραγωγούς. Στις τιμές συμπεριλαμβάνεται ο Φ.Π.Α.

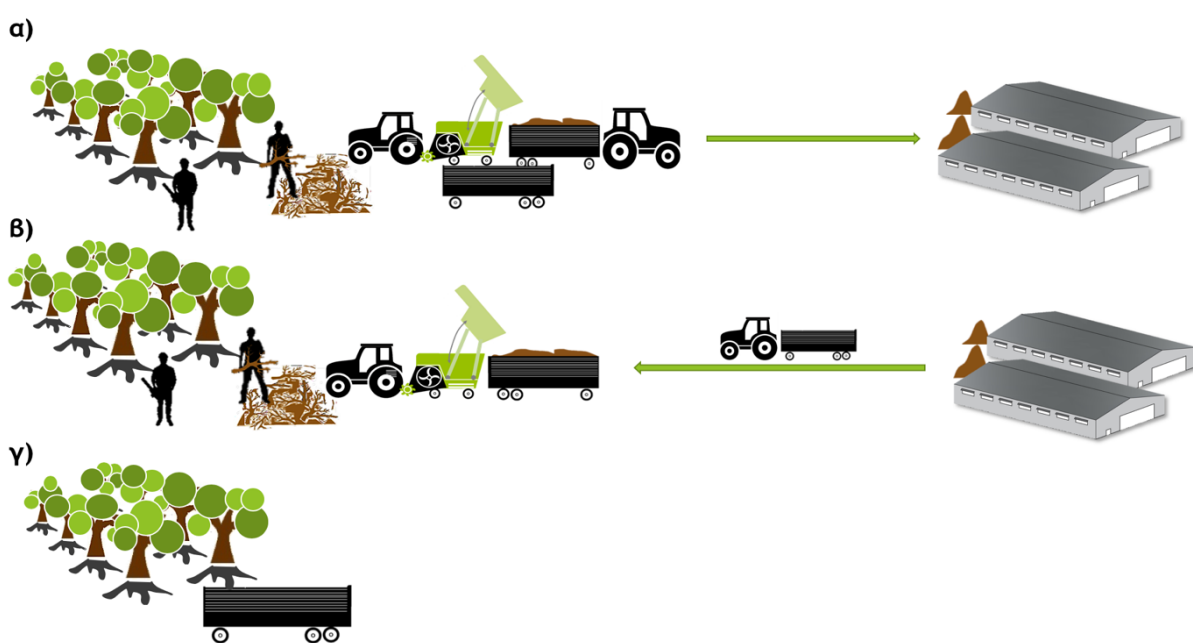
Πίνακας 4.5: Παρουσίαση Βασικών Παραμέτρων Υπολογισμού Κόστους Διαχείρισης Υπολειμματικής Βιομάζας.

ΒΑΣΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ		
Ακτίνα Συγκομιδής	[km]	10
Έκταση με Ελαιόδεντρα	[στρμ.]	25,340
Αναγκαία Ποσότητα Βιομάζας	[tWM/y]	6,827
Υγρασία Βιομάζας	[w-% a.r]	25.1%
Ωρες Εργασίας	[h/d]	8
Συνολικό Προσωπικό για Αγρό		
		4
Κόστος Εργασίας Προσωπικού	[€/d]	30
Σύνολο Οδηγών Ελκυστήρων		
		4
Κόστος Εργασίας Οδηγών	[€/d]	50
Συνολικός Αριθμός Ελκυστήρων (101 HP)		
		4
Αγορά Μεταχειρισμένου Ελκυστήρα ^[43]	[€]	17,100
Συντήρηση Ελκυστήρων	[€]	5,000
Σύνολο Ανατρεπόμενων Πλατφορμών χωρητικότητας 10t		
		4
Αγορά Ανατρεπόμενης Πλατφόρμας ^[44]	[€]	8,000
Αριθμός Θρυμματιστών Facma		
		2
Αγορά Θρυμματιστή ^[42]	[€]	21,000
Αποδοτικότητα Θρυμματιστή Facma	[tDM/h]	3.5
Συντήρηση Θρυμματιστών	[€]	13,080
Συνολικός Αριθμός Ημερών για προ κατεργασίας Βιομάζας		
	[d]	97
Συνολικός Αριθμός Ημερών για μεταφορά Βιομάζας		
	[d]	97
Σύνολο Μηνών		
<i>Ταυτόχρονη χρονική περίοδος Προ κατεργασίας και Μεταφοράς βιομάζας</i>	[month]	~3

Οι συνολικές ημέρες εργασίας για προ κατεργασία και μεταφορά βιομάζας ανέρχονται στις 97 (περίπου 3 μήνες και 8 μέρες). Οι μήνες που έχουν επιλεγεί είναι από τα τέλη Γενάρη μέχρι τα τέλη Απριλίου προκειμένου να θρυμματιστεί η συνολική ποσότητα βιομάζας και να μεταφερθεί προς την μονάδα Πυρηνελαιουργείο-Pellet. Ο θρυμματισμός της βιομάζας θα γίνει αφού πρώτα έχει παραμείνει στο αγρό. Η επιλογή αυτή έγινε, με σκοπό να συνεχιστεί η λειτουργία του ξηραντήρα αμέσως μετά το πέρας της ξήρανσης του ελαιοπυρήνα. Πρέπει να σημειωθεί πως δεν

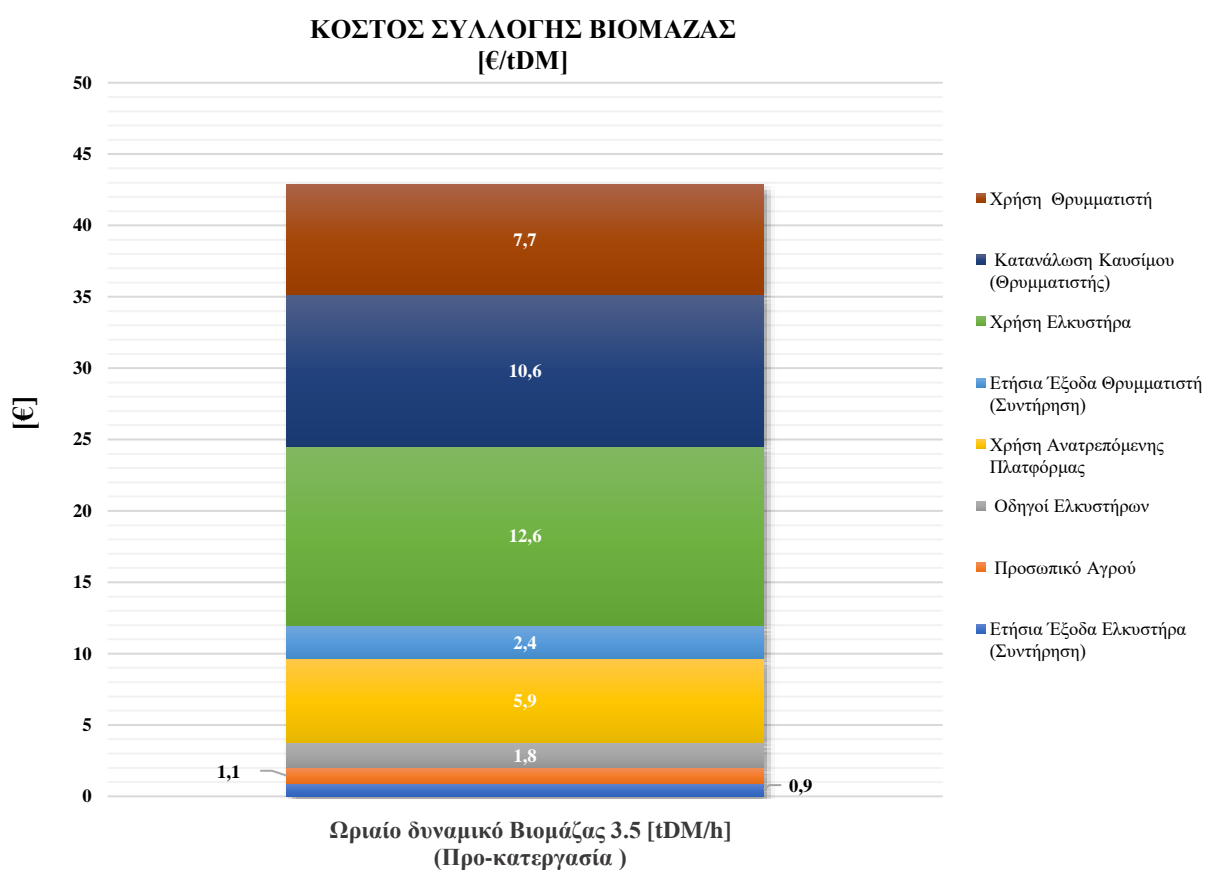
έγινε ενοικίαση των μηχανημάτων (μεταχειρισμένοι ελκυστήρες, θρυμματιστής, ανατρεπόμενη πλατφόρμα) αλλά αγορά. Μόνο το προσωπικό (εργάτες και οδηγοί) θα εργαστεί εποχικά. Το κόστος εργασίας τους λήφθηκε μετά από επικοινωνία με τους ίδιους τους εργάτες. Επίσης, για την ομάδα θρυμματισμού σε κάθε ελκυστήρα αντιστοιχεί ένας θρυμματιστής, ένας οδηγός και ένα άτομο προσωπικό αγρού που θα στοιβάζει τα κλαδέματα. Για την ομάδα μεταφοράς αντιστοιχεί σε κάθε ελκυστήρα ένας οδηγός, ένας άτομο προσωπικό αγρού και δυο ανατρεπόμενες πλατφόρμες.

Αναλυτικότερα, μετά την έναρξη της ελαιοκομικής περιόδου και κατά την περίοδο του κλαδέματος των ελαιόδεντρων από τους παραγωγούς, τα κλαδιά θα παραμένουν στοιβαγμένα εντός του αγρού για περίπου 20 με 25 ημέρες μέχρι να κατέλθει η υγρασία τους στα επιθυμητά επίπεδα και να θρυμματιστούν (~27 έως 25% μετά από στοιχειομετρικές αναλύσεις δειγμάτων που πραγματοποιήθηκαν από το ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ). Στη συνέχεια η ομάδα θρυμματισμού (2 Ελκυστήρες και οδηγοί - 2 Θρυμματιστές - 2 Άτομα Προσωπικό Αγρού), Σχήμα 4.3, θα εισέρχεται στον αγρό και θα θρυμματίζει την υπολειμματική βιομάζα. Καθώς η ομάδα θρυμματισμού θα συνεχίζει την προ κατεργασία με βάση το ορισμένο χρονοδιάγραμμα, ταυτόχρονα η ομάδα μεταφοράς (2 Ελκυστήρες και οδηγοί - 4 Ανατρεπόμενες Πλατφόρμες - 2 Άτομα Προσωπικό Αγρού) θα συλλεγεί την θρυμματισμένη βιομάζα και θα την μεταφέρει σε χώρο δίπλα από το πυρηνελαιουργείο (αποθήκευση), με σκοπό την αποξήρανση των κλαδεμάτων. Συγκεκριμένα με την θεώρηση πως η θρυμματιστική ικανότητα του θρυμματιστή είναι 3.5 tDM/h και για 8 h εργασίας του προσωπικού συνολικά επεξεργάζονται 28 tDM/d υπολειμματικής βιομάζας. Η μία πλατφόρμα έχει ικανότητα μεταφοράς 10 t βιομάζας την φορά. Οπότε με το που γεμίσει η μια πλατφόρμα σε διάστημα περίπου 3 ωρών θα μεταφέρει τη βιομάζα προς τις αποθήκες (α). Το διάστημα αυτό θα συνεχίζεται ο θρυμματισμός της βιομάζας μέχρι να γεμίσει και η εφεδρική (δεύτερη) πλατφόρμα για να μεταφερθεί και η υπόλοιπη ποσότητα προς αποθήκευση (β). Μετά το πέρας των εργασιών η μια πλατφόρμα από τις δυο θα μεταφέρεται αποβραδής στο επόμενο χωράφι, με σκοπό την διευκόλυνση των ελκυστήρων κατά το στάδιο μεταφοράς βιομάζας από το χωράφι προς τον χώρο αποθήκευσης (γ).



Σχήμα 4.3: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας επεξεργασίας και μεταφοράς της βιομάζας.

Για τον υπολογισμό του κόστους παροχής υπηρεσιών αξιοποίησης της βιομάζας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον Πίνακα 4.5 αλλά και δεδομένα που προήλθαν μετά από σχετική επικοινωνία με τους αρμόδιους. Συγκεκριμένα, μετά από επικοινωνία με τους παραγωγούς μας ενημέρωσαν πως για τον θρυμματισμό βιομάζας απαιτούνται περίπου 2 lt/στρέμμα καυσίμου. Οπότε σύμφωνα με την πληροφορία αυτή και γνωρίζοντας την συνολική ποσότητα βιομάζας tDM προς θρυμματισμό μέσω της συνολικής έκτασης των καλλιεργούμενων εκτάσεων στρμ. υπολογίστηκε η ειδική τιμή κατανάλωσης καυσίμου με μία τιμή στα 9,3 lt/tDM. Η συνολική απαίτηση σε πετρέλαιο για θρυμματισμό υπολογίστηκε στα 50,680 λίτρα και 24,525 λίτρα πετρέλαιο για μεταφορά βιομάζας με μια ειδική κατανάλωση 4.5 lt/tDM. Η μέση τιμή του πετρελαίου κίνησης για τον Νομό Αργολίδας το 2020 είναι 1.145 €/lt.



Σχήμα 4.4: Κόστος Συλλογής και Επεξεργασίας Υπολειμματικής Βιομάζας.

Η ημερήσια πληρωμή των εργατών ανέρχεται στα 30 €/d, ενώ των οδηγών ελκυστήρων στα 50 €/d. Το κόστος επεξεργασίας της βιομάζας με βάση την ωριαία διαχείριση της (προ κατεργασία) ορίστηκε στα 43 €/tDM. Το κόστος επεξεργασίας παρουσιάζει διακυμάνσεις και δεν είναι σταθερό. Η τελική τιμή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως: τα μηχανήματα που εκτελούν την εργασία (παλαιά/νέα, ιδιότητα/ενοικιασμένα), το προσωπικό, την τιμή πετρελαίου κίνησης, την περίοδο εκείνη που γίνεται η συλλογή-προ κατεργασία και το είδος της βιομάζας. Ένα μειονέκτημα του διαδικτυακού εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε (MyGIS) είναι η έλλειψη προσεγγιστικού υπολογισμού της τιμής αγοράς βιομάζας. Η ηλεκτρονική πλατφόρμα που παρείχε αυτή την πληροφορία ήταν το Bioraise. Συγκεκριμένα για την ίδια ακτίνα και με δεδομένη τιμή πετρελαίου κίνησης και υγρασίας βιομάζας, η τιμή συλλογής/επεξεργασίας ήταν 38 €/tDM ενώ

της μεταφοράς βιομάζας ήταν 6 €/tDM, σύνολο 44 €/tDM. Ενώ για την περίπτωση μας το κόστος συλλογής είναι 43 €/tDM και το κόστος μεταφοράς 8 €/tDM σύνολο 51 €/tDM. Υπάρχει μια αύξηση στην τελική τιμή της τάξης του 16% και αυτό οφείλεται στον αριθμό των ελκυστήρων που χρησιμοποιούνται για την προ κατεργασία και τον θρυμματισμό της βιομάζας και στον αριθμό των πλατφορμών. Αναλυτικός τρόπος υπολογισμού της υπολειμματικής βιομάζας από μόνιμες καλλιέργειες στο διαδικτυακό εργαλείο Bioraise δεν παρέχεται [15].

Τέλος, αφού προσδιορίστηκε το κόστος διαχείρισης της βιομάζας και με βάση τα δεδομένα από τον Πίνακα 4.5 μπορούν να παρουσιαστούν τα συνολικά κόστη κατά το στάδιο της προ κατεργασίας, της συλλογής και της μεταφοράς της προς τον χώρο επεξεργασίας της. Συγκεκριμένα το τελικό κόστος συλλογής, προ κατεργασίας και μεταφοράς βιομάζας διαμορφώνεται από τέσσερα επιμέρους κόστη:

- Κόστος Αγοράς Μηχανολογικού Εξοπλισμού (Ελκυστήρες, Θρυμματιστές, Πλατφόρμες)
- Κόστος Προσωπικού Εργασίας Αγρού
- Κόστος Αγοράς Καυσίμου
- Κόστος Συντήρησης Μηχανολογικού εξοπλισμού (Ελκυστήρες, Θρυμματιστές)

Πίνακας 4.6: Κόστος Αγοράς Μηχανολογικού Εξοπλισμού (Με Φ.Π.Α.).

ΑΓΟΡΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ		
Μηχάνημα	Ποσότητα	Κόστος [€]
Μεταχειρισμένος Ελκυστήρας	4	68,400
Θρυμματιστής Comby TR200	2	42,000
Ανατρεπόμενη Πλατφόρμα	4	32,000
ΣΥΝΟΛΟ [€]		142,400

Πίνακας 4.7: Κόστος Προσωπικού Εργασίας Αγρού (Με Φ.Π.Α.).

ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ		
Ειδικότητα	Ποσότητα	Κόστος [€]
Αγρού	4	11,659
Οδηγοί	4	19,432
ΣΥΝΟΛΟ [€]		31,091

Πίνακας 4.8: Κόστος αγοράς πετρελαίου κίνησης.

ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΙΝΗΣΗΣ		
Έκταση με Ελαιόδεντρα	[στρμ.]	25,340
Τιμή Πετρελαίου Κίνησης	[€/lt]	1.145
Ειδική κατανάλωση Καυσίμου για Προ κατεργασία	[lt/tDM]	9,3
Ειδική κατανάλωση Καυσίμου για Μεταφορά	[lt/tDM]	4.5
Τρόπος Κατανάλωσης	Ποσότητα [lt]	Κόστος [€]
Προ κατεργασία Ά Ύλης	50,680	58,029
Μεταφορά Ά Ύλης	24,525	28,081
ΣΥΝΟΛΟ [€]		86,110

Πίνακας 4.9: Κόστος για την διαχείριση βιομάζας από την μονάδα Pellet (Με Φ.Π.Α.).

ΚΟΣΤΟΣ		
Αγορά Μηχανολογικού Εξοπλισμού	[€]	142,400
Κόστος Προσωπικού Εργασίας	[€]	31,091
Κόστος Αγοράς Πετρελαίου Κίνησης	[€/y]	86,110
Συντήρηση Μηχανολογικού Εξοπλισμού (Ελκυστήρες-Θρυμματιστές)	[€]	18,080
ΣΥΝΟΛΟ	[€]	277,681

Μετά από τον υπολογισμό της τελικής τιμής επεξεργασίας βιομάζας, που ανέρχεται κοντά στα 51 €/tDM, αλλά και μετά από επικοινωνία με τους ίδιους τους παραγωγούς, θεωρήθηκε πως η τιμή αυτή δεν θα μπορούσε να παρέχει το απαιτούμενο δυναμικό βιομάζας στη μονάδα για παραγωγή pellet. Έτσι γνωρίζοντας πως όταν το κόστος καταστροφής των κλαδεμάτων (καύση) είναι κοντά στα 4-5 €/tDM ή ότι το κόστος θρυμματισμού και ενσωμάτωσης τους στο έδαφος (χλωρή λίπανση) ανέρχεται κοντά στα 10-12 €/tDM. γίνεται αντιληπτό πως η τιμή που υπολογίστηκε θεωρείται υψηλή για έναν παραγωγό. Έτσι με βάση το υπολογισμένο κόστος επεξεργασίας αλλά και τις τιμές που δόθηκαν από τους ίδιους τους παραγωγούς κρίθηκε σκόπιμο η επιβολή ποσοστιαίας τιμής παροχής υπηρεσιών από την αρχική υπολογισμένη τιμή. Το ποσό που θα πληρώσει ο παραγωγός ή θα είναι ενιαίο ανεξαρτήτως της παραγόμενης υπολειμματικής βιομάζας των εκτάσεων που κατέχει (Ενιαία τιμή) ή θα εξαρτηθεί ανάλογα τον αριθμό των δέντρων-εκτάσεων που έχει στην κατοχή του (Κλιμακούμενη τιμή). Την επιλογή του τρόπου χρέωσης θα την επιλέξει η μονάδα ανάλογα με την οικονομική της κατάσταση και την ευελιξία της. Το συνολικό ποσό διαχείρισης της βιομάζας για 5,450 tDM ανέρχεται στα 277,681 € (Με Φ.Π.Α.). Στην μελέτη εφαρμόστηκε το σενάριο ενιαίας επιβολής της τιμής επεξεργασίας της βιομάζας ανεξαρτήτως του αριθμού των δέντρων και εκτάσεων που κατέχει ο κάθε παραγωγός λόγω καθολικότητας. Επιλέχθηκε μια μέση τιμή μεταξύ των τιμών που δόθηκαν από τους παραγωγούς

για την επεξεργασία που εφαρμόζουν (καύση-αναμόχλευση) σε σχέση με τις τιμές που υπολογίστηκαν με βάση την τιμή παροχής υπηρεσιών 51 €/tDM. Η τιμή αυτή ορίστηκε στα 10 €/tDM για κάθε παραγωγό. Με αυτόν τον τρόπο η μονάδα εξασφαλίζει ένα ακόμη έσοδο πέρα από την πώληση των Pellet. Στον παρακάτω Πίνακα 4.10 παρουσιάζονται τα δεδομένα από τον υπολογισμό εύρεσης της τιμής αυτής αλλά και τα έσοδα από το κόστος διαχείρισης αυτής.

Πίνακας 4.10: Παρουσίαση πιθανών τιμών παροχής υπηρεσιών με τα αντίστοιχα έσοδα από το κόστος διαχείρισης βιομάζας (Με Φ.Π.Α.).

Ποσοστό Πληρωμής από Παραγωγό	Κόστος Επεξεργασίας Βιομάζας [€/tDM]		Κόστος Παραγωγού [€/tDM]	Έσοδα Μονάδας [€/t season]
	Επεξεργασία [€/tDM]	Μεταφορά [€/tDM]		
	42	8	51	
10.5 %	4	1	5	27,742
11.5 %	5	1	6	31,903
13.5%	6	1	7	37,452
15.5%	7	1	8	43,000
17.5%	8	1	9	48,548
19.5%	8	2	10	54,097
21.5%	9	2	11	59,645
23.5%	10	2	12	65,194
25.5%	11	2	13	70,742
27.5%	12	2	14	76,290
29.5%	13	2	15	81,839
31.5%	14	3	16	87,387

Έτσι στα τελικά έσοδα της μονάδας προστίθεται και ένα επιπλέον έσοδο το οποίο σε ένα ποσοστό της τάξης του 19.5% αποσβένει μέρος των εξόδων της μονάδας (Ελκυστήρες, Θρυμματιστές, αγορά πετρελαίου κίνησης, πληρωμές προσωπικού αγρού) για την επεξεργασία και μεταφορά της βιομάζας.

4.2.3.2. Παρουσίαση Μηχανολογικού και Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού μονάδας Pellet

Στην επιλογή του μηχανολογικού εξοπλισμού έπαιξε ρόλο η ποσότητα της υπολειμματικής βιομάζας που θα επεξεργαστούμε με το αντίστοιχο ωριαίο δυναμικό παραγωγής pellet της μονάδας. Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος AGROinLOG αλλά και με την καθοδήγηση των επιστημονικών συνεργατών του ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ ορίστηκε σαν μέγιστη ετήσια παραγωγή πελλετών κοντά στους 5,450 t/y με μία ωριαία παραγωγή κοντά στους 2.5 t/h. Η επιλογή των στοιχείων αυτών έγινε με σκοπό την μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας μια τέτοιας μικρής μονάδας στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας. Σύμφωνα με την προσφορά που λήφθηκε (Επικοινωνία με κ. Δαμάτη) για αυτά τα δεδομένα λειτουργίας θα παρουσιαστούν παρακάτω τα κόστη εγκατάστασης του μηχανολογικού και του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού της μονάδας. Στο κομμάτι του Πίνακα 4.11 που αναφέρεται στα τμήματα μεταφοράς-ξήρανσης-άλεσης, πελλετοποίησης και ζύγισης για λόγους ομαδοποίησης δεδομένων έγινε κωδικοποίηση των τμημάτων αυτών σύμφωνα με το μηχανολογικό σχέδιο που δόθηκε στην παράγραφο 2.3.2

Πίνακας 4.11: Κόστος εγκατάστασης μηχανολογικού εξοπλισμού μονάδας Pellet.

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ		
ΤΜΗΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ <i>(Μηχανολογικό Σχέδιο)</i>	ΚΟΣΤΟΣ [€]
Μεταφοράς-Ξήρανσης-Άλεσης	6,7,8,9	160,400
Πελλετοποίησης	10,11,12	238,000
Ζύγισης	13,14,15	24,600
Σύνολο χωρίς Φ.Π.Α. και λοιπές υπηρεσίες		423,000
Παροχή Υπηρεσιών/Μελετών Εγκατάστασης Μηχανολογικού Εξοπλισμού <i>(Ποσοστά επί του συνολικού κόστους χωρίς Φ.Π.Α.)</i>		
Υπηρεσίες προμελέτης-σχεδιασμού	3%	12,690
Μελέτης εφαρμογής	8%	33,840
Επίβλεψη εγκατάστασης, Εκπαίδευση, Υποστήριξη αρχικής παραγωγής	7%	29,610
Μεταφορικά Μηχανολογικού Εξοπλισμού	10%	42,300
Εκτελωνισμός Μηχανολογικού Εξοπλισμού	10%	42,300
Φ.Π.Α.		24%
ΣΥΝΟΛΟ [€]		723,838

Σημειώνεται πως στο τμήμα μεταφοράς-άλεσης-ξήρανσης το συγκρότημα παραγωγής θερμού αέρα (2 MW_{th}) αξίας 48,112 € θα εγκατασταθεί και θα λειτουργεί κανονικά σε περίπτωση που το τμήμα ξήρανσης του πυρηνελαιουργείου δεν θα είναι διαθέσιμο ή θα απαιτείται συμπληρωματική παραγωγή αναγκαίων θερμικών φορτίων για κάποια άλλη διεργασία. Στη μονάδα άλεσης-ξήρανσης AS-5-2000 με σύστημα διαχείρισης σκόνης αξίας 57,288 € θα λειτουργεί το κομμάτι της άλεσης μόνο. Παρακάτω θα παρουσιαστούν και τα κόστη του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού της μονάδας (Επικοινωνία με κ. Δαμάτη).

Πίνακας 4.12: Κόστος εγκατάστασης ηλεκτρολογικού εξοπλισμού μονάδας Pellet.

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΚΟΣΤΟΣ [€]
Υποσταθμού Μέσης Τάσης και Μετασχηματιστή	16,000
Πίνακα Χαμηλής Τάσης και Πινάκων Διανομής	25,700
Ηλεκτρολογική Εγκατάσταση Γραμμής Τροφοδοσίας: Μηχανήματων, Παραγωγής και βοηθητικού εξοπλισμού	50,800
Κατασκευή Συστημάτων Γειώσεων και Αντικεραυνικής Προστασίας	14,700
Φ.Π.Α.	24%
ΣΥΝΟΛΟ [€]	132,928

Τέλος, θα πρέπει να παρουσιαστούν και τα κόστη αγοράς οικοπέδου και κατασκευής του χώρου στέγασης της μονάδας κοντά στην περιοχή της Νέας Κίου, όπου εδρεύει το πυρηνελαιουργείο της ΕΛΣΑΠ, αλλά και το κόστος κατασκευής του αποθηκευτικού χώρου (Αποθήκη) της βιομάζας. Αρχικά, επιλέχθηκε οικόπεδο συνολικού εμβαδού 1000 m², με σκοπό την κατασκευή στέγασης του μηχανολογικού εξοπλισμού παραγωγής pellet συνολικού εμβαδού 338 m² (Βλέπε Σχήμα 4.2) αλλά και την ύπαρξη χώρου προσωρινής τοποθέτησης 662 m² της βιομάζας μέχρι την τελική της επεξεργασία. Η μέση τιμή αγοράς του m² ήταν 10 €/m² ενώ τα κόστη προϋπολογισμών έργου, πολεοδομίας, έκδοσης αδείας, τιμής κατασκευής στεγασμένης επιφάνειας 650 έως 800 €/m² και τιμής σκυροδέματος για την κατασκευή της ακάλυπτης επιφάνειας 290 έως 350 €/m³ προήλθαν μετά από επικοινωνία με πολιτικό μηχανικό.

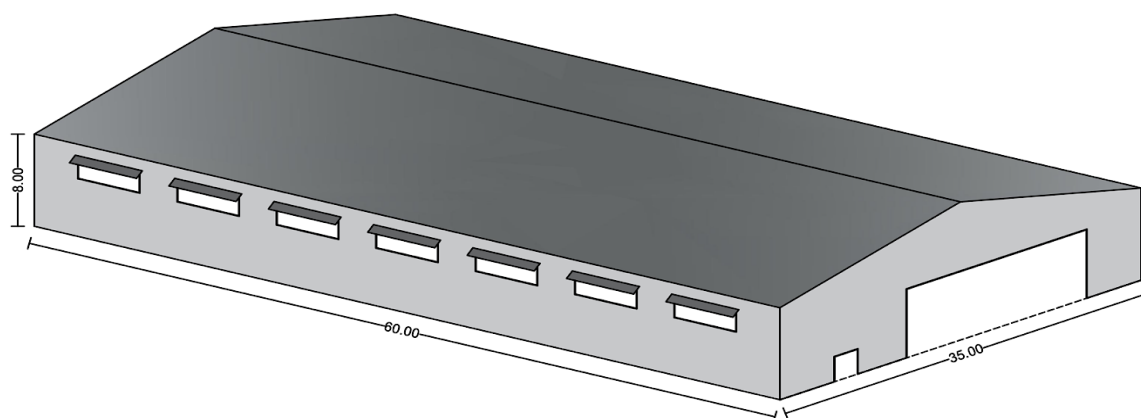
Πίνακας 4.13: Κόστος αγοράς οικοπέδου και κατασκευής χώρου στέγασης/ακάλυπτης επιφάνειας.

ΟΙΚΟΠΕΔΟ/ΣΤΕΓΑΣΗ			ΚΟΣΤΟΣ [€]
Οικόπεδο	[m ²]	1,000	10,000
Προϋπολογισμός Έργου Τ.Ε.Ε.			73,125
Προϋπολογισμός Πολεοδομίας			29,250
Συνολικό Κόστος Άδειας			34,042
Κόστος κατασκευής στεγασμένης Επιφάνειας	[m ²]	338	245,050
	[m ²]	662	
Κόστος κατασκευής πλάκας (σκυρόδεμα) ακάλυπτης Επιφάνειας	Όγκος κάλυψης ακάλυπτης επιφάνειας με σκυρόδεμα [m ³]	265 ^[45]	84,736
ΣΥΝΟΛΟ [€]			446,953

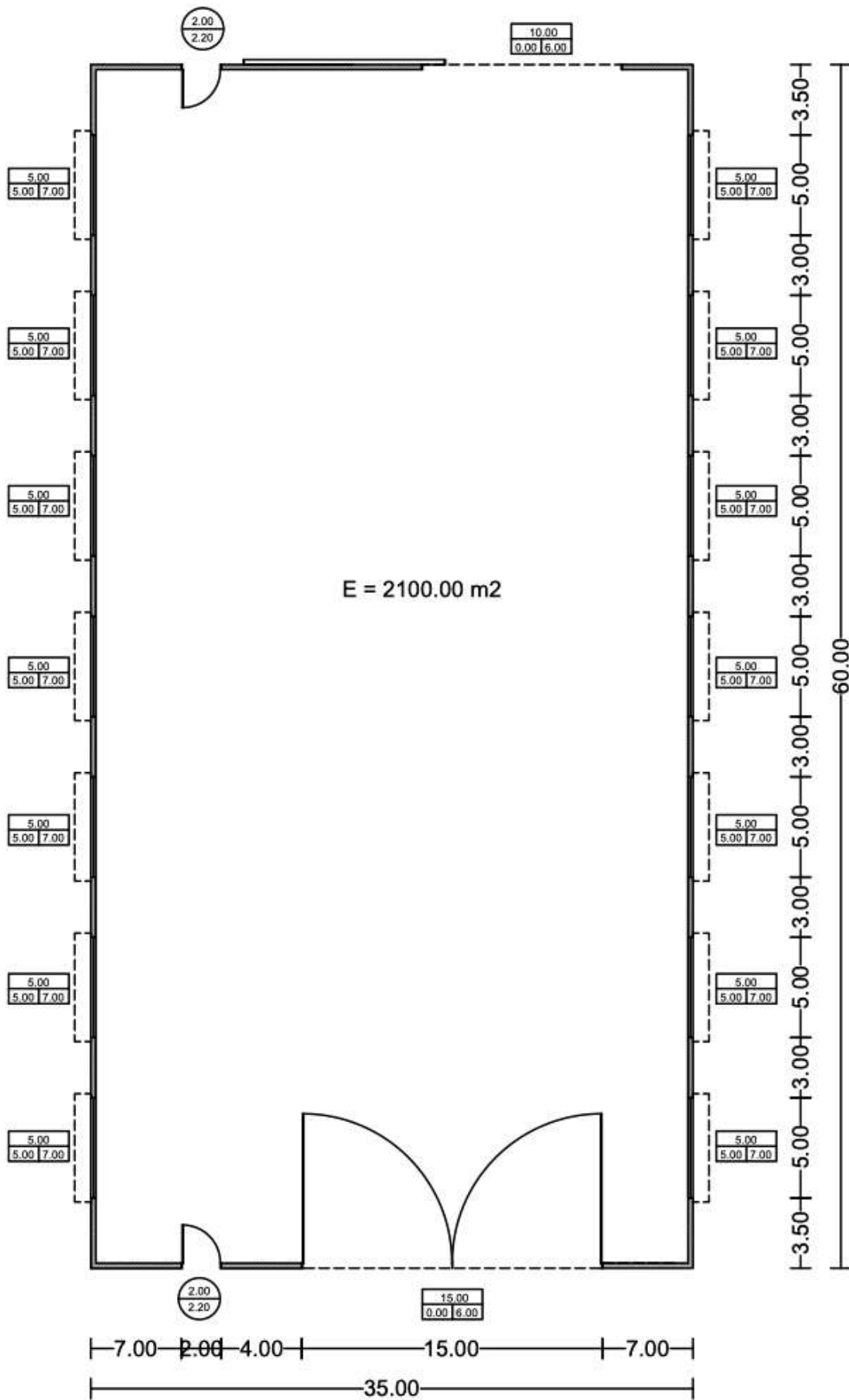
Για την κατασκευή των μεταλλικών κατασκευών (αποθηκών) έγινε επικοινωνία με πολιτικό μηχανικό αλλά και με μεσιτικό γραφείο [46] για την περιοχή της Νέας Κίου όπου και προσδιορίστηκαν οι διαστάσεις της κατασκευής Μήκους 60 m x Πλάτους 35 m x Ύψους 8 m για βιομηχανική χρήση από χάλυβα. Επίσης βρέθηκε και ο χώρος που θα κατασκευαστούν οι αποθήκες. Με βάση τα δεδομένα από τους παραπάνω πίνακες για ετήσια ποσότητα 6,827 tWM, με υγρασία ~ 27 έως 25% και με χύδην πυκνότητα θρυμματισμένης πρώτης ύλης 0.23 tWM/m³ ο συνολικός όγκος της προ καταγεγραμμένης πρώτης ύλης υπολογίστηκε στα 29,683 m³. Έχοντας αυτά τα δεδομένα στον παρακάτω πίνακα θα παρουσιαστούν τα κόστη κατασκευής και αγοράς οικοπέδου αλλά και η κάτοψη της εγκατάστασης. Πρέπει να τονισθεί πως έγινε μια προσαύξηση 10% στο εμβαδό της κάθε αποθήκης για λόγους ασφαλείας της κατασκευής. Στις τιμές έχει συμπεριληφθεί και ο Φ.Π.Α.

Πίνακας 4.14: Κόστος Εγκατάστασης Μεταλλικής Κατασκευής (Με Φ.Π.Α.)

ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (Αποθήκης)		
Ποσότητα Βιομάζας	[tWM]	6,827
Χύδην Πυκνότητα Θρυμματισμένης Βιομάζας	[tWM/m ³]	0.23
Ποσότητα Βιομάζας	[m ³]	29,683
Διαστάσεις αποθήκης		
Μήκος	[m ³]	60
Πλάτος	[m ³]	35
Ύψος	[m ³]	8
Επιφάνεια	[m ²]	2,100
Όγκος Αποθήκης	[m ³]	16,800
Έκδοση Αδείας, Μελέτη Κατασκευής κ.α.	€	8,000
Υλικό κατασκευής	Χάλυβας	
Κόστος αγοράς υλικού	[€/m ²]	140
Αριθμός Αποθηκών		2
Κόστος Κατασκευής Αποθηκών [€]		527,446
Έκταση Οικοπέδου	[m ²]	8,000
Αγορά Οικοπέδου	5 [€/m ²]	40,000
Συνολικό κόστος [€]		567,446



Εικόνα 4.7: Σχηματική αναπαράσταση του χώρου αποθήκευσης θρυμματισμένης βιομάζας μέσω προγράμματος AutoCAD.



Εικόνα 4.8: Κάτοψη χώρου αποθήκευσης μέσω προγράμματος AutoCAD

4.3. Καταναλώσεις μονάδων Πυρηνελαιουργείου-Pellet.

Με σχετική αναφορά που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφαλαίο η μονάδα Pellet παρόλο που έχει εγκατεστημένη μονάδα παραγωγής των αναγκαίων θερμικών φορτίων για ξήρανση θα αξιοποιεί τον νέο ξηραντήρα του πυρηνελαιουργείου προκειμένου να αποξηράνει τη θρυμματισμένη βιομάζα. Η διαδικασία αυτή θα αρχίζει αμέσως μετά τη ξήρανση του ελαιοπυρήνα. Αυτή η επιλογή αποσκοπεί στην επέκταση της λειτουργίας της μονάδας, με στόχο την αξιοποίηση των παραγόμενων θερμικών φορτίων κατά την παραγωγική διαδικασία. Η περίοδος λειτουργίας του ξηραντήρα, με τις αντίστοιχες καταναλώσεις, εξαρτάται από τις ώρες που θα εργάζεται αλλά και από το ωριαίο δυναμικό βιομάζας που θα αποξηραίνεται. Αμέσως μετά την ξήρανση στο πυρηνελαιουργείο το προϊόν θα μεταφέρεται στον χώρο της μονάδας pellet προκειμένου να θρυμματιστεί και να πελλετοποιηθεί. Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από υπολογισμούς που προέκυψαν αξιοποιώντας δεδομένα από τα Κεφάλαια 1 και 2 για τις δυο μονάδες για την ξήρανση και την παραγωγή pellet.

Πίνακας 4.15: Δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για τους απαραίτητους υπολογισμούς.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ		
Παροχή Πρώτης Ύλης (Προ κατεργασμένα κλαδέματα)	[kg /h]	12,500
Ενεργειακή Κατανάλωση Ξηραντήρα	[KJ/kg water]	3,245
Βαθμός Απόδοσης Συστήματος Ξήρανσης		87%
Συνολική ποσότητα βιομάζας προς ξήρανση	[tWM]	6,827
Αρχική Υγρασία Πρώτης ύλης [w-% w.b]		25.1%
Τελική Υγρασία Πρώτης ύλης [w-% d.b]		6.3%
Καύσιμο		Πυρηνόξυλο

Πρέπει να επισημανθεί πως η επιλογή επέκτασης της λειτουργίας του πυρηνελαιουργείου έχει σαν στόχο την εγκατάσταση συμπαραγωγικής μονάδας Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC) η οποία θα αξιοποιεί εξοπλισμό της μονάδας του πυρηνελαιουργείου, με σκοπό να παράγει ηλεκτρική ενέργεια από βιομάζα (πυρηνόξυλο, κλαδέματα κ.α.) και παραγωγή θερμικής ενέργειας προς κατανάλωση στη γύρω περιοχή. Περισσότερη ανάλυση θα ακολουθήσει στο επόμενο κεφάλαιο.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ

Πίνακας 4.16: Αποτελέσματα λειτουργίας ξηραντήρα για την ξήρανση προ κατεργασμένης βιομάζας.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ		
Παροχή Πρώτης Ύλης <i>(Προ κατεργασμένα κλαδέματα)</i>	[kg/h]	12,500
Αρχική Υγρασία Πρώτης Ύλης		25.1%
Τελική Υγρασία Πρώτης Ύλης		6.3%
Τελικό Ξηρό προϊόν προς Πελλετοποίηση	[kg/h]	9,979
Εξάτμιση Νερού	[kg/h]	2,521
Ενεργειακή Κατανάλωση Ξηραντήρα	[KJ/kg _{water}]	3,245
L.H.V a.r <i>(Πυρηνόξυλο)</i>	[MJ/kg]	17.58
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου	[kg Πυρηνόξυλο/t Α' Ύλης]	37
Κατανάλωση Καυσίμου	[kg/h]	460
Προσφερόμενη Θερμική Ενέργεια	[MWh _{th.}]	2.24
Απαίτηση σε Θερμική Ενέργεια	[MWh _{th.}]	2.0
Βαθμός Απόδοσης Διεργασίας		87%

Πίνακας 4.17: Τελικά αποτελέσματα λειτουργίας Νέου Ξηραντήρα.

Συνολικό δυναμικό	Τελικό ξηρό προϊόν προς Πελλετοποίηση	Συνολική κατανάλωση καυσίμου <i>(Πυρηνόξυλο)</i>	ΣΥΝΟΛΙΚΗ Προσφερόμενη Θερμική Ενέργεια	ΣΥΝΟΛΙΚΗ Απαίτηση σε Θερμική Ενέργεια	ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ Θερμικής Ενέργειας
[tWM]	[tDM]	[t]	[GWh _{th.}]	[GWh _{th.}]	[GWh _{th.}]
6,827	5,450	190	1.23	1.07	0.16

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Πινάκων 4.16 και 4.17 ο ξηραντήρας απαιτεί 251 t σε πυρηνόξυλο προκειμένου να ξηράνει το συνολικό δυναμικό πρώτης ύλης. Η ποσότητα αυτή έχει προκύψει από την θεώρηση πως λειτουργεί για 24 h/d κάθε μέρα, με μια ημερήσια απαίτηση σε καύσιμο 11 t/d. Με βάση αυτά τα δεδομένα και αυτή την θεώρηση το ξηραντήριο θα ολοκληρώσει την διεργασία σε 23 ημέρες περίπου. Όπως είναι φανερό η επιλογή καθορίζεται από παράγοντες

οικονομικούς, όπως είναι η αξιοποίηση μέρους από το παραγόμενο πυρηνόξυλο που προορίζεται για αναβάθμιση. Παρακάτω θα παρουσιαστούν για διάφορες ώρες εργασίας οι αντίστοιχες απαιτήσεις σε καύσιμο.

Πίνακας 4.18: Σενάρια Ωρών Λειτουργίας Ξηραντήρα.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ (Ξήρανση Κλαδεμάτων)				
ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟ	Βασικοί μήνες εργασίας [month]			
	5			
ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΛΑΔΕΜΑΤΩΝ				
ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΛΑΔΕΜΑΤΩΝ [h/d]	24	16	12	8
ΧΡΟΝΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΚΛΑΔΕΜΑΤΩΝ [month]	0.8	1.1	1.5	2.3
ΣΥΝΟΛΙΚΟΙ ΜΗΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ [month]	5.8	6.1	6.5	7.3
ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ (5 Μήνες) [t]	5,287			
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΝΑ ΑΥΞΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ [t]	251			
ΤΕΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ [t]	5,538			

Από τον παραπάνω πίνακα είναι φανερό πως υπάρχει αύξηση στην συνολική κατανάλωση πυρηνόξυλου για την παραγωγή των αναγκαίων φορτίων για ξήρανση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή μείωση και του τελικού παραγόμενου πυρηνόξυλου που προορίζεται για πώληση είτε σαν ξυλάκι είτε σαν πυρηνόξυλο. Η πτώση που παρατηρείται είναι της τάξης του 6% με άμεσο αντίκτυπο στα έσοδα της μονάδας. Εκτός από την αύξηση στην κατανάλωση του καυσίμου υπάρχει και αντίστοιχη αύξηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων της μονάδας λόγω χρήσης του τμήματος ξήρανσης όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. Στον παραπάνω πίνακα οι υπολογισμοί έγιναν με θεώρηση πως ο ξηραντήρας θα λειτουργεί για 24 h/d, δηλαδή η πρώτη περίπτωση.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ Pellet

Πίνακας 4.19: Σενάρια Λειτουργίας Ξηραντήρα για Ξήρανση της Υπολειμματικής Βιομάζας.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ					
Βασικοί μήνες λειτουργίας	[month]	5			
Συνολικές ώρες λειτουργίας	[h]	3,648			
Εγκατεστημένη Ηλεκτρική	[kW _e]	322,3			
Συνολική Κατανάλωση	[kWh _e /season]	1,175,750			
ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΛΑΔΕΜΑΤΩΝ (Λειτουργία Μόνο Τμήματος Ξήρανσης)					
Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς Νέου Ξηραντήρα	[kW _e]	251.6			
Ώρες λειτουργίας προς ξήρανση κλαδεμάτων	[h/d]	24	16	12	8
Χρόνος ξήρανσης κλαδεμάτων	[month]	0.8	1.1	1.5	2.3
Συνολικοί μήνες λειτουργίας	[month]	5.8	6.1	6.5	7.3
Επιπλέον Ώρες εργασίας Ξηραντήρα	[h]	546.2	546.2	546.2	546.2
Επιπλέον Ηλεκτρική Κατανάλωση	[kWh _e /season]	137,434	137,434	137,434	137,434
Κόστος ηλεκτρικής κατανάλωσης (Ξήρανση Κλαδεμάτων)	[€/y]	8,891	8,891	8,891	8,891
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ	[kWh _e /season]	1,313,174	1,313,174	1,313,174	1,313,174
ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	[€/y]	84,962	84,962	84,962	84,962

Με την αύξηση των ωρών λειτουργίας του τμήματος ξήρανσης παρατηρήθηκε αύξηση στις συνολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις κατά 11.68%. Από τα τέσσερα χρονικά σενάρια επιλέχθηκε για λειτουργία ξηραντήρα οι 24 ώρες και ο λόγος έγκειται στο γεγονός στην σωστή διαχείριση της υγρής βιομάζας (πιθανές απώλειες λόγω υγρασίας σε περίπτωση επιμήκυνσης του χρόνου παραμονής στις αποθήκες πριν το στάδιο της ξήρανσης). Ωστόσο η μονάδα Pellet θα έχει σαν ετήσιο έξοδο την κάλυψη των αναγκών λειτουργίας του νέου ξηραντήρα (καύσιμο-ηλεκτρικές καταναλώσεις) με σκοπό την ξήρανση των κλαδεμάτων ελιάς. Αναλυτική παρουσίαση των οικονομικών δεδομένων και της αξιολόγησης της επένδυσης θα γίνει στο τελευταίο κεφάλαιο της μελέτης.

Η μονάδα έχει οριστεί να λειτουργεί ταυτόχρονα με τις πρώτες μέρες ξήρανσης των κλαδεμάτων ελιάς από το πυρηνελαιουργείο. Σύμφωνα με τις ώρες λειτουργίας του ξηραντήρα, την ωριαία παραγόμενη ποσότητα σε αποξηραμένη πρώτη ύλη αλλά και με το ωριαίο δυναμικό παραγωγής pellet (2.5 t/h), η μονάδα θα ορίσει τις ώρες λειτουργίας της με σκοπό να παράγει την ετήσια ποσότητα pellet. Η ημερήσια ποσότητα των αποξηραμένων κλαδεμάτων θα μεταφέρονται σε χώρο όπου θα φυλάσσονται και θα παρέχουν συνεχή τροφοδοσία στην μονάδα. Η μονάδα θα λειτουργεί 8 h/d για έξι μέρες την εβδομάδα. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι καταναλώσεις της μονάδας με τα αντίστοιχα συνοπτικά έξοδα αλλά και τα έσοδα ανάλογα με μια πρόβλεψη στην τιμή πώλησης των pellet μετά από επικοινωνία με τον κ. Δαμάτη. Η οικονομική ανάλυση της μονάδας σε ότι αφορά στα κόστη εγκατάστασης των μηχανημάτων, στα κόστη αγοράς της βιομάζας, στα κόστη του ανθρωπίνου δυναμικού αλλά και στην επιλογή της τιμής πώλησης των στερεών βιοκαυσίμων ανά τόνο θα γίνει στο τελευταίο κεφάλαιο της μελέτης.

Πίνακας 4.20: Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς και ποσοστιαία εκμετάλλευση κάθε εξοπλισμού.

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΣ	[kW_e]	Ποσοστιαία Εκμετάλλευση
Μηχανολογικός Εξοπλισμός Μεταφοράς και Διαχωρισμού Πρώτης ύλης	17	4%
Μηχανολογικός εξοπλισμός Επεξεργασίας Πρώτης ύλης (Άλεσμα-Ξήρανση-Μεταφορά-Αποθήκευση)	160.9	37%
Πρέσα συμπίεσης Pellet Münch RMP 650 - 2,5 [t/h]	234	54%
Μηχανολογικός εξοπλισμός Μεταφοράς-Ψύξης-Καθαρισμού Pellet	18.6	4%
Σύστημα Ζύγισης - Συσκευασίας	4	1%
ΣΥΝΟΛΟ [kW_e]	434.5	100%

Όπως διαφαίνεται στον παραπάνω πίνακα τη μεγαλύτερη απαίτηση σε ηλεκτρική ισχύ την κατέχει η πρέσα πελλετοποίησης με 54% επι του συνολικού και ο μηχανολογικός εξοπλισμός επεξεργασίας της πρώτης ύλης με 37%. Από τον μηχανολογικό εξοπλισμό επεξεργασίας πρώτης ύλης το 87% αναλογεί στη χρήση του συστήματος ξήρανσης με ταυτόχρονη άλεση, ένα 5% αντιστοιχεί στο σύστημα παραγωγής θερμού αέρα για ξήρανση και ένα 3% για το σύστημα σύλληψης σπινθήρων. Τα δυο τελευταία συστήματα παρόλο που είναι εγκατεστημένα δεν θα λειτουργούν πάρα μόνο σε περίπτωση που το ξηραντήριο του πυρηνελαιουργείου θα βρίσκεται εκτός χρήσης ή σε περίπτωση παραγωγής αναγκαίων θερμικών φορτίων. Από την συνολική εγκατεστημένη ισχύ θα αξιοποιηθεί το 96.9%, δηλαδή **421.2 kW_e**.

Πίνακας 4.21: Αποτελέσματα λειτουργίας μονάδας Pellet.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ Pellet		
Συνολική Ποσότητα Ξηρής Βιομάζας για Pellet	[tDM/y]	5,450
Σύνολο Βαρδιών ανά Ημέρα		1
Ώρες Λειτουργίας μονάδας	[h/d]	8
Ωριαίο δυναμικό παραγωγής Pellet	[t/h]	2.5
Ημερήσιο δυναμικό παραγόμενων Pellet	[t/d]	20
Ημέρες Εργασίας ανά βδομάδα	[d/week]	6
Συνολικοί Μήνες Λειτουργίας	[m]	11.3
Συνολικές Ώρες Λειτουργίας	[h]	2,180
Αξιοποιήσιμη Εγκατεστημένη Ισχύς	[kW _e]	421.2
Συνολικές Ηλεκτρικές Καταναλώσεις	[kWh _e /y]	918,216

Το προσωπικό εργασίας της μονάδας θα απαρτίζεται από έναν εργοδηγό, όπου θα μεταφέρει την θρυμματισμένη βιομάζα από το πυρηνελαιουργείο στην μονάδα και θα τροφοδοτεί με πρώτη ύλη την γραμμή παραγωγής και τέσσερις εργάτες όπου θα επιβλέπουν την ομαλή λειτουργία της παραγωγής. Σε κάθε βάρδια θα εργάζονται τρία άτομα μετά από σχετική πληροφόρηση. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα και με βάση την λειτουργία της μονάδας θα παρουσιαστούν και τα αντίστοιχα κόστη.

Πίνακας 4.22: Κόστος ανθρωπίνου δυναμικού μονάδας Pellet.

Ανθρώπινο Δυναμικό	Αριθμός Προσωπικού	Κόστος Εργασίας [€/d]	Ημέρες εργασίας [d/week]	Μήνες εργασίας [month/y]	Ετήσιο Κόστος [€/y]
Εργοδηγός	1	50	6	11.3	13,620
Εργάτες	6	30	6	11.3	24,516

Ο υπολογισμός του ετήσιου κόστους των ηλεκτρικών καταναλώσεων περιλαμβάνει μια περίοδο ταυτόχρονης λειτουργίας των μηχανημάτων για διάστημα 12 ημερών πριν την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας, με σκοπό τον έλεγχο και την συντήρηση των μηχανημάτων και την επίσημη περίοδο λειτουργίας της μονάδας. Τις πρώτες μέρες έχουμε 100% ταυτοχρονισμό στα μηχανήματα ενώ το υπόλοιπο διάστημα είναι στο 80%.

Πίνακας 4.23: Κόστος ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων μονάδας Pellet.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ			
Εγκατεστημένη Ισχύς	[kW _e]	Περίοδος ταυτοχρονισμού 100%	Περίοδος ταυτοχρονισμού 80%
		434.5	421.2
Ωρες Εργασίας	[h]	96	2,180
Συνολικές Καταναλώσεις	[kWh _e]	41,712	734,573
Κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας	[€/kWh _e]	0.0638	
Συνολικό Κόστος	[€/y]	49,527	

Επίσης στα τελικά κόστη θα πρέπει να συνυπολογιστεί ένα 5% για την αγορά πετρελαίου κίνησης, ένα 5% με 15% για έκτακτα έξοδα (στην μελέτη χρησιμοποιήθηκε το ελάχιστο ποσοστό) και τέλος ένα 2% για ασφάλεια και φόρους (Σύνολο επένδυσης). Τέλος, θα παρουσιαστεί και ένας ενδεικτικός πίνακας των εσόδων από την πώληση των pellet με ένα εύρος τιμής πώλησης από 186 έως 248 €/t (Με Φ.Π.Α.) και δυο σενάρια πολιτικής προώθησης με ποσοστά επιτυχίας 100% και 85%.

Πίνακας 4.24: Έσοδα από πώληση Pellet από τα αντίστοιχα ποσοστά προώθησης.

ΚΕΡΔΗ ΑΠΟ ΠΩΛΗΣΗ Pellet		
Ετήσια Παραγωγή [t/y]	5,450	
Τιμή Πώλησης [€/t]	Επιτυχία Προώθησης 100%	Επιτυχία Προώθησης 85%
	Τελικά Κέρδη [€/y]	
186	1,013,700	861,645
198	1,081,280	919,088
211	1,148,860	976,531
223	1,216,440	1,033,974
236	1,284,020	1,091,417
248	1,351,600	1,148,860
ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ [€/y]		
Για τιμή 10 [€/tDM]	54,097	

Η τελική τιμή πώλησης των pellet θα οριστεί μέσω οικονομικής ανάλυσης. Επίσης, εκτός από τα έσοδα από τις πωλήσεις των pellet θα υπάρχει και μια πηγή εσόδων από η οποία θα ορίζεται ανάλογα την τιμή που θα επιβάλλεται στους παραγωγούς κατά το στάδιο επεξεργασίας της υπολειμματικής βιομάζας. Όλα τα δεδομένα για τους υπολογισμούς της μονάδας λήφθηκαν μετά από σχετική επικοινωνία με τον κ. Δαμάτη.

5. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΣΩ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ RANKINE (ORC)

5.1. Εισαγωγή - Συμπαραγωγή

Όπως έγινε αναφορά και στο πρώτο κεφάλαιο με τον όρο Συμπαραγωγή (Combined Heat and Power-CHP) νοείται η ταυτόχρονη παραγωγή χρήσιμης θερμικής ενέργειας και ηλεκτρικής/ ή και μηχανικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας στο πλαίσιο μίας μόνο διεργασίας. Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας οδηγεί σε πολύ υψηλούς βαθμούς χρησιμοποίησης του καυσίμου οι οποίες πολλές φορές ξεπερνούν και το 80%. Ένα από τα πολλά οφέλη που παρουσιάζει η συμπαραγωγή είναι η περίπτωση των αποκεντρωμένων ενεργειακών συστημάτων (πχ. Βιομάζας) όπου επιδρά θετικά τόσο από οικονομικής όσο και από ενεργειακής άποψης. Συγκεκριμένα λόγω της παραγωγής δυο προϊόντων τα έσοδα της εγκατάστασης αυξάνονται, με αποτέλεσμα οι επενδύσεις αυτές να θεωρούνται πιο επικερδείς σε σχέση με επενδύσεις καθαρής ηλεκτροπαραγωγής. Η κύρια εφαρμογή των συστημάτων συμπαραγωγής είναι σε σύγχρονες εγκαταστάσεις και χαρακτηρίζονται από τον λόγο ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια.

Αυτές γίνονται σε [47]:

- Διάφορα συστήματα Ατμοστροβίλων (αντίθλιψης, συμπύκνωσης με απομάστευση, με χαμηλής πίεσης).
- Διάφορα συστήματα Αεριοστροβίλων (ανοικτού και κλειστού κύκλου, έκχυση ατμού στο θάλαμο καύσης).
- Συστήματα εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης.
- Συστήματα συνδυασμένου κύκλου Αεριοστροβίλου-Ατμοστροβίλου.

Ωστόσο πέρα από τις εφαρμογές αυτές υπάρχουν και άλλες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για συμπαραγωγή όπως για παράδειγμα:

- Τεχνολογίες μικροστροβίλων
- Οργανικού Κύκλου Rankine
- Εμβολοφόρων ή κοχλιωτών ατμομηχανών
- Συστήματα Κυψελών Καυσίμου
- Συστήματα με μηχανές Stirling

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η εγκατάσταση οργανικού κύκλου Rankine για συμπαραγωγή με σκοπό την ταυτόχρονη κάλυψη και πώληση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας στις υπομελέτη μονάδες αλλά και στη γύρω περιοχή. Ξεκινώντας θα προσδιοριστεί ο ολικός βαθμός απόδοσης συμπαραγωγής ενός συμπαραγωγικού συστήματος ο οποίος προκύπτει από το άθροισμα του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης (Εξίσωση 4.6) και του θερμικού βαθμού απόδοσης (Εξίσωση 4.18), όπως ορίζεται παρακάτω [47]:

$$\eta_{CHP} = \eta_e + \eta_{th} \quad [\%]$$

Εξίσωση 4.1

Ο ηλεκτρικός και θερμικός βαθμός απόδοσης θα αναλυθούν στην Ενότητα 5.5. Μια άλλη σημαντική παράμετρος που χαρακτηρίζει κάθε μονάδα συμπαραγωγής είναι ο λόγος της καθαρής

παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή ($P_{e,net}$) και της ωφέλιμης θερμότητας, όταν η μονάδα λειτουργεί υπό κατάσταση συμπαραγωγής (Power to Heat Ratio **PHR**) [47]:

$$PHR = \frac{P_{e,net}}{\dot{Q}_{DS}} \quad \text{Εξίσωση 4.2}$$

Πρέπει να τονισθεί πως σε κάθε εφαρμογή η παράμετρος PHR αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής. Επίσης εξίσου σημαντική παράμετρος είναι ο λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου (Fuel Energy Savings Ratio **FESR**). Πρόκειται για ένα σημαντικό θερμοδυναμικό μέγεθος που αποτελεί λειτουργικό κριτήριο των μονάδων αυτών επειδή συνδέεται άμεσα με την οικονομική τους κατάσταση. Ορίζεται ως [47]:

$$FESR = \frac{\dot{Q}_{fs} - \dot{Q}_f}{\dot{Q}_{fs}} \quad [\%] \quad \text{Εξίσωση 4.3}$$

Όπου:

\dot{Q}_{fs} : Η συνολική ισχύς των καυσίμων που απαιτούνται για να χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

\dot{Q}_f : Η ισχύς του καυσίμου του συστήματος συμπαραγωγής για την παραγωγή των ίδιων ποσοτήτων ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων.

Ένα σύστημα συμπαραγωγής προκειμένου να θεωρηθεί λογική επιλογή από την σκοπιά της εξοικονόμησης ενέργειας θα πρέπει να ισχύει $FESR > 0$. Επίσης εάν θεωρηθεί πως ένα σύστημα συμπαραγωγής αντικαθιστά διακριτές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με τους αντίστοιχους βαθμούς απόδοσης (η_{es}) και (η_{ths}), τότε αποδεικνύεται ότι:

$$FESR = 1 - \frac{PHR - 1}{\eta_{CHP} * \left(\frac{PHR}{\eta_{es}} + \frac{1}{\eta_{ths}} \right)} \quad [\%] \quad \text{Εξίσωση 4.4}$$

Τέλος, άλλος ένας σημαντικός δείκτης συμπαραγωγής μιας μονάδας είναι ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας (Primary Energy Saving Ratio **PESR**) που ορίζεται ως [47]:

$$PESR = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_e}{\eta_{re}} + \frac{\eta_{th}}{\eta_{rh}}} \quad [\%] \quad \text{Εξίσωση 4.5}$$

Όπου:

η_e : Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης συμπαραγωγικής μονάδας

η_{th} : Θερμικός βαθμός απόδοσης συμπαραγωγικής μονάδας

η_{re} : Τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για χωριστή ηλεκτροπαραγωγή

η_{rh} : Τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για χωριστή παραγωγή θερμικών φορτίων

5.2. Οργανικός Κύκλος Rankine (ORC)

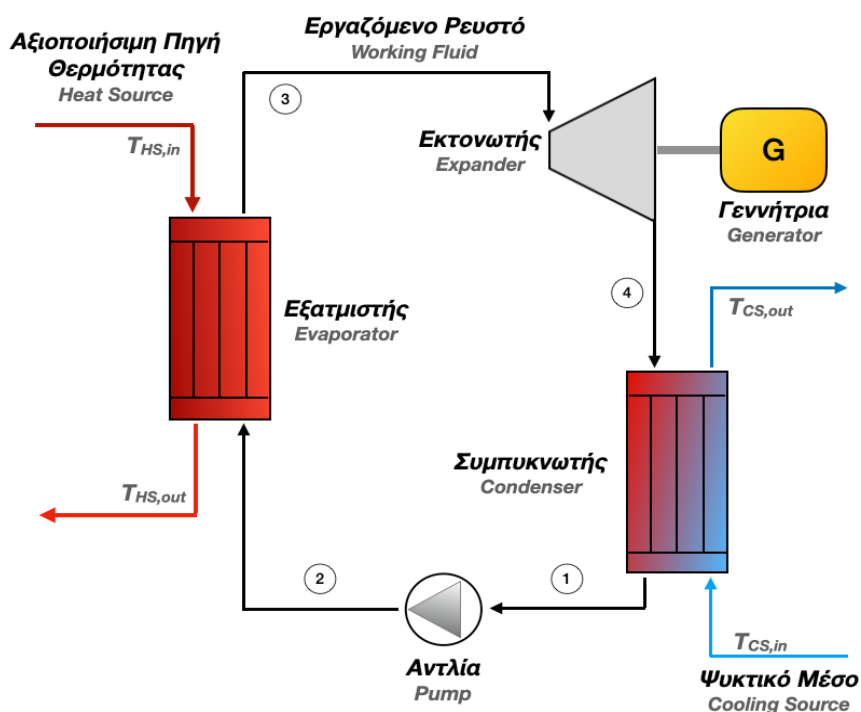
Ο οργανικός κύκλος Rankine (όπως θα αναφέρεται για συντομία ORC) αναφέρεται ουσιαστικά σε έναν κλασικό κύκλο Rankine που σαν μέσο για την θερμοδυναμική διεργασία αντί για νερό χρησιμοποιεί οργανικά ρευστά. Τα συστήματα ORC θεωρούνται μια ιδιαίτερα ανταγωνιστική τεχνολογία για την μετατροπή θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιώντας χαμηλές πηγές θερμοκρασίας (90 έως 300 °C) σε μικρές κλίμακες ισχύος (< 10 MW_e). Παράλληλα μπορούν να τροφοδοτηθούν από διάφορες πηγές ενέργειας, όπως οι κάτωθι:

- Γεωθερμία. Αξιοποίηση γεωθερμικών πεδίων υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας για παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω τεχνολογιών ORC.
- Ηλιακή ενέργεια. Χρήση συλλεκτών, με σκοπό την συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας (θερμότητα) σε έναν ORC για ηλεκτροπαραγωγή.
- Βιομάζα. Καύση βιομάζας με σκοπό την παραγωγή των θερμότητας προς αξιοποίηση από τα συστήματα ORC.
- Η Ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας από διάφορες βιομηχανίες (τσιμέντου, αλουμινίου, τροφίμων κ.α.)

Η επιλογή μελέτης της τεχνολογίας αυτής έγινε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος AGROinLOG. Πρόκειται για τεχνολογία που αποσκοπεί στην αξιοποίηση θερμικών πηγών χαμηλών θερμοκρασιών. Στην περίπτωση μας η πηγή είναι προερχόμενη από καύση βιομάζας (πυρηνόξυλο) με μέγιστη θερμοκρασία 400 °C. Η τεχνολογία αυτή θεωρείται κατάλληλη για αποκεντρωμένα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής (μέχρι 1 MW_e) και θερμικής ενέργειας. Όσο αφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά ο ισηντροπικός βαθμός απόδοσης του εκτονωτή ενός τέτοιου κύκλου μπορεί να φτάσει και το 85%, ενώ έχει καλή συμπεριφορά για λειτουργία με μερικό φορτίο (Λειτουργία 30 έως 100% του πλήρους φορτίου) [47]. Πρόκειται για μικρές εγκαταστάσεις με σχετικά υψηλό κόστος επένδυσης αλλά αρκετά ανταγωνιστικές έναντι άλλων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Σε επόμενες ενότητες θα γίνει αναλυτική παρουσίαση των αρχών λειτουργίας τέτοιων συστημάτων αλλά και του υπομελέτη συστήματος.

5.3. Αρχές Λειτουργίας Μονάδας ORC

Σε έναν απλό κύκλο ORC, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1, το κορεσμένο ψυκτικό υγρό (**Κατάσταση 1**) συμπιέζεται σε μια τροφοδοτική αντλία (Pump) (**Κατάσταση 2**), ώστε να φτάσει στη μέγιστη επιτρεπτή πίεση του κύκλου και κατόπιν θερμαίνεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας (Ατμοποιητής-Evaporator) (**Καταστάσεις 2 έως 3**).

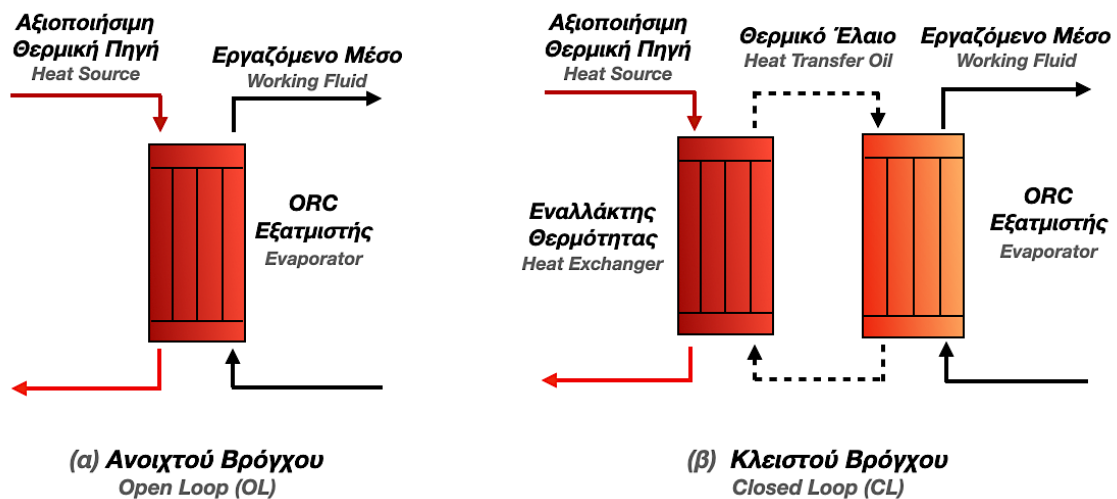


Σχήμα 5.1: Τυπική διάταξη μονάδας Οργανικού Κύκλου (ORC).

Ανάλογα με την μέγιστη πίεση του κύκλου το οργανικό ρευστό στην είσοδο του εκτονωτή (Expander) (**Κατάσταση 3**) βρίσκεται είτε σε υπερκρίσιμη κατάσταση (ατμός) είτε σε υποκρίσιμη κατάσταση. Μετά τον εκτονωτή το ρευστό μεταφέρεται στον (υδρόψυκτο ή αερόψυκτο) συμπυκνωτή (Condenser) (**Κατάσταση 4**), με σκοπό να μειωθεί η θερμοκρασία του, να αλλάξει η κατάσταση του αλλά και να επαναληφθεί ο θερμοδυναμικός κύκλος μέσω της τροφοδοτικής αντλίας (**Κατάσταση 1**).

Η θερμότητα της πηγής μπορεί να μεταφερθεί προς τον ατμοποιητή είτε απευθείας είτε μέσω ειδικού ελαίου μεταφοράς θερμότητας. Ανάλογα την εφαρμογή οι πηγές θερμότητας που αξιοποιούνται από τον ORC μπορεί να βρίσκονται είτε σε αέρια κατάσταση (καυσαέρια μηχανών εσωτερικής καύσης, απαέρια από βιομηχανικές διεργασίες ή αξιοποίηση ζεστού απορριπτόμενου αέρα) είτε σε υγρή κατάσταση (γεωθερμικές άλμες, λάδι μεταφοράς θερμότητας (Heat Transfer Oil) από καύση βιομάζας/αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας ή καυστήρα/λέβητα βιομάζας) [48].

Κύριοι παράμετροι που καθορίζουν την διάταξη της εγκατάστασης αλλά και την ικανότητα ισχύος του ORC είναι η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία της πηγής που εκμεταλλευόμαστε αλλά και η παροχή μάζας του θερμού μέσου που λαμβάνει ο ατμοποιητής.



Σχήμα 5.2: Αναπαράσταση συστημάτων αξιοποίησης θερμότητας ανοιχτού βρόγχου (α) και κλειστού βρόγχου (β).

Για τεχνοοικονομικούς λόγους, λόγους θερμοσταθερότητας αλλά και αναφλεξιμότητας των οργανικών ρευστών η μέγιστη αξιοποιήσιμη θερμοκρασία είναι μέχρι τους $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε συστήματα που έχουν ως πηγή θερμότητας αέρια μορφή. Εάν η θερμοκρασία που πρέπει να αξιοποιήσουμε βρίσκεται πάνω από αυτό το όριο τότε η αξιοποίηση γίνεται μέσω θερμικού ελαίου όπου μεταφέρει την αναγκαία θερμότητα προς το οργανικό μέσο. Στη περίπτωση αυτή ($>300\text{ }^{\circ}\text{C}$) χρησιμοποιείται ένας πρόσθετος εναλλάκτης μεταξύ της πηγής θερμότητας και του μέσου μεταφοράς θερμότητας προς τον ORC, και η διάταξη ονομάζεται κλειστού βρόγχου (Closed Loop). Σε άλλες περιπτώσεις ($<300\text{ }^{\circ}\text{C}$) η μεταφορά της θερμότητας μπορεί να γίνει με απευθείας απόρριψη της στον ατμοποιητή, και μια τέτοια διάταξη ονομάζεται ανοιχτού βρόγχου (Open Loop). Στο παρακάτω Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται το σύστημα ανοιχτού και κλειστού βρόγχου [48].

Τώρα όσον αφορά στην ελάχιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία εξόδου του μέσου που χρησιμοποιείται στον ατμοποιητή (α) ή στον εναλλάκτη (β) είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον τύπο της εγκατάστασης. Όταν το ρεύμα παροχής θερμότητας δεν περιέχει υγρασία ή είναι καθαρά αέρια ή ατμός/νερό ή άλλα υγρά τότε δεν υπάρχει όριο. Όμως στην πλειοψηφία η ελάχιστη θερμοκρασία εξόδου που χρησιμοποιείται από την θερμαινόμενη πηγή έχει ένα όριο που κατά κύριο λόγο περιορίζεται από τεχνικούς παράγοντες [48]. Για παράδειγμα:

- **Γεωθερμικές Άλμες:** Οι γεωθερμικές άλμες περιέχουν άλατα τα οποία καθιζάνουν και προκαλούν πρόβλημα στην λειτουργία του εναλλάκτη εάν είναι κάτω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Επίσης υπάρχει και περιορισμός στην θερμοκρασία ψύξης του επιστρεφόμενου γεωθερμικού ρευστού καθώς η υπερβολική ψύξη μπορεί να αποδυναμώσει τη γεωθερμική δεξαμενή [49] [50]. Η ελάχιστη θερμοκρασία είναι $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Ανάκτηση Κausaeρίων:** Σε αυτό τον τρόπο αξιοποίησης της απορριπτόμενης θερμότητας το κατώτατο όριο του ρεύματος της πηγής θερμότητας ρυθμίζεται μέχρι το σημείο δρόσου όπου αποφεύγεται η δημιουργία συμπυκνωμάτων νερού και θειικού οξέος (H_2SO_4). Το όριο κυμαίνεται μεταξύ $80\text{-}180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανάλογα τις συγκεντρώσεις νερού και

τριοξειδίου του θείου (SO_3). Σε εφαρμογές συμπαραγωγής τα θερμοκρασιακά όρια για τη παραγωγή θερμότητας επαρκούς ποιότητας (τηλεθέρμανση) είναι κοντά στους 70°C [49].

- **Ηλιακές Θερμικές Εγκαταστάσεις:** Στις εγκαταστάσεις αυτές η μεταφερόμενη θερμότητα από την λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών παρέχεται στον ORC μέσω ρευστού μεταφοράς θερμότητας. Ωστόσο η επιλογή της κατάλληλης θερμοκρασίας εξόδου (υψηλή ή χαμηλή) του θερμικού ελαίου από τον εξατμιστή είναι μια περίπλοκη απόφαση. Διότι, εάν έχουμε χαμηλή θερμοκρασία του θερμικού ελαίου έχουμε μειωμένες απώλειες προς το περιβάλλον με αποτέλεσμα να χρειάζονται λιγότεροι εγκατεστημένοι ηλιακοί συλλέκτες. Ωστόσο, εξαιτίας αυτής της κατάστασης απαιτούνται μεγαλύτερες επιφάνειες ανταλλαγής θερμότητας του εξατμιστή του ORC (αυξημένο κόστος). Από την άλλη οι υψηλότερες θερμοκρασίες εξόδου του θερμικού ελαίου από τον εξατμιστή οδηγούν σε χαμηλότερες απαιτήσεις επιφάνειας ανταλλαγής θερμότητας, όμως απαιτούνται μεγαλύτερες παροχές του θερμικού ελαίου, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (δεξαμενές αποθήκευσης, σωληνώσεις, αντλίες) και αυξημένη κατανάλωση της τροφοδοτικής αντλίας. Η επιλογή της θερμοκρασίας προέρχεται μέσα από την ισορροπία επιλογής εγκαταστάσεων, κόστους και απαιτήσεων [48].

Τέλος, η θερμοκρασία και η πίεση λειτουργίας της μονάδας ORC αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για τον σχεδιασμό της. Αυτοί είναι άμεσα συνδεδεμένοι με την θερμοκρασία του ρεύματος της πηγής θερμότητας, του ρευστού ψύξης στον συμπυκνωτή αλλά και με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του εργαζόμενου ρευστού (P_{crit} , T_{crit}).

5.4. Πλεονεκτήματα Τεχνολογίας ORC και Κριτήρια Επιλογής Εργαζόμενου Ρευστού

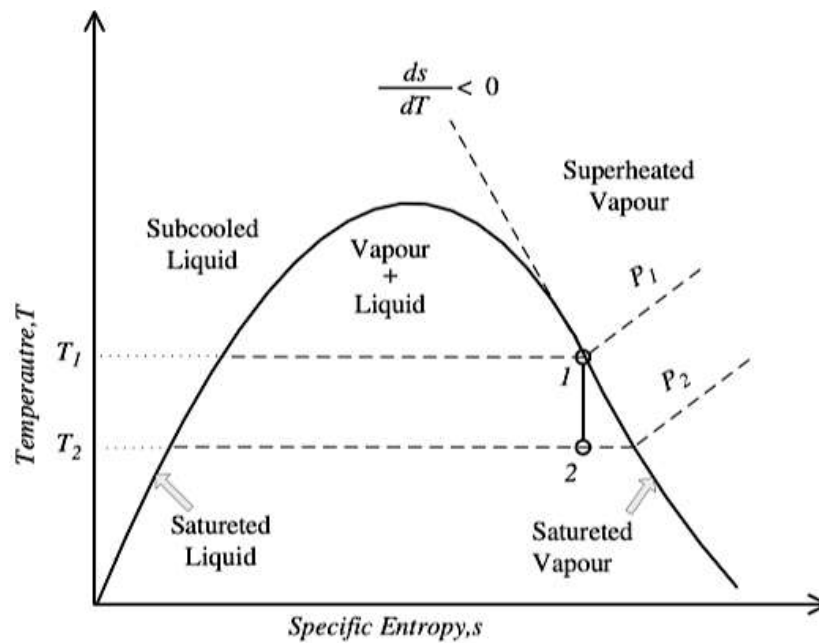
Τα συστήματα ORC είναι προτιμότερα έναντι των συμβατικών συστημάτων Rankine νερού ατμού σε περιπτώσεις αξιοποίησης θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών. Στα συστήματα αυτά ως εργαζόμενο ρευστό δεν χρησιμοποιείται το νερό αλλά οργανικά ρευστά. Η χρήση οργανικών ρευστών ως εργαζόμενο μέσο παρουσιάζει μια σειρά από πλεονεκτήματα, τα βασικότερα από τα οποία είναι [51]:

- Μειωμένη επικινδυνότητα καταπόνησης της πετρωτής του στροβίλου από τα σταγονίδια του συμπυκνώματος.
- Δεν είναι απαραίτητη η υπερθέρμανση του ατμού για την αποφυγή συμπύκνωσης από την εκτόνωση.
- Δεν απαιτείται τύμπανο. Απλούστερη κατασκευή.
- Μικρές διαστάσεις συνιστωσών εξοπλισμού – συμπαγές σπονδυλωτό σχέδιο.

Η επιλογή του ρευστού σε έναν οργανικό κύκλο είναι υψίστης σημασίας και εξαρτάται κυρίως από την πηγή θερμότητας. Για κάθε θερμοκρασιακό εύρος υπάρχουν συγκεκριμένα ρευστά που αποδίδουν καλύτερα. Για αυτό κρίνεται σημαντική η επιλογή του καταλληλότερου ρευστού ανάλογα με τη θερμοκρασία της πηγής θερμότητας του κύκλου ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοσή του [52]. Γενικά, δεδομένων των χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας των συστημάτων ORC ο βαθμός απόδοσης τους είναι χαμηλός (5 έως 20%).

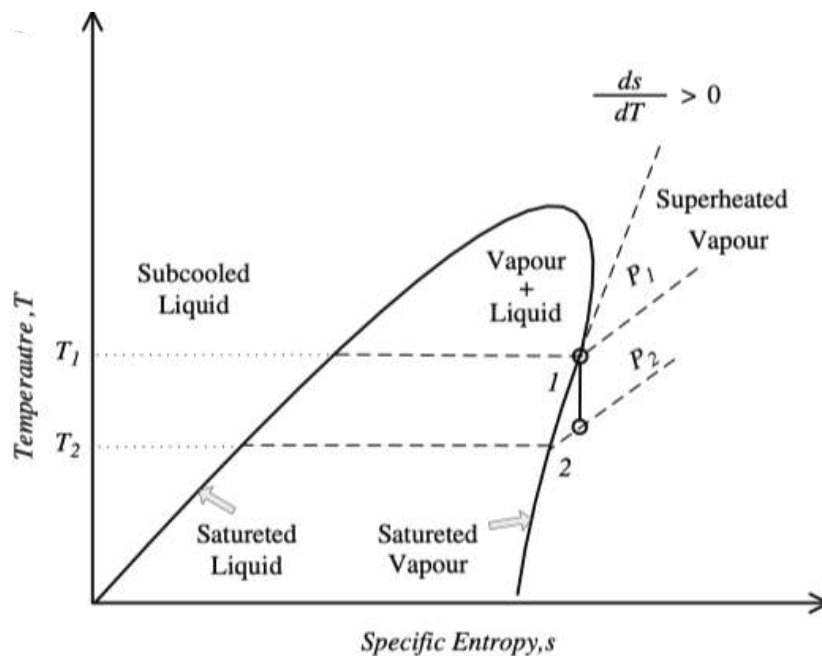
Ανάλογα με την κατάσταση που καταλήγουν τα οργανικά ρευστά κατά την ισεντροπική τους εκτόνωση από την κατάσταση κορεσμού κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες [53]:

1. **Υγρά Ρευστά (Wet fluids):** Κατά την ισεντροπική εκτόνωση βρίσκονται εντός καμπάνας (συμπύκνωση).



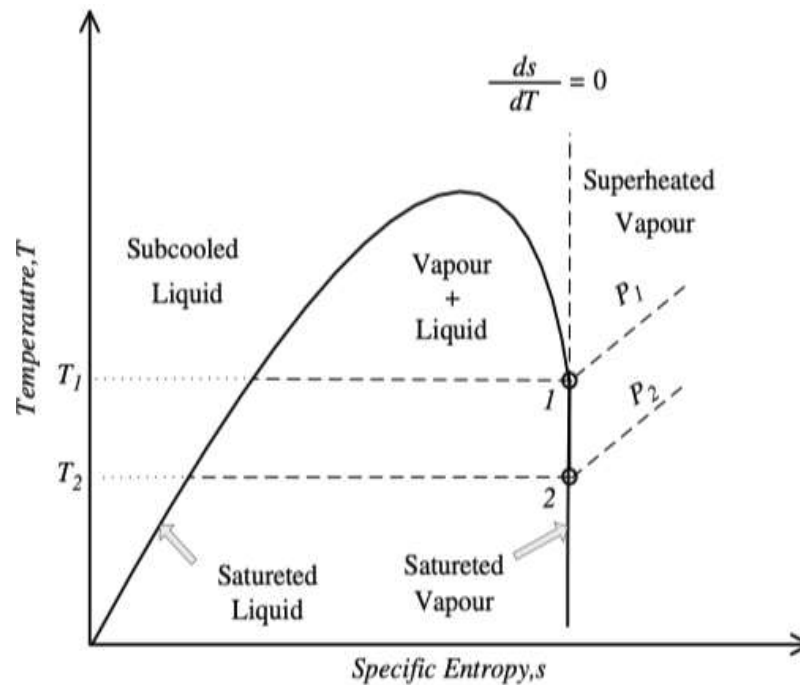
Σχήμα 5.3: Διάγραμμα $T-s$ Υγρού Ρευστού ^[53].

2. **Ξηρά Ρευστά (Dry Fluids):** Κατά την ισεντροπική εκτόνωση βρίσκονται εκτός καμπάνας (υπέρθερμη κατάσταση).



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα $T-s$ Ξηρού ρευστού ^[53].

3. **Ισεντροπικά Ρευστά** (*Isentropic Fluids*): Κατά την ισεντροπική εκτόνωση παραμένουν σε κατάσταση κορεσμού.



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα T - s Ισεντροπικού ρευστού. ^[53]

Επειδή η επιλογή του ρευστού είναι ένα σύνθετο ζήτημα εκτός από τα θερμοδυναμικά κριτήρια θα πρέπει να συνυπολογιστούν κριτήρια όπως: περιβαλλοντικά, λειτουργικά, οικονομικά και θέματα ασφαλείας. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να πληροί ένα ρευστό είναι [54], [55]:

- **Θερμοδυναμικά**
 - Ισεντροπικό ή ξηρό υγρό για αποφυγή συμπυκνώματος στον στρόβιλο.
 - Μεγάλη πυκνότητα αέριας φάσης προκειμένου να είναι μικρότερη η ογκομετρική παροχή άρα και ο εξοπλισμός-κόστος.
 - Μικρό ιξώδες σε υγρή και αέρια φάση για περιορισμό απωλειών εξαιτίας τριβής.
 - Υψηλή θερμική αγωγιμότητα, με αποτέλεσμα υψηλούς συντελεστές μεταφοράς.
 - Υψηλή πίεση σε όλο τον κύκλο
 - Το σημείο τήξης να είναι μικρότερο από την ελάχιστη θερμοκρασία του κύκλου.
- **Λειτουργικά**
 - Θερμική σταθερότητα
 - Συμβατότητα με τον εξοπλισμό του κύκλου
 - Λειτουργία εντός ορίων πιέσεων
- **Περιβαλλοντικά**
 - Χαμηλό δείκτη **GWP** (Global Warming Potential). Δηλαδή μικρή συνεισφορά στο φαινόμενο υπερθέρμανσης του πλανήτη.
 - Μηδενικό δείκτη **ODP** (Ozone Depletion Potential). Δηλαδή μικρή έως καθόλου συνεισφορά στο φαινόμενο καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος.

- **Ασφάλεια**
 - Χαμηλή ευφλεκτότητα
 - Τοξικότητα
 - Χαμηλά επίπεδα εκρηξιμότητας
- **Αγορά**
 - Διαθεσιμότητα ρευστού
 - Κόστος αγοράς

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν διάφορα ρευστά με βάση τις θερμοδυναμικές ιδιότητες τους (Tcrit., Pcrit.), τον παραγόμενο θερμικό και ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης αλλά και την παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, σύμφωνα με δεδομένα από την λειτουργία του καυστήρα βιομάζας. Η επιλογή του ρευστού θα γίνει μέσα από την θερμοδυναμική ανάλυση. Επίσης το σύστημα θα έχει και έσοδα από την παραγόμενη θερμική ενέργεια.

Στην παρακάτω ενότητα θα γίνει θεωρητική ανάλυση του μηχανολογικού εξοπλισμού της υπομελέτη μονάδας ORC ως προς τη πίεση και την θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος. Επίσης θα γίνει θερμοδυναμική ανάλυση της μονάδας με τις αντίστοιχες παραδοχές λειτουργίας αλλά και παρουσίαση των ρευστών που επιλέχθηκαν.

5.5. Θεωρητική Ανάλυση Μηχανολογικού Εξοπλισμού του υπομελέτη ORC

5.5.1. Ατμοποιητής (*Evaporator*)

Βασικός στόχος στα συστήματα ORC είναι η επίτευξη αυξημένων ενεργειακών αποδόσεων μέσω χρήσης υψηλών λόγων πίεσης εξάτμισης. Όμως τίθενται ορισμένοι τεχνικοί περιορισμοί (μεγάλοι εναλλάκτες θερμότητας) ως προς την τελική επιλογή λειτουργίας της μέγιστης πίεσης εξατμιστής, διότι αυξάνεται και το κόστος εγκατάστασης (οικονομικές επιπτώσεις) [56]. Οπότε μια τυπική μέγιστη τιμή εξάτμισης του κύκλου θεωρούνται τα 40 bar. Αξίζει να τονισθεί πως πρέπει να αποφεύγονται οι πιέσεις εξάτμισης να βρίσκονται πολύ κοντά στην κρίσιμη πίεση, διότι σε περίπτωση θερμοκρασιακών μεταβολών μπορεί να υπάρξει αλλαγή των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του οργανικού ρευστού, με αποτέλεσμα να τίθεται κίνδυνος αστάθειας του συστήματος κατά την λειτουργία του [57] [58]. Για τον λόγο αυτό οι πιέσεις των υπομελέτη ρευστών επιλέχθηκαν να είναι κάτω από την κρίσιμη με μια διακύμανση μεταξύ 5 έως 11.5 (%), λαμβάνοντας υπόψιν την κρίσιμη πίεση του κάθε ρευστού.

5.5.2. Συμπυκνωτής (*Condenser*)

Η πίεση λειτουργίας του συμπυκνωτή συσχετίζεται άμεσα με την θερμοκρασία συμπύκνωσης. Συγκεκριμένα όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία συμπύκνωσης τόσο υψηλότερη ενεργειακή απόδοση θα έχει το σύστημα. Όμως η θερμοκρασία αυτή δεν μπορεί να είναι χαμηλότερη από το μέσο ψύξης (αέρας περιβάλλοντος ή νερό) που εισέρχεται στον συμπυκνωτή. Για να επιτύχουμε χαμηλότερες θερμοκρασίες θα πρέπει να αυξήσουμε το κόστος εγκατάστασης και συγκεκριμένα του εξοπλισμού μεταφοράς ενέργειας (πύργοι ψύξης, εναλλάκτες, ανεμιστήρες κ.α.). Επιπλέον,

σε περιπτώσεις συστημάτων συμπαραγωγής η θερμοκρασία συμπύκνωσης πρέπει να είναι αρκετά υψηλή ώστε να εξασφαλίζει την παραγωγή θερμότητας στην επιθυμητή θερμοκρασία. [56]

5.5.3. Εκτονωτής (*Expander*)

Ο εκτονωτής αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέρη του μηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης. Ανάλογα με την θερμοδυναμική ανάλυση του κύκλου και έχοντας ως κριτήρια: τη ταχύτητα περιστροφής, τη παροχή μάζας οργανικού μέσου, τη θερμοκρασία εισόδου του οργανικού μέσου κ.α. ορίζεται ο τύπος του εκτονωτή που θα εγκατασταθεί. [59]. Ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια είναι η θερμοκρασία εισόδου του οργανικού μέσου στον εκτονωτή που καθορίζεται από τον βαθμό υπερθέρμανσης που έχει δεχτεί μαζί με την πίεση εξάτμισης. Ωστόσο, το πόσο πρέπει να υπερθερμανθεί το μέσο πριν την είσοδο στον εκτονωτή δεν μπορεί να οριστεί με γενικούς κανόνες. Για τον λόγο αυτό στην παρούσα μελέτη για ξηρά εργαζόμενα ρευστά η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου στον εκτονωτή είναι 5 με 10 K πάνω από την θερμοκρασία εξάτμισης με πίεση κοντά στην κρίσιμη [49] που είναι μια συνήθης πρακτική.

5.5.4. Ελάχιστη Θερμοκρασιακή Διαφορά Εναλλακτών Θερμότητας (*Pinch Point of Heat Exchanger*)

Η ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά (Pinch Point) ή αλλιώς όπως θα αναφέρεται για συντομία PP ορίζεται ως η ελάχιστη διαφορά μεταξύ των ψυχρών και θερμών ρευμάτων που συναλλάσσονται εντός του εναλλάκτη. Η τιμή αυτή πρέπει πάντα να είναι υψηλότερη από το μηδέν για να διασφαλιστεί η μεταφορά θερμότητας σύμφωνα με τον Δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο. Το σύνηθες ελάχιστο όριο είναι τα 5 K για μεταφορά θερμότητας μεταξύ δυο ρευστών και τα 10 K για μεταφορά θερμότητας μεταξύ θερμού καυσαερίου και ρευστού και αυτό διότι εάν πάμε σε χαμηλότερες θερμοκρασιακές διαφορές οδηγούμαστε σε αυξημένες απαιτήσεις επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας άρα και αυξημένο κόστος εγκατάστασης [57] [60]. Στην μελέτη τα PP των εναλλακτών καυσαερίου-ελαίου, ελαίου-οργανικού μέσου, οργανικού μέσου-υγρού ψύξης και οργανικού μέσου-νερού για τηλεθέρμανση θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά στο πίνακα των παραδοχών σε παρακάτω ενότητα.

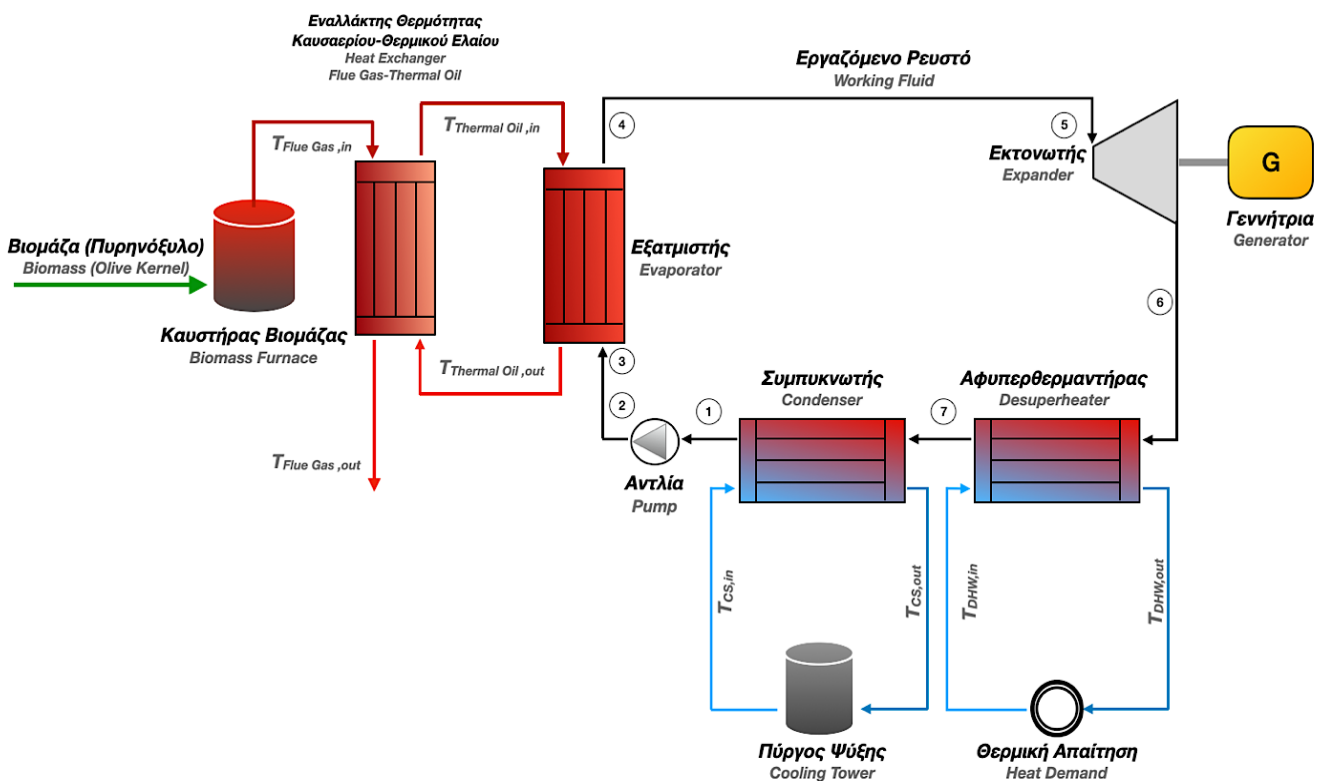
5.5.5. Αφυπερθερμαντήρας (*Desuperheater*)

Στην παρούσα μελέτη, εκτός από τους βασικούς εναλλάκτες, θεωρείται ένας επιπλέον εναλλάκτης, ο αφυπερθερμαντήρας, ο οποίος τοποθετείται μεταξύ του εκτονωτή και του συμπυκνωτή, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5.6. Η βασική λειτουργία ενός αφυπερθερμαντήρα είναι η μείωση της θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού που εξέρχεται από τον εκτονωτή για την παραγωγή ωφέλιμης θερμότητας και την επίτευξη συμπαραγωγής. Ο λόγος της επιλογής της παραγωγής θερμότητας από τον αφυπερθερμαντήρα είναι ότι επιτρέπει την παραγωγή θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία με ταυτόχρονη λειτουργία του κύκλου σε χαμηλές πιέσεις/θερμοκρασίες συμπύκνωσης και επομένως με υψηλό ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης. Η επιλογή αυτή γίνεται με βάση τα οικονομικά κριτήρια, καθώς η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την κάλυψη των αναγκών της εφαρμογής είτε να πουληθεί στο

δίκτυο σε υψηλότερη τιμή από αυτή της παραγόμενης θερμότητας. Επίσης μέσω του αφυπερθερμαντήρα γίνεται και η παραγωγή ζεστού νερού θερμοκρασίας 85 °C, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας από το οργανικό ρευστό καθώς εξέρχεται από τον εκτονωτή.

5.5.6. Θερμικό Έλαιο (*Thermal Oil*)

Το κύκλωμα του θερμικού ελαίου αποτελεί το μέσο μεταφοράς της θερμικής ενέργειας από τα καυσαέρια του λέβητα/καυστήρα βιομάζας στο σύστημα του ORC. Ένα σημαντικός παράγοντας στην επιλογή του κατάλληλου θερμικού ελαίου είναι η θερμοκρασία της πηγής που εκμεταλλευόμαστε. Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 300 °C η χρήση του θεωρείται αναγκαία και εφαρμόζεται συνήθως μέσω συστήματος κλειστού βρόγχου (Βλέπε Σχήμα 5.2). Στην περίπτωση μας επιλέγεται θερμικό έλαιο είναι της εταιρείας Norcool και η θερμοκρασία των παραγόμενων καυσαερίων που αξιοποιείται ανέρχεται κοντά στους 400 °C. Σύμφωνα με αυτήν το κατάλληλο θερμικό έλαιο που επιλέχθηκε το Dowtherm G με θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας από -7 έως 370°C έχοντας θερμική σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλό ιξώδες [61]. Παρακάτω παρουσιάζεται μονογραμμικό διάγραμμα της υπομελέτη μονάδας ORC.



Σχήμα 5.6: Διάταξη ORC με αφυπερθερμαντήρα (Desuperheater).

5.6. Θερμοδυναμική Ανάλυση του υπομελέτη ORC

Ένα από τα σημαντικότερα και παράλληλα συνηθέστερο θερμοδυναμικό κριτήριο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της απόδοσης του κύκλου είναι η ηλεκτρική του απόδοση (η_e) η οποία ορίζεται ως ο λόγος της καθαρής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς την θερμότητα που παρέχεται στο σύστημα, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$\eta_e = \frac{P_{e,net}}{\dot{m}_{Fuel} * LHV_{Fuel}} \quad [\%] \quad \text{Εξίσωση 4.6}$$

Η καθαρή παραγομένη ηλεκτρική ισχύς του συστήματος υπολογίζεται μέσω της διαφοράς της συνολικής παραγόμενης ηλεκτροπαραγωγής και της απαιτούμενης ενέργειας για λειτουργία της αντλίας μέσω της εξίσωσης:

$$P_{e,net} = P_{e,Gross} - P_{e,pump} \quad [\text{kW}] \quad \text{Εξίσωση 4.7}$$

με την συνολική παραγομένη ηλεκτροπαραγωγή ($P_{e,Gross}$) να υπολογίζεται ως το γινόμενο του ηλεκτρομηχανικού βαθμού απόδοσης της γεννήτριας και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του εκτονωτή, Εξίσωση 4.8, ενώ η ηλεκτρική απαίτηση της αντλίας ($P_{e,pump}$) υπολογίζεται μέσω του πηλίκου ισχύος της αντλίας προς τον βαθμό απόδοσης του κινητήρα της αντλίας, Εξίσωση 4.9.

$$P_{e,Gross} = \eta_m * \eta_G * P_{exp} \quad [\text{kW}] \quad \text{Εξίσωση 4.8}$$

$$P_{e,pump} = \frac{P_{pump}}{\eta_{PM}} \quad [\text{kW}] \quad \text{Εξίσωση 4.9}$$

Οι εξισώσεις 4.8 και 4.9 μπορούν να εκφραστούν υπό μορφή ενθαλπικών διαφορών στα σημεία αυτά επί την παροχή μάζας του οργανικού μέσου ($\dot{m}_{ORC,Fluid}$):

$$P_{e,gross} = \dot{m}_{ORC,Fluid} * (\eta_m * \eta_G * (h_5 - h_6)) \quad [\text{kW}] \quad \text{Εξίσωση 4.10}$$

$$P_{e,pump} = \dot{m}_{ORC,Fluid} * \left(\frac{(h_2 - h_1)}{\eta_{PM}} \right) \quad [\text{kW}] \quad \text{Εξίσωση 4.11}$$

Οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης της αντλίας ($\eta_{is,pump}$) και του εκτονωτή ($\eta_{is,exp}$) προσδιορίζονται μέσω του πηλίκου των ενθαλπικών διαφορών των καταστάσεων του οργανικού μέσου στην είσοδο και στην έξοδο στα συγκεκριμένα μέρη του εξοπλισμού και υποδεικνύουν την απόκλιση της πραγματικής συμπίεσης-εκτόνωσης που λαμβάνει χώρα από την θεωρητική ισεντροπική αναστρέψιμη διαδικασία, όπως ορίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις.

$$\eta_{is,pump} = \frac{h_{2,is} - h_1}{h_2 - h_1} \quad [\%] \quad \text{Εξίσωση 4.12}$$

$$\eta_{is,exp} = \frac{h_5 - h_6}{h_5 - h_{6,is}} \quad [\%] \quad \text{Εξίσωση 4.13}$$

Η προσδιδόμενη θερμότητα στο σύστημα ORC προσδιορίζεται μέσω του γινομένου της παροχής του μέσου μεταφοράς θερμότητας από την πηγή και της διαφοράς των ειδικών ενθαλπιών του θερμού μέσου μεταφοράς κατά την είσοδο και την έξοδο από τον ατμοποιητή:

$$\dot{Q}_{h.source,in} = \dot{m}_{h.source} * (h_{h.source,in} - h_{h.source,out}) \quad [kW] \quad \text{Εξίσωση 4.14}$$

$$\dot{Q}_{ORC,in} = \dot{m}_{ORC,Fluid} * (h_3 - h_4) \quad [kW] \quad \text{Εξίσωση 4.15}$$

Η απορριπτόμενη θερμότητα από τον συμπυκνωτή ορίζεται ως:

$$\dot{Q}_{COND} = \dot{m}_{ORC,Fluid} * (h_7 - h_1) \quad [kW] \quad \text{Εξίσωση 4.16}$$

Η ωφέλιμη θερμότητα που εξάγεται από τον αφυπερθερμαντήρα ορίζεται ως:

$$\dot{Q}_{DS} = \dot{m}_{ORC,Fluid} * (h_6 - h_7) \quad [kW] \quad \text{Εξίσωση 4.17}$$

Ο βαθμός απόδοσης θερμότητας του συστήματος ορίζεται:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{DS}}{\dot{m}_{Fuel} * LHV_{Fuel}} \quad [\%] \quad \text{Εξίσωση 4.18}$$

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος ορίζεται ως:

$$\eta_{Plant} = \frac{P_{e,NET}}{\dot{m}_{Fuel} * LHV_{Fuel}} \quad [\%] \quad \text{Εξίσωση 4.19}$$

Τέλος, η Εξίσωση 4.1 της συμπαραγωγής μπορεί να παρουσιαστεί εναλλακτικά ως:

$$\eta_{CHP} = \frac{P_{e,net} + \dot{Q}_{DS}}{\dot{m}_{Fuel} * LHV_{Fuel}} \quad [\%] \quad \text{Εξίσωση 4.20}$$

Ένας γενικός κανόνας που ισχύει είναι πως η ενεργειακή απόδοση ενός κύκλου Rankine παρουσιάζει αύξηση καθώς αυξάνεται ο λόγος εκτόνωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για μια συγκεκριμένη πίεση το ειδικό έργο κατά το στάδιο της εκτόνωσης του εργαζόμενου μέσου είναι υψηλότερο έναντι του ειδικού έργου της αντλίας και της ειδικής θερμότητας που απορροφά το οργανικό μέσο κατά το στάδιο αύξησης της θερμοκρασίας του από τον ατμοποιητή. Στην επόμενη ενότητα θα γίνει παρουσίαση των βασικών παραδοχών λειτουργίας της υπομελέτη μονάδας ORC στηριζόμενοι σε δεδομένα και υπολογισμούς για τον τρόπο λειτουργίας του καυστήρα βιομάζας του πυρηνελαιουργείου (Βλέπε Κεφάλαιο 3).

5.7. Βασικές Παραδοχές Λειτουργίας ORC

Πριν γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της λειτουργίας του κύκλου, θα γίνει συνοπτική παρουσίαση των βασικών παραδοχών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσομοίωση του συστήματος ORC σε περιβάλλον ASPEN PLUS™. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται, εκτός από αναφορά των παραδοχών, και των δεδομένων που λήφθηκαν μετά από επικοινωνία με τους υπευθύνους της παραγωγικής διαδικασίας του πυρηνελαιουργείου της ΕΛΣΑΠ Α.Ε.

Πίνακας 5.1: Βασικές Παραδοχές και Δεδομένα Υπολογισμών συστήματος ORC.

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ		
Παράμετροι		
Βαθμοί Απόδοσης ORC (Παραδοχή)		
Ισεντροπικός Βαθμός Απόδοσης Εκτονωτή	$\eta_{is,exp}$	85%
Ισεντροπικός Βαθμός Απόδοσης Αντλίας	$\eta_{is,pump}$	65%
Ηλεκτρομηχανικός Βαθμός Απόδοσης Γεννήτριας	η_m & η_G	95%
Βαθμός Απόδοσης Κινητήρα Αντλίας	η_{PM}	85%
Εναλλάκτες ORC (Παραδοχή)		
Ελάχιστη Θερμοκρασιακή Διαφορά ($PP_{Flue\ Gas-Thermal\ Oil}$)	[K]	10
Ελάχιστη Θερμοκρασιακή Διαφορά ($PP_{Thermal\ Oil-Working\ Fluid}$)	[K]	10
Ελάχιστη Θερμοκρασιακή Διαφορά (PP_{cond})	[K]	5
Ελάχιστη Θερμοκρασιακή Διαφορά ($PP_{Desuperheater}$)	[K]	5
Θερμοκρασίες-Πιέσεις ORC (Παραδοχή)		
Θερμοκρασία Εισόδου Νερού Συμπύκνωσης ($T_{W,cond,in}$)	[°C]	20
Θερμοκρασία Εξόδου Νερού Συμπύκνωσης ($T_{W,cond,out}$)	[°C]	35
Θερμοκρασία Εισόδου Νερού Τηλεθέρμανσης ($T_{WDH,in}$)	[°C]	45
Θερμοκρασία Εξόδου Νερού Τηλεθέρμανσης ($T_{WDH,out}$)	[°C]	85
Θερμοκρασία Εισόδου Θερμικού Ελαίου ($T_{T.O.evap,in}$)	[°C]	Υπολογισμός
Θερμοκρασία Εξόδου Θερμικού Ελαίου ($T_{T.O.evap,out}$)	[°C]	Υπολογισμός
Μέγιστη Πίεση Συστήματος ($P_{evap,max}$)	[bar]	40
Ελάχιστη Πίεση Συστήματος ($P_{evap,min}$)	[bar]	0.08
Αξιοποιήσιμη Πηγή Θερμότητας (Δεδομένα)		
Θερμοκρασία Παραγόμενων Καυσαερίων καυστήρα Βιομάζας ($T_{Flue\ Gas}$)	[°C]	400
Ογκομετρική Παροχή Παραγόμενων Καυσαερίων καυστήρα Βιομάζας ($\dot{V}_{Flue\ Gas}$)	[m ³ /h]	74,120
Παροχή Παραγόμενων Καυσαερίων Καυστήρα Βιομάζας ($\dot{m}_{Flue\ Gas}$)	[kg/s]	12.55
Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων ($T_{Flue\ Gas,out}$)	[°C]	120

Ποκνότητα Καυσαερίων (ρ)[kg/m³]0.61

Πρέπει να σημειωθεί πως η θερμοκρασία εισόδου του ελαίου στον ατμοποιητή, η οποία είναι διαφορετική για κάθε οργανικό μέσο ($T_{T.O.evap,in}$), η παροχή παραγόμενων καυσαερίων από τον καυστήρα βιομάζας ($\dot{m}_{Flue\ Gas}$), η πυκνότητα των καυσαερίων (ρ) και η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από το σύστημα θέρμανσης του ελαίου ($T_{Flue\ Gas,out}$), υπολογίστηκαν μέσα από το πρόγραμμα ASPEN PLUS. Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν τα υπομελέτη εργαζόμενα ρευστά με βασικά αποτελέσματα για τη λειτουργία τους (η_e , η_{plant} , η_{CHP} , $P_{e,net}$) σύμφωνα με τις παραδοχές λειτουργίας του κύκλου

5.8. Εργαζόμενα Ρευστά Υπό μελέτη

Τα έξι εργαζόμενα ρευστά που μελετήθηκαν επιλέχθηκαν με βάση την θερμότητα της εκμεταλλεύσιμης πηγής (400 °C) αλλά και την τυπική πίεση λειτουργίας ενός συστήματος ORC (40 bar) σε συνάρτηση με την κρίσιμη θερμοκρασία και πίεση του κάθε οργανικού ρευστού. Τα τέσσερα από αυτά ανήκουν στους υδρογονάνθρακες (Hydrocarbons **HCs**) (Κυκλοεξάνιο, Κυκλοπεντάνιο, Τολουένιο και ν-Οκτάνιο), ρευστά με επιθυμητές θερμοδυναμικές ιδιότητες αλλά εξαιρετικά εύφλεκτα ενώ δυο από αυτά ανήκουν στις Σιλοξάνες (Εξαμεθυλοδισιλοξάνη και Οκταμεθυλοτρισιλοξάνη η αλλιώς για συντομία MM και MDM αντίστοιχα), ρευστά με χαμηλή τοξικότητα και μέτρια επίπεδα αναφλεξιμότητας που ωστόσο αποτελούν καλή λύση σε εφαρμογές με υψηλές θερμοκρασίες. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζεται σύμφωνα με την ASHRAE η κατηγοριοποίηση των οργανικών ρευστών σύμφωνα με την αναφλεξιμότητα τους και την τοξικότητα τους [62]. Ένα ρευστό είναι πιο τοξικό καθώς κινούμαστε στο πίνακα από τα αριστερά προς τα δεξιά και πιο εύφλεκτο καθώς κινούμαστε από κάτω προς πάνω Τα εξεταζόμενα ρευστά παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5.3 με τις βασικές τους ιδιότητες, όπως κρίσιμη πίεση και θερμοκρασία, δείκτη ODP, δείκτη GWD και τον τύπο του ρευστού ενώ οι καμπύλες κορεσμού τους (υγρού-ατμού) παρουσιάζονται σε διάγραμμα T-s στο Σχήμα 5.7.

Πίνακας 5.2: Κατηγοριοποίηση Επιπέδων ασφαλείας Οργανικών Ρευστών μέσω ASHRAE standard 34-2013 [62]

Επίπεδο Αναφλεξιμότητας	Τοξικότητα	
	Χαμηλή	Υψηλή
Υψηλής Αναφλεξιμότητας	A3	B3
Μέτριας Αναφλεξιμότητας	A2	B2
Πολύ χαμηλής Αναφλεξιμότητας	A2L	B2L
Καθόλου Αναφλεξιμότητα	A1	B1



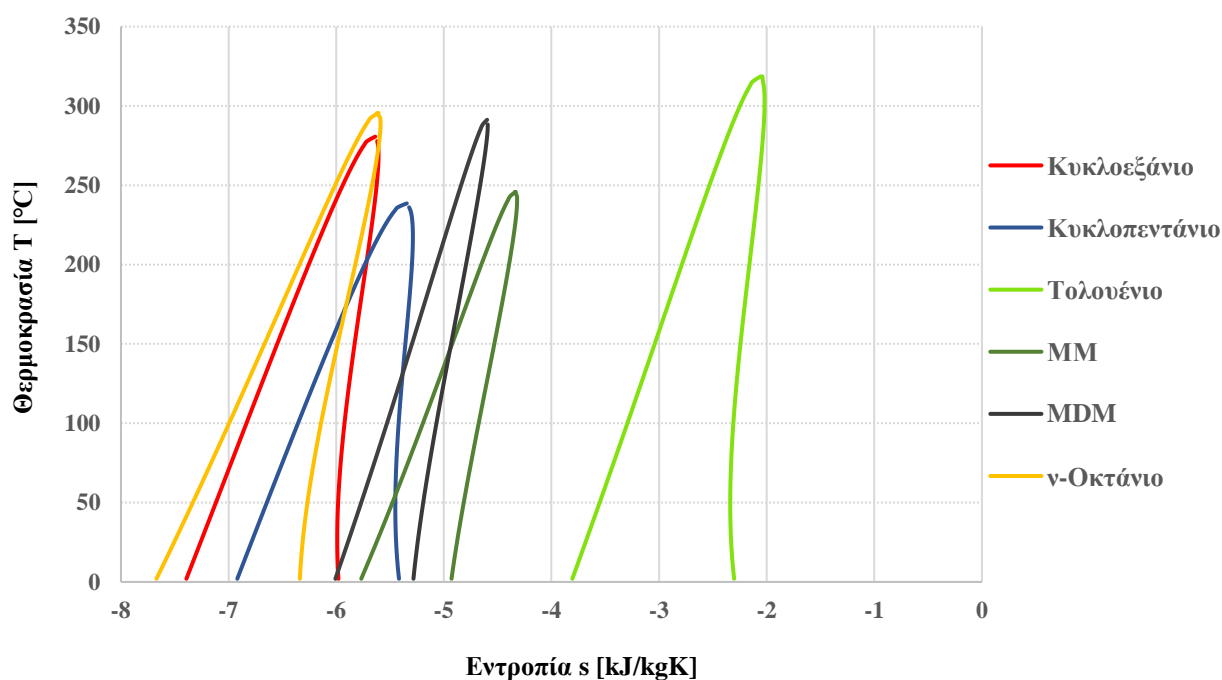
Αύξηση Αναφλεξιμότητας



Αύξηση Τοξικότητας

Πίνακας 5.3: Βασικές Ιδιότητες των Εργαζόμενων μέσων που χρησιμοποιήθηκαν, με σκοπό την επιλογή του βέλτιστου¹⁴⁸¹.

Εργαζόμενο Ρευστό	T _{crit} [°C]	P _{crit} [bar]	ODP	GWP	ASHRAE	Είδος Ρευστού
HCs						
Κυκλοπεντάνιο	238.5	45.1	0	11	A3	Ξηρό
Κυκλοεξάνιο	280.6	40.8	0	0	A3	Ξηρό
ν-Οκτάνιο	295.5	24.9	0	0	A3	Ξηρό
Τολουένιο	318.6	41.1	0	0	A3	Ξηρό
Siloxanes						
MM	245.8	19.2	0	0	-	Ξηρό
MDM	291.2	14.6	0	0	-	Ξηρό



Σχήμα 5.7: Καμπύλες Κορεσμού (Διάγραμμα T-s) των ρευστών που μελετήθηκαν.

Στην επόμενη ενότητα ρευστών θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων για κάθε μέσο με τους αντίστοιχους βαθμούς απόδοσης, την αντίστοιχη ηλεκτροπαραγωγή αλλά και την παραγωγή θερμικής ενέργειας προς κατανάλωση. Τα αποτελέσματα των εργαζόμενων μέσων προήλθαν μέσω του προγράμματος ASPEN PLUS™ σε συνεργασία με τον Διδάκτορα Πανεπιστήμιου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Μπραϊμάκη Κωνσταντίνο.

5.9. Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου – Επιλογή Ρευστού

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα ανάλυσης του κύκλου με σκοπό την εύρεση του ιδανικότερου ρευστού λειτουργίας. Το κριτήριο επιλογής ήταν η μεγιστοποίηση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης του συστήματος. Στον παρακάτω Πίνακα 5.4 γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων ανάλυσης σε περιβάλλον ASPEN PLUS™ των εργαζόμενων ρευστών που μελετήθηκαν ως προς τη μέγιστη πίεση κύκλου, την μέγιστη πίεση λειτουργίας τους, την καθαρή εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ, τους βαθμούς απόδοσης τους συστήματος (ηλεκτρικό, συμπαραγωγικό και ολικού συστήματος).

Ένα ακόμη κριτήριο που συνέδραμε στην επιλογή του καταλληλότερου ρευστού λειτουργίας είναι ο προσδιορισμός της παραμέτρου «Αναλογίας Ισχύος προς την Θερμότητα» (Power-to- Heat Ratio – **PHR**), η οποία καθορίζει την αναλογία της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την παραγόμενη θερμική του συμπαραγωγικού συστήματος. Συγκεκριμένα εάν:

- **PHR>1** : Τότε το συμπαραγωγικό σύστημα παράγει περισσότερη ηλεκτρική ισχύς από ότι θερμική.
- **PHR<1** : Το σύστημα παράγει περισσότερη θερμική ισχύς από ότι ηλεκτρική .
- **PHR=1** : Το σύστημα παράγει ίδια ηλεκτρική και θερμική ισχύ.

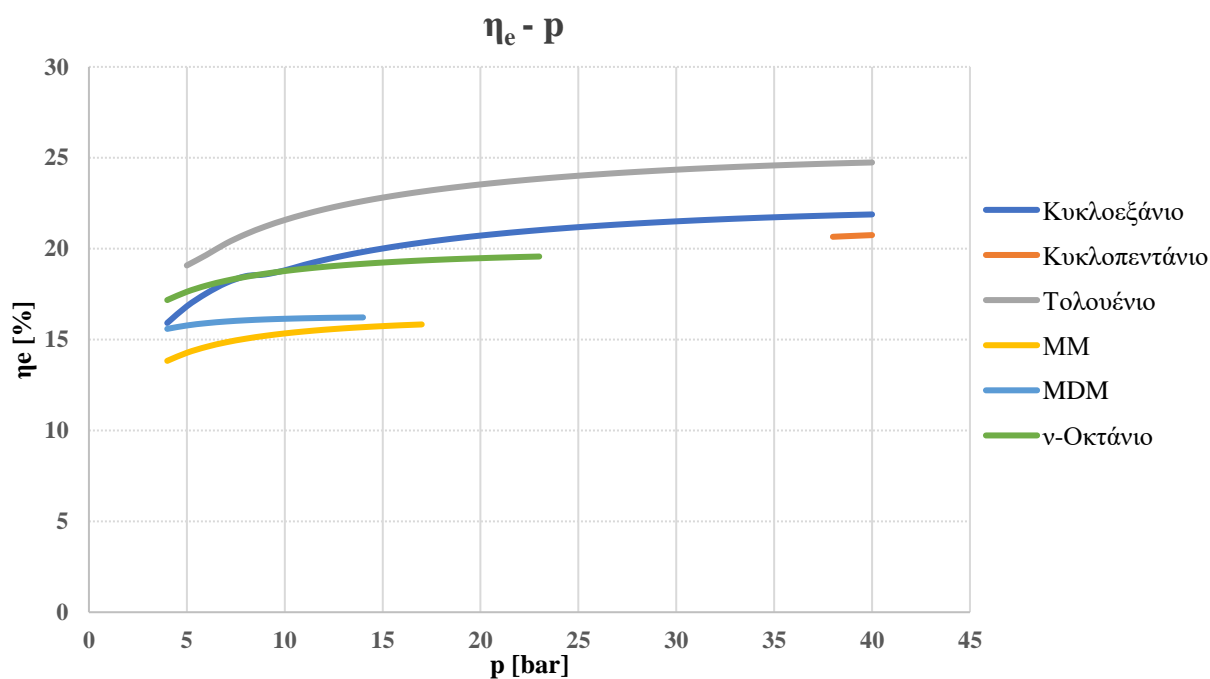
Παρακάτω, θα παρουσιαστούν συγκριτικά διαγράμματα μεταξύ των οργανικών μέσων για διάφορες πιέσεις με τους αντίστοιχους βαθμούς απόδοσης (η_e , η_{plant} , η_{CHP}), με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου ρευστού. Σημειώνεται πως, η προσέγγιση των θερμοδυναμικών μεγεθών ($P_{e,net}$, Q , η_e κ.α.) δύναται να πραγματοποιηθεί μέσω των εξισώσεων του Κεφαλαίου 5.6. Ωστόσο στον επόμενο Πίνακα 5.4 τα αποτελέσματα αποτελούν παράγωγα από την μοντελοποίηση της μονάδας ORC στο περιβάλλον ASPEN PLUS™.

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα ανάλυσης των υπομελέτη ρευστών μέσω του προγράμματος ASPEN PLUS™.

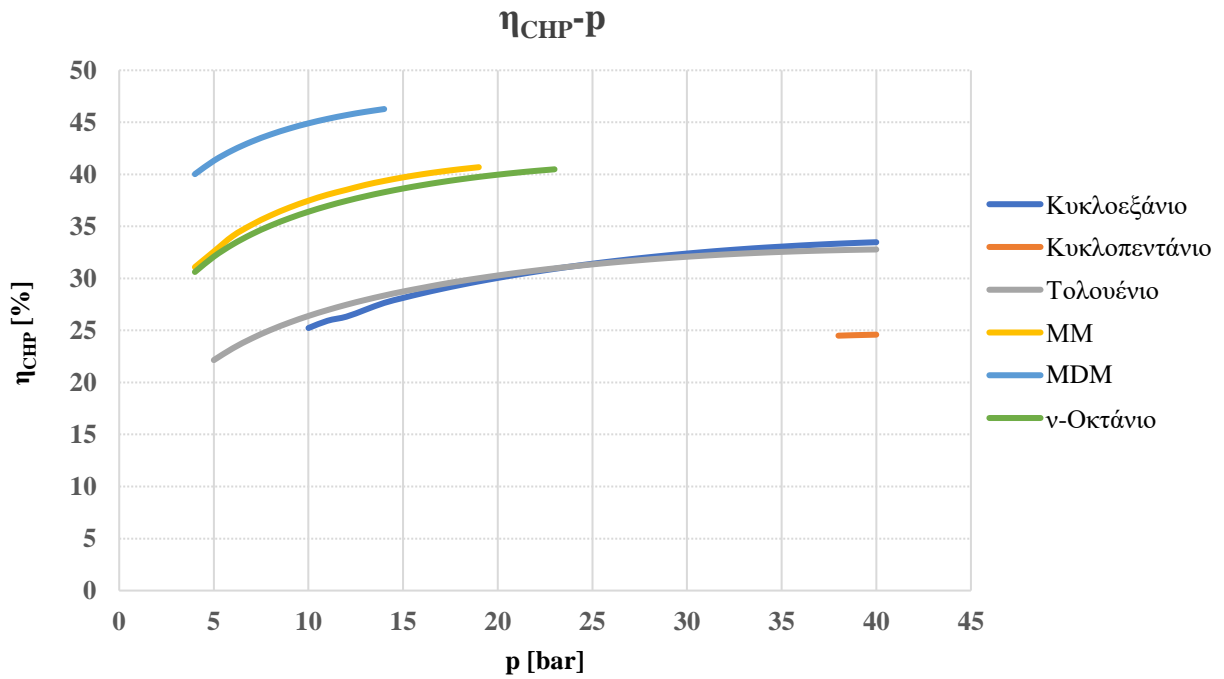
Οργανικό Ρευστό	T_{ORC} [°C]	p_{ORC} [bar]	P_{e,net} [kW _e]	Q̇ [kW _{th}]	η_e [%]	η_{th} [%]	η_{Plant} [%]	η_{CHP} [%]	PHR (σ)
Κυκλοεξάνιο	279.8	38	697.1	750.6	21.8	23.2	16.1	33.3	0.93
Κυκλοπεντάνιο	234.4	40	662.6	405.4	20.7	22.7	15.3	24.6	1.63
Τολουένιο	319.2	39	790.2	632	24.7	26.3	18.2	32.7	1.25
MM	242.6	17	505.6	1,243	15.8	16.8	11.6	40.3	0.41
MDM	288.3	13	517.6	1,480.2	16.2	17.2	11.9	46	0.35
ν-Οκτάνιο	294.6	23	624.9	1,133	19.6	20.7	14.4	40.5	0.55

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα. Σύμφωνα με αυτόν παρατηρούμε πως οι υψηλότεροι ηλεκτρικοί βαθμοί απόδοσης με την αντίστοιχη υψηλότερη «καθαρή» ηλεκτρική ισχύ ανήκουν στα ρευστά τολουένιο, κυκλοεξάνιο και κυκλοπεντάνιο. Ενώ η υψηλότερη θερμική ισχύς εμφανίζεται στα ρευστά MM, MDM και ν-Οκτάνιο.

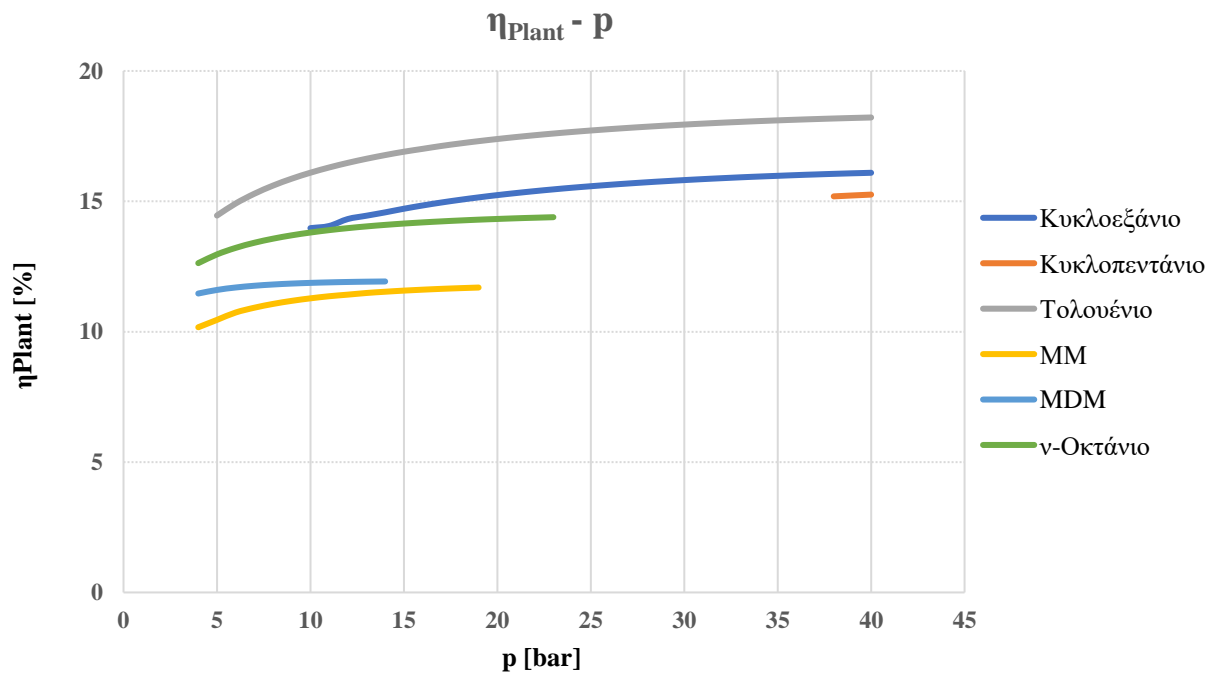
Από τον πίνακα γίνεται αντιληπτό πως η παράμετρος PHR είναι διαφορετική για κάθε μέσο και αυτό έγκειται στη διαφορετικότητα των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του κάθε ρευστού. Για παράδειγμα το MDM έχει υψηλότερη θερμική ισχύ από ότι ηλεκτρική και για αυτό το PHR είναι κάτω από την μονάδα (0.35). Οπότε το ρευστό αυτό, σύμφωνα με το σύστημα ORC ενδείκνυται περισσότερο για αξιοποίηση της παραγόμενης θερμικής ενέργειας με σχετικά χαμηλότερη ηλεκτροπαραγωγή. Από την άλλη πλευρά, το κυκλοπεντάνιο έχει το υψηλότερο PHR (1.63) που σημαίνει ότι ενδείκνυται περισσότερο για ηλεκτροπαραγωγή με χαμηλή παραγωγή θερμικής ενέργειας. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί πως το τολουένιο ενώ έχει την υψηλότερη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ έναντι των άλλων ρευστών, η παράμετρος PHR (1.25) είναι χαμηλότερη σε σχέση με το κυκλοπεντάνιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως εκμεταλλευόμαστε περισσότερη θερμότητα από τον αφυπερθεμαντήρα έναντι του κυκλοπεντάνιου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα πίεσης για διάφορους βαθμούς απόδοσης με όλα τα ρευστά.



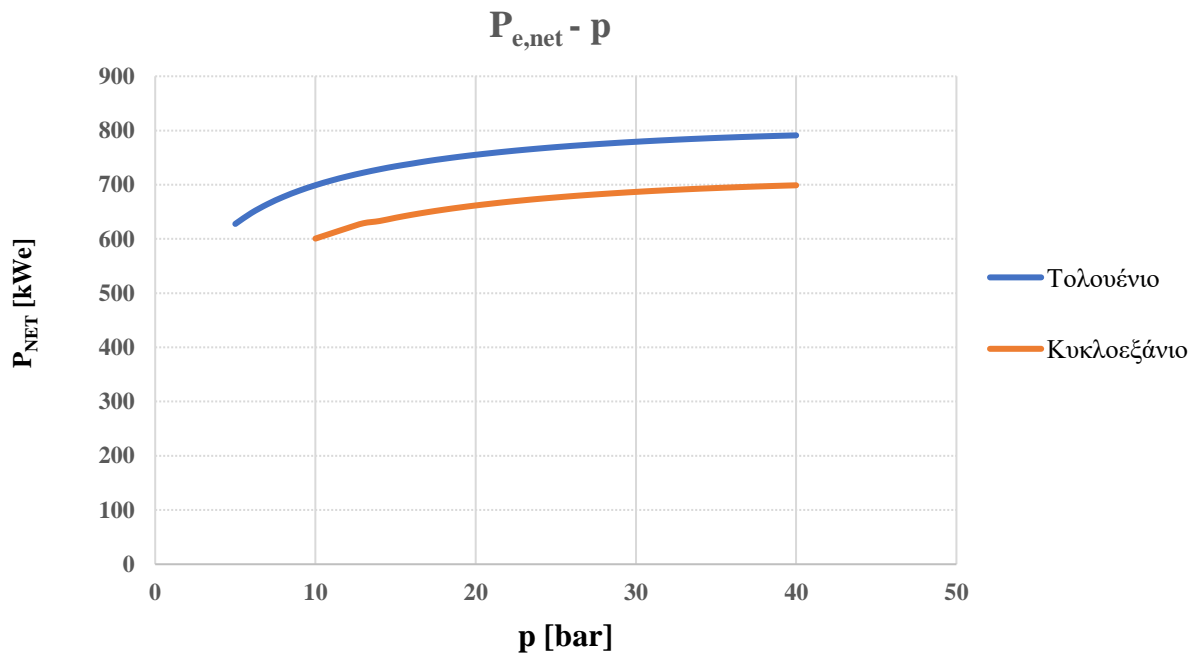
Σχήμα 5.8: Σύγκριση οργανικών ρευστών για διάφορες πιέσεις λειτουργίας με τους αντίστοιχους ηλεκτρικούς βαθμούς απόδοσης.



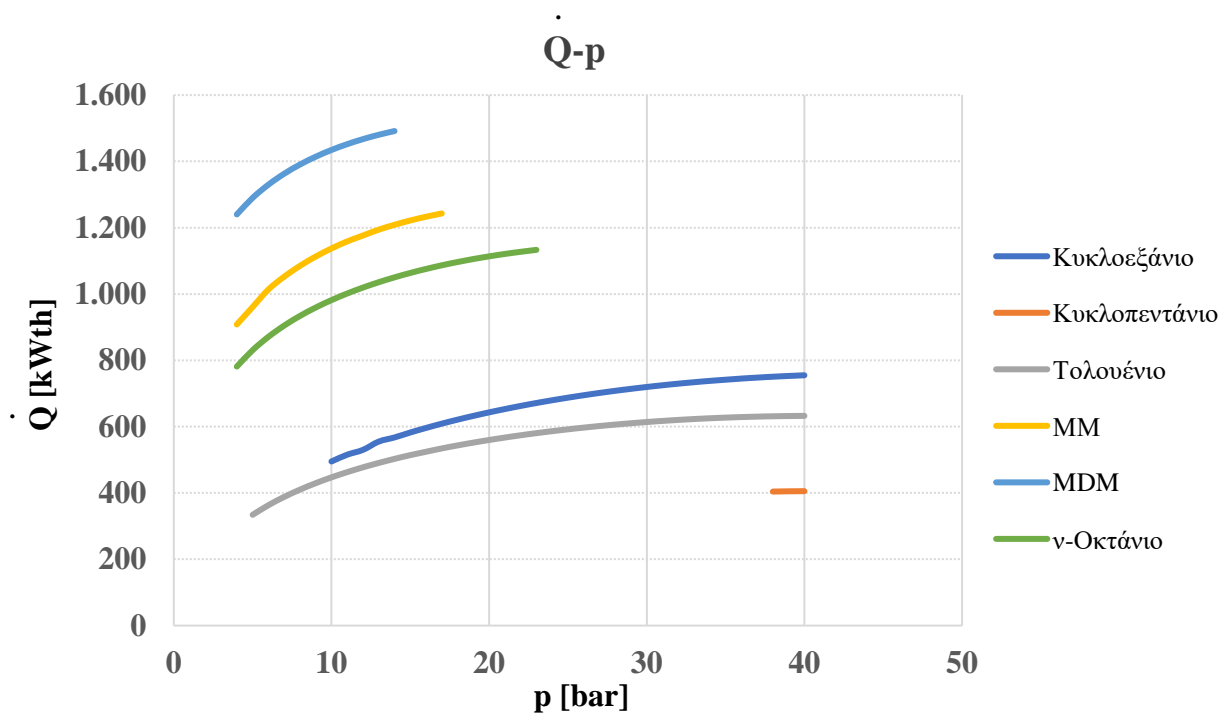
Σχήμα 5.10: Σύγκριση οργανικών ρευστών για διάφορες πιέσεις λειτουργίας με τους αντίστοιχους συμπαραγωγικούς βαθμούς απόδοσης του συστήματος.



Σχήμα 5.9: Σύγκριση οργανικών ρευστών για διάφορες πιέσεις λειτουργίας με τους αντίστοιχους συνολικούς ηλεκτρικούς βαθμούς απόδοσης του συστήματος.



Σχήμα 5.11: Συγκριτικό διάγραμμα ηλεκτρικής ισχύος - πίεσης μεταξύ τολουένιου και κυκλοεξάνιου.



Σχήμα 5.12: Συγκριτικό διάγραμμα θερμικής ισχύος – πίεσης για κάθε οργανικό ρευστό.

Από τα Σχήματα 5.8 και 5.10 παρατηρούμε πως το τολουένιο παρουσιάζει υψηλότερους βαθμούς απόδοσης έναντι άλλων ρευστών με λειτουργία πίεσης του κύκλου κοντά στα 40 bar. Ενώ στο Σχήμα 5.9 ο Συμπαγωγικός βαθμός απόδοσης για το τολουένιο είναι από τους χαμηλότερους σε σχέση με το MDM.

Στο Σχήμα 5.12 παρατηρούμε πως για μέγιστη λειτουργία πίεσης του κάθε ρευστού, σύμφωνα με τις παραδοχές, η μέγιστη θερμική ισχύς που μπορούμε να αξιοποιήσουμε από το σύστημα προέρχεται από το ρευστό MDM (1,492 kW_{th}) ενώ η ελάχιστη από το κυκλοπεντάνιο (405 kW_{th}). Στη περίπτωση μας αναζητούμε ένα ρευστό που θα μπορεί πρωτίστως να καλύπτει τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια με ταυτόχρονη πώληση στο δίκτυο και δευτερευόντως θα έχει την δυνατότητα να παρέχει την παραγόμενη θερμική ενέργεια στη γύρω περιοχή ανάλογα με τις απαιτήσεις (Βιομηχανικός, Αγροτοβιομηχανικός, Ξενοδοχειακός) και την εποχικότητα ζήτησης (Οικιακός τομέας). Η μονάδα ORC θα λειτουργεί 8,000 h ετησίως, οπότε σύμφωνα με τα αποτελέσματα ($P_{e,net}$ και \dot{Q}) του Πίνακα 5.4 θα παρουσιαστεί συγκεντρωτικός πίνακας με την ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια για κάθε ρευστό.

Πίνακας 5.5: Ετήσια παραγόμενη Ηλεκτρική και Θερμική Ενέργεια για λειτουργία μονάδας 8,000 [h] για κάθε ρευστό.

Οργανικό Ρευστό	Ετήσια Παραγόμενη Ηλεκτρική και Θερμική Ενέργεια Λειτουργία 8,000 [h/y]	
	[MWh _e /y]	[MWh _{th} /y]
Κυκλοεξάνιο	5,577	6,004
Κυκλοπεντάνιο	5,301	3,243
Τολουένιο	6,322	5,056
MM	4,045	9,943
MDM	4,141	11,842
ν-Οκτάνιο	5,000	9,065

Τέλος σημαντικό κριτήριο στην επιλογή είναι η εναπομένουσα ηλεκτρική ενέργεια κατά την περίοδο μέγιστης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας προς διάθεση στο δίκτυο. Η επιλογή του κατάλληλου ρευστού για το σύστημα έγινε έχοντας σαν γνώμονα τα δεδομένα που δόθηκαν από την λειτουργία του πυρηνελαιουργείου, τις παραδοχές που παρουσιάστηκαν στην αρχή του κεφαλαίου (Πίνακας 5.1) και τους υπολογισμούς που έγιναν για τις ηλεκτρικές απαιτήσεις του Πυρηνελαιουργείου και της μονάδας Pellet. Συγκεκριμένα οι αναγκαίες θερμικές απαιτήσεις για την λειτουργία του ORC προέρχονται από έναν εναπομένοντα καυστήρα του πυρηνελαιουργείου ο οποίος θα λειτουργεί 8,000 h/y. Η θερμοκρασία του παραγόμενου μίγματος αέρα-καυσαερίων ανέρχεται κοντά στους 400 °C, με μια ογκομετρική παροχή 74,120 m³/h και με μία παροχή μάζας καυσίμου στα 800 kg/h. Τέλος, οι συνολικές ηλεκτρικές απαιτήσεις των δύο μονάδων μέσα στο έτος ανέρχονται κοντά στις 2,775 MWh_e/y. Πρέπει να τονισθεί πως στις ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις του πυρηνελαιουργείου έχει συνυπολογιστεί και η λειτουργία του καυστήρα.

Στον επόμενο Πίνακα 5.6 απεικονίζεται η ετησία εναπομείνουσα ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να διατεθεί προς πώληση μετά την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών και των τριών μονάδων:

Πίνακας 5.6: Εναπομείνουσα Ηλεκτρική Ενέργεια προς Πώληση για ετήσια και μέγιστη περίοδο ζήτησης.

Οργανικό Ρευστό	Ηλεκτρική Ενέργεια Προς Διάθεση 8,000 [h/y] [MWh _e /y]	Ηλεκτρική Ενέργεια Προς Διάθεση 4,194 [h/season] [MWh _e /y]
Κυκλοεξάνιο	2,802	856
Κυκλοπεντάνιο	2,525	711
Τολουένιο	3,546	1,247
MM	1,270	53
MDM	1,365	103
ν-Οκτάνιο	2,224	554

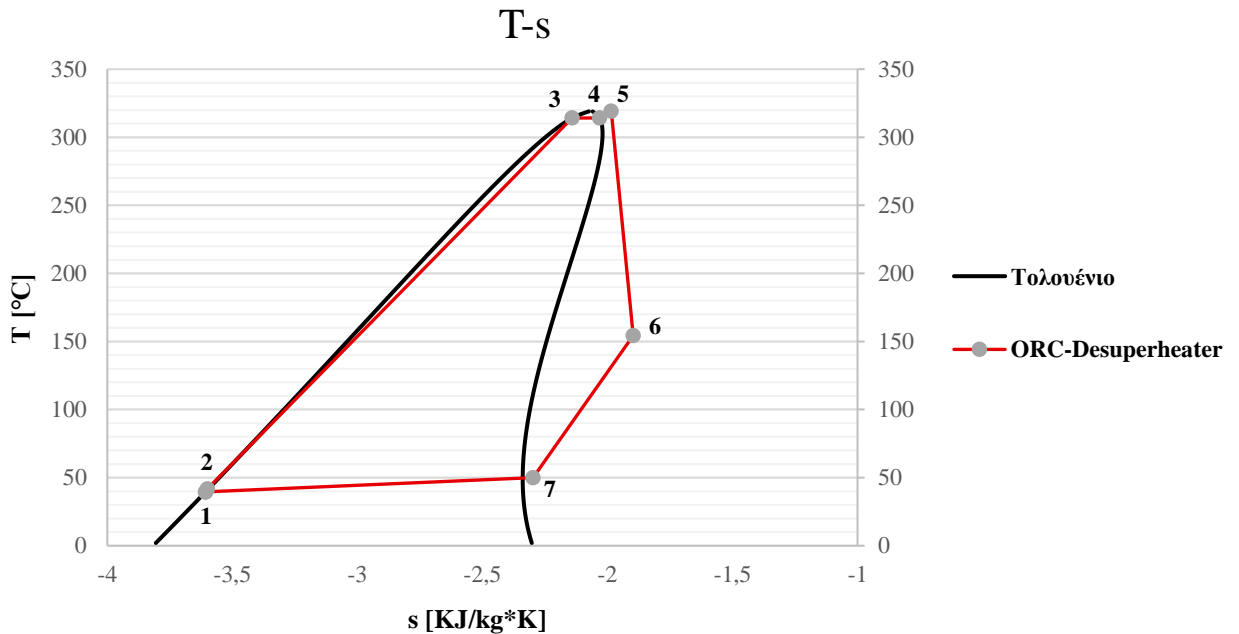
Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.5 παρατηρούμε πως για λειτουργία της μονάδας ORC 8,000 h/y την μέγιστη παραγωγή σε ηλεκτρική ενέργεια εμφανίζει το τολουένιο σαν οργανικό ρευστό με 6,322 MWh_e/y, ακολουθεί το κυκλοεξάνιο με 5,577 MWh_e/y και τέλος το κυκλοπεντάνιο με 5,301 MWh_e/y. Οι συνολικές ετήσιες ηλεκτρικές απαιτήσεις των μονάδων ανέρχονται στις 2,775 MWh_e/y. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί πως για τους υπολογισμούς θεωρήθηκαν αμελητέες οι καταναλώσεις των κυκλοφορητών θερμικού ελαίου, νερού συμπύκνωσης και νερού τηλεθέρμανσης της μονάδας ORC.

Σημαντικό κριτήριο στην επιλογή του ρευστού είναι η μέγιστη εναπομείνουσα ηλεκτρική ενέργεια προς πώληση στο δίκτυο με το τολουένιο να κατέχει την πρώτη θέση με συνολική ενέργεια 3,546 MWh_e/y, ενώ το κυκλοεξάνιο και το κυκλοπεντάνιο να ακολουθούν με 2,802 MWh_e/y και 2,525 MWh_e/y αντίστοιχα, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα .

Επίσης σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του κατάλληλου ρευστού είναι η δυνατότητα κάλυψης της μέγιστης ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια για διάστημα 6 μηνών με ταυτόχρονη λειτουργία όλων των μονάδων. Συγκεκριμένα στον Πίνακα 66 παρατηρούμε πως όλα τα ρευστά μπορούν να καλύψουν την απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια το διάστημα εκείνο. Τα ρευστά που έχουν την υψηλότερη εναπομείνουσα ηλεκτρική ενέργεια είναι το τολουένιο, το κυκλοεξάνιο και το κυκλοπεντάνιο.

Συνοψίζοντας από τους παραπάνω πίνακες και τα σχήματα αλλά και με βάση το πως έχει στηθεί το σύστημα, το ρευστό το οποίο έχει την υψηλότερη παραγωγή σε ηλεκτρική ενέργεια και μπορεί σε περίοδο μέγιστης ζήτησης να καλύπτει εξολοκλήρου τις απαιτήσεις των μονάδων και ταυτόχρονα να πουλάει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο είναι το τολουένιο. Από την άλλη πλευρά η επιλογή του συγκεκριμένου ρευστού, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.5, παρέχει μια από τις

ελάχιστες ετήσιες παραγωγές σε θερμική ενέργεια χωρίς αυτό να συνεπάγεται ότι λειτουργεί ανασταλτικά για τα οικονομικά της μονάδας. Τέλος, θα παρουσιαστούν οι θερμοδυναμικές μεταβολές του επιλεγόμενου ρευστού σε διάγραμμα T-s σύμφωνα με το υπομελέτη σύστημα.



Σχήμα 5.13: Διάγραμμα T-s για το επιλεγόμενο ρευστό σύμφωνα με την λειτουργία του υπομελέτη συστήματος ORC.

Συγκεκριμένα έχουμε τις εξής μεταβολές:

- **1-2:** Συμπύκνωση του κορεσμένου υγρού από την αντλία κυκλοφορίας. Παρατηρείται μικρή μεταβολή της θερμοκρασίας και της εντροπίας (Αύξηση).
- **2-3:** Πρόσδοση θερμότητας στο ρευστό μέχρι την θερμοκρασία ατμοποίησης. Αύξηση θερμοκρασίας και εντροπίας.
- **3-4:** Ατμοποίηση του ρευστού (Θερμοκρασία κορεσμού). Το ρευστό ξεκινώντας από την κορεσμένη φάση των ρευστών (Σημείο 3) περνάει από την διφασική περιοχή και καταλήγει στην φάση κορεσμένου ατμού (Σημείο 4). Σταθερή θερμοκρασία και πίεση και αύξηση εντροπίας.
- **4-5:** Μικρή αύξηση της θερμοκρασίας και εντροπίας του ατμού (Θεώρηση υπερθέρμανσης).
- **5-6:** Εκτόνωση του υπέρθερμου ατμού. Πτώση της θερμοκρασίας με αύξηση της εντροπίας.
- **6-7:** Μείωση της θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού με ταυτόχρονη μείωση της εντροπίας μέσω αφυπερθερμαντήρα (Desuperheater) για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης θερμοκρασίας 85 °C.
- **7-1:** Συμπύκνωση διφασικού μίγματος μέχρι να έρθει σε κατάσταση κορεσμένου υγρού ώστε να επαναληφθεί ο κύκλος μέσω της αντλίας του συστήματος.

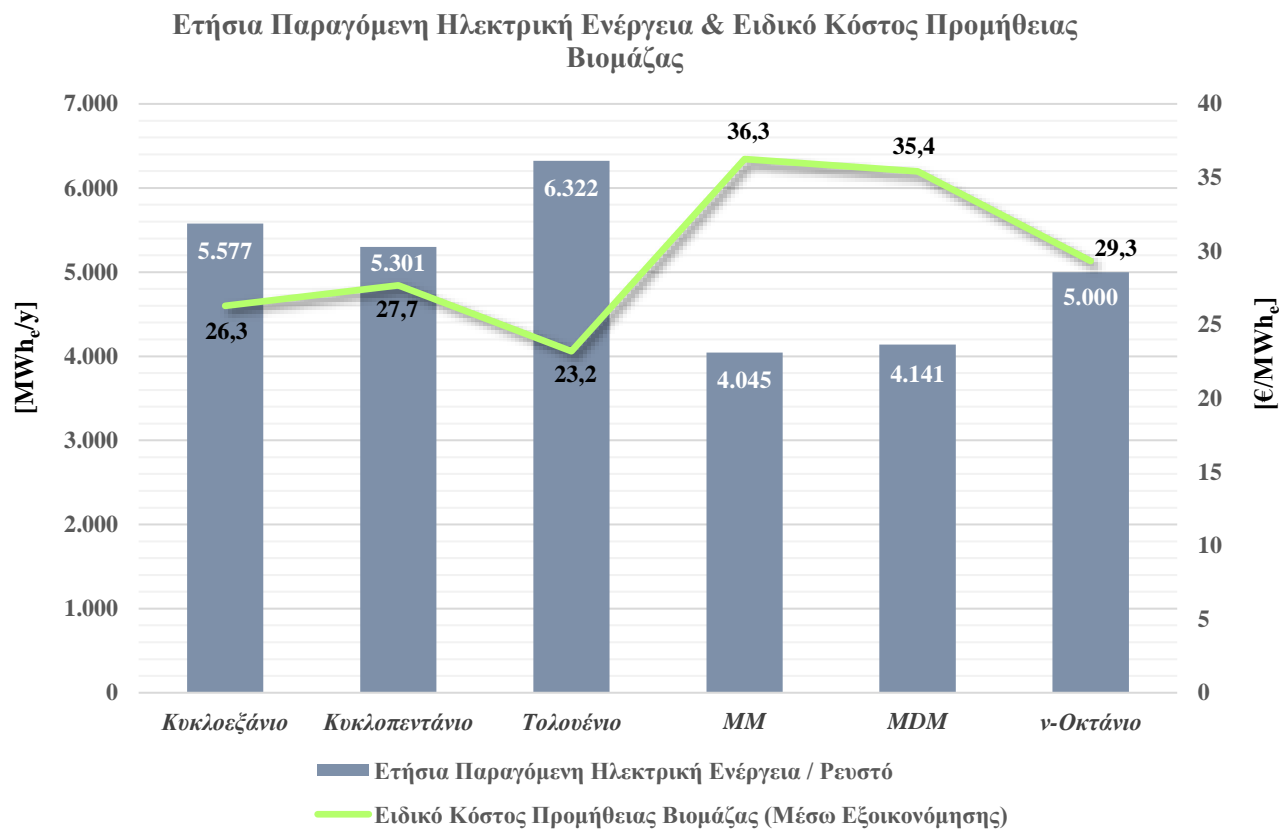
5.10. Ειδικό Κόστος Προμήθειας Βιομάζας (Πυρηνόξυλο) Ανηγμένο στην Ηλεκτροπαραγωγή

Για λόγους πληρότητας, θεωρήθηκε σημαντικό το ειδικό κόστος προμήθειας βιομάζας να εκφραστεί και ως προς την ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, δεδομένου ότι εκείνη αποτελεί το κύριο προϊόν μας. Ο ORC θα λαμβάνει τις απαραίτητες θερμικές απαιτήσεις για την λειτουργία του από τον υφιστάμενο εξοπλισμό του πυρηνελαιουργείου (Καυστήρας βιομάζας). Για λειτουργία 8,000 h/y η συνολική απαίτηση σε καύσιμο (πυρηνόξυλο) ανέρχεται κοντά στους 6,400 t/y. Το 62% του καυσίμου θα προέρχεται αποκλειστικά από την εξοικονόμηση που προέκυψε μέσω της αναβάθμισης του νέου τμήματος ξήρανσης του πυρηνελαιουργείου. Το υπόλοιπο 38% (2,444 t) θα το προμηθεύεται η μονάδα από πυρηνελαιουργεία της γύρω περιοχής με μία τιμή 60 €/t (Με Φ.Π.Α.) με το ετήσιο κόστος αγοράς της να ανέρχεται στα 146,640 €/y (Με Φ.Π.Α.). Με βάση αυτό το κόστος και την συνολική παραγόμενη ενέργεια που φαίνεται στον Πίνακα 5.7 προσδιορίστηκε το ειδικό κόστος αγοράς βιομάζας ανηγμένο στην ηλεκτροπαραγωγή (€/MWh_e) για κάθε ρευστό.

Πίνακας 5.7: Ειδικό Κόστος Προμήθειας Βιομάζας (Πυρηνόξυλο) Μέσω Εξοικονόμησης (Με Φ.Π.Α.).

Οργανικό Ρευστό	Ετήσια Λειτουργία ORC (Ηλεκτροπαραγωγή)		Συνολική Απαίτηση σε καύσιμο	Ειδικό Κόστος Καυσίμου ΜΕΣΩ Εξοικονόμησης
	[h]	[MWh _e /y]	[t/y]	[€/MWh _e]
Κυκλοεξάνιο	8,000	5,577	2,444	26.3
Κυκλοπεντάνιο		5,301		27.7
Τολουένιο		6,322		23.2
MM		4,045		36.3
MDM		4,141		35.4
ν-Οκτάνιο		5,000		29.3

Από όλα τα οργανικά ρευστά παρατηρούμε πως το χαμηλότερο ειδικό κόστος προμήθειας βιομάζας το έχει το τολουένιο και ανέρχεται στα 23.2 €/MWh_e. Στο παρακάτω Σχήμα 5.14 απεικονίζονται οι ετήσιες ηλεκτρικές παραγωγές και το ειδικό κόστος προμήθειας βιομάζας ανηγμένο στην ηλεκτροπαραγωγή για κάθε ένα οργανικό ρευστό ενώ στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα από την μελέτη με σκοπό την τελική επιλογή του ρευστού εργασίας.



Σχήμα 5.14: Διάγραμμα Ετήσιας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και Ειδικού Κόστους Προμήθειας Βιομάζας.

5.11. Συμπεράσματα Ανάλυσης Κύκλου και Επιλογή Ρευστού

Λαμβάνοντας υπόψιν τους Πίνακες της ενότητας 5.9 αλλά και τα Σχήματα 5.8 έως 5.12 μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

- Τον υψηλότερο ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης (η_e) στο σύστημα με την αντίστοιχη καθαρή εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ (790.2 kW_e) και την μέγιστη ηλεκτροπαραγωγή το έχει σαν εργαζόμενο ρευστό κύκλου το τολουένιο, έναντι των άλλων ρευστών.
- Ο συνολικός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης συστήματος (η_{plant}) είναι υψηλότερος με οργανικό ρευστό το τολουένιο εν συγκρίσει με τα άλλα ρευστά.
- Στον συμπαραγωγικό βαθμό απόδοσης (η_{CHP}) παρατηρούμε πως το σύστημα με ρευστό MDM λαμβάνει την υψηλότερη τιμή έναντι άλλων ρευστών.
- Το υψηλότερο **PHR** το έχει το κυκλοπεντάνιο παρόλο που δεν έχει την μέγιστη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με το τολουένιο.
- Το κυκλοπεντάνιο έχει την χαμηλότερη τιμή θερμική ισχύ (\dot{Q}) στο σύστημα (405.4 kW_{th}) ενώ τη μέγιστη την έχει το ρευστό MDM ($1,492 \text{ kW}_{th}$).

Το σύστημα έχει στηθεί με σκοπό να καλύπτει πρωτίστως τα απαραίτητα ηλεκτρικά φορτία των μονάδων με ταυτόχρονη διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο και δευτερευόντως να μπορεί να καλύπτει ένα μέρος των θερμικών αναγκών της γύρω περιοχής. Έτσι, μελετώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης αλλά και τα παραπάνω συμπεράσματα, το οργανικό ρευστό που θα αποτελέσει βασικό μέσο για την λειτουργία του κύκλου είναι το τολουένιο. Κάποιοι από τους επικρατέστερους λόγους επιλογής του είναι οι εξής:

- Το συγκεκριμένο ρευστό έχει υψηλή κρίσιμη θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να μπορεί να μεταφέρει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος της μεταφερόμενης ενέργειας από το θερμικό έλαιο.
- Εκτός από την κρίσιμη θερμοκρασία, η μέγιστη πίεση λειτουργίας του συστήματος με τολουένιο είναι τα 39 bar και αποτελεί σημαντικό παράγοντα, διότι βρίσκεται κοντά στο όριο που έχουμε ορίσει (υποκρίσιμος κύκλος) και κατά συνέπεια σε μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης ηλεκτροπαραγωγής σε σχέση με άλλα οργανικά ρευστά.
- Οικονομικό όφελος από την πώληση της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Έχοντας δώσει προτεραιότητα στην ηλεκτροπαραγωγή το ρευστό με την μέγιστη παραγωγή αλλά και την μέγιστη εναπομένουσα ηλεκτρική ενέργεια σε περίοδο υψηλής ζήτησης είναι το τολουένιο.

5.12. Οικονομική Εκτίμηση Μονάδας ORC

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μια οικονομική προσέγγιση της μονάδας ORC ως προς το κόστος επένδυσης, τα έσοδα και τα έξοδα λειτουργίας της. Εκτενέστερη οικονομική ανάλυση του επενδυτικού σχεδίου θα γίνει στο τελευταίο κεφάλαιο της μελέτης.

Έχοντας επιλέξει σαν βασικό ρευστό διεργασίας το τολουένιο και γνωρίζοντας τις ώρες λειτουργίας της μονάδας, την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ, τις ηλεκτρικές απαιτήσεις των μονάδων και την απαίτηση σε καύσιμο για την αναγκαία απαίτηση θερμικών φορτίων, μπορεί να γίνει μία προσέγγιση ως προς το κόστος επένδυσης, τα έξοδα και τα έσοδα της μονάδας.

Αναλυτικότερα:

- Το συνολικό κόστος εγκατάστασης της μονάδας ORC έχει άμεση σχέση με το ειδικό κόστος επένδυσης €/kWe. Το ειδικό κόστος επένδυσης σχετίζεται με την καθαρή εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς του κύκλου ($P_{e,net}$). Ωστόσο, για το ακριβές κόστος θα πρέπει να μελετηθεί:
 - Το κάθε μηχανολογικό εξάρτημα που απαρτίζει τον κύκλο ORC (διαστασιολόγηση).
 - Το κόστος ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων της μονάδας.
 - Το κόστος επίβλεψης μηχανολόγου μηχανικού.
 - Το κόστος επίβλεψης και μελετών πολιτικού μηχανικού.
 - Απρόβλεπτα έξοδα

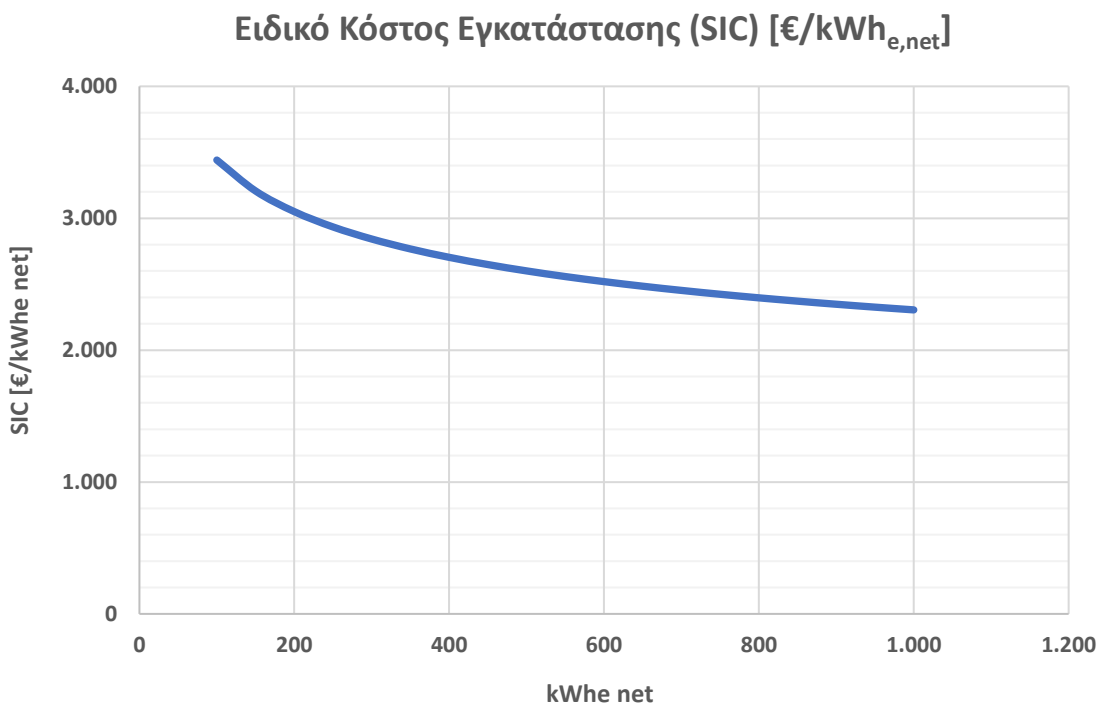
Στην παρούσα μελέτη έγινε εμπειρική προσέγγιση του ειδικού κόστους εγκατάστασης (Specific Investment Cost - *SIC*) μέσω του παρακάτω εμπειρικού τύπου [63]:

$$SIC_{ORC} = Installation\ Factor * 5,216.6 * P_{e,net}^{-0.174} \quad [€/kWe] \quad \text{Εξίσωση 4.21}$$

Όπου:

- **Installation Factor:** 1.47
- $P_{e,net}$: «Καθαρή» Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς της Μονάδας

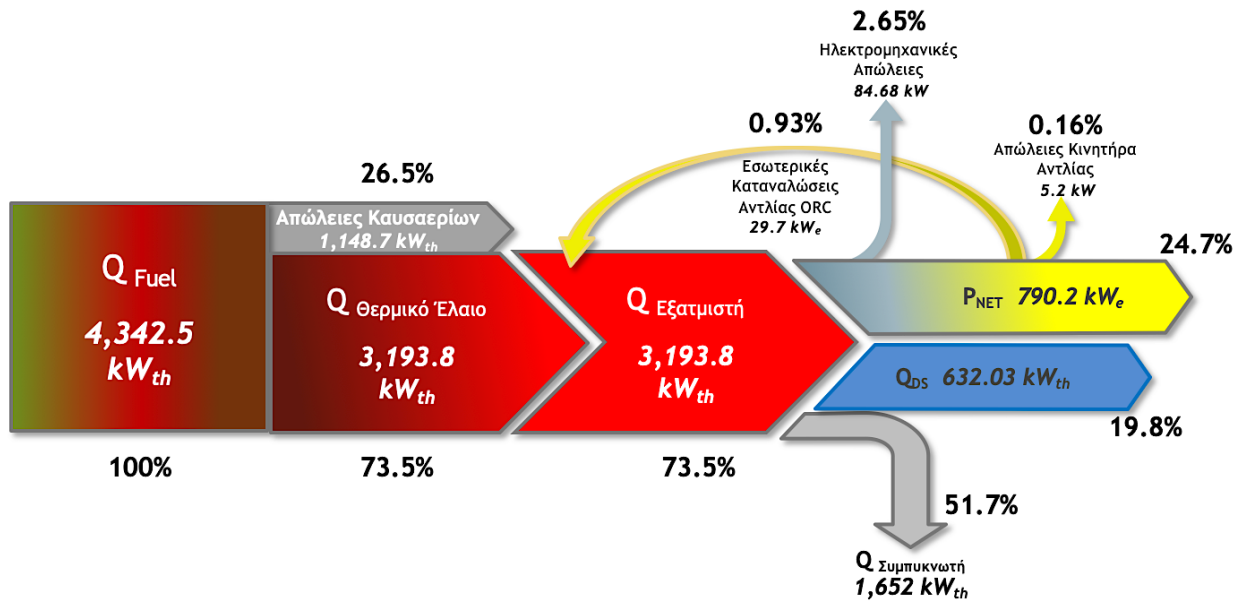
Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παραπάνω εξίσωση 4.20 αναφέρονται μόνο στο ειδικό κόστος εγκατάστασης και δεν περιλαμβάνουν τα διάφορα άλλα κόστη επένδυσης όπως είναι η μεταφορά, λειτουργικά κόστη κ.α. Προκειμένου, λοιπόν, να υπολογιστεί το συνολικό επενδυτικό κόστος εφαρμόζουμε τον Συντελεστή Εγκατάστασης, ο οποίος προτείνεται βιβλιογραφικά [63] να έχει την τιμή **1.47**. Αντικαθιστώντας τα δεδομένα των υπολογισμών στην παραπάνω εξίσωση προέκυψε πως το ειδικό κόστος επένδυσης της μονάδας υπολογίστηκε στα 2,401.6 €/kWe και κατ' επέκταση το κόστος εγκατάστασης ORC ισούται με 2,353,216.5 € (με Φ.Π.Α.). Επιπλέον, προσθέτοντας το κόστος του κυκλώματος θερμικού ελαίου [64] το οποίο ανέρχεται στα 293,958.1 € (με Φ.Π.Α.), το συνολικό κόστος επένδυσης υπολογίστηκε στα 2,647,174.6 € (με Φ.Π.Α.). Παρακάτω θα παρουσιαστεί διάγραμμα διακύμανσης του ειδικού κόστους εγκατάστασης μονάδων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας, βασιζόμενο στον παραπάνω εμπειρικό τύπο, για διάφορες τιμές καθαρής εγκατεστημένης ισχύος.



Σχήμα 5.15: Ειδικό Κόστος Εγκατάστασης για μονάδα ORC ^[63]

- Το συνολικό κόστος αποτελείται από τα σταθερά και τα μεταβλητά έξοδα της μονάδας ORC. Το μεταβλητό κόστος περιλαμβάνει το κόστος καυσίμου. Για λειτουργία 8,000 h/y και με ωριαία κατανάλωση καυσίμου (πυρηνόξυλο) 800 kg/h η συνολική απαίτηση σε καύσιμο υπολογίστηκε στους 6,400 t/y. Όμως, μέσω της εγκατάστασης του νέου ξηραντήρα η απαίτηση σε καύσιμο ελαττώθηκε και πλέον ανέρχεται στους 2,444 t/y. Έτσι το συνολικό κόστος προμήθειας καυσίμου ανέρχεται στα 146,640 €/y (Με Φ.Π.Α.). Το σταθερό κόστος περιλαμβάνει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας ORC και θεωρήθηκε ίσο με το 2% του κόστους επένδυσης δηλαδή 52,943.5 €/y.
- Με βάση τις παραδοχές λειτουργίας του κύκλου και για διάφορα οργανικά ρευστά, υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος ASPEN PLUS™ η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς. Ως βασικό ρευστό επιλέχθηκε το τολουένιο με το οποίο επιτυγχάνεται η μέγιστη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς στα 790.21 kW_e. Έτσι, γνωρίζοντας τις ώρες λειτουργίας της μονάδας ORC υπολογίστηκε η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο για τον υπολογισμό των τελικών εσόδων λήφθηκαν υπόψιν οι ηλεκτρικές απαιτήσεις των μονάδων Πυρηνελαιουργείο και Pellet με τις αντίστοιχες ώρες λειτουργίας. Η τιμή διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας ορίστηκε σύμφωνα με την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ και με βάση την Υπουργική Απόφαση (2020) του Υπουργείου Ενέργειας και Περιβάλλοντος για τον Επαναπροσδιορισμό των τιμών αναφοράς €/MWh_e μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. [65]. Η τιμή πώλησης ορίστηκε για εγκατεστημένη ισχύς ≤ 1MW_e στα 176 €/MWh_e για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα μέσω θερμικών διεργασιών (καύση, πυρόλυση). Επίσης, στα έσοδα της μονάδας συμπεριλαμβάνεται και η πώληση θερμικής ενέργειας συνολικής παραγωγής 5,056

MWh_{th}./y. Η τιμή πώλησης της θα προσδιοριστεί μέσω ανάλυσης ευαισθησίας στο τελευταίο κεφάλαιο με τα αντίστοιχα έσοδα.



Σχήμα 5.16: Διάγραμμα Sankey μονάδας ORC (Οργανικό Ρευστό Τολουένιο).

6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Στα παραπάνω κεφάλαια εκτός από την τεχνική προσέγγιση λειτουργίας των μονάδων έγινε και μια βασική οικονομική ανάλυση ως προς τα έσοδα, τα έξοδα και τα κόστη εγκατάστασης ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας της μονάδας. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί αναλυτικά το οικονομικό μοντέλο που εφαρμόστηκε σε κάθε επένδυση μεμονωμένα αλλά και σαν σύνολο, με σκοπό την εύρεση των οικονομικών δεικτών της περιόδου αποπληρωμής κεφαλαίου, της καθαρής παρούσας αξίας και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης των επενδύσεων. Στην αρχή του κεφαλαίου θα γίνει ανάλυση των οικονομικών δεικτών και στην συνέχεια θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης.

6.1. Οικονομικοί Δείκτες

6.1.1. Καθαρές Ταμειακές Ροές (KTP)

Η καθαρή ταμειακή ροή ή αλλιώς για λόγους συντομίας (KTP), είναι η διαφορά μεταξύ των εσόδων από τις πωλήσεις (εισροές) και των πληρωμών για διάφορους συντελεστές παραγωγής και διάθεσης των προϊόντων καθώς επίσης και για την καταβολή του φόρου εισοδήματος (εκροές). Δηλαδή οι KTP σε μια επένδυση είναι το καθαρό κέρδος μετά την επιβολή φορολογίας επί του ποσού και αφαιρούμενων των τοκοχρεολυσίων σε περίπτωση δανειοδότησης. [66]

6.1.2. Περίοδος Αποπληρωμής Κεφαλαίου (Payback Period - PB)

Η περίοδος αποπληρωμής κεφαλαίου (Payback Period) ή αλλιώς για λόγους συντομίας θα αναφέρεται ως (PB), πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία υπολογίζονται τα έτη που απαιτούνται ώστε οι Καθαρές Ταμειακές Ροές (KTP) να καλύψουν το κόστος του επενδύομένου κεφαλαίου. Ο τρόπος υπολογισμού αυτός βρίσκει τη περίοδο αποπληρωμής της επένδυσης χωρίς να λαμβάνει υπόψιν του το κόστος του κεφαλαίου στη περίοδο του χρόνου. Η περίοδος αυτή συγκρίνεται με την περίοδο που έχει οριστεί (πρότυπη) η οποία μπορεί να είναι η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, η περίοδος απαξίωσης του προϊόντος από την αγορά και τους επενδυτές κ.α. [67] [68]. Στην παρούσα μελέτη ορίστηκε σαν πρότυπη περίοδος η διάρκεια ζωής των μηχανημάτων με ελάχιστη τιμή τα 10 έτη για κάθε επένδυση. [66]

6.1.3. Μέθοδος Προ εξοφλημένης Περιόδου Αποπληρωμής Κεφαλαίου (Discounted Payback Period - DPB)

Η συγκεκριμένη μέθοδος προ εξοφλημένης περιόδου αποπληρωμής κεφαλαίου (Discounted Payback Period) ή αλλιώς για λόγους συντομίας (DPB), ουσιαστικά πρόκειται για την μέθοδο (PB) με την διαφορά ότι οι (KTP) υπολογίζονται σε τρέχουσες τιμές με ένα συγκεκριμένο επιτόκιο προεξόφλησης. Ειδικότερα είναι ο αριθμός των ετών που απαιτούνται ώστε να καλυφθεί η αρχική δαπάνη με την θεώρηση ότι η υπολειμματική αξία της επένδυσης είναι μηδενική. Η πρότυπη περίοδος και σε αυτή την μέθοδο έχει οριστεί ως η διάρκεια ζωής των μηχανημάτων των

μονάδων, κατ' ελάχιστον 10 έτη. Οποιαδήποτε τιμή (έτη) είναι μικρότερη της ορισμένης πρότυπης περιόδου καθιστά την επένδυση αποδεκτή [66].

- **DPB < Πρότυπη Περίοδος:** Αποδεκτή Επένδυση
- **DPB > Πρότυπη Περίοδος:** Μη Αποδεκτή Επένδυση
- **DPB = Πρότυπη Περίοδος:** Οριακά Αποδεκτή Επένδυση

6.1.4. Καθαρή Παρούσα Αξία (*Net Present Value - NPV*)

Η καθαρή παρούσα αξία ή αλλιώς για λόγους συντομίας (**NPV**), αποτελεί ένα κριτήριο-δείκτη προσδιορισμού της αποδοτικότητας της επένδυσης και ουσιαστικά είναι η αξία της ανηγμένη στη χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής της λειτουργίας. Χρησιμοποιείται ως επί των πλείστον στην ιδιωτική χρηματική αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου. Επίσης πρέπει να οριστεί και ένα επιτόκιο αναγωγής (προεξόφλησης). Στην μελέτη χρησιμοποιήθηκε 8% επιτόκιο αναγωγής. Η καθαρή παρούσα αξία ορίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση [66]:

$$NPV = -K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+k)^t} + \frac{Y \cdot A_N}{(1+k)^N} \quad \text{Εξίσωση 6.1}$$

Όπου:

K₀: Κόστος Επένδυσης

k: Επιτόκιο Αναγωγής

N: Διάρκεια Επένδυσης

KTP_t: Καθαρή Ταμειακή Ροή του έτους t

Y · A_N: Υπολειμματική Αξία της Επένδυσης στο N-οστό έτος

Μέσω του δείκτη NPV η αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου μπορεί να θεωρηθεί:

- **NPV < 0:** Απόρριψη επένδυσης (Μη Κερδοφόρα).
- **NPV > 0:** Επιλογή Επένδυσης.
- **NPV = 0:** Η επένδυση θεωρείται αδιάφορη από τον επενδυτή.

6.1.5. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (*Internal Rate of Return - IRR*)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης μια επένδυσης ή αλλιώς για λόγους συντομίας (**IRR**), είναι η υψηλότερη τιμή του επιτοκίου αναγωγής που θα πρέπει να πληρώσει ο επενδυτής προκειμένου να μην χάσει το κεφάλαιο που επένδυσε. Ειδικότερα, ο IRR είναι η τιμή του επιτοκίου αναγωγής, που κάνει την NPV της επένδυσης, για τη διάρκεια της οικονομικής αξιολόγησης, ίση με το μηδέν. Σύμφωνα με τα παραπάνω ορίζεται ως [66]:

$$-K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad \text{Εξίσωση 6.2}$$

Όπου:

K₀: Κόστος Επένδυσης

N: Διάρκεια Επένδυσης

KTP_t: Καθαρή Ταμειακή Ροή του έτους t

IRR: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

Έτσι ανάλογα με το πως διαμορφώνεται ο IRR σε σχέση με το επιτόκιο αναγωγής μια επένδυση μπορεί να:

- **IRR < k** : Απόρριψη επένδυσης (Μη Κερδοφόρα)
- **IRR > k** : Επιλογή επένδυσης
- **IRR = k** : Αδιαφορία επενδυτή ως προς το έργο.

6.2. Οικονομική Ανάλυση Επενδυτικού Σχεδίου Μονάδας – Πυρηνελαιουργείου

Στο Κεφάλαιο 2.3 μελετήθηκε μια υφιστάμενη μονάδα επεξεργασίας πυρηνέλαιου ως προς τις καταναλώσεις της (ηλεκτρικές-καύσιμο) και τις παραγωγές της. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν τα τμήματα ξήρανσης και εκχύλισης της μονάδας του πυρηνελαιουργείου με ιδιαίτερη έμφαση στο τμήμα της ξήρανσης, ως προς τις καταναλώσεις μεταξύ υφιστάμενης και αναβαθμισμένης κατάστασης. Τα δεδομένα που δόθηκαν και η οικονομική εκτίμηση που έγινε στο κεφάλαιο 2.3 είναι προσεγγιστική, διότι μέρος των εσόδων που υπολογίστηκαν αφορούν και το τμήμα ραφινάρισματος, όπου εκεί για λόγους ανταγωνισμού δεν δόθηκαν οι καταναλώσεις και τα κόστη-έσοδα. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί σε εκείνο το κεφάλαιο έγιναν συμπεριλαμβανομένου και του Φόρου Προστιθέμενης Αξίας (Φ.Π.Α.).

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί το επενδυτικό σχέδιο (έτη αποπληρωμής) που εξετάζει την εγκατάσταση ενός νέου ξηραντήρα συνολικού κόστους 1,197,000 € (χωρίς Φ.Π.Α.) Ο προσδιορισμός της αποπληρωμής έγινε μέσω της εξοικονόμησης που επιτυγχάνεται κατά την παραγωγική διαδικασία, θεωρώντας πως η μονάδα αναγκάζεται να αγοράσει το απαραίτητο καύσιμο (πυρηνόξυλο) με μία τιμή αγοράς 48.4 €/t (χωρίς Φ.Π.Α.). Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις και στις δυο περιπτώσεις πληρώνονται από την ίδια την μονάδα. Τα έσοδα και στις δυο περιπτώσεις παραμένουν σταθερά, διότι η εγκατάσταση του νέου ξηραντήρα αφορά κυρίως την κατανάλωση καυσίμου και την ηλεκτρική απαίτηση σε υφιστάμενη και αναβαθμισμένη κατάσταση. Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

- Υφιστάμενη Κατάσταση Τμήματος Ξήρανσης

Πίνακας 6.1: Εκτίμηση κόστους στην Υφιστάμενη κατάσταση του Τμήματος Ξήρανσης.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Τμήμα Ξήρανσης)		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΟΣΤΟΥΣ [€]				
Απαίτηση σε Καύσιμο [t/y]	Απαίτηση σε Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh _e /y]	Τιμή Αγοράς Καυσίμου [€/t]	Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας [€/kWh _e]	Κόστος Αγοράς Καυσίμου [€]	Κόστος Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας [€]	Συνολικό κόστος [€/y]
7,200	1,287,744	48.4	0.0647	348,387	83,317	431,704

Μέσα από την παραγωγική διαδικασία η μονάδα παράγει το ένα βασικό παραπροϊόν που είναι και το βασικό της καύσιμο, το πυρηνόξυλο. Προκειμένου, όμως, να ευρεθούν τα έτη αποπληρωμής έγινε η θεώρηση πως η μονάδα αναγκάζεται να αγοράσει το καύσιμο που απαιτείται για την παραγωγική της διαδικασία και να αποπληρώσει τις ηλεκτρικές καταναλώσεις του τμήματος. Στην υφιστάμενη κατάσταση τα λειτουργικά κόστη (καύσιμο και ηλεκτρικές ανάγκες) θα ανέρχονταν στα 431,704 €/y. Ωστόσο, τα έτη αποπληρωμής θα υπολογιστούν σε σύγκριση με την αναβαθμισμένη κατάσταση.

- Αναβαθμισμένη Κατάσταση Τμήματος Ξήρανσης

Πίνακας 6.2: Εκτίμηση κόστους στην Αναβαθμισμένη κατάσταση του Τμήματος Ξήρανσης.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Τμήμα Ξήρανσης)		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΟΣΤΟΥΣ [€]					
Απαίτηση σε Καύσιμο [t/y]	Απαίτηση σε Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh _e /y]	Κόστος Εγκατάστασης Νέου Ξηραντήρα [€]	Τιμή Αγοράς Καυσίμου [€/t]	Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας [€/kWh _e]	Κόστος Αγοράς Καυσίμου [€]	Κόστος Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας [€]	Συνολικό κόστος [€/y]
5,287	917,837	1,197,000	48.4	0.0647	255,823	59,384	1,512,207

Με την εγκατάσταση του νέου ξηραντήρα και εφόσον ισχύει και σε αυτή την περίπτωση η θεώρηση ότι η μονάδα υποχρεούται να αγοράσει το καύσιμο που έχει ανάγκη, όπως είναι φανερό παρατηρήθηκε πτώση τόσο στην ετήσια απαίτηση σε καύσιμο όσο και στις ηλεκτρικές καταναλώσεις του τμήματος. Τα αποτελέσματα της λειτουργίας του αναβαθμισμένου τμήματος είναι φανερά στα τελικά έξοδα με μια εξοικονόμηση χρημάτων της τάξης του 27%. Τέλος, για την εύρεση των ετών αποπληρωμής της νέας επένδυσης αξιοποιήθηκαν τα ποσά της εξοικονόμησης σε σχέση με το κόστος εγκατάστασης της μονάδας.

Πίνακας 6.3: Παρουσίαση μεγεθών εξοικονόμησης και υπολογισμός ετών απόσβεσης.

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ [€]		ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ [%]		ΈΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ
Εξοικονόμηση Καυσίμου [€]	Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας [€]	Ποσοστό Εξοικονόμησης Καυσίμου	Ποσοστό Εξοικονόμησης Ηλεκτρικής Ενέργειας	
92,565	23,933	27%	29%	10.3

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα τα έτη απόσβεσης της επένδυσης υπολογίστηκαν στα **10.3**. Η πρότυπη περίοδος του μηχανολογικού εξοπλισμού ορίστηκε κατ' ελάχιστον τα 10 έτη. Παρόλο που την ξεπερνά κατά 3% θεωρείται αποδεκτή. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι κατά την παραγωγική διαδικασία παράγεται ένα παραπροϊόν που συγκαταλέγεται στα στερεά βιοκαύσιμα (πυρηνόξυλο), έχει ζήτηση και αξιοποιείται από τις μονάδες ως βασικό καύσιμο για την παραγωγή των απαραίτητων θερμικών φορτίων. Επίσης, με την εγκατάσταση ενός ενεργειακά αποδοτικότερου ξηραντήρα επιτυγχάνεται εκτός από εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των ηλεκτρικών απαιτήσεων του τμήματος. Επομένως, λόγω της δυναμικότητας του παραπροϊόντος αλλά και της στροφής της αγοράς σε εναλλακτικού είδους καύσιμα δεν αναμένεται απαξίωση της επένδυσης από τους επενδυτές, οπότε και η επένδυση θεωρείται βιώσιμη με μακροπρόθεσμη απόσβεση.

Το αναβαθμισμένο τμήμα ξήρανσης του πυρηνελαιουργείου πέρα από την βασική λειτουργία του (ξήρανση ελαιοπυρήνα) αξιοποιείται και από την μονάδα παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων για ξήρανση των κλαδεμάτων ελιάς. Συγκεκριμένα το τμήμα λειτουργεί επιπλέον 576 h/y με μια ετήσια κατανάλωση σε καύσιμο (πυρηνόξυλο) 251 t/y και με μια ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση 144,923 kWh/y. Αυτές οι απαιτήσεις θα πρέπει να συνυπολογιστούν στην αναβαθμισμένη κατάσταση ως επιπλέον έξοδο αλλά και να συνυπολογιστούν ταυτόχρονα και σαν έσοδο από την μονάδα Pellet κατά το στάδιο της εξοικονόμησης αλλά και εύρεσης των ετών απόσβεσης της μονάδας. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι πίνακες που αφορούν τις απαιτήσεις σε καύσιμο και ηλεκτρική ενέργεια από την αξιοποίηση του ξηραντήρα μέσω της μονάδας Pellet.

Πίνακας 6.4: Εκτίμηση κόστους στην Αναβαθμισμένη κατάσταση του Τμήματος Ξήρανσης για χρήση του ξηραντήρα από την μονάδα Pellet.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Τμήμα Ξήρανσης)		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΟΣΤΟΥΣ [€/y]					Συνολικό κόστος [€/y]
Απαίτηση σε Καύσιμο [t/y]	Απαίτηση σε Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh _e /y]	Κόστος Εγκατάστασης Νέου Ξηραντήρα [€]	Τιμή Αγοράς Καυσίμου [€/t]	Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας [€/kWh _e]	Κόστος Αγοράς Καυσίμου [€]	Κόστος Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας [€]	
5,538	1,055,261	1,197,000	48.4	0.0647	267,968	68,275	1,533,243

Είναι φανερό πώς υπάρχει μια αύξηση στις απαιτήσεις του τμήματος, περίπου 5% στην κατανάλωση καυσίμου και περίπου 15% στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, μετά από την αξιοποίησή του από την μονάδα στερεών βιοκαυσίμων σε σχέση με τις αντίστοιχες απαιτήσεις της αναβαθμισμένης κατάστασης χωρίς την εισαγωγή της μονάδας Pellet. Το πυρηνελαιουργείο δέχεται σαν έσοδο την αγορά καυσίμου (πυρηνόξυλο) από την μονάδα Pellet προκειμένου να ξηράνει τα κλαδέματα ελιάς αλλά και το κόστος κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την διεργασία αυτή. Το πόσο από την χρήση του νέου ξηραντήρα ανέρχεται στα 21,522 €/y. Έτσι ο υπολογισμός της τελικής εξοικονόμησης μαζί με τα αναμενόμενα έτη απόσβεσης της επένδυσης θα παρουσιαστεί στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.5: Παρουσίαση μεγεθών εξοικονόμησης και υπολογισμός ετών απόσβεσης για χρήση του ξηραντήρα από την μονάδα Pellet.

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ [€]		ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ [%]		ΈΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ
Εξοικονόμηση Καυσίμου [€]	Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας [€]	Ποσοστό Εξοικονόμησης Καυσίμου	Ποσοστό Εξοικονόμησης Ηλεκτρικής Ενέργειας	
80,419	15,042	23%	18%	10.3

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.5 και εν συγκρίσει με τον Πίνακα 6.3 παρατηρείται πτώση στα ποσοστά εξοικονόμησης με την μεγαλύτερη να διαφαίνεται στην ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο τα αναμενόμενα έτη απόσβεσης παρέμειναν σταθερά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως για τον υπολογισμό τους πέρα από την αύξηση των καταναλώσεων που είχαν άμεσο αντίκτυπο στις επιμέρους εξοικονομήσεις προστέθηκαν και τα έσοδα μέσω της χρήσης του νέου ξηραντήρα από την μονάδα Pellet. Η τελική εξοικονόμηση χρημάτων που επιτυγχάνεται μέσα από την λειτουργία του ξηραντήρα και για το ίδιο το πυρηνελαιουργείο αλλά και για την μονάδα Pellet ανέρχεται στο 22%.

6.3. Οικονομική Ανάλυση Επενδυτικού Σχεδίου Μονάδας Στερεών Βιοκαυσίμων

Στο Κεφάλαιο 4 έγινε η μελέτη εγκατάστασης μια μικρής μονάδας παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων από κλαδέματα ελιάς με μία ετήσια δυναμικότητα σε pellet κοντά στους 5,450 t. Έγινε μια οικονομική εκτίμηση της επένδυσης μελετώντας τα κόστη της εγκατάστασης, το κόστος μηχανολογικού εξοπλισμού (Επεξεργασία βιομάζας και παραγωγής πελλετών) καθώς και τα έσοδα από την πώληση των στερεών βιοκαυσίμων αλλά και από την παροχή υπηρεσιών διαχείρισης υπολειμματικής βιομάζας.

Απαραίτητη και αναγκαία συνθήκη για να υλοποιηθεί ένα τέτοιο επενδυτικό σχέδιο είναι η οικονομική ανάλυση της επένδυσης και ο προσδιορισμός της αποδοτικότητας της σε βάθος χρόνου. Ο υποψήφιος επενδυτής καλείται να καλύψει το κόστος της αρχικής επένδυσης για εξοπλισμό και κτηριακές εγκαταστάσεις, τα σταθερά κόστη που υφίστανται για την συντήρηση και λειτουργία της μονάδας καθώς και τα μεταβλητά κόστη της παραγωγής. Το άθροισμα του

σταθερού και μεταβλητού κόστους αποτελεί το συνολικό κόστος που χαρακτηρίζει τη μονάδα Pellet εκφρασμένο ανά έτος το οποίο πρέπει να υπερκαλύψει ο επενδυτής, προκειμένου η επιχείρηση να έχει κερδοφορία. [66], [67]. Επίσης το κόστος της αρχικής επένδυσης είτε καλύπτεται εξ ολοκλήρου από ίδια κεφάλαια του επενδυτή, είτε μέσω χορήγησης δανείου είτε μέσω συγχρηματοδότησης από προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης που στοχεύουν σε μείωση του επενδυτικού κόστους, σε μείωση των ετών αποπληρωμής με ταυτόχρονη προώθηση κινήτρων για τέτοιες επενδύσεις [69]. Παρακάτω θα γίνει αναλυτική παρουσίαση για τα κόστη της μονάδας.

- **Κόστος Αρχικής Επένδυσης της Μονάδας Στερεών Βιοκαυσίμων**

Το κόστος αρχικής επένδυσης αποτελείται από επιμέρους κόστη των διεργασιών της μονάδας που εξασφαλίζουν την εύρυθμη λειτουργία της. Προτού στηθεί η μονάδα θα πρέπει η επενδύτρια επιχείρηση να προβεί στην αγορά οικοπέδου κατάλληλης έκτασης όπου θα κατασκευαστούν οι υποδομές στις οποίες θα εγκατασταθεί ο μηχανολογικός εξοπλισμός, θα φιλοξενηθεί η παραγωγική διαδικασία και θα αποθηκευτεί η πρώτη ύλη και το παραγόμενο προϊόν έως ότου διανεμηθεί τους καταναλωτές (ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις και αποθήκες). Επίσης στο κόστος αρχικής επένδυσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν η κτήση μηχανημάτων που αφορούν στην προκατεργασία και μεταφορά της επεξεργασμένης βιομάζας προς τον χώρο της μονάδας (Ελκυστήρες, θρυμματιστές, ανατρεπόμενες πλατφόρμες μεταφοράς) καθώς και κάποια έκτακτα έξοδα που ενδεχομένως να προκύψουν κατά την υλοποίηση της επένδυσης. Σκοπός αυτού του ποσού (έκτακτα έξοδα) είναι να παρέχει ασφάλεια στο αρχικό κόστος επένδυσης σε περίπτωση εμφάνισης απρόοπτων εξόδων. Μετά από επικοινωνία με υπεύθυνο μονάδας παραγωγής στερεών καυσίμων θεωρήθηκε ότι ανέρχεται περίπου στο 5% επί του κόστους επένδυσης. Παρακάτω θα παρουσιαστεί αναλυτικός πίνακας με τα κόστη επένδυσης της μονάδας Pellet.

Πίνακας 6.6: Παρουσίαση Υπολογισμού του Αρχικού Κόστους Επένδυσης της μονάδας Pellet.

ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ Pellet		
Μηχανολογικός εξοπλισμός Πελλετοποίησης	[€]	583,740
Η/Μ Εγκατάσταση Μονάδας και Αγοράς Οικοπέδου	[€]	467,646
Εξοπλισμός Διαχείρισης Υπολειμματικής Βιομάζας <i>(Ελκυστήρες, Θρυμματιστές, Ανατρεπόμενες Πλατφόρμες)</i>	[€]	114,839
Κατασκευή Αποθηκών	[€]	457,618
Έκτακτα Έξοδα <i>(5% επί του συνολικού κόστους επένδυσης)</i>	[€]	81,192
ΣΥΝΟΛΟ	[€]	1,705,035

- **Σταθερά Κόστη της Μονάδας Στερεών Βιοκαυσίμων**

Τα σταθερά κόστη μιας μονάδας περιλαμβάνουν τα πάγια κόστη που δημιουργούνται κατά την περίοδο λειτουργίας της μονάδας και δεν διαμορφώνονται από την παραγωγική διαδικασία της. Αυτά απαρτίζονται από την στελέχωση για την υλοποίηση διαδικαστικών εργασιών (μισθοδοσία προσωπικού αγρού και μονάδας Pellet), την εξασφάλιση της καλής λειτουργίας (συντηρήσεις) του εξοπλισμού διαχείρισης βιομάζας και όλου του μηχανικού εξοπλισμού της μονάδας καθώς και τα πρόσθετα έξοδα που προβλέπονται από την νομοθεσία για τα παραπάνω κόστη και αποδίδονται στο κράτος (φόροι και ασφάλεια προσωπικού/μηχανημάτων). Τέλος, πρέπει να συμπεριληφθεί και ένα 5% επί του σταθερού κόστους στην αγορά πετρελαίου κίνησης για την κάλυψη αναγκών μεταφοράς της προ κατεργασμένης βιομάζας και του τελικού προϊόντος από και προς τις αποθήκες. Παρακάτω θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα σταθερά κόστη της μονάδας.

Πίνακας 6.7: Παρουσίαση Σταθερών Κοστών Επένδυσης της μονάδας Pellet.

ΣΤΑΘΕΡΑ ΚΟΣΤΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ Pellet		
Μισθοδοσία Προσωπικού Μονάδας Pellet	[€/y]	30,755
Μισθοδοσία Προσωπικού Επεξεργασίας Βιομάζας	[€/y]	25,073
Συντήρηση Λειτουργίας Μονάδας Pellet	[€/y]	10,234
Συντήρηση Ελκυστήρων	[€/y]	4,032
Συντήρηση Θρυμματιστών	[€/y]	10,548
Ασφάλεια και Φόροι (2% επί του συνολικού κόστους επένδυσης)	[€/y]	34,101
Πετρέλαιο Κίνησης Μονάδας Pellet (5% επί του συνολικού κόστους επένδυσης)	[€/y]	85,252
ΣΥΝΟΛΟ	[€/y]	199,995

- **Μεταβλητά Κόστη της Μονάδας Στερεών Βιοκαυσίμων**

Αυτά τα κόστη είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την λειτουργία της μονάδας αλλά επηρεάζονται και από εξωτερικούς παράγοντες (οικονομικούς και κοινωνικούς) που επικρατούν καθόλη την διάρκεια της λειτουργίας της. Συγκεκριμένα για την πραγματοποίηση κάθε διεργασίας της μονάδας από το στάδιο επεξεργασίας και μεταφοράς βιομάζας μέχρι το στάδιο προώθησης του προϊόντος στην αγορά υπάρχει η απαίτηση κάλυψης αναγκών σε καύσιμο (πυρηνόξυλο), σε πετρέλαιο κίνησης και σε ηλεκτρική ενέργεια. Για την ορθή εκτίμηση του κόστους της ενέργειας υπολογίστηκαν οι ενεργειακές ανάγκες σε κάθε επιμέρους διαδικασία της μονάδας, οι οποίες πολλαπλασιαζόμενες με τις αντίστοιχες τιμές ηλεκτρικού ρεύματος και καυσίμου (πυρηνόξυλο/πετρέλαιο κίνησης) προσδιόρισαν το τελικό μεταβλητό κόστος της μονάδας.

Πίνακας 6.8: Παρουσίαση Μεταβλητών Κοστών Επένδυσης της μονάδας Pellet

ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΚΟΣΤΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ Pellet		
Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Λειτουργίας Μονάδας	[€/y]	49,527
Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Λειτουργίας Χρήσης Ξηραντηρίου	[€/y]	8,892
Αγορά Πετρελαίου Κίνησης (Επεξεργασία και Μεταφορά Βιομάζας)	[€/y]	69,444
Αγορά Πυρηνόξυλου (Ξήρανση Κλαδεμάτων)	[€/y]	12,146
ΣΥΝΟΛΟ	[€/y]	140,008

- **Ετήσια Έσοδα Μονάδας Στερεών Βιοκαυσίμων**

Αφού έγινε ανάλυση στα κόστη της μονάδας, το αμέσως επόμενο σημαντικό μέγεθος το οποίο καθορίζει την οικονομική πορεία της επένδυσης και κρίνει την οικονομική αποδοτικότητα και βιωσιμότητά της είναι τα έσοδα. Αυτά προκύπτουν μέσω της διάθεσης του προϊόντος (pellet) στην αγορά αλλά και από την δυνατότητα παροχής υπηρεσιών διαχείρισης υπολειμματικής βιομάζας στους παραγωγούς της γύρω περιοχής. Η τιμή πώλησης των pellet παρουσιάζει μια δυναμικότητα και εξαρτάται από το είδος της πρώτης ύλης και την πιστοποίηση που έχει λάβει, σύμφωνα με την τελική του χρήση. Στην περίπτωση μας, έπειτα από σχετική επικοινωνία με υπεύθυνο μονάδας στερεών βιοκαυσίμων, η τιμή για το βιομηχανικό pellet ανέρχεται στα 190 €/t χωρίς Φ.Π.Α., ενώ η τιμή επιβολής διαχείρισης βιομάζας στους παραγωγούς ορίστηκε στα 8 €/tDM χωρίς Φ.Π.Α. Το συνολικό κόστος διαχείρισης υπολειμματικής βιομάζας ανέρχεται στα 223,726 € το οποίο επιμερίζεται στα κόστη εγκατάστασης (114,839 €: Μηχανολογικός εξοπλισμός επεξεργασίας βιομάζας) καθώς και στα σταθερά (39,654 €/y: Συντηρήσεις μηχανημάτων και πληρωμές προσωπικού αγρού) και μεταβλητά έξοδα (69,443.5 €/y: Αγορά πετρελαίου για επεξεργασία και μεταφορά βιομάζα) της μονάδας. Τα τελικά έσοδα διαμορφώνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.9: Παρουσίαση Εσόδων της μονάδας Pellet.

ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ ΜΟΝΑΔΑΣ Pellet			
[€/y]			
Προϊόν	Παραγωγή [tDM/y]	Τιμή Πώλησης [€/t], [€/tDM]	Έσοδα [€/y]
Pellet	5,450	190	1,035,500
Παροχή Υπηρεσιών Διαχείρισης Βιομάζας	5,450	8	43,644
ΣΥΝΟΛΟ			1,079,144

• Οικονομική Ανάλυση Επένδυσης Ίσων Τοκοχρεολυσίων

Η οικονομική αξιολόγηση της νέας μονάδας Pellet και η επιβεβαίωση της οικονομικής αποδοτικότητας αυτής της επένδυσης βασίστηκε στην ανάλυση των χρηματοοροών της επένδυσης και στον προσδιορισμό των οικονομικών δεικτών **NPV & IRR**. Προκειμένου να εξασφαλισθούν τα απαιτούμενα χρηματικά κεφάλαια για την ταμειακή εξυπηρέτηση του επενδυτικού σχεδίου επιλέχθηκε η χορήγηση δανείου σε ποσοστό 20% επί των ιδίων κεφαλαίων. Η οικονομική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο των **Ίσων Τοκοχρεολυσίων** και έλαβε υπόψη τα παρακάτω στοιχεία:

- Χορήγηση δανείου για κάλυψη: **20%** επί της επένδυσης
- Επιτόκιο αποπληρωμής του δανείου: **$i=3,6\%$** (για επιχειρηματικό δάνειο από 250,001 € μέχρι 1,000,000 € με συγκεκριμένη διάρκεια ^[70])
- Περίοδος αποπληρωμής δανείου: **$n= 10$ y**
- Ετήσιες λειτουργικές δαπάνες της μονάδας Pellet: **340,004 €/y**
- Επιβολή φόρου επί των κερδών από την αρχή λειτουργίας της μονάδας Pellet: **35%**
- Ρυθμός απόσβεσης για το συνολικό ποσό της επένδυσης (κέρδη προ φόρων): **10%**
- Επιτόκιο προεξόφλησης: **8%**,
- Υπολειμματική αξία: **20%**
- Διάρκεια ζωής της επένδυσης: **20 y**.

Όπως έγινε αναφορά και παραπάνω, η αποπληρωμή του δανείου υπολογίστηκε στα 10 έτη σύμφωνα με την μεθοδολογία των ίσων τοκοχρεολυσίων. Το δανειζόμενο κεφάλαιο (**K**) ανέρχεται στο 20% επί της συνολικής επένδυσης, δηλαδή το δανειζόμενο ποσό ισούται με **341,007 €**. Το ποσό του τοκοχρεολυσίου (**X**) για να ισομοιραστεί στα έτη αποπληρωμής (**$n=10$ έτη**) και με ένα επιτόκιο δανεισμού **$i=3,6\%$** προσδιορίστηκε μέσω της σχέσης:

$$X = \frac{(K*i)}{(1-(1+i))^{-n}} \quad [69] \quad \text{Εξίσωση 6.3}$$

με το **X** να υπολογίζεται στα **41,210 €/y** για κάθε έτος μέχρις ότου να γίνει η αποπληρωμή. Σημειώνεται πως το άθροισμα χρεολυσίων και τόκων πρέπει να αποδίδουν την ίδια τιμή του τοκοχρεολυσίου (**X**). Κατά αυτόν τον τρόπο, σε κάθε έτος υπολογίστηκε αρχικά ο τόκος, πολλαπλασιάζοντας το εναπομείναν κεφάλαιο δανεισμού με το επιτόκιο δανεισμού (3,60%) ξεκινώντας από το συνολικό κεφάλαιο δανεισμού, και το χρεολύσιο προέκυψε αφαιρώντας τον τόκο κάθε έτους από την τιμή (**X**) του τοκοχρεολυσίου. Το εναπομείναν κεφάλαιο δανεισμού προσδιοριζόταν για κάθε χρόνο αφαιρώντας το χρεολύσιο του προηγούμενου έτους από το κεφάλαιο δανεισμού του προηγούμενου έτους. Μετά τον προσδιορισμό των ΚΤΡ για κάθε έτος λειτουργίας της μονάδας, πραγματοποιήθηκε η εύρεση των δεικτών NPV, IRR και των ετών αποπληρωμής της επένδυσης (DPB και PB). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης του επενδυτικού σχεδίου.

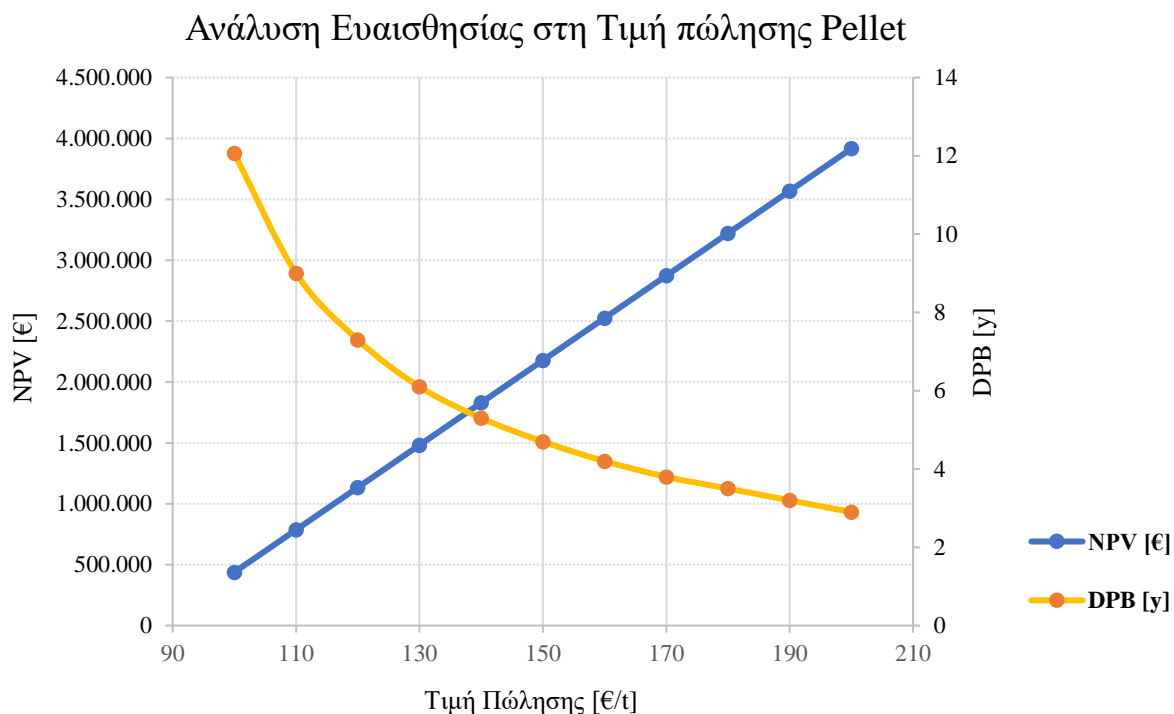
Πίνακας 6.10: Αποτελέσματα Οικονομικής Αξιολόγησης του επενδυτικού σχεδίου της μονάδας Pellet.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ	
Οικονομικοί Δείκτες	Αποτελέσματα
NPV	3,568,553 [€]
IRR	36.7%
PB (Περίοδος Αποπληρωμής της Επένδυσης)	2.7 [y]
DPB (Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής του συνόλου της επένδυσης)	3.2 [y]

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορεί να βγει το συμπέρασμα πως το επενδυτικό σχέδιο είναι αποδεκτό και αυτό διότι:

- Ο δείκτης NPV για επιτόκιο αναγωγής (8%) είναι ίσος με 3,568,553 € δηλαδή μεγαλύτερος του μηδενός, που σημαίνει ότι η επένδυση είναι συμφέρουσα. [69]
- Ο δείκτης IRR της επένδυσης υπολογίστηκε στο 36.7% και εφόσον είναι μεγαλύτερος από την ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων του επενδυτή (εδώ λαμβάνεται υπόψιν ίση με το επιτόκιο προεξόφλησης), το επενδυτικό σχέδιο θεωρείται αποδεκτό.
- Ο δείκτης PB εν συγκρίσει με την ορισθείσα πρότυπη περίοδο ζωής μηχανημάτων υπολογίστηκε μικρότερος των 10 ετών οπότε η επένδυση κρίνεται αποδεκτή προς υλοποίηση.
- Τέλος, ο δείκτης DPB υπολογίστηκε συμπεριλαμβανομένου του επιτοκίου αναγωγής στις ΚΤΡ, δίνοντας μια τιμή λίγο υψηλότερη έναντι του δείκτη PB. Ωστόσο, παραμένει χαμηλότερη από την πρότυπη περίοδο ζωής των μηχανημάτων, πράγμα που καθιστά την επένδυση αποδεκτή.

Με βάση τους παραπάνω οικονομικούς δείκτες προκύπτει ότι η έντοκη περίοδος αποπληρωμής του συνόλου της επένδυσης είναι αρκετά σύντομη και δείχνει υψηλά ποσοστά αποδοτικότητας. Για αυτόν τον λόγο, και δεδομένου ότι άλλα βιομηχανικά καύσιμα έχουν χαμηλότερη τιμή, εξετάστηκε η ελάχιστη δυνατή τιμή πώλησης του προϊόντος κατά την οποία μηδενίζεται το NPV. Αυτή η τιμή είναι ίση με 87.4 €/t, ωστόσο τα έτη αποπληρωμής που προέκυψαν από αυτή είναι αρκετά υψηλά (20 έτη) υποδηλώνοντας ότι η επένδυση είναι αδιάφορη. Έτσι μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας, Σχήμα 6.1, επιλέχθηκε ένα εύρος τιμών μεταξύ 100 και 200 €/t, με σκοπό την επιλογή της τιμής διάθεσης του προϊόντος στην αγορά στα πλαίσια της ανταγωνιστικότητας.



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα Ανάλυσης Ευαισθησίας για την τιμή πώλησης Pellet από την μονάδα στερεών βιοκαυσίμων.

Τέλος, επιλέχθηκε μια μέση τιμή **160 €/t** η οποία ανταποκρίνεται στις παρούσες τιμές της αγοράς [71], είναι περισσότερο ανταγωνιστική και ταυτόχρονα προσφέρει στην επένδυση την προσδοκώμενη αποδοτικότητα. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα των οικονομικών δεικτών για την επιλεγμένη τιμή.

Πίνακας 6.11: Αποτελέσματα Οικονομικής Αξιολόγησης του επενδυτικού σχεδίου της μονάδας Pellet μετά από την αναπροσαρμογή της τιμής.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ	
Οικονομικοί Δείκτες	Αποτελέσματα
NPV	2,525,129 [€]
IRR	28.8%
PB (Περίοδος Αποπληρωμής της Επένδυσης)	3.4 [y]
DPB (Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής του συνόλου της επένδυσης)	4.2 [y]

6.4. Οικονομική Ανάλυση Επενδυτικού Σχεδίου Μονάδας Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC)

Στο Κεφάλαιο 4 έγινε θερμοδυναμική ανάλυση του Οργανικού Κύκλου Rankine ως προς την επιλογή του ιδανικότερου ρευστού λειτουργίας, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για κάλυψη των απαιτήσεων των μονάδων (Πυρηνελαιουργείο, Pellet, ORC) και την πώληση της. Επίσης, μελετήθηκε και η ωφέλιμη θερμική ισχύς της μονάδας ως προς την ετήσια παραγωγή της, με σκοπό την κάλυψη μέρους των αναγκών στην ευρύτερη περιοχή.

Μετά την επιλογή του ρευστού (τολουένιο) και μέσω του προγράμματος ASPEN PLUS™ η εγκατεστημένη καθαρή ηλεκτρική ισχύς ($P_{e,net}$) υπολογίστηκε στα 790.2 kW_e. Η παραπάνω τιμή συνέδραμε στον υπολογισμό του κόστους επένδυσης (μέσω του ειδικού κόστους της μονάδας ORC) όσο και του σταθερού κόστους. Επιπλέον, γνωρίζοντας τις συνολικές ώρες λειτουργίας και έχοντας πετύχει και μια εξοικονόμηση σε καύσιμο (πυρηνόξυλο) της τάξης του 62% από την εγκατάσταση του νέου ξηραντήρα, προσδιορίστηκε η απαιτούμενη ποσότητα σε καύσιμο με το αντίστοιχο κόστος. Η οικονομική ανάλυση της επένδυσης έγινε με σκοπό την εύρεση των οικονομικών δεικτών NPV και IRR και των ετών απόσβεσης PB και DPB, δεδομένης της χορήγησης δανείου μέσω της μεθόδου των ίσων τοκοχρεολυσίων. Παρακάτω θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα κόστη εγκατάστασης, τα μεταβλητά και σταθερά έξοδα καθώς και τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

- **Κόστος Αρχικής Επένδυσης Μονάδας Οργανικού Κύκλου (ORC)**

Στην παρούσα μελέτη, ο προσδιορισμός του αρχικού κόστους επένδυσης της μονάδας δεν πραγματοποιήθηκε αναλυτικά εις βάθος με διαστασιολόγηση των επιμέρους εξαρτημάτων του ORC, αλλά έγινε με βάση τον εμπειρικό τύπο που παρουσιάστηκε στην υποενοότητα 4.4. Έτσι, το ειδικό κόστος εγκατάστασης (*SIC*) της Μονάδας Οργανικού Κύκλου υπολογίστηκε στα 2,401.6 €/kW_e και για τον προσδιορισμό του συνολικού κόστους επένδυσης συμπεριλήφθηκε το κόστος του κλειστού κυκλώματος θερμικού ελαίου για λειτουργία 8,000 h/y, το οποίο ανέρχεται στα 237,063 € [64].

Πίνακας 6.12: Παρουσίαση Κόστους Εγκατάστασης της μονάδας ORC.

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ORC		
Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς	[kW _e]	790.2
Ειδικό Κόστος Εγκατάστασης (<i>SIC</i>)	[€/kW _e]	2,401.6
Κόστος Εγκατάστασης Κυκλώματος Θερμού Ελαίου	[€]	237,063
ΣΥΝΟΛΙΚΟ Κόστος Εγκατάστασης	[€]	2,134,818

- **Σταθερά και Μεταβλητά Κόστη της Μονάδας Οργανικού Κύκλου (ORC)**

Τα σταθερά κόστη της επένδυσης αναφέρονται στα κόστη λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας ORC. Στη συγκεκριμένη μελέτη, ο υπολογισμός του εν λόγω κόστους προέκυψε με βάση τη θεώρηση του 2% του κόστους επένδυσης [72] και ισούται με 42,696 €. Τα μεταβλητά κόστη περιλαμβάνουν το κόστος προμήθειας της βιομάζας το οποίο υπολογίζεται από την τιμή της και από την ποσότητά της μετά την εξοικονόμηση. Έπειτα από την ένταξη του νέου ξηραντήρα στο τμήμα της μονάδας του πυρηνελαιουργείου, η συνολική απαίτηση σε καύσιμο ανέρχεται σε 2,444 t/y ενώ η αντίστοιχη τιμή προμήθειας της βιομάζας είναι 48.4 €/t. Επομένως, το κόστος προμήθειας βιομάζας και κατά συνέπεια το μεταβλητό κόστος της Μονάδας Οργανικού Κύκλου ισούται με 118,258 €. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι παραπάνω υπολογισμοί.

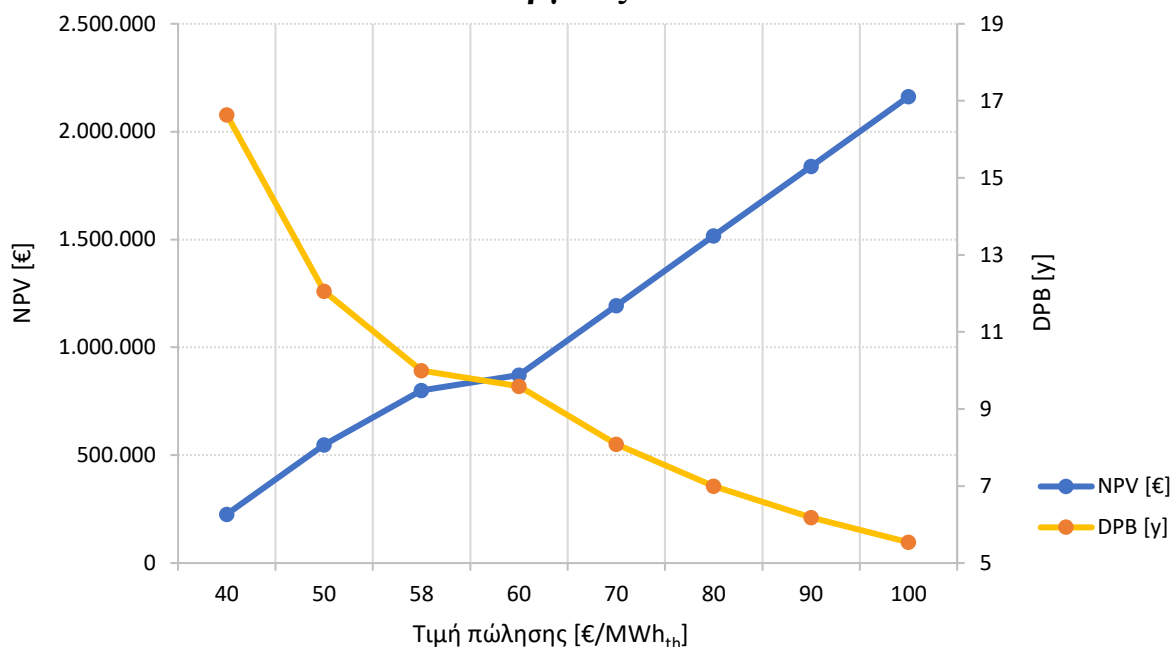
Πίνακας 6.13: Παρουσίαση Σταθερών και Μεταβλητών Κοστών Μονάδας ORC.

ΣΤΑΘΕΡΟ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ORC		
ΣΤΑΘΕΡΑ ΚΟΣΤΗ		
Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (2% του κόστους εγκατάστασης) ^[64]	[€/y]	42,696 €
ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΚΟΣΤΗ		
Τιμή Αγοράς Καυσίμου (Πυρηνόξυλο)	[€/t]	48.4
Αναγκαία Ποσότητα Βιομάζας	[t/y]	2,444
Κόστος Αγοράς Βιομάζας	[€/y]	118,259

- **Ετήσια Έσοδα Μονάδας Οργανικού Κύκλου (ORC)**

Τα ετήσια έσοδα της μονάδας ORC αποτελούνται τόσο από τα έσοδα που αφορούν στη διάθεση της εναπομένουσας ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, όσο και από τα έσοδα που αφορούν στη διάθεση της ωφέλιμης θερμικής ενέργειας για αντίστοιχες ανάγκες στην ευρύτερη περιοχή. Το ποσό της εναπομένουσας ηλεκτρικής ενέργειας αντιστοιχεί σε 3,546 MWh_e και η τιμή πώλησής του, για εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη του 1 MW_e, ανέρχεται στα 176 €/MWh_e [65]. Ομοίως, το ποσό της προς διάθεση ωφέλιμης θερμικής ενέργειας είναι ίσο με 5,056 MWh_{th}, χωρίς ωστόσο, να υπάρχει κάποια συγκεκριμένη επιβαλλόμενη τιμή για την πώλησή του. Για αυτόν τον λόγο, έγινε ανάλυση ευαισθησίας αναζητώντας ποια θα ήταν η ελάχιστη τιμή σε περίπτωση που η μονάδα διανέμει και πουλά την ελάχιστη δυνατή παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (1,247 MWh_e/season) για την περίοδο μέγιστης ζήτησης φορτίου ~5.8 μήνες. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης ανάλυσης παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

Ανάλυση Ευαισθησίας στη Τιμή πώλησης της Θερμικής Ενέργειας



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα Ανάλυσης Ευαισθησίας για Εύρεση τιμής πώλησης Θερμικής Ενέργειας από την μονάδα ORC.

Από το παραπάνω σχήμα συμπεραίνουμε πως η ζητούμενη τιμή της θερμικής ενέργειας με κριτήριο την αποδοτικότητα της επένδυσης (NPV>0) αλλά και την σχετικά σύντομη περίοδο αποπληρωμής της (όπως την έχουμε ορίσει στα 10 έτη) ανέρχεται στα 57.8 €/MWh_{th}. Επομένως, προκύπτει ο πίνακας εσόδων για την μονάδα ORC.

Πίνακας 6.14: Ετήσια Έσοδα μονάδας ORC από την Πώληση Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας.

ΈΣΟΔΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ORC		
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		
Τιμή Πώλησης	[€/MWh _e]	176
Εναπομένουσα Ηλεκτρική Ενέργεια προς Διάθεση	[MWh _e]	3,546
Σύνολο	[€/y]	624,096
ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		
Τιμή Πώλησης	[€/MWh _{th} .]	57.8
Θερμική Ενέργεια προς Διάθεση	[MWh _{th} .]	5,056
Σύνολο	[€/y]	292,167
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ		916,263

Έπειτα από αξιολόγηση της επένδυσης με την μέθοδο οικονομικής ανάλυσης που παρουσιάστηκε στην υπό ενότητα 5.1 παρατίθεται ο συνολικός πίνακας υπολογισμού των οικονομικών δεικτών της Μονάδας Οργανικού Κύκλου.

Πίνακας 6.15: Αποτελέσματα Οικονομικής Αξιολόγησης του επενδυτικού σχεδίου της μονάδας Pellet μετά από την αναπροσαρμογή της τιμής.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ	
Οικονομικοί Δείκτες	Αποτελέσματα
NPV	3,382,235 [€]
IRR	30.1 %
PB (Περίοδος Αποπληρωμής της Επένδυσης)	3.4 [y]
DPB (Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής του συνόλου της επένδυσης)	4.0 [y]

6.5. Οικονομική Ανάλυση Επενδυτικού Σχεδίου Συνδυαστικής Λειτουργίας Μονάδων (Πυρηνελαιουργείο – Μονάδα Στερεών Βιοκαυσίμων - ORC)

Στις υπό ενότητες 5.2, 5.3 και 5.4 παρουσιάστηκε ένας αναλυτικός τρόπος οικονομικής αξιολόγησης του πυρηνελαιουργείου, της μονάδας στερεών βιοκαυσίμων και του οργανικού κύκλου Rankine, όταν εκείνες λειτουργούν μεμονωμένα σαν τρεις ξεχωριστές επενδύσεις που πρόκειται να συνεργαστούν. Σε αυτή την ενότητα θα μελετηθεί από οικονομική «σκοπιά» η συνδυαστική λειτουργία των τριών μονάδων και θα γίνει αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας της επένδυσης. Αρχικά, αναλύεται το αρχικό κόστος επένδυσης στο οποίο υπεισέρχονται τα κόστη εγκατάστασης της κάθε νέας μονάδας/εξοπλισμού και μελετώνται τα έξοδα που προέρχονται από την συνολική παραγωγική διαδικασία, λειτουργία και συντήρηση των παραπάνω μονάδων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα συνολικά κόστη του επενδυτικού σχεδίου.

Πίνακας 6.16: Παρουσίαση των Συνολικών Κοστών από τη Συνδυαστική Λειτουργία των Μονάδων.

ΚΟΣΤΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ		
ΚΟΣΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ		
Μηχανολογικός Εξοπλισμός μονάδας Pellet	[€]	583,740
Η/Μ Εγκατάσταση Μονάδας και Αγοράς Οικοπέδου Pellet	[€]	467,646
Εξοπλισμός Διαχείρισης Υπολειμματικής Βιομάζας Pellet (Ελκυστήρες, Θρυμματιστές, Ανατρεπόμενες Πλατφόρμες)	[€]	114,839
Αποθήκες Μονάδας Pellet	[€]	457,618
Έκτακτα Έξοδα Μονάδας Pellet (5% επί του συνολικού κόστους επένδυσης)	[€]	81,192
Κόστος Εγκατάστασης Μονάδας ORC	[€]	1,897,755
Κόστος Εγκατάστασης Κυκλώματος Θερμού Ελαίου Μονάδας ORC	[€]	237,063
Κόστος Εγκατάστασης Νέου Ξηραντήρα	[€]	1,197,000
ΣΥΝΟΛΟ	[€]	5,036,853
ΣΤΑΘΕΡΑ ΚΟΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ		
Μισθοδοσία Προσωπικού Μονάδας Pellet	[€/y]	30,755
Μισθοδοσία Προσωπικού Επεξεργασίας Βιομάζας Pellet	[€/y]	25,073
Συντήρηση Λειτουργίας Μονάδας Pellet	[€/y]	10,234
Συντήρηση Ελκυστήρων- Μονάδας Pellet	[€/y]	4,032
Συντήρηση Θρυμματιστών- Μονάδας Pellet	[€/y]	10,548
Ασφάλεια και Φόροι (2% επί του συνολικού κόστους επένδυσης της Μονάδας)	[€/y]	100,737
Πετρέλαιο Κίνησης Μονάδας Pellet (Παλετοφόρα) (5% επί του συνολικού κόστους επένδυσης)	[€/y]	85,252
Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης Μονάδας ORC (2% του κόστους εγκατάστασης)	[€/y]	42,696
ΣΥΝΟΛΟ	[€/y]	309,328
ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΚΟΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ		
Αγορά Πυρηνόξυλου Μονάδας Pellet (Ξήρανση Κλαδεμάτων)	[€/y]	12,146
Πετρέλαιο Κίνησης Επεξεργασίας/Μεταφοράς Βιομάζας	[€/y]	69,444
Κόστος Καυσίμου Μονάδας ORC	[€/y]	118,265
ΣΥΝΟΛΟ	[€/y]	199,855

Στη συνέχεια, προσδιορίζονται τα έσοδα που προκύπτουν από τη διάθεση τόσο της ηλεκτρικής και της θερμικής ενέργειας της μονάδας ORC όσο και των παραγόμενων προϊόντων της μονάδας στερεών βιοκαυσίμων.

Πίνακας 6.17: Παρουσίαση Ετήσιων Εσόδων της Συνδυαστικής Μονάδας.

ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ			
Περιγραφή	Παραγωγή [t/y], [MWh/y]	Τιμή Διάθεσης [€/t], [€/MWh]	Συνολικά Έσοδα [€/y]
Pellet [t]	5,450	160	872,000
Διαχείρισης Υπολειμματικής Βιομάζας [tDM]	5,450	8	43,626
Ηλεκτρική Ενέργεια [Mwh _e]	3,546	176	624,096
Θερμική Ενέργεια [MWh _{th} .]	5,056	57.8	292,237
ΣΥΝΟΛΟ		[€/y]	1,831,959

Συνοψίζοντας και βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των παραπάνω πινάκων προέκυψε ο υπολογισμός των οικονομικών δεικτών για το σύνολο της μονάδας. Σύμφωνα με αυτά, συμπεραίνουμε πως η επένδυση συνδυάζει την υψηλή απόδοση και την κερδοφορία με τη σύντομη περίοδο αποπληρωμής της, αποδεικνύοντας πως το επενδυτικό σχέδιο είναι αρκετά δελεαστικό και ενδιαφέρον για το επιχειρηματικό κοινό.

Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα Οικονομικής Αξιολόγησης του επενδυτικού σχεδίου της Συνδυαστικής Μονάδας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	
Οικονομικοί Δείκτες	Αποτελέσματα
NPV	5,048,929 [€]
IRR	22.4 %
PB (Περίοδος Αποπληρωμής της Επένδυσης)	4.4 [y]
DPB (Εντοκη Περίοδος Αποπληρωμής του συνόλου της επένδυσης)	5.6 [y]

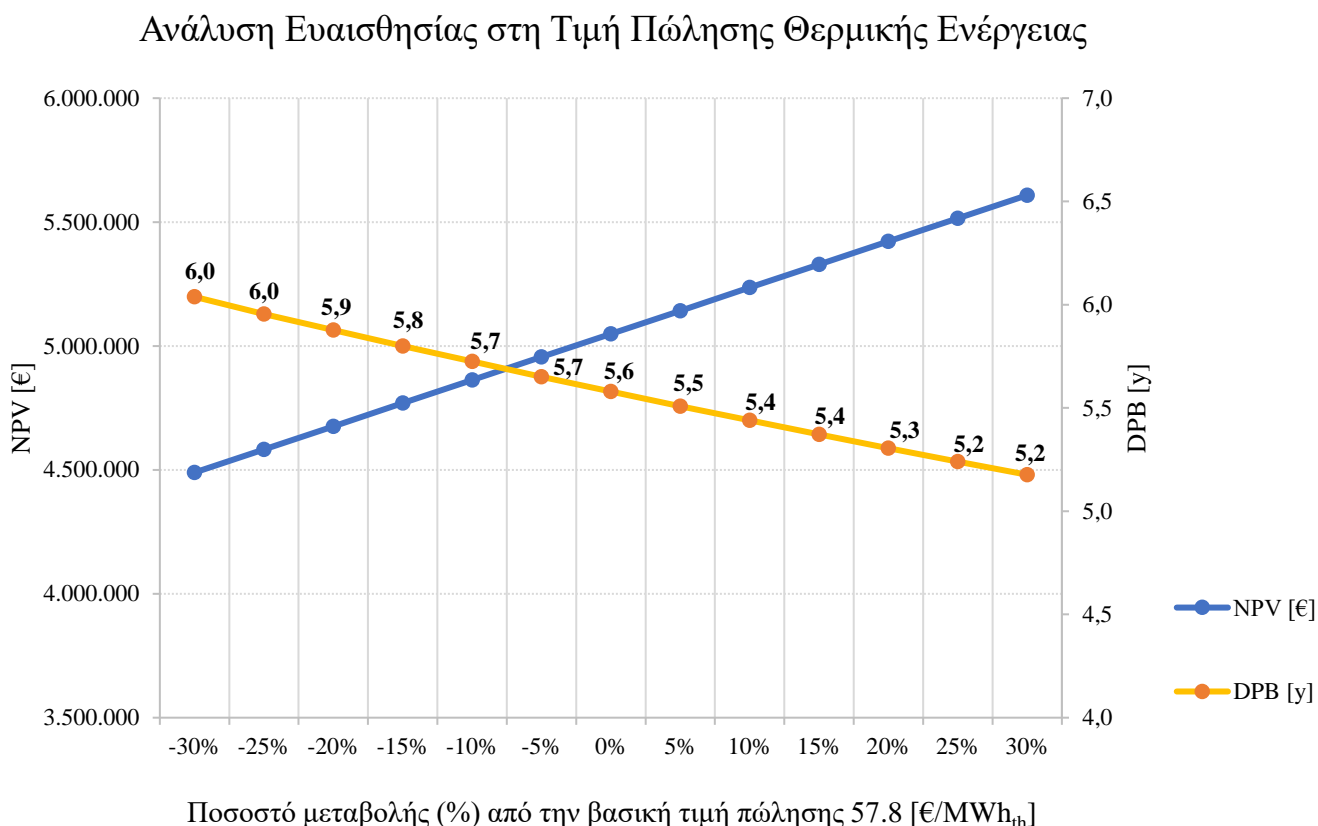
6.6. Ανάλυση Ευαισθησίας στη Συνδυαστική Λειτουργία των Μονάδων (Πυρηνελαιουργείο – Μονάδα Στερεών Βιοκαυσίμων - ORC)

Για να είναι πλήρης η αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου, εκτός από την εκτίμηση της αποδοτικότητας μέσω των οικονομικών δεικτών NPV, IRR και ετών αποπληρωμής, είναι καλό να ελέγχεται και η αξιοπιστία αυτής της αποδοτικότητας. Η αδυναμία πρόβλεψης των μελλοντικών συνθηκών που θα επικρατούν στην αγορά, όπως είναι η διαθεσιμότητα, η ζήτηση και η τιμή του παραγόμενου προϊόντος, επηρεάζουν άμεσα την αποδοτικότητα της μονάδας και δημιουργούν αβεβαιότητα στην επένδυση [73]. Για τη διαχείριση της αβεβαιότητας του συγκεκριμένου επενδυτικού σχεδίου εφαρμόστηκε η ανάλυση ευαισθησίας. Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι η εξέταση των πιο κρίσιμων μεταβλητών στην απόδοση της επένδυσης και ο προσδιορισμός της επίδρασης της μεταβολής τους σε σημαντικά στοιχεία της επένδυσης (NPV, IRR και έτη αποπληρωμής) [74], [73]

Αρχικά, θεωρήθηκε σαν βασικό σενάριο η ανάλυση των οικονομικών δεδομένων της υποενότητας 5.5, η οποία εξετάζεται για το σύνολο της μονάδας, και ορίστηκαν οι πλέον κρίσιμες μεταβλητές για τις οποίες πραγματοποιήθηκε η ανάλυση ευαισθησίας. Αυτές οι μεταβλητές αφορούν στην τιμή διάθεσης της θερμικής ενέργειας, στην τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας, στην τιμή διάθεσης του προϊόντος Pellet, στο ειδικό κόστος της Μονάδας Οργανικού Κύκλου και στο ειδικό κόστος της βιομάζας. Μεταβάλλοντας μεμονωμένα την τιμή αναφοράς κάθε μεταβλητής κατά ποσοστό $\pm 30\%$, διατηρώντας τις τιμές των υπολοίπων αμετάβλητες, εξήχθησαν εκ νέου αποτελέσματα για τους οικονομικούς δείκτες, σχεδιάζοντας έτσι την καμπύλη μεταβολής της κάθε μεταβλητής. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για κάθε κρίσιμο παράγοντα, προέκυψε το τελικό αραχνοειδές διάγραμμα, το οποίο παρουσιάζει την επίπτωση της κάθε μιας μεταβλητής στο αποτέλεσμα της επένδυσης [74]

- **Τιμή διάθεσης της θερμικής ενέργειας**

Η βασική τιμή, στην οποία πωλείται η θερμική ενέργεια στην ευρύτερη περιοχή, ανέρχεται στα 57.8 €/MWh_{th} και κατά συνέπεια η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ των τιμών 40.5 €/MWh_{th} και 75.1 €/MWh_{th}. Τα αποτελέσματα της μεθόδου γίνονται φανερά στο παρακάτω σχήμα.

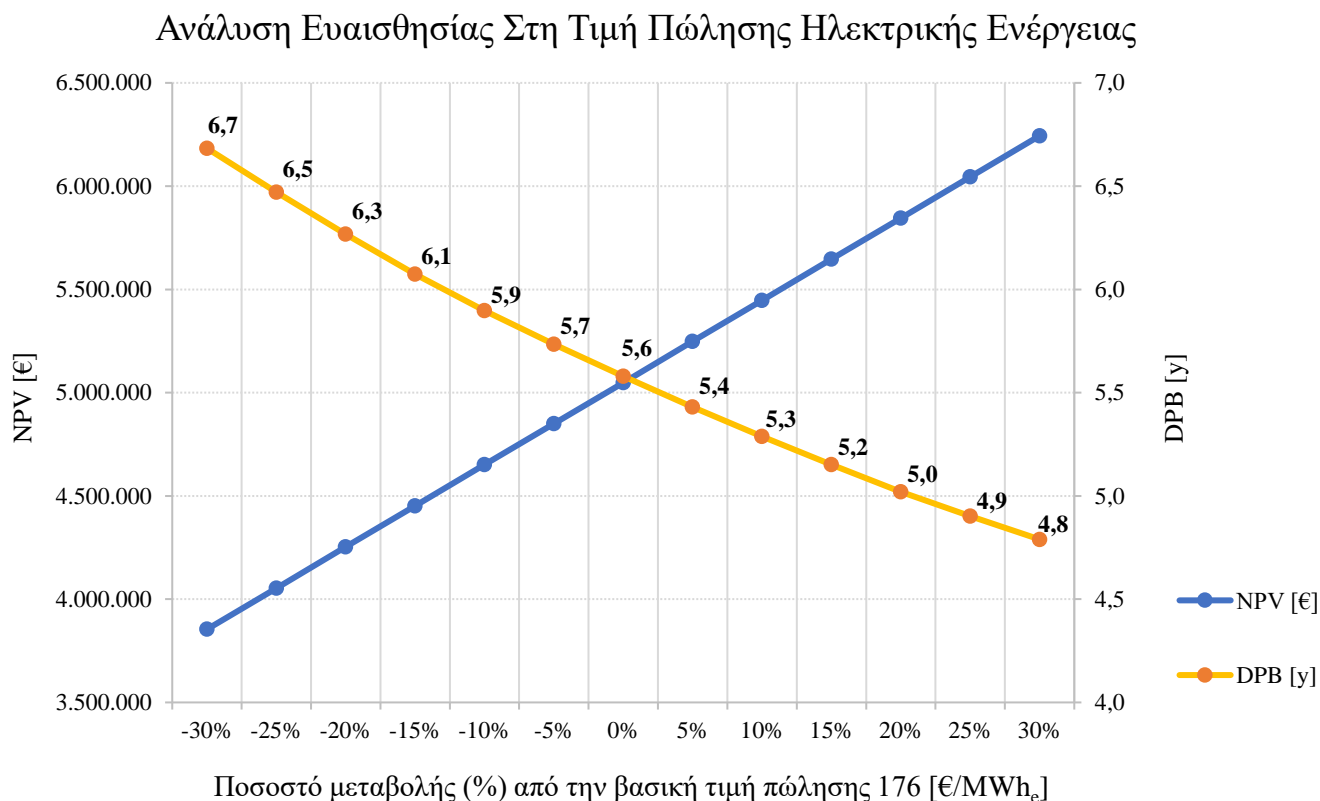


Σχήμα 6.3: Διάγραμμα Ανάλυσης Ευαισθησίας για την Τιμή Διάθεσης Θερμικής Ενέργειας από την Μονάδα.

Από το Σχήμα 6.3 γίνεται αντιληπτό πως η αυξανόμενη μεταβολή στην τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας έχει θετικό αντίκτυπο στην κερδοφορία της επένδυσης και κατά συνέπεια ελαττώνει την περίοδο αποπληρωμής. Αυτό είναι λογικό, εάν σκεφτεί κανείς πως αυτή η μεταβολή στην τιμή επηρεάζει μόνο την αύξηση των εσόδων, οπότε επιδρά θετικά στο οικονομικό ισοζύγιο. Η μεταβολή στον οικονομικό δείκτη NPV, για εύρος μεταξύ της ελάχιστης τιμής 40.5 €/MWh_{th} και της μέγιστης τιμής 75.1 €/MWh_{th} ανέρχεται σε ποσοστό 29.4% και η περίοδος αποπληρωμής μειώθηκε κατά 0.8 χρόνο.

- **Τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας**

Η τιμή αναφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται στα 176 €/MWh_e και κατά συνέπεια η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ των τιμών 123 €/MWh_e και 229 €/MWh_e. Από την μέθοδο εξήχθησαν οι διακυμάνσεις του παρακάτω σχήματος.



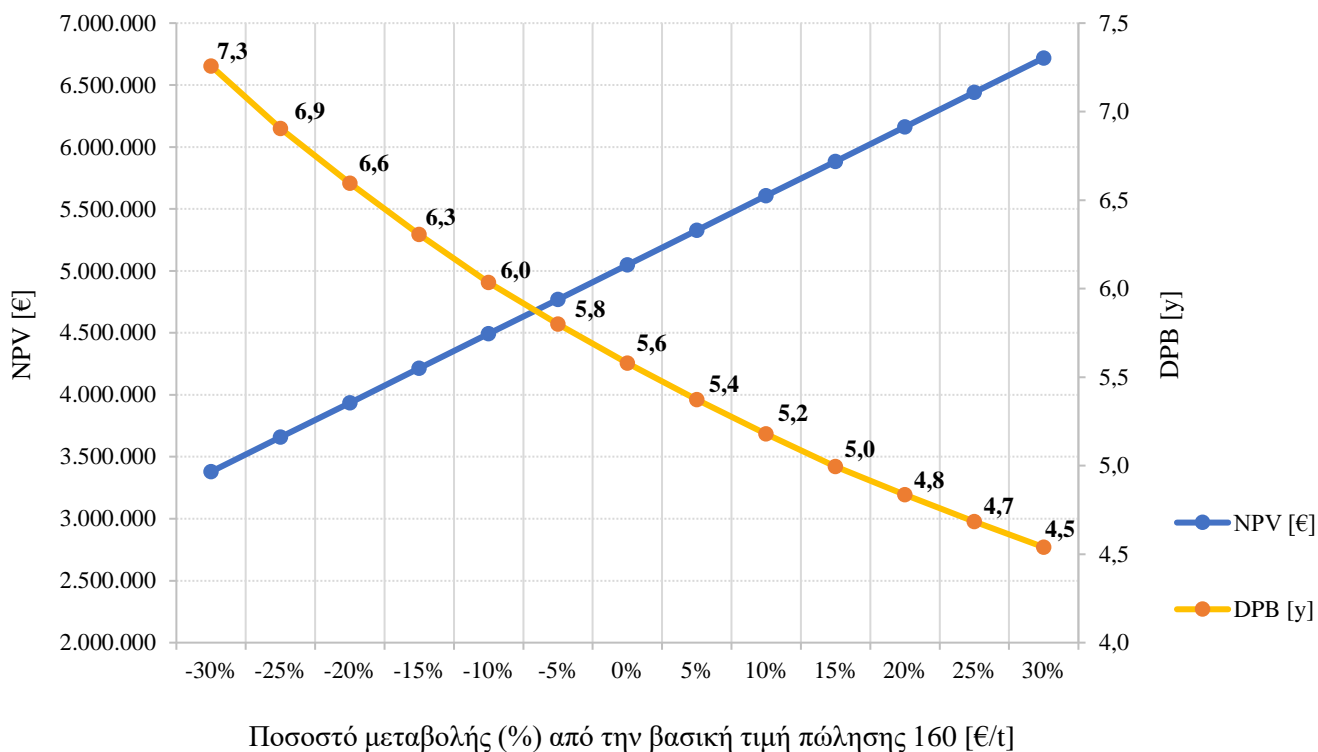
Σχήμα 6.4: Διάγραμμα Ανάλυσης Ευαισθησίας για την Τιμή Διάθεσης Ηλεκτρικής Ενέργειας από την Μονάδα.

Στο Σχήμα 6.4 μπορεί κανείς να διακρίνει και σε αυτήν την περίπτωση την μείωση στα έτη αποπληρωμής του επενδυτικού σχεδίου (1.9 έτη) και την αύξηση του οικονομικού δείκτη NPV κατά ποσοστό 62%. Συγκριτικά με την μεταβλητή που εξετάστηκε προηγουμένως, προκύπτει πως μία διακύμανση στην τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας παίζει σημαντικότερο ρόλο στην αποδοτικότητα της επένδυσης και επηρεάζει περισσότερο την απόφαση του επενδυτή.

- **Τιμή διάθεσης του Pellet**

Πρόκειται για έναν από τους πιο κρίσιμους παράγοντες, που μελετήθηκαν με την ανάλυση ευαισθησίας, καθώς εμφάνισε από τις μεγαλύτερες μεταβολές στα οικονομικά μεγέθη σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταβλητές. Η βασική τιμή του ισούται με 160 €/t και το εύρος στο οποίο αναλύθηκαν αυτές οι μεταβολές είναι μεταξύ 112 €/t και 208 €/t.

Ανάλυση Ευαισθησίας Στη Τιμή Πώλησης Pellet



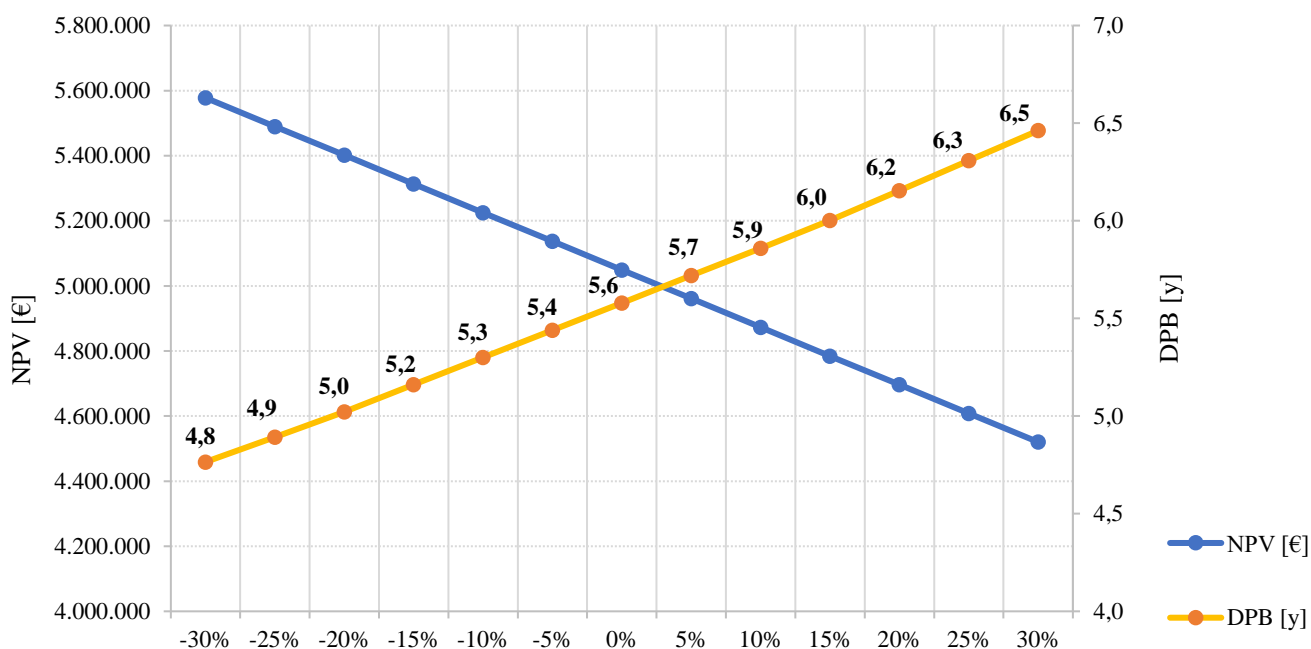
Σχήμα 6.5: Διάγραμμα Ανάλυσης Ευαισθησίας για την Τιμή Διάθεσης Pellet από την Μονάδα

Από το παραπάνω Σχήμα 6.5 συμπεραίνουμε πως η μεταβολή στην τιμή Pellet από -30% σε +30% σε σχέση με την τιμή αναφοράς επέφερε μία άνοδο στον δείκτη NPV της τάξης του 98.8% και μία μείωση της έντοκης περιόδου αποπληρωμής κατά 2.8 έτη.

- **Ειδικό Κόστος εγκατάστασης (SIC) της Μονάδας ORC**

Ο προσδιορισμός του ειδικού κόστους εγκατάστασης της Μονάδας Οργανικού Κύκλου πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφικά με γνώμονα παρόμοιες μελέτες και βάσει εμπειρικών τύπων, προκύπτοντας η τιμή των 2,401.6 €/kW_e. Για την εξασφάλιση μίας καλύτερης προσέγγισης σε αυτή την τιμή, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας σε μεγαλύτερο διάστημα τιμών ειδικού κόστους (+/-30%), που αντιστοιχεί στο εύρος (1,681 – 3,122) €/kW_e. Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης διακρίνονται στο παρακάτω σχήμα.

Ανάλυση Ευαισθησίας Ειδικού Κόστους Εγκατάστασης ORC



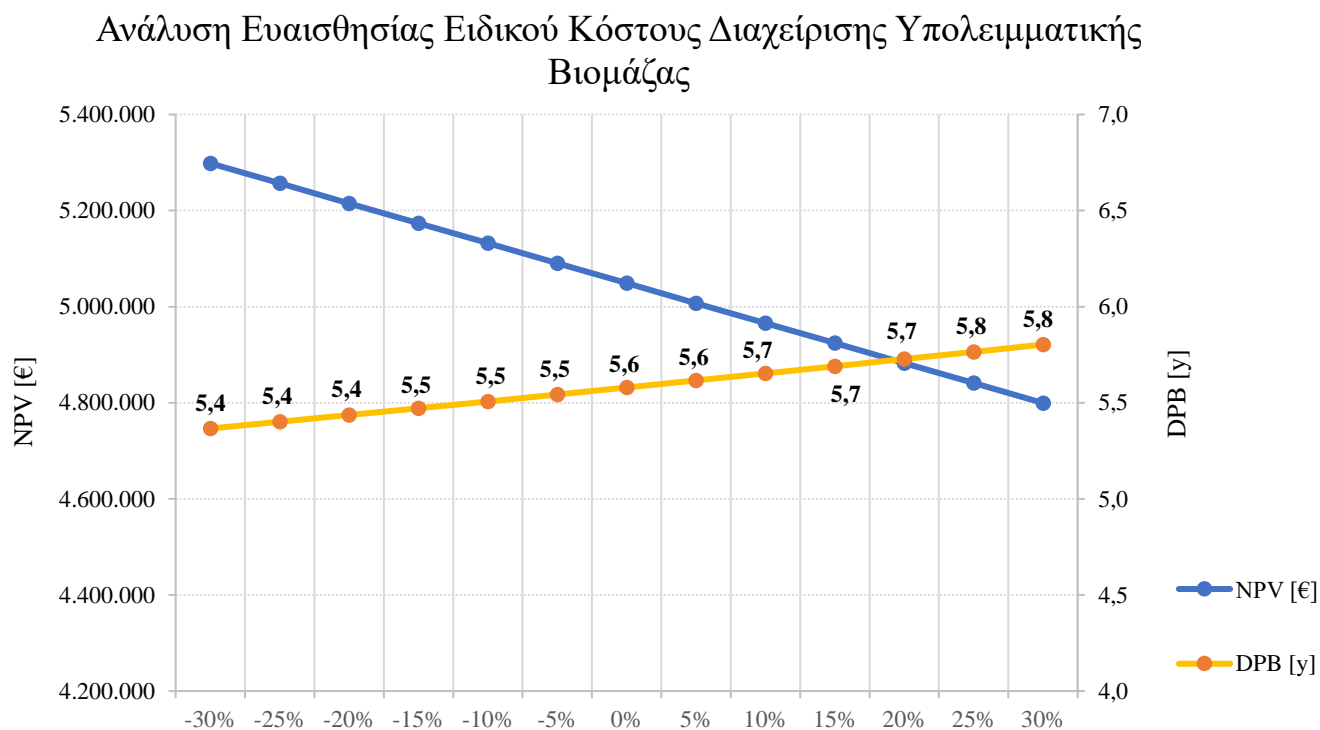
Ποσοστό μεταβολής (%) από την βασική τιμή ειδικού κόστους εγκαταστασης ORC 2,402 [€/kW_e]

Σχήμα 6.6: Διάγραμμα Ανάλυσης Ευαισθησίας για το Ειδικό Κόστος Εγκατάστασης ORC στη Μονάδα.

Από το Σχήμα 6.6 γίνεται αντιληπτό πως η αυξανόμενη μεταβολή στην τιμή του ειδικού κόστους εγκατάστασης της μονάδας ORC δεν έχει θετική επίδραση στην οικονομική πορεία του επενδυτικού σχεδίου, όπως συνέβη στις τρεις μεταβλητές που μελετήθηκαν προηγουμένως, αλλά έχει αρνητικό αντίκτυπο στην κερδοφορία της επένδυσης κατά ποσοστό 19% και αυξάνει σημαντικά την περίοδο αποπληρωμής κατά 1.7 έτη.

- **Ειδικό Κόστος Διαχείρισης Υπολειμματικής Βιομάζας (Pellet)**

Η τιμή αναφοράς του ειδικού κόστους βιομάζας ισούται με 41.1 €/tDM και υπεισέρχεται σε πολλά από τα κόστη της μονάδας στερεών βιοκαυσίμων. Με σκοπό να προσδιοριστεί το μέγεθος της επιρροής του στην συνδυαστική λειτουργία και των τριών μονάδων της επένδυσης, μελετήθηκε η ευαισθησία αυτής της μεταβλητής σε εύρος τιμών κόστους μεταξύ 29 €/tDM και 53 €/tDM. Στο παρακάτω σχήμα διακρίνεται ο τρόπος μεταβολής των εξεταζόμενων οικονομικών δεικτών γύρω από την βασική τιμή του ειδικού κόστους βιομάζας.



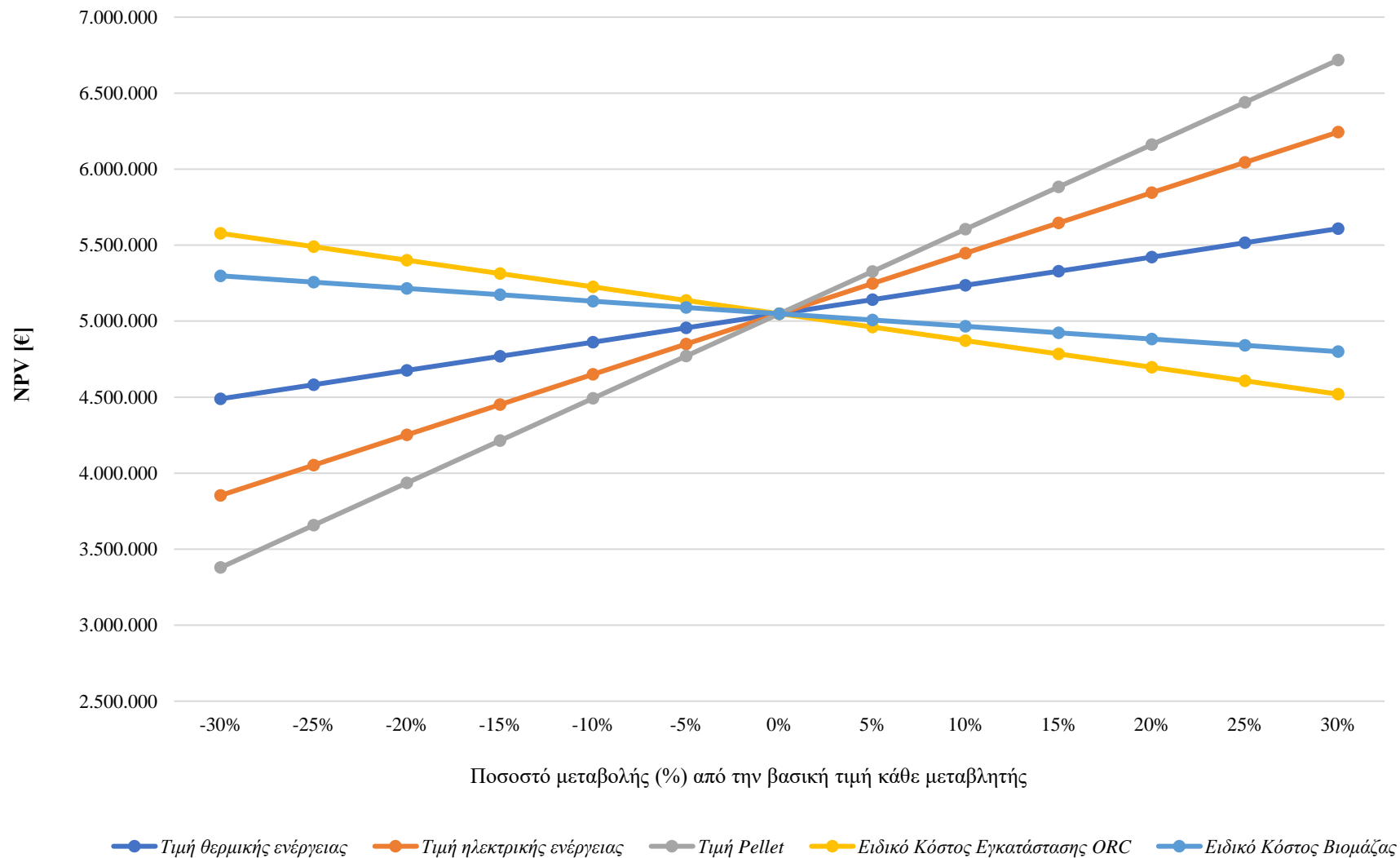
Ποσοστό μεταβολής (%) από την βασική τιμή ειδικού κόστους βιομάζας 41.1 [€/tDM]

Σχήμα 6.7: Διάγραμμα Ανάλυσης Ευαισθησίας για το Ειδικό Κόστος Βιομάζας (Pellet) στη Μονάδα

Στο Σχήμα 6.7 διακρίνεται η αύξηση στα έτη αποπληρωμής του επενδυτικού σχεδίου κατά μισό (0.4) χρόνο και η μείωση του οικονομικού δείκτη NPV κατά ποσοστό 9.4%. Συγκριτικά με τις μεταβλητές που εξετάστηκαν προηγουμένως, προκύπτει πως μία μεταβολή στον παράγοντα του ειδικού κόστους βιομάζας έχει την πιο μικρή επίδραση στην αποδοτικότητα της επένδυσης και κατά συνέπεια πρόκειται για μία μεταβλητή που δημιουργεί ένα αρκετό «βέβαιο περιβάλλον» για την κερδοφορία του επενδυτικού σχεδίου.

Μελετώντας συνολικά σε ένα αραχνοειδές διάγραμμα και τις 5 μεταβλητές που παρουσιάστηκαν παρακάτω, καθίσταται εφικτή η σύγκριση μεταξύ των καμπυλών και η εξαγωγή κάποιων σημαντικών συμπερασμάτων, ως προς την επίπτωσή τους στην επένδυση.

ΤΕΛΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ



Σχήμα 6.8: Συνολική Απεικόνιση των Αναλύσεων Ευαισθησίας όλων των Μεταβλητών.

Από την ανάλυση ευαισθησίας για τις πέντε μεταβλητές που εξετάστηκαν στην ενότητα 5.6., προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Δεδομένου ότι η καμπύλη με την μεγαλύτερη κλίση συνεπάγεται πως η συγκεκριμένη μεταβλητή έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στην αποδοτικότητα της επένδυσης, είναι φανερό πως η τιμή πώλησης του προϊόντος Pellet έχει την πιο καταλυτική επίδραση στην κερδοφορία του επενδυτικού σχεδίου. Μετά ακολουθούν, κατά αντίστοιχη σειρά, η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, η τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας, το ειδικό κόστος εγκατάστασης ORC, και τέλος το ειδικό κόστος βιομάζας.
- Οι τιμές πώλησης των παραγόμενων προϊόντων της συνολικής μονάδας διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο στην αποδοτικότητα του επενδυτικού σχεδίου σε σχέση τα ειδικά κόστη που μελετήθηκαν.
- Η διακύμανση που μπορεί να υπάρξει μελλοντικά στα ειδικά κόστη επηρεάζουν σε μικρότερο βαθμό την επένδυση με αποτέλεσμα να δημιουργούν ένα πιο «βέβαιο περιβάλλον» για αυτήν.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

7.1. Συμπεράσματα Μελέτης

Κατά τον περασμένο αιώνα, η ασυδοσία του ανθρώπου ως προς την χρήση της ενέργειας και η αστείρευτη επιθυμία του να καθυποτάξει τα πάντα σύμφωνα με την βούλησή του, τον έφερε αντιμέτωπο με τους νόμους της φύσης και του περιβάλλοντος. Έκτοτε δημιουργήθηκε η ανάγκη μείωσης της αλόγιστης κατανάλωσης συμβατικών μορφών καυσίμων και η στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Προς αυτή την κατεύθυνση προσανατολίζεται και η χρήση βιομάζας ως βασική πηγή ενέργειας για παραγωγή έργου και έκλυση θερμότητας.

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας ήταν η προώθηση τεχνολογιών, οι οποίες αξιοποιούν τη βιομάζα ως βασικό καύσιμο. Σε πρώτο στάδιο μελετήθηκε το δυναμικό υπολειμματικής βιομάζας από κλαδέματα ελιάς με σκοπό την μεταποίησή τους από «παραπροϊόν» μη αξιοποιήσιμο, σε καύσιμο υψηλής προστιθέμενης αξίας (pellet). Η επιλογή της ακτίνας αξιοποίησης του αναγκαίου δυναμικού υπολειμματικής βιομάζας εξετάστηκε με ελάχιστη απόσταση τα 5 km και μέγιστη τα 25 km και προήλθε από τη διαδικτυακή πλατφόρμα MyGIS, η οποία δημιουργήθηκε από το Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ) του Εθνικού Κέντρου Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου AGROinLOG, λαμβάνοντας υπόψιν την αύξηση του κόστους αναλογικά με την ακτίνα. Ως απόρροια της παραπάνω μελέτης προέκυψε η τελική επιλογή της ακτίνας των 10 km, με αντίστοιχο δυναμικό βιομάζας 5,450 tDM. Οι εν λόγω υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον διάφορων διαδικτυακών πλατφορμών, και εν συγκρίσει με τα στατιστικά στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ κρίθηκε το πρόγραμμα MyGIS ως το πλέον αξιόπιστο.

Το σημείο αναφοράς της επιλογής της ακτίνας αξιοποίησης υπολειμματικής βιομάζας αποτέλεσε μία υφιστάμενη μονάδα παραγωγής πυρηνέλαιου, ονόματι ΕΛΣΑΠ Α.Ε., που βρίσκεται στον Νομό Αργολίδος. Πρωταρχικός στόχος ήταν η προσέγγιση της υφιστάμενης κατάστασης του πυρηνελαιουργείου ως προς τις απαιτήσεις σε καύσιμο και ηλεκτρική ενέργεια κατά την παραγωγική διαδικασία, οι οποίες ανέρχονται σε 7,200 t/season και 1,287,744 kWh/season αντίστοιχα, και η ενεργειακή αναβάθμισή της. Για την επίτευξη του στόχου επιλέχθηκε να αναβαθμιστεί το πιο ενεργοβόρο τμήμα της μονάδας, που είναι το Τμήμα Ξήρανσης, μέσα από την εγκατάσταση ενός νέου ενεργειακά αποδοτικότερου ξηραντήρα (Ισπανικής εταιρείας Recalor). Αυτή η αναβάθμιση είχε ως αποτέλεσμα μία εξοικονόμηση καυσίμου της τάξεως των 1,913 t/season πυρηνόξυλου (27%) και μία εξοικονόμηση σε ηλεκτρική κατανάλωση της τάξεως των 369,908 kWh/season (29%). Παράλληλα, εκτιμήθηκε μία αύξηση της ποσότητας τού προς διάθεση πυρηνόξυλου σε ποσοστό 83.4% σε σχέση με εκείνο που διατίθεται στην αγορά στην υφιστάμενη κατάσταση.

Στη συνέχεια, έχοντας ορίσει σαν κέντρο μελέτης το πυρηνελαιουργείο της ΕΛΣΑΠ Α.Ε. και έχοντας μελετήσει το δυναμικό της υπολειμματικής βιομάζας για ακτίνα 10 km γύρω από αυτό, εξετάστηκε η εγκατάσταση μονάδας παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων (pellet) αξιοποιώντας το

αναβαθμισμένο τμήμα ξήρανσης του πυρηνελαιουργείου. Αυτή η προσθήκη έχει αντίκτυπο τόσο στον τρόπο λειτουργίας της αρχικής μονάδας όσο και στα ποσοστά της τελικής εξοικονόμησης. Πιο συγκεκριμένα, η μονάδα Pellet μέσω της αξιοποίησης μέρους τού προς πώληση παραγόμενου πυρηνόξυλου (251 t), επιτυγχάνει την ξήρανση της πρώτης ύλης, που προορίζεται για την ετήσια παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων (pellet) προς βιομηχανική χρήση αλλά ταυτόχρονα επιβαρύνει την λειτουργία του πυρηνελαιουργείου με 15% περισσότερη ηλεκτρική κατανάλωση ως προς το τμήμα ξήρανσης και με 5% αυξημένες ανάγκες σε καύσιμο. Η τελική εξοικονόμηση που προκύπτει από αυτό το μοντέλο συνεργασίας των μονάδων πυρηνελαιουργείου και Pellet ανέρχεται σε 18% για τις ηλεκτρικές καταναλώσεις και σε 23% για το καύσιμο. Η ετήσια παραγωγή της μονάδας Pellet ανέρχεται στους 5,450 t/y και παρουσιάζει ένα ειδικό κόστος διαχείρισης υπολειμματικής βιομάζας κοντά στα 51 €/tDM. Αυτό το κόστος αναφέρεται στην παροχή υπηρεσιών αξιοποίησης της υπολειμματικής βιομάζας και προσδιορίστηκε έπειτα από αναγωγή των επιμέρους κοστών στην συνολική επεξεργαζόμενη πρώτη ύλη (κλαδέματα ελιάς), σύμφωνα με πληροφορίες που προήλθαν από την διαδικτυακή πλατφόρμα MyGIS. Γνωρίζοντας πως αυτό το κόστος είναι αρκετά υψηλό για τους παραγωγούς για ένα τέτοιο «παραπροϊόν», δεδομένου ότι είτε μπορεί να καεί με 4 €/t είτε μπορεί να ενσωματωθεί στο έδαφος (χλωρή λίπανση) με 12€/t, αποφασίστηκε η επιβολή μίας ενιαίας τιμής επεξεργασίας της βιομάζας που προέρχεται από το 19.5% του αρχικού κόστους αξιοποίησης της υπολειμματικής βιομάζας. Ωστόσο, το κύριο έσοδο της μονάδας Pellet εξασφαλίζεται από την πώληση του βασικού προϊόντος της (βιομηχανικό pellet), το οποίο έπειτα από ανάλυση ευαισθησίας και στα πλαίσια του ανταγωνισμού ορίστηκε από 190 € στα 160€.

Στον προσανατολισμό της αναβάθμισης των πυρηνελαιουργείων και της προώθησης προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας διερευνάται η εγκατάσταση τεχνολογίας Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας μέσω Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC). Για την μονάδα ORC μελετήθηκαν έξι οργανικά ρευστά σε περιβάλλον ASPEN PLUS προκειμένου να επιλεγεί το ιδανικότερο, το οποίο θα ανταποκρινόταν καλύτερα στις συνθήκες λειτουργίας τού υπό μελέτη συστήματος και θα εξασφάλιζε την κάλυψη των απαιτούμενων ηλεκτρικών φορτίων με παράλληλη διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Ωστόσο, ζητούμενο αποτελεί και η πλήρωση των θερμικών αναγκών, εφόσον αναφερόμαστε σε συμπαραγωγικό σύστημα, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της εγκατάστασης συστήματος αφυπερθερμαντήρας (Desuperheater), που μειώνει την θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού και εξασφαλίζει χαμηλές πιέσεις και θερμοκρασίες συμπύκνωσης με ταυτόχρονα υψηλό ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης. Από τα αποτελέσματα της μελέτης προέκυψε πως την υψηλότερη ηλεκτροπαραγωγή για λειτουργία 8000 ωρών της μονάδας ORC, ως οργανικό ρευστό, την παρουσίασε το τολουένιο. Με βάση την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ ($P_{e,net} = 790.2 \text{ kW}_e$) και την εγκατεστημένη θερμική ισχύ ($\dot{Q} = 632 \text{ kW}_{th}$), προέκυψαν οι ετήσιες παραγωγές σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια να ανέρχονται σε 6,322 MWh_e και 5,056 MWh_{th} με τους αντίστοιχους βαθμούς απόδοσης να ισούνται με 24.7% και 25.8%. Ο συντελεστής συμπαραγωγής (PHR) του συστήματος ORC με βάση το τολουένιο υπολογίστηκε στο 1.25 και ο Συμπαραγωγικός βαθμός απόδοσης είναι ίσος με 32.7%.

Συνοψίζοντας, διερευνήθηκαν τα παραπάνω επενδυτικά σχέδια ως προς την αποδοτικότητα και την βιωσιμότητά τους. Πιο συγκεκριμένα, στη μονάδα επεξεργασίας πυρηνέλαιου, η οποία μελετήθηκε μόνο ως προς τα μεγέθη εξοικονόμησής της, προέκυψαν τα έτη απόσβεσης να

ανέρχονται στα **10.3** χρόνια μετά την εγκατάσταση του νέου ξηραντήρα. Η μονάδα στερεών βιοκαυσίμων και η μονάδα Οργανικού Κύκλου Rankine αξιολογήθηκαν σύμφωνα με την ανάλυση των οικονομικών δεικτών NPV, IRR και ετών αποπληρωμής, εξετάζοντας αναλυτικά τα κόστη, τα έσοδα και τις συνθήκες που επικρατούν αυτή την στιγμή στην αγορά διάθεσης προϊόντων. Και για τις δύο μονάδες πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας με σκοπό την αναζήτηση τιμής πώλησης του παραγόμενου προϊόντος Pellet για την πρώτη, και τιμής διάθεσης της παραγόμενης θερμικής ενέργειας για την δεύτερη. Αξιοποιώντας τις τιμές που προέκυψαν από τις αναλύσεις ευαισθησίας και τα κόστη που είχαν εξεταστεί στις προηγούμενες ενότητες, η ανάλυση NPV και IRR αντικατόπτρισε την κερδοφορία των μονάδων, καθώς για την μονάδα Pellet το NPV ανέρχεται σε 2,525,129 €, το IRR σε 28.8% και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής σε 4.2 χρόνια, ενώ για την μονάδα ORC το NPV ισούται με 3,382,235 €, το IRR με 30.1% και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής με 4.0 έτη. Αξιολογώντας την συνολική επένδυση, αθροίζοντας τα κόστη από τις επιμέρους μονάδες και τα αντίστοιχα έσοδα, συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για μία κερδοφόρα επένδυση με υψηλό δείκτη απόδοσης και σύντομο χρονικό διάστημα αποπληρωμής (NPV 5,048,929 €, IRR 22.4% και 5.6 έτη αποπληρωμής). Τέλος, με σκοπό την πληρότητα της οικονομικής μελέτης του επενδυτικού σχεδίου και την πρόβλεψη της αβεβαιότητας που προκύπτει από μελλοντικούς παράγοντες, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας στα μεγέθη των τιμών πώλησης της θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, του παραγόμενου προϊόντος Pellet, του ειδικού κόστους εγκατάστασης του ORC και του ειδικού κόστους διαχείρισης της υπολειμματικής βιομάζας. Σύμφωνα με αυτήν την ανάλυση, γίνεται αντιληπτό πως τον σημαντικότερο ρόλο στην επίδραση της οικονομικής εξέλιξης της επένδυσης διαδραματίζει η τιμή πώλησης του προϊόντος Pellet και έπειτα ακολουθούν, κατά αντίστοιχη σειρά, η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, η τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας, το ειδικό κόστος εγκατάστασης ORC, και τέλος το ειδικό κόστος διαχείρισης της υπολειμματικής βιομάζας.

Εν κατακλείδι, η συνδυαστική λειτουργία των τριών μονάδων (Πυρηνολιουργείο – Μονάδα Στερεών Βιοκαυσίμων - ORC) συνδυάζει το ενεργειακό όφελος με την οικονομική αποδοτικότητα και κατά συνέπεια αποτελεί μία επένδυση αρκετά δελεαστική για το επιχειρηματικό κοινό.

7.2. Μελλοντικές Προοπτικές για Έρευνα

Κατά την διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής εργασίας προέκυψαν διάφορες ιδέες προσέγγισης της ενεργειακής αναβάθμισης και της συνδυαστικής λειτουργίας όλων των μονάδων (Πυρηνελαιουργείο - Μονάδα Pellet - Μονάδα ORC) οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν μια μήτρα εργασιών για μελλοντική έρευνα. Εν συντομία αναφέρονται οι παρακάτω προτάσεις:

- Διερεύνηση μεγαλύτερης ακτίνας διαχείρισης και αξιοποίησης της βιομάζας με την χρήση των διαδικτυακών εργαλείων που παρουσιάστηκαν αλλά και με την εφαρμογή επιτόπιων μελετών και μετρήσεων για μεγαλύτερη ακρίβεια και εγκυρότητα.
- Ανάλυση της δυναμικότητας και άλλων ειδών υπολειμματικής βιομάζας, π.χ. κλαδέματα αμπέλου, ως εναλλακτικές πηγές για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων ή την κάλυψη αναγκαίων θερμικών φορτίων για τις υπομελέτη μονάδες.
- Πλήρης αναβάθμιση όλων των τμημάτων της μονάδας του πυρηνελαιουργείου με ενεργειακά αποδοτικότερο εξοπλισμό, κατά την οποία θα μπορούσε να εξεταστεί η ένταξη ενός ακόμη ξηραντήρα ιδίων προδιαγραφών ή η αντικατάσταση των μηχανολογικών εγκαταστάσεων του τμήματος ξήρανσης με ένα σύστημα Belt Dryer πολλαπλών χρήσεων.
- Διερεύνηση της ένταξης μιας ακόμη γραμμής παραγωγής στη μονάδα Pellet, η οποία θα αυξήσει την δυναμικότητα και θα βελτιώσει τον τρόπο λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας.
- Αναβάθμιση των παραγόμενων στερεών βιοκαυσίμων (pellet) σε καύσιμα υψηλής θερμιδικής αξίας (Torrefraction).
- Αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων αποθήκευσης και συντήρησης της υπολειμματικής βιομάζας καθώς και οικονομικότερων τρόπων διαχείρισης και μεταφοράς της.
- Αξιοποίηση εναλλακτικών καυσίμων, μέσω μιγμάτων, για την επίλυση του προβλήματος της εποχικότητας βιομάζας (βιοκαύσιμο).
- Βελτιστοποίηση του υπομελέτη συστήματος με σκοπό την αύξηση της παραγόμενης θερμικής ενέργειας.
- Αναλυτική μελέτη προσδιορισμού της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας που παράγεται από την μονάδα ORC με σκοπό την κάλυψη των θερμικών αναγκών της ευρύτερης περιοχής.
- Διερεύνηση εναλλακτικών οργανικών ρευστών ως προς τις θερμοδυναμικές τους ιδιότητες και τις ετήσιες παραγωγές κατά την εφαρμογή τους στο συγκεκριμένο σύστημα Οργανικού Κύκλου Rankine.
- Ανάπτυξη εναλλακτικών συστημάτων στην μονάδα ORC για αύξηση των παραγωγών (Ηλεκτρισμός-Θερμότητα) και των βαθμών απόδοσης (π.χ. Απομάστευση).
- Κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων των μονάδων (Πυρηνελαιουργείο – ORC) μέσω της εφαρμογής κεντρικού συστήματος παραγωγής θερμών αερίων (Hot Gas Generator) το οποίο θα αξιοποιεί την διαθέσιμη βιομάζα.
- Διερεύνηση συστήματος τριπαραγωγής μέσω τη υπομελέτης μονάδας ORC για την κάλυψη ψυκτικών φορτίων της περιοχής.
- Μελέτη ένταξης και του λέβητα βιομάζας της μονάδας Pellet για αύξηση των αποδόσεων της μονάδας ORC.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] European Parliament, «Energy Efficiency», [Ηλεκτρονική]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/69/energy-efficiency>. [Πρόσβαση 13 Ιούλιος 2020].
- [2] K. Braimakis, M. Preißinger, D. Brüggemann, S. Karellas, K. Panopoulos, «Low grade waste heat recovery with subcritical and supercritical Organic Rankine Cycle based on natural refrigerants and their binary mixtures», *Elsevier*, αρ. 88, pp. 80-92, 2015.
- [3] Ν. Ανδρίτσος, «Ενέργεια: Ορισμοί, Μορφές, Χρήσεις», σε *Ενέργεια και Περιβάλλον*, p. 38.
- [4] «Wikipedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Ενέργεια>. [Πρόσβαση 22 Ιούλιος 2020].
- [5] International Energy Agency «IEA», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/data-andstatistics?country=GREECE&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=Electricity%20final%20consumption%20by%20sector>. [Πρόσβαση 22 Ιούλιος 2020].
- [6] «E.I.A.», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>. [Πρόσβαση 14 Ιούλιος 2020].
- [7] Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, «certh.gr», 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.certh.gr/dat/D26D45EC/file.pdf>. [Πρόσβαση 14 Ιούλιος 2020].
- [8] E. Energy, «edfenergy», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.edfenergy.com/large-business/energy-solutions/cogeneration>. [Πρόσβαση 14 Ιούλιος 2020].
- [9] T. Abbas, M. Issa, A. Ilinca, «Biomass Cogeneration Technologies: A Review», *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, pp. 1-15, 2020.
- [10] B. Bioenergysystems, «bios-bioenergy», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/orc-process.html>. [Πρόσβαση 14 Ιούλιος 2020].
- [11] Κ. Ποντίκης, Ειδική Δενδροκομία-Ελαιοκομία, Τόμος Τρίτος, Αθ. Σταμούλης, 2000.
- [12] «The Olive Centre», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.theolivecentre.com/World-Catalogue-of-Olive-Varieties.html>. [Πρόσβαση 21 Ιούλιος 2020].
- [13] ΕΛΣΤΑΤ, «Ελληνική Στατιστική Αρχή», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.statistics.gr>. [Πρόσβαση 10 Σεπτέμβριος 2019].
- [14] «S2Biom Tools for Biomass Chain», [Ηλεκτρονικό]. Available: https://s2biom.wenr.wur.nl/web/guest/biomass-supply#_48_INSTANCE_nYA0VqOhoRGM_%3Dhttps%253A%252F%252Fs2biom.wenr.wur.nl%252Fbiomasscostsupplyviewer%252Findex.html%253Fclassic%2526. [Πρόσβαση 21 Ιούλιος 2020].
- [15] «Bioraise», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://bioraise.ciemat.es/Bioraise/home/main>. [Πρόσβαση 21 Ιούλιος 2020].
- [16] «AGROinLOG», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://certh.mygis.gr>. [Πρόσβαση 21 Ιούλιος 2020].
- [17] E. Sevillano, P. Pérez, L. S. Esteban, J. Carrasco, «Biomassud Plus», 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://biomassudplus.eu/el/>. [Πρόσβαση 22 Ιούλιος 2020].
- [18] Σ. Βέμμος, «Καλλιεργούμενες Ποικιλίες Ελιάς στην Ελλάδα», Αθήνα, 2012.
- [19] Observatory «up_running.eu», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.up-running-observatory.eu/en/>. [Πρόσβαση 14 Οκτώβριος 2019].

- [20] CIRCE, «D3.1. Mapping and analysis of the pruning biomass potential in Europe», *7 th Framework Programme for Research and Technological Innovation*, p. 114, 15 Δεκέμβριος 2015.
- [21] B. Velázquez-Martí, E. Fernández-González, I. López-Cortés, A.J. Callejón-Ferre, «Prediction and evaluation of biomass obtained from citrus trees pruning», *Journal of Food Agriculture and Environment*, p. 6, 22 Οκτώβριος 2013.
- [22] R. Williams, B. Jenkins, S. Kaffka, «AN ASSESSMENT OF BIOMASS RESOURCES IN CALIFORNIA, 2007, 2010 and 2020», California Energy Commission, University of California, Davis, 2008.
- [23] «Φυτόριο Δενδρυλλίων», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://tsiornovitis.gr>. [Πρόσβαση 15 Οκτώβριος 2019].
- [24] Α. Στροφύλας, «Το πυρηνόξυλο σαν στερεό βιοκαύσιμο», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sites.google.com/site/pyrhnoxylo/pyrenelaiourgeia-1/to-pyrenoxylo-san-kausimo>. [Πρόσβαση 20 Μάιος 2020].
- [25] «gaia ΕΠΙΧΕΙΡΕΙΝ», [Ηλεκτρονική Πρόσβαση]. Available: http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Τύποι_ελαιοτριβείων. [Πρόσβαση 20 Μάιος 2020].
- [26] «kanakis family», [Ηλεκτρονική Πρόσβαση]. Available: <https://www.oliveoil-kanakis.gr/orismoι/?lang=el>. [Πρόσβαση 25 Μάιος 2020].
- [27] «Ελαιώνες Σακελλαροπούλου», [Ηλεκτρονική Πρόσβαση]. Available: <https://www.bioarmonia.gr/el/δημοσιεύσεις/item/73-κατηγορίες-ελαιολάδων>. [Πρόσβαση 27 Μάιος 2020].
- [28] Wikipedia, [Ηλεκτρονική Πρόσβαση]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Εξάνιο>. [Πρόσβαση 2 Ιούνιος 2020].
- [29] *Αναλύσεις ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ, Αθήνα 2018.*
- [30] «Bioenergy Europe», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bioenergyeurope.org/about-bioenergy.html>. [Πρόσβαση 8 Αυγούστος 2020].
- [31] Ελληνική Κυβέρνηση, «Καύσιμα Στερεής Βιομάζας για μη Βιομηχανική χρήση- Απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμών», Εθνικό Τυπογραφείο Ελλάδος, Αθήνα, 2013.
- [32] «Forest Research» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/biomass-energy-resources/reference-biomass/facts-figures/typical-calorific-values-of-fuels/>. [Πρόσβαση 9 Αύγουστος 2020].
- [33] «Wood Fuel Prices», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://wcm.gozdis.si/en/wood-fuel-prices>. [Πρόσβαση 4 Σεπτέμβριος 2020].
- [34] «BioAlten», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.bioalten.gr>. [Πρόσβαση 19 Ιουλιος 2020].
- [35] «Global petrol prices», [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.globalpetrolprices.com/heating_oil_prices/. [Πρόσβαση 4 Σεπτεμβριος 2020].
- [36] Requirements, Part 3: Pellet Quality, «ENPlus», 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.enplus-pellets.eu/en-in/>. [Πρόσβαση 10 Αύγουστος 2020].
- [37] S. Esteban, J. Carrasco, E. Karampinis, T. Almeida, A. Mira, P. Rodero, «Biomass Plus», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://biomassplus.eu/wp-content/uploads/2018/12/Biomass-Plus-D6.1.pdf>. [Πρόσβαση 4 Σεπτεμβριος 2020].

- [38] Ε. Καραμπίνης, Π. Βουρλιώτης, *Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Παραγωγή & Διαχείριση Ενέργειας", Μάθημα: Στερεά Καύσιμα*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018-2019.
- [39] Δ. Βάμβουκα, "*Βιομάζα, Βιοενέργεια & Περιβάλλον*", Θεσ/κη, Τζιόλα, 2009, p. 341.
- [40] International Energy Agency, «*iea.org*», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Electricity%20generation%20from%20biofuels%20and%20waste%20by%20source>. [Πρόσβαση 12 Αύγουστος 2020].
- [41] Γ. Μαρνέλλος, «*Η βιομάζα ως καύσιμο*», σε *Ειδικά Κεφάλαια Παραγωγής Ενέργειας*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, pp. 19-22.
- [42] «*Facma*», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.facma.it/comby.asp?lang=eng>. [Πρόσβαση 16 Αύγουστος 2020].
- [43] «*Traktorpool*», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.traktorpool.gr/el/details/Τρακτέρ/New-Holland-7840-SLE-med-40-KMT-gearkasse/5569465/>. [Πρόσβαση 19 Αυγούστος 2020].
- [44] «*Φωτόπουλος Α.Ε.*», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.fotopoulos-s.gr/anatrepomenes-karotses-platformes/anatrepomeni-karotsa-gia-trakter-10t.html>. [Πρόσβαση 18 Αύγουστος 2020].
- [45] «*Zhitov: Υπολογισμός Βάσης*», [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.zhitov.ru/el/foundation_plate/. [Πρόσβαση 22 Δεκέμβριος 2019].
- [46] «*Skouras Real Estate*», [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.skourasrealestate.gr/index.php?option=com_estateagent&view=showproperty&id=947353&Itemid=107&lang=el. [Πρόσβαση 29 Αύγουστος 2020].
- [47] Σ. Καρέλλας, Ε. Κακκαράς, "*Διεσπαρμένη Παραγωγή: Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας*", Αθήνα, 2016.
- [48] Κ. Braimakis, «*2. Theoretical principles and design methodology of ORCs*», σε *PhD Thesis: MULTI-SCALE THERMO-ECONOMIC OPTIMIZATION AND THERMODYNAMIC ASSESSMENT OF ENERGETIC AND EXERGETIC EFFICIENCY IMPROVEMENT CONCEPTS OF ORGANIC RANKINE CYCLE*, Αθήνα, pp. 33-63.
- [49] D. Maraver, J. Royo, V. Lemort, S. Quoilin, «*Systematic optimization of subcritical and transcritical organic Rankine cycles (ORCs) constrained by technical parameters in multiple applications*», *Applied Energy*, αρ. 117, pp. 11-29, 2014.
- [50] M. Astolfi, «*An Innovative Approach for the Techno-Economic Optimization of Organic Rankine Cycles: Politecnico di Milano*», Milan, 2017.
- [51] B. Tchanche, Gr. Lambrinos, A. Frangoudakis, G. Papadakis, «*«Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – A review of various applications*», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τόμ. 15, pp. 3963-3979, 2011.
- [52] Wikipedia, «*Organic Rankine Cycle*», [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Organic_Rankine_cycle. [Πρόσβαση 30 Αύγουστος 2020].
- [53] J. Bao, L. Zhao, «*A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle*», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, αρ. 24, pp. 325-342, 2013.
- [54] Guha, S. Sengupta, Abhijit, «*A theory of Tesla disc turbines*», *Proc IMechE Part A: Power and Energy*, pp. 650-663, 2012.
- [55] Carlson, C. Eric, «*Don't Gamble With Physical Properties For Simulations*», October 1996.

- [56] NA. Lai, M. Wendland, J. Fischer, «Working fluids for high-temperature organic Rankine cycles», *Energy*, αρ. 36(1), pp. 199-211, 2011.
- [57] S. Karellas, A. Schuster, A.-D. Leontaritis, «Influence of supercritical ORC parameters on plate heat exchanger design.», *Applied Thermal Engineering*, αρ. 33, pp. 70-6, 2012.
- [58] L. Pan, H. Wang, W. Shi, «Performance analysis in near-critical conditions of organic Rankine cycle.», *Energy*, αρ. 37, pp. 281-6, 2012.
- [59] A. Weiß, «VOLUMETRIC EXPANDER VERSUS TURBINE – WHICH IS THE BETTER CHOICE FOR SMALL ORC PLANTS?», σε *3 rd International Seminar on ORC Power Systems*, Brussels, Belgium, 2015.
- [60] «Pinch Point Analysis,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Pinch_analysis. [Πρόσβαση 2 Σεπτέμβριος 2020].
- [61] «Dowtherm», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.dow.com/en-us/product-technology/pt-lubricants/pg-lubricants-heat-transfer-fluids.html>. [Πρόσβαση 15 Οκτώβριος 2020].
- [62] ASHRAE, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/standards-addenda/ansi-ashrae-standard-34-2013-designation-and-safety-classification-of-refrigerants>. [Πρόσβαση 12 Σεπτέμβριος 2020].
- [63] P. Pallis, PhD Thesis: "Experimental investigation and economic assessment of a fully automated organic Rankine cycle for waste heat recovery from marine engine jacket cooling water", Athens: National Technical University Of Athens (NTUA), 2020.
- [64] A. Guercio, R. Bini, «Biomass-fired Organic Rankine Cycle combined heat and power systems», *Elsevier*, pp. 34-41, 2017.
- [65] Ελληνική Κυβέρνηση, «Προσθήκη νέων κατηγοριών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. και καθορισμός των Τ.Α., επαναπροσδιορισμός των κατηγοριών σταθμών 11, 29 και 30 και τροποποίηση των Τ.Α. του Πίνακα 1 της περίπτωσης β' της παρ. 1 του άρθρου 4 του», Τυπογραφείο του Κράτους, Αθήνα, 2020.
- [66] Κ. Ντελκής, Π. Κάπρος, «Αξιολόγηση Επενδυτικών Σχεδίων», σε *Οικονομική Ανάλυση Επιχειρήσεων*, Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007, pp. 100-120.
- [67] Κ. Αραβώσης, «Κατάρτιση & Αξιολόγηση Επενδυτικών Σχεδίων και Προγραμμάτων: Από την Θεωρία στην Πράξη», Νομική Βιβλιοθήκη, 2007.
- [68] Σύλλογος Εκτιμητών Ελλάδας (Σ.Ε.Κ.Ε), "Εισαγωγή Στις Εκτιμήσεις Μηχανολογικών Εγκαταστάσεων και Εξοπλισμού", 2016.
- [69] Γ. Κάραλης, "Αξιολόγηση Επενδύσεων", Διαφάνεις Μαθήματος: Αιολική Ενέργεια στα πλαίσια του ΔΠΜΣ: Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας, Αθήνα, 2015.
- [70] Εθνική Τράπεζα Ελλάδος (Ε.Τ.Ε.), [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bankofgreece.gr/enimerosi/grafeio-typoy/anazhthsh-enhmerwsewn/enhmerwseis?announcement=f770762c-9b7a-4d05-9adb-40ed9bc82bba>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [71] European Pellet Council, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bioenergyeurope.org..> [Πρόσβαση Σεπτέμβριος 2020].
- [72] J. Hudson, "Techno-Economic Analysis of Organic Rankine Cycles for a Boiler Station", Uppsala Universitet, 2019.
- [73] Μ. Μενεγάκη, Δ. Δαμίγος, "Αξιολόγηση Επενδυτικών Σχεδίων-Ενότητα 4: Ανάλυση Εναισθησίας και Πιθανολογική Ανάλυση", Διαφάνειες στα πλαίσια των Ανοικτών Ακαδημαϊκών Μαθημάτων Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2014.

[74] Γ. Μαυρωτά, "Ανάλυση Ευαισθησίας-Ανάλυση Ρίσκου", Διαφάνειες στα πλαίσια των Ανοικτών Ακαδημαϊκών Μαθημάτων Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2014.