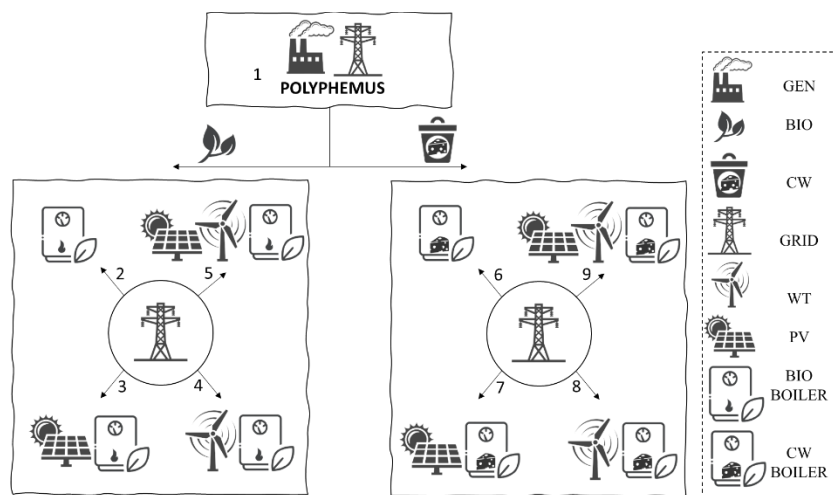




**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΣΕ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ  
ΟΜΑΔΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΨΗΦΙΑΚΩΝ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΩΝ, INDIGO

## Αξιοποίηση υγρών αποβλήτων βιομηχανίας τροφίμων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ  
ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΝΑΣ  
Χανιά, Σεπτέμβριος 2022

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή  
Αραμπατζής Γεώργιος, *Επιβλέπων Καθηγητής*  
Κονσολάκης Μιχαήλ, Καθηγητής  
Ιψάκης Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής

**Εγκεκριμένη εργασία από την  
ακόλουθη εξεταστική επιτροπή:**

**Δρ. Αραμπατζής Γεώργιος**  
Αναπληρωτής Καθηγητής  
Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

---

**Δρ. Κονσολάκης Μιχαήλ**  
Καθηγητής  
Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

---

**Δρ. Ψάκης Δημήτριος**  
Επίκουρος Καθηγητής  
Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

---

«*Αρμονία αφανής, φανεράς κρείττων.*»  
Ηράκλειτος

**Π**ερισσότεροι από 100 εκατομμύρια άνθρωποι έχουν πληγεί από τις επιπτώσεις της ενεργειακής φτώχειας στην Ευρώπη, οδηγώντας σε ποικίλα προβλήματα υγείας όσο και σε ατομική απομόνωση. Η βιομηχανία τροφίμων, λόγω των αυξημένων αναγκών της, τόσο για ηλεκτρική ενέργεια όσο και θερμότητα, συμβάλλει σε υψηλό βαθμό στην χρήση μεγάλων ποσών ενέργειας, και κατ' επέκταση παίζει βασικό ρόλο στην ενεργειακή κρίση. Ανάμεσα στις διαφορετικές επιλογές για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης, η ενσωμάτωση τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έγκειται να αξιοποιήσει το τοπικό δυναμικό, να ενισχύσει τη λειτουργία και την αξιοπιστία, αλλά και να μειώσει ταυτόχρονα το αποτύπωμα του άνθρακα. Αρκετοί ερευνητές έχουν υιοθετήσει διαφορετικές προσεγγίσεις σε ποικίλες εφαρμογές εκμεταλλευόμενοι την «πράσινη» ενέργεια και την ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών εκμετάλλευσης αυτής.

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιείται την τεχνοοικονομική ανάλυση ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας με σκοπό την ενεργειακή αναβάθμιση μιας βιομηχανίας τροφίμων (επεξεργασίας γαλακτοκομικών προϊόντων) στη Μεσσηνία, η οποία βασίζεται στην ενεργειακή αξιοποίηση των οργανικών αποβλήτων της. Στο πλαίσιο της μελέτης, ενσωμάτωση ΑΠΕ, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές ανάγκες και το διαθέσιμο τοπικό δυναμικό αξιολογήθηκε μέσω της δημιουργίας και μοντελοποίησης εναλλακτικών συνδυασμών τεχνολογιών. Ανάμεσα σε εννέα διαφορετικά σενάρια, στα οποία προτείνονται δύο διαφορετικές τεχνολογίες ΑΠΕ αλλά και συγκρίθηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι παραγωγής ενέργειας με βιομάζα, επιλέχθηκε ως βέλτιστο το σενάριο 9 το οποίο απαρτιζόταν από φωτοβολταϊκά και αιολικά συστήματα, μια γεννήτρια βιομάζας και ένα λέβητα ζεστού νερού. Το συγκεκριμένο υβριδικό ενεργειακό σύστημα (ΥΕΣ) παρουσίασε μείωση της τάξεως του 64,0% όσον αφορά το ισοδύναμο κόστος ενέργειας (IKE/LCOE), ενώ το ισοδύναμο κόστος θερμικής ενέργειας (IKΘΕ/LCOTE) υπολογίστηκε ίσο με 0,148€ (20% μείωση). Ακόμη, οι εκπεμπόμενοι ρύποι από τη μονάδα μειώθηκαν κατά 54,9%.

Με την εγκατάσταση του βέλτιστου προτεινόμενου ΥΕΣ στην εξεταζόμενη μονάδα αναμένεται να περιοριστεί η αγορά ενέργειας από το δίκτυο και το εργοστάσιο να υιοθετήσει έναν οικολογικό χαρακτήρα εναρμονισμένο με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης και της κυκλικής οικονομίας. Τέλος, η έρευνα αυτή αποκτά βαρύνουσα σημασία λόγω της ενεργειακής κρίσης που βιώνουμε γι' αυτό και θα μπορούσε να αποτελέσει οδηγό για παρόμοιες εφαρμογές σε επιχειρήσεις του κλάδου ή και μεγαλύτερης κλίμακας.

**Λέξεις κλειδιά:** Βιομηχανία τροφίμων, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Υβριδικό ενεργειακό σύστημα, Αναερόβια χώνευση, Ενεργειακή αξιοποίηση αποβλήτων.

# ABSTRACT

**M**ore than 100 million people are affected by the effects of energy poverty in Europe, leading to a variety of health problems as well as personal isolation. The food industry, due to its increased needs, both for electricity and heat, contributes to a high degree to the use of large amounts of energy, and by extension plays a key role in the energy crisis.

Among the different options to promote sustainable development, the integration of Renewable Energy Sources (RES) technologies is to exploit local potential, enhance operation and reliability, but also reduce the carbon footprint at the same time. Several researchers have adopted different approaches in various applications, exploiting "green" energy and the rapid development of its exploitation technologies.

The present study deals with the techno-economic analysis of a hybrid energy production system for the purpose of energy upgrading of a food industry (dairy processing) in Greece, which is based on the energy utilization of its organic waste. In the context of the study, RES integration, taking into account the real needs and the available local potential was evaluated through the creation and modeling of alternative combinations of technologies. Among nine different scenarios, in which 2 different RES technologies were proposed but also two different biomass energy production methods were compared, scenario 9 was chosen as optimal, which consisted of photovoltaic and wind systems, a biomass generator and a hot water boiler. The specific hybrid energy system (HRES) lead to a 64.0% reduced levelized cost of energy.

The grid purchases will be eliminated, while the examined industry will adopt an ecological operational character in harmony with the principles of sustainable development and the circular economy. Finally, this research acquires a weighty importance due to the energy crisis we are experiencing because of it and could be a guide for similar applications in companies of the sector or even on a larger scale.

**Keywords:** Food industry, Renewable energy sources, Hybrid energy system, Anaerobic digestion.

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

**Α**ρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αραμπατζή Γεώργιο για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις του σε κάθε ζήτημα που προέκυπτε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα Σηφάκη Νικόλαο για τη βοήθεια που προσέφερε μέσω των γνώσεών του, τη αδιάλειπτη στήριξη και βοήθειά του σε ό,τι χρειάστηκε, αλλά και τον Διδάκτορα Σαββάκη Νικόλαο για τη δική του συνδρομή.

Ακόμα, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και τους φίλους μου. Χάρη στην πίστη, τις θυσίες και την στήριξη που μου προσέφεραν, η εκπλήρωση των πρώτων μου στόχων έγινε πραγματικότητα. Τέλος, θα ήθελα να αναφερθώ στον μεταπτυχιακό φυσικό Νικολαΐδη Αριστείδη ο οποίος με ενέπνευσε για την ενασχόλησή μου με τις θετικές επιστήμες. Αποτελεί πηγή έμπνευσης και παράδειγμα προς μίμηση για εμένα έως και σήμερα.

*Πετροπούλου Μ. Μαρίνα*

*Χανιά, Σεπτέμβριος 2022*

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΚΟΝΕΣ .....</b>	<b>8</b>
<b>ΠΙΝΑΚΕΣ .....</b>	<b>9</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....</b>	<b>11</b>
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	11
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	11
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	13
1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	14
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....</b>	<b>16</b>
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	16
2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΠΕ .....	16
2.1.1 ΒΙΟΜΑΖΑ .....	16
2.1.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	19
2.1.3 ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	22
2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ .....	26
2.2.1 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ .....	26
2.2.2 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ .....	32
2.2.3 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ .....	36
2.3 ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ .....	38
2.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ .....	41
2.5 ΣΥΝΘΕΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	43
2.6 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ .....	46
2.6.1 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	46
2.6.2 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....</b>	<b>49</b>
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	49
3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	49
3.1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ .....	50
3.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ .....	51
3.1.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	57
3.1.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ .....	58
3.1.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΡΟΥ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ .....	59
3.1.6 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	60
3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	63
3.2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ .....	66
3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΡΙΣΚΟΥ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ .....	66
3.3.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ .....	67
3.3.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ .....	68
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....</b>	<b>69</b>
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	69
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HOMER PRO .....	69
4.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΚΛΑΔΙΑ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΩΝ .....	69
4.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΟΡΟΣ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ .....	87

4.1.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ .....	98
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	<b>100</b>
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	100
5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ .....	100
5.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ & ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ.....	101
5.1.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΤΙΜΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ DIESEL .....	102
5.1.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ.....	103
5.1.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΒΙΟΜΑΖΑ .....	105
5.1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ .....	106
5.1.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΤΙΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	108
5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	110
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	<b>111</b>
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	111
6.1 ΚΥΡΙΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ .....	111
6.2 ΠΙΘΑΝΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	112
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</b>	<b>113</b>
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	113

# ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1.1 : Συστήματα ΑΠΕ παρούσας μελέτης.....	12
Εικόνα 1.1.2 : Στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης σχετικά με την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή.....	13
Εικόνα 1.2.1 : Απεικόνιση Δήμου Μεσσήνης, Πελοπόννησος.....	13
Εικόνα 1.2.2 : Εικονογράφηση «πράσινης» οικονομίας.....	14
Εικόνα 1.3.1 : Περίληψη διαδικασίας της διπλωματικής εργασίας.....	15
Εικόνα 2.1.1 : Μεθοδολογική προσέγγιση για την επιλογή των κατάλληλων έργων ΑΠΕ.....	16
Εικόνα 2.1.1.2 : Τύποι βιομάζας.....	17
Εικόνα 2.1.2.1 : Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.....	20
Εικόνα 2.1.3.1 : Εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών.....	24
Εικόνα 2.2.1.1 : Κύρια στάδια διαδικασίας αναερόβιας χώνευσης.....	27
Εικόνα 2.2.1.2 : Διεργασία αναερόβιας χώνευσης.....	28
Εικόνα 2.2.2.1 : Διεργασία αεριοποίησης.....	32
Εικόνα 2.2.2.2 : Βασικά στάδια διεργασίας αεριοποίησης.....	34
Εικόνα 2.3.1 : Διαδικασία και εισαγωγή δεδομένων για την εκτίμηση της ενεργειακής ζήτησης και τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας στην επεξεργασία τροφίμων.....	39
Εικόνα 3.1.1 : Διάγραμμα ροής γενικών στοιχείων μονάδας.....	49
Εικόνα 3.1.1.1 : Εγκαταστάσεις της υπό μελέτης μονάδας.....	50
Εικόνα 3.1.1.2 : Γεωγραφική θέση Δήμου Μεσσήνης, εντός της Περιφέρειας Πελοποννήσου.....	51
Εικόνα 3.1.1.3 : Απεικόνιση της υπό μελέτης περιοχής.....	51
Εικόνα 3.1.2.1 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγή φέτας.....	52
Εικόνα 3.1.2.2 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγή σκληρών τυριών.....	53
Εικόνα 3.1.2.3 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγή σφέλας.....	54
Εικόνα 3.1.2.4 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγή παραδοσιακής γιαούρτης.....	55
Εικόνα 3.1.2.5 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγής τυριών ορού γάλακτος.....	56
Εικόνα 3.1.2.6 : (α) Μηχάνημα ψύξης και ανάδευσης γάλακτος (παγολεκάνη). (β) Πήξη γάλακτος.....	57
Εικόνα 3.1.3.1 : Προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας έτους 2019.....	58
Εικόνα 3.1.5.1 : Γράφημα αναπαράστασης της παραγωγής ορού τυρογάλακτος κατά το έτος 2019.....	59
Εικόνα 3.1.6.1 : Διάγραμμα ροής διαδικασίας αξιολόγησης δυναμικού ΑΠΕ.....	60
Εικόνα 3.1.6.2 : Εκτίμηση ακτινοβολίας και ηλιακού δυναμικού.....	61
Εικόνα 3.1.6.3 : Γραφική απεικόνιση ηλιακής παγκόσμιας οριζόντιας ακτινοβολίας (GHI) για επίπεδα πάνελ Φ/Β – Καλαμάτα.....	62
Εικόνα 3.1.6.4 : Γραφική απεικόνιση μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου – Καλαμάτα.....	62
Εικόνα 3.2.1 : Περιβάλλον λογισμικού HOMER Pro.....	64
Εικόνα 3.2.2 : Σχέση μεταξύ προσομοίωσης, βελτιστοποίησης και ανάλυσης ευαισθησίας.....	65
Εικόνα 4.1.1.3 : Σχηματική αναπαράσταση δοκιμών στοιχείων μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο HOMER Pro.....	70
Εικόνα 4.1.1.4 : Εικονική αναπαράσταση υπό εξέταση σεναρίων.....	72
Εικόνα 4.1.1.5 : Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ - Σενάριο 3.....	74
Εικόνα 4.1.1.6 : Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 4.....	75
Εικόνα 4.1.1.7 : Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 5.....	75
Εικόνα 4.1.1.8 : Παρεχόμενη ενέργεια από το δίκτυο – Σενάριο 1.....	76
Εικόνα 4.1.1.9 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 1.....	77
Εικόνα 4.1.1.10 : Παρεχόμενη ενέργεια από το δίκτυο – Σενάριο 2.....	77
Εικόνα 4.1.1.11 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 2.....	78
Εικόνα 4.1.1.12 : Παρεχόμενη ενέργεια από το σύστημα - Σενάριο 3.....	79
Εικόνα 4.1.1.13 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου - Σενάριο 3.....	80
Εικόνα 4.1.1.14 : Παρεχόμενη ενέργεια από το σύστημα - Σενάριο 4.....	81
Εικόνα 4.1.1.15 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου - Σενάριο 4.....	82
Εικόνα 4.1.1.16 : Σύγκριση σεναρίων.....	83
Εικόνα 4.1.1.17 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου – Σενάριο 5.....	84
Εικόνα 4.1.1.18 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού φορτίου – Σενάριο 5.....	85
Εικόνα 4.1.1.19 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 5.....	86
Εικόνα 4.1.2.1 : Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 7.....	88
Εικόνα 4.1.2.2 : Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 8.....	88
Εικόνα 4.1.2.3 : Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 9.....	89

Εικόνα 4.1.2.4 : Παρεχόμενη ενέργεια από το δίκτυο – Σενάριο 6.....	90
Εικόνα 4.1.2.5 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 6.....	90
Εικόνα 4.1.2.6 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού φορτίου – Σενάριο 7.....	91
Εικόνα 4.1.2.7 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 7.....	92
Εικόνα 4.1.2.8 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού φορτίου – Σενάριο 8.....	92
Εικόνα 4.1.2.9 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 8.....	93
Εικόνα 4.1.2.10 : Σύγκριση σεναρίων.....	94
Εικόνα 4.1.2.11 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου – Σενάριο 9.....	94
Εικόνα 4.1.2.12 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού φορτίου – Σενάριο 9.....	95
Εικόνα 4.1.2.13 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 9.....	96
Εικόνα 4.1.2.14 : Μηνιαία δεδομένα θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου – Σενάριο 9.....	97
Εικόνα 4.1.3.1 : Σύγκριση βέλτιστων σεναρίων.....	99
Εικόνα 5.1.1.20: Επίδραση ηλεκτρικού & θερμικού φορτίου σε LCOE και Emissions – Σενάριο 9.....	101
Εικόνα 5.1.1.2 : Επιρροή ηλεκτρικού & θερμικού φορτίου στο σύστημα – Σενάριο 9.....	102
Εικόνα 5.1.2.1 : Επίδραση τιμής καυσίμου diesel σε LCOE και Emissions– Σενάριο 9.....	102
Εικόνα 5.1.2.2 : Επιρροή τιμή καυσίμου diesel στο σύστημα – Σενάριο 9.....	103
Εικόνα 5.1.3.1: Επίδραση αιολικού δυναμικού σε LCOE και Emissions– Σενάριο 9.....	104
Εικόνα 5.1.3.2 : Επιρροή αιολικού δυναμικού στο σύστημα – Σενάριο 9.....	104
Εικόνα 5.1.4.1 : Επίδραση βιομάζας σε LCOE και Emissions– Σενάριο 9.....	105
Εικόνα 5.1.4.2 : Επιρροή βιομάζας στο σύστημα – Σενάριο 9.....	106
Εικόνα 5.1.5.1 : Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας σε LCOE και Emissions – Σενάριο 9.....	107
Εικόνα 5.1.5.2 : Επιρροή ηλιακής ακτινοβολίας στο σύστημα – Σενάριο 9.....	108
Εικόνα 5.1.6.1 : Επίδραση τιμής ηλεκτρικής ενέργειας σε LCOE και Emissions– Σενάριο 9.....	109
Εικόνα 5.1.6.2 : Επιρροή τιμής ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα – Σενάριο 9.....	110

## ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.1.1 : ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΛΑΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ.....	18
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.1.2 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ - ΒΙΟΜΑΖΑ.....	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.2.1 : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ-ΔΥΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΝΟΤΙΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΒΑΣΕΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΩΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ.....	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.2.2 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	21
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.3.1 : ΕΤΗΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΚΑΛΑΜΑΤΑ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ.....	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.3.2 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ - ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	25
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2.1.1 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ – ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2.2.1 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ – ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΛΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2.3.1 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ – ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3.1 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ – ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.1 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ – ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΥΕΛΙΞΙΑ.....	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.1 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ – ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.1 : ΕΙΔΗ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.2.1 : ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΡΙΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.4.1 : ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2019.....	59

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.5.1 : ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΡΟΥ ΤΥΡΟΓΑΛΛΑΚΤΟΣ.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.6.1 : ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΞΥΛΕΙΑΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΜΕΣΣΗΝΗΣ.....	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.6.2 : ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ – ΚΑΛΑΜΑΤΑ.....	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.6.3 : ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΚΑΛΑΜΑΤΑ.....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.1.1 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.1.2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ.....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.1.3: ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ - ΣΕΝΑΡΙΟ 5.....	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.1 : ΣΥΝΟΨΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.1 : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (Μ/Δ: ΜΗ ΔΟΣΜΕΝΟ, Μ/Ε: ΜΗ ΕΞΕΤΑΣΜΕΝΟ).....	113

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η πρώτη επαφή με το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα μελέτη. Στο υποκεφάλαιο 1.1 παρουσιάζεται το αντικείμενο της εργασίας. Το υποκεφάλαιο 1.2 αφορά τον κύριο στόχο της, ενώ το υποκεφάλαιο 1.3 αναφέρεται στο περίγραμμα της διπλωματικής εργασίας.

### 1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα μέχρι και σήμερα είναι η οριστική λύση του σύγχρονου ενεργειακού προβλήματος, δηλαδή της ανεπάρκειας των ενεργειακών πόρων. Το πρόβλημα αυτό έχει καταστήσει πλέον σαφές πως η εκμετάλλευση και η ανάπτυξη των ΑΠΕ αποτελεί μια επιβεβλημένη ανάγκη προκειμένου να καλυφθούν οι ολοένα και αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες της κοινωνίας, όπως η ενεργειακή κρίση αλλά και η ενεργειακή φτώχεια.

Οι δυνατότητες των ΑΠΕ είναι τεράστιες καθώς δύνανται να καλύψουν την παγκόσμια ζήτηση ενέργειας. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η βιομάζα, ο άνεμος, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορούν να παρέχουν βιώσιμες ενεργειακές υπηρεσίες με βάση την χρήση των διαθέσιμων εγχώριων πόρων. Επίσης, η μετάβαση σε ενεργειακά συστήματα τα οποία βασίζονται στις ΑΠΕ φαίνεται ολοένα και πιο πιθανή καθώς το κόστος των συστημάτων της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες, ενώ η τιμή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου συνεχίζουν να παρουσιάζουν διακυμάνσεις. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην ενεργειακή κρίση που προκαλείται από την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, την κλιμακούμενη αύξηση της ζήτησης και τη συνεχιζόμενη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή. Επιπρόσθετα, είναι ευρέως γνωστό ότι οι αυξήσεις στα επίπεδα συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου θα οδηγήσουν σε σημαντικές αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα με επακόλουθες επιπτώσεις σε αρκετούς τομείς εάν δεν αντιστραφούν.

Ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ορίζεται η ενέργεια που είναι βιώσιμη, δηλαδή κάτι το οποίο δεν μπορεί να εξαντληθεί, όπως ο ήλιος. Ακόμη, ο όρος «εναλλακτική» ή «πράσινη» ενέργεια, συνήθως αναφέρεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην κατηγορία των ΑΠΕ συμπεριλαμβάνονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι ανεμογεννήτριες και η βιομάζα.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Αν και ακούγεται ως μια ιδανική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικίλλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την εποχή του έτους καθώς και τη γεωγραφική θέση της περιοχής.

Τα αιολικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την κίνηση γεννητριών, οι οποίες με τη σειρά τους τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια το δίκτυο. Όπως και η ηλιακή ακτινοβολία, έτσι και ο άνεμος αποτελεί μια άφθονη πηγή καθαρής ενέργειας άξια εκμετάλλευσης.

Η βιομάζα περιλαμβάνει την καύση οργανικών υλικών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και στις μέρες μας αυτή είναι μια πολύ καθαρότερη και ενεργειακά αποδοτική διαδικασία. Μετατρέποντας τα γεωργικά, βιομηχανικά και οικιακά απόβλητα σε στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα, η βιομάζα παράγει ενέργεια με πολύ χαμηλότερο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος.



Εικόνα 1.1.1 : Συστήματα ΑΠΕ παρούσας μελέτης.

Προκειμένου να γίνει η όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση της διαθέσιμης βιομάζας, είτε αυτή προέρχεται από γεωργικά υπολείμματα είτε από απόβλητα των βιομηχανιών επεξεργάζεται με πληθώρα μεθόδων προκειμένου να παραχθεί ενέργεια από αυτή. Η παραχθείσα ενέργεια χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε βιομηχανικό ή όχι επίπεδο.

Στην παρούσα εργασία γίνεται λόγος για τρεις από αυτές τις μεθόδους επεξεργασίας. Αρχικά, αναφέρεται η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κατά την οποία γίνεται επεξεργασία αποβλήτων που διαθέτουν υψηλή οργανική φόρτωση προκειμένου να μειωθεί ο όγκος και το φορτίο τους. Μέσω αυτής της διεργασίας ανακτάται βιοαέριο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας αλλά και βιοκαυσίμων.

Μια άλλη μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται είναι αυτή της αεριοποίησης. Η συγκεκριμένη διεργασία προτείνεται για τη μετατροπή μιας στερεής ή υγρής οργανικής ένωσης σε αέρια και στερεή μορφή. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία αυτή θεωρείται ως ένας τρόπος αύξησης της χρήσης της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας, επιτρέποντας την ευρεία χρήση της.

Η τρίτη και τελευταία μέθοδος που συμπεριλήφθηκε σε αυτή την εργασία αναφέρεται στην συμπαραγωγή. Πρόκειται για τη διαδικασία κατά την οποία παρατηρείται ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής (ή και μηχανικής) και θερμικής ενέργειας.

Για να δημιουργηθεί όμως ένα σύστημα που να εμπεριέχει όλα τα συστήματα και τις τεχνολογίες που προαναφέρθηκαν, θα πρέπει η λειτουργία του να συνάδει με το θεσμικό πλαίσιο που έχει τεθεί σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Η νομοθεσία αυτή έχει να κάνει με την οριοθέτηση και την οργάνωση της λειτουργίας τέτοιων εγκαταστάσεων.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως τον Σεπτέμβριο του 2015, η γενική συνέλευση των ηνωμένων εθνών στη Νέα Υόρκη έλαβε μία απόφαση που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μία «ιστορική» συμφωνία που θα επηρεάσει τη ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων. Πρόκειται για την υιοθέτηση δεκαεπτά στόχων, γνωστοί ως «Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης», οι οποίοι εκφράζουν τις σύγχρονες παγκόσμιες προκλήσεις, σε μια προσπάθεια να ανταποκριθούν αποτελεσματικά όλες οι χώρες στα παγκόσμια προβλήματα. Πρωταρχικός στόχος αποτελεί η ενημέρωση και η ευαισθητοποίηση της εγχώριας κοινωνίας για τους παγκόσμιους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης, έτσι ώστε να διαμορφωθούν ενεργοί πολίτες, οι οποίοι θα αναλάβουν δράση για μια αξιοσημείωτη αλλαγή στον πλανήτη μέχρι το 2030.

Η ιδέα δημιουργίας μιας βιώσιμης κοινωνίας τις επόμενες δεκαετίες υιοθετείται από την παρούσα διπλωματική εργασία μέσα από την ανάδειξη της σημασίας ύπαρξης φθηνής και «καθαρής» ενέργειας (Στόχος 7), οικοδόμησης ανθεκτικών υποδομών που ενθαρρύνουν την καινοτομία (Στόχος 9), αλλά και δράσεων που σέβονται και προστατεύουν το κλίμα (Στόχος 13). Η αλλαγή αυτή φαίνεται

να ασκεί θετική επίδραση τόσο στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος.



Εικόνα 1.1.2 : Στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης σχετικά με την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή.

## 1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός, λοιπόν, της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση και η μελέτη των αποτελεσμάτων από την εγκατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) σε τυροκομική μονάδα που βρίσκεται στην περιοχή της Μεσσηνίας τόσο σε ενεργειακό όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Δίνεται έμφαση στην ανάγκη δημιουργίας μιας ισορροπημένης σχέσης μεταξύ της οικονομίας και του περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα, στόχος της αποτελεί η αξιοποίηση του διαθέσιμου τοπικού δυναμικού προκειμένου να μειωθεί ταυτόχρονα το αποτύπωμα του άνθρακα.

Έρευνες έχουν δείξει ότι κάτοικοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν αποδεχθεί την ιδέα της καθαρής ενέργειας στο θεωρητικό επίπεδο. Ωστόσο, για να πραγματοποιηθεί αυτή η αποδοχή και πρακτικά, θα πρέπει να παρέχονται περισσότερες πληροφορίες προς τον ευρύτερο πληθυσμό. Όντας μια νέα προσθήκη στη ζωή των ανθρώπων, κρίνεται αναγκαία μια αναλυτική επεξήγηση του θέματος. Πιθανή ουσιαστικότερη ενημέρωση από τους αρμόδιους φορείς έγκειται να καλύψει το χάσμα που έχει δημιουργηθεί ανάμεσα στην κοινωνία και την «πράσινη» ενέργεια.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην περιφέρεια Πελοποννήσου στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα, στον Δήμο Μεσσήνης. Η έκταση του Δήμου αγγίζει τα 563,7 km<sup>2</sup>, ενώ ο συνολικός αριθμός των μόνιμων κατοίκων του σύμφωνα με την απογραφή του έτους 2021 ισούται με 19.200. Ο δήμος αυτός χαρακτηρίζεται από υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό και ταυτόχρονα εμπεριέχει αρκετά μεγάλες εκτάσεις ελαιόδεντρων, συνιστώσες που παίρνουν μέρος στην παραγωγή «πράσινης» ενέργειας.



Εικόνα 21.2.1 : Απεικόνιση Δήμου Μεσσήνης, Πελοπόννησος.

Αυτή η διπλωματική εργασία στοχεύει στην μοντελοποίηση εναλλακτικών σεναρίων τα οποία σχετίζονται με την ανάπτυξη ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος (ΥΕΣ) παραγωγής ενέργειας. Το σύστημα αυτό συνδυάζει τα φωτοβολταϊκά με τα αιολικά συστήματα, καθώς αξιοποιεί ταυτόχρονα τα υγρά απόβλητα της υπό μελέτης μονάδας μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, της αεριοποίησης και της συμπαραγωγής ενέργειας. Βασικότερο στόχο αποτελεί η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της τοπικής βιομηχανίας παραγωγής τυροκομικών προϊόντων. Το τελικό προτεινόμενο σύστημα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του διάφορους παράγοντες, όπως το ενεργειακό κόστος, τις οικολογικές επιπτώσεις, αλλά και την δυνατότητα διείσδυσης των ΑΠΕ σε αυτό. Ακολουθώς, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι στόχοι της παρούσας μελέτης :

- Αξιολόγηση του διαθέσιμου τοπικού δυναμικού ΑΠΕ και των ετήσιων ροών των αποβλήτων. Οι ροές αποβλήτων που διερευνήθηκαν είναι τα κλαδιά των ελαιόδεντρων και ο ορός τυρογάλακτος, ο οποίος αποτελεί το κύριο απόβλητο της μονάδας.
- Σχεδιασμός ενός ενεργειακού συστήματος με πολλαπλά σενάρια προκειμένου να αναπτυχθεί ένα ενεργειακό σύστημα με μελλοντική διάρκεια.
- Επιλογή καταλληλότερων τεχνολογιών για την μετατροπή των αποβλήτων σε ενέργεια.
- Ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας στο εκάστοτε σύστημα.
- Μοντελοποίηση του υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με τη βοήθεια του λογισμικού HOMER Pro, και
- Προσομοίωση όλων των σεναρίων και περιγραφή του βέλτιστου ενεργειακού συστήματος μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας.



Εικόνα 1.2.2 : Εικονογράφηση «πράσινης» οικονομίας.

### 1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Προκειμένου να επιτευχθεί η όσο γίνεται ομαλότερη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας τέθηκαν και ακολουθήθηκαν κάποια συγκεκριμένα μεθοδολογικά βήματα. Καθένα από τα στάδια που δημιουργήθηκαν συνεισφέρει στην επεξήγηση και κατανόηση διαφορετικών στοιχείων της εργασίας.

Πρώτο βήμα αποτέλεσε μια στοχευμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση βάσει της οποίας ορίστηκε και παρουσιάστηκε ο στόχος της παρούσας μελέτης. Περιεγράφηκαν και αναλύθηκαν παρόμοιες έρευνες για κάθε διεργασία που χρησιμοποιήθηκε και χάρη σε αυτές τις αναφορές εντοπίστηκε το

ερευνητικό κενό που καλείται να καλυφθεί. Διαπιστώθηκε, λοιπόν, πως δεν έχει χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Homer Pro με συνδυασμό της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης με αυτή της αεριοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας πραγματικά καταγεγραμμένα αριθμητικά δεδομένα τόσο για τις ανάγκες της υπό εξέταση μονάδας αλλά και για τις προτεινόμενες τεχνολογίες. Έπειτα, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες τεχνολογίες ΑΠΕ και εισήχθησαν στο υπό μελέτη σύστημα. Ειδοποιός διαφορά σε σχέση με άλλες έρευνες αποτέλεσε ο συνδυασμός διεργασιών και τεχνολογιών χάρη στα οποία σχηματίστηκαν διαφορετικά σενάρια συστημάτων ΑΠΕ. Αξίζει να σημειωθεί πως σε καθένα από αυτά πήρε μέρος η διεργασία της συμπαραγωγής, μιας και το σύστημα ήταν ικανό να παράγει ταυτόχρονα τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια.

Αφότου μελετήθηκαν πολυάριθμες ερευνητικές μελέτες για την μοντελοποίηση και την ανάπτυξη ενός νέου υβριδικού ενεργειακού συστήματος στο λογισμικό Homer Pro, συλλέχθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα που αφορούσαν την κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας της υπό μελέτης μονάδας. Ταυτόχρονα έγιναν οι αναγκαίοι υπολογισμοί για την διαθέσιμη βιομάζα που προέρχεται από τα κλαδιά των ελαιόδεντρων αλλά και του ορού τυρογάλακτος που παράγεται καθημερινά στο εργοστάσιο.

Τέλος, αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το λογισμικό που προαναφέρθηκε και ερμηνεύτηκαν προκειμένου να εντοπιστεί το βέλτιστο υβριδικό ενεργειακό σύστημα. Το βέλτιστο αυτό σενάριο θα πρέπει να είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες της υπό εξέτασης μονάδας, ενώ την ίδια στιγμή χρειάζεται να είναι φιλικό προς το περιβάλλον λαμβάνοντας υπόψη και το οικονομικό όφελος της επιχείρησης.



Εικόνα 1.3.1 : Περίληψη διαδικασίας της διπλωματικής εργασίας.

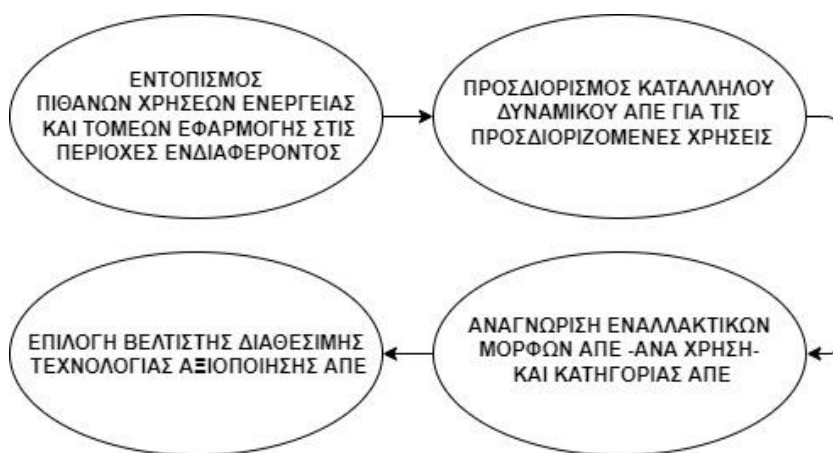
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που έγινε προκειμένου να παρουσιαστούν και να αναλυθούν τα σημεία ενδιαφέροντος της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, στο υποκεφάλαιο 2.1 γίνεται λόγος για την ενεργειακή αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης της βιομάζας, των φωτοβολταϊκών και αιολικών συστημάτων. Το υποκεφάλαιο 2.2 αναφέρεται στην ενεργειακή αξιοποίηση των γεωργικών υπολειμμάτων και στις υποψήφιες διεργασίες που παίρνουν μέρος σε αυτή. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται μελέτες που αφορούν την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης και την ενεργειακή ευελιξία στη βιομηχανία των τροφίμων, ενώ ακολούθως αναλύονται τα υβριδικά συστήματα και η σύνθεσή τους στο υποκεφάλαιο 2.5. Τέλος, το κεφάλαιο αυτό κλείνει με το θεσμικό πλαίσιο που ισχύει για τις ΑΠΕ σε διεθνές και εγχώριο επίπεδο.

### 2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΠΕ

Στον ελλαδικό χώρο υπάρχει αξιόλογο δυναμικό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες έχουν σημαντικό ρόλο στην περιβαλλοντικά συμβατή αναδιάρθρωση του ενεργειακού συστήματος της χώρας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η αξιοποίηση του τοπικού δυναμικού, καθώς και της διαθέσιμης βιομάζας στην περιοχή μελέτης για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας μονάδας παραγωγής τυροκομικών προϊόντων. Στη συγκεκριμένη ενότητα, παρατίθενται επιγραμματικά πληροφορίες για τα συστήματα εκμετάλλευσης της βιομάζας, της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας (Εικόνα 2.1.1).



Εικόνα 2.1 2: Μεθοδολογική προσέγγιση για την επιλογή των κατάλληλων έργων ΑΠΕ.

#### 2.1.1 ΒΙΟΜΑΖΑ

Ο όρος βιομάζα αναφέρεται σε οποιοδήποτε βιολογικό υλικό, το οποίο προέρχεται από έμβιους οργανισμούς. Μπορεί να είναι φυτικό προϊόν (ή παραπροϊόν), απόβλητο αστικής φύσης (υγρό ή στερεό) ή ακόμα και ζωικό απόβλητο. Χάρη στην ανάπτυξη της χημικής βιομηχανίας είναι πλέον εφικτή η εκμετάλλευση όλων των μορφών βιομάζας πολλές εκ των οποίων σε διαφορετική περίπτωση θα είχαν τον χαρακτήρα του μη χρήσιμου αποβλήτου (Ασημακόπουλος & Αραμπατζής, 2020).

Η βιομάζα αποτελεί μια ήπια μορφή ενέργειας, η οποία δημιουργείται μέσα από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Μέρος της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στα φυτά απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο κατακρατήθηκε κατά τη διαδικασία παραγωγής της επιστρέφει στο περιβάλλον.

Η ποιότητα της παραγόμενης βιομάζας εξαρτάται από τις φυσικές και τις χημικές ιδιότητες των μεγάλων μορίων από τα οποία σχηματίζεται. Ακόμα, η βιομάζα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εξής :

- Ξυλώδης βιομάζα
- Χορτώδης βιομάζα
- Υδρόβια βιομάζα
- Βιομάζα ζωικής προέλευσης

Εξαιρώντας κάποιες συγκεκριμένες εφαρμογές ή ανάγκες, οι παράγοντες της αγοράς έχουν εστιάσει προς τους τύπους με την χαμηλότερη δυνατή περιεκτικότητα σε υγρασία, όπως τα ξυλώδη και ποώδη φυτά. Τα υδρόβια φυτά και η κοπριά κατατάσσονται στα υλικά υψηλής υγρασίας και ως εκ τούτου θεωρούνται καταλληλότερα για τεχνικές υγρής επεξεργασίας. Έχοντας ως βάση κυρίως την περιεχόμενη υγρασία στη βιομάζα, ο τύπος βιομάζας που επιλέγεται στη συνέχεια υπαγορεύει ποια θα είναι η πιο πιθανή μορφή της διαδικασίας μετατροπής. Ειδικότερα, βιομάζα που παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, όπως το ποώδες φυτό του ζαχαροκάλαμου, προσφέρεται για μια «υδατική» διαδικασία μετατροπής, που περιλαμβάνει βιολογικά μεσολαβούμενες αντιδράσεις, όπως η ζύμωση. Μια «ξηρή» βιομάζα όπως το ξύλο, είναι οικονομικά καταλληλότερο για να ακολουθήσει τη διεργασία της αεριοποίησης, της πυρόλυσης ή της καύσης. Ουσιαστικά χρησιμοποιείται υδατική επεξεργασία όταν η περιεκτικότητα σε υγρασία του υλικού είναι τέτοια ώστε η ενέργεια που απαιτείται για την ξήρανσή του θα ήταν υπερβολικά μεγάλη σε σύγκριση με το ενεργειακό περιεχόμενο του προϊόντος που σχηματίστηκε (Mckendry, n.d.).



Εικόνα 2.1.1.22 : Τύποι βιομάζας.

Αρκετοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει και αξιολογήσει την εκμετάλλευση της βιομάζας με απώτερο σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Σύμφωνα με τους Contreras *et. al.* το ελαιόλαδο αποτελεί χαρακτηριστικό προϊόν των μεσογειακών χωρών και η παραγωγή του επεκτείνεται ραγδαία σε πολλές άλλες περιοχές λόγω των οφελών που προσφέρει. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η περιεκτικότητα σε ελαιόλαδο είναι, κατά μέσο όρο, ίση με μόνο 20% κατά βάρος των ελαιόκαρπων, μια μεγάλη ποσότητα βιομάζας (συμπεριλαμβανομένων των φύλλων και των κουκουτσιών) παράγεται ταυτόχρονα με το κύριο προϊόν. Επιπλέον, το κλάδεμα των ελαιόδεντρων και η παραγωγή του ελαιοπυρήνα οδηγούν στην παραγωγή αξιόλογης ποσότητας

βιομάζας. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, επανεξετάστηκαν διαδικασίες για την μετατροπή της βιομάζας σε βιοενέργεια, βιοαέριο, βιοκαύσιμα ή βιοπροϊόντα. Διεξήχθησαν ορισμένες τεχνοοικονομικές μελέτες σχετικά με τις πρώτες ύλες που προαναφέρθηκαν, οι οποίες ήταν κυρίως εστιασμένες στην παραγωγή βιοαιθανόλης με κόστος παραγωγής που κυμαίνεται από 0,9 – 2,5 ευρώ/L (ανάλογα με το υπό εξέταση σενάριο και την παραγωγή άλλων συμπροϊόντων). Ως εκ τούτου, περαιτέρω αξιολόγηση των τεχνοοικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι απαραίτητες προκειμένου να βρεθούν τα καλύτερα προγράμματα των βιοδιυλιστηρίων που συμβάλλουν στον αειφόρο ενεργειακό εφοδιασμό και την ύπαρξη μηδενικών μελλοντικών αποβλήτων. Αυτές οι αξιολογήσεις μπορούν, λοιπόν, να βοηθήσουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, μιας και τα κύρια εμπόδια για την εφαρμογή της βιοαιθανόλης - δεύτερης γενιάς - είναι ο συνδυασμός επενδύσεων υψηλού κινδύνου με χαμηλές αποδόσεις (Contreras et al., 2020).

Ακόμα, σύμφωνα με την έρευνα των Velázquez-Martí et al., ποσοτικοποιήθηκε η διαθέσιμη υπολειμματική βιομάζα που λαμβάνεται από το κλάδεμα των ελαιόδεντρων και η επίδρασή τους αναλύθηκε από διάφορους παράγοντες. Η πρόσθετη αυτή ποσοτικοποιημένη βιομάζα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας ή ως πρώτη ύλη για μια βιομηχανία ξύλου. Κάτι τέτοιο θα παρείχε πρόσθετο εισόδημα στους παραγωγούς, αλλά και θα δημιουργούσε ένα πιο βιώσιμο σύστημα. Αναλύθηκαν αρκετοί παράγοντες και υπολογίστηκαν διάφορα μοντέλα παλινδρόμησης προκειμένου να προβλέψουν το βάρος της ξηρής βιομάζας που λαμβάνεται ανά δέντρο ή ανά εκτάριο. Εφαρμόζοντας, λοιπόν, το μοντέλο Borgvenar, που αναπτύχθηκε από τους Velázquez και Annevelik (2009), πάρθηκε η θέση των πραγματικών σημείων της περιοχής που μπορεί να συγκεντρώνεται η βιομάζα με ελάχιστη διαθέσιμη ποσότητα σε περιορισμένη έκταση. Αξίζει να σημειωθεί, πως τα σημεία αυτά θα πρέπει να είναι διασυνδεδεμένα με άλλα σημεία που περιέχουν εγκαταστάσεις κατανάλωσης ενέργειας (σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής). Πιο συγκεκριμένα, από την αναφερθείσα έρευνα αντλήθηκε το συμπέρασμα πως στους παλαιότερους ελαιώνες που εξετάστηκαν, τα δέντρα είχαν μικρότερη ανάπτυξη σε χώρο και επομένως υπήρξε μικρότερη ποσότητα βιομάζας ανά εκτάριο, ενώ η παραγωγή υπολειμματικής βιομάζας είναι παρόμοια για όλα τα δέντρα εάν έχουν αρκετό χρόνο για ανάπτυξη (δύο χρόνια). Ο μικρός διαχωρισμός μεταξύ των δέντρων αυξάνει τον ανταγωνισμό για νερό, θρεπτικά συστατικά και φως και επομένως παρατηρείται αργή ανάπτυξη με χαμηλή παραγωγή υπολειμματικής βιομάζας. Τέλος, υπολογίστηκε πως στις μεσογειακές περιοχές, η υπολειμματική βιομάζα από τη διαδικασία κλαδέματος της ελιάς φτάνει κατά μέσο όρο τα 1,31 t ha<sup>-1</sup> στο ετήσιο κλάδεμα και 3,02 t ha<sup>-1</sup> στο διετές κλάδεμα (Velázquez-Martí et al., 2011).

Πίνακας 2.1.1.1 : Ποσότητα υπολειμματικής βιομάζας από τη διαδικασία κλαδέματος σε περιοχές της Μεσογείου.  
Πηγή: (Velázquez-Martí et al., 2011)

Τύπος κλαδέματος	Μέσο βάρος αποξηραμένου ξύλου t ha <sup>-1</sup>
Ετήσιος	1,305
Διετής	3,025

Η επόμενη έρευνα για την οποία γίνεται λόγος, είναι αυτή των Toledano et al.. Στην προκειμένη περίπτωση, το κλάδεμα της ελιάς έχει κλασματοποιηθεί στα συστατικά από τα οποία αποτελείται, με απώτερο σκοπό την παραγωγή αιθανόλης (βιοκαύσιμο) από το κλάσμα της κυτταρίνης και χημικών «πλατφορμών» από το κλάσμα λιγνίνης. Έγινε χρήση της προεπεξεργασίας Organosolv, η οποία έχει αποδειχθεί πως πρόκειται για μια αποτελεσματική διαδικασία που κλασματοποιεί και παράγει ενδιάμεσα κυτταρίνη και λιγνίνη, τα οποία

μπορούν στη συνέχεια να μετασχηματιστούν. Συμπερασματικά, η αιθανόλη παρήχθη επιτυχώς από εμπλουτισμένο με κυτταρίνη στερεό κλάσμα με υψηλές αποδόσεις, 71,9 g L<sup>-1</sup> γλυκόζης και 17,1 g αιθανόλης ανά 100 g κλαδέματος ελιάς. Αξίζει να αναφερθεί πως η προεπεξεργασία που χρησιμοποιήθηκε έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει την προσβασιμότητα των ενζύμων στο υπόστρωμα και έτσι αυξάνει τις αποδόσεις υδρόλυσης (Toledano et al., 2013).

Πίνακας 2.1.1.2 : Συγκεντρωτική παρουσίαση βασικών σημείων μελετών - Βιομάζα.

Ερευνητές	Έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο μελέτης	Συμπέρασμα
Contreras et al.	2020	Χρήση και αξιολόγηση της εκμετάλλευσης της βιομάζας με απώτερο σκοπό την παραγωγή ενέργειας από αυτή.	Παραγωγή βιοαιθανόλης με κόστος παραγωγής που κυμαίνεται από 0,9 – 2,5 ευρώ/L.
Velázquez-Martí et al.	2011	Ποσοτικοποίηση της διαθέσιμης υπολειμματικής βιομάζας που λαμβάνεται από το κλάδεμα των ελαιόδεντρων και ανάλυση της επίδρασής τους από διάφορους παράγοντες.	Υπολογίστηκε πως στις μεσογειακές περιοχές, η υπολειμματική βιομάζα από τη διαδικασία κλαδέματος της ελιάς φτάνει κατά μέσο όρο τα 1,31 t ha <sup>-1</sup> στο ετήσιο κλάδεμα και 3,02 t ha <sup>-1</sup> στο διετές κλάδεμα.
Toledano et al.	2013	Κλασματοποίηση του κλαδέματος της ελιάς στα συστατικά από τα οποία αποτελείται για την παραγωγή αιθανόλης και χημικών «πλατφορμών».	Η αιθανόλη παρήχθη επιτυχώς από εμπλουτισμένο με κυτταρίνη στερεό κλάσμα με υψηλές αποδόσεις, 71,9 g L <sup>-1</sup> γλυκόζης και 17,1 g αιθανόλης ανά 100 g κλαδέματος ελιάς.

## 2.1.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του ηλεκτρικού ρεύματος.

Το βασικό δομικό στοιχείο της παραγωγής ενέργειας είναι το φωτοβολταϊκό κελί. Τα φωτοβολταϊκά κελιά ομαδοποιούνται βάσει το υλικό αλλά και τον τρόπο παραγωγής τους με ανάλογες διαφορές στην απόδοση και το κόστος. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πλαίσια φωτοβολταϊκών στοιχείων μαζί με τις αναγκαίες συσκευές για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή. Υπάρχουν τρεις τύποι φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιούνται ευρέως, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω:

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si)
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si)
- Λεπτού υμενίου



Εικόνα 2.1.2.1 : Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

Πηγή : AleaSoft

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Παρότι αποτελεί το σημαντικότερο τεχνικό χαρακτηριστικό ενός φωτοβολταϊκού κελιού, δεν είναι το μοναδικό κριτήριο επιλογής (Ζερβός, 2008).

Η έρευνα των *Khatib & Deria* στόχευσε στην αξιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με ανατολικό-δυτικό προσανατολισμό. Το μοντέλο αυτό αναπτύσσεται μαθηματικά και στη συνέχεια υλοποιείται με χρήση Matlab. Επίσης, αυτό επικυρώνεται από εμπορικό λογισμικό και πειραματικά δεδομένα από 112 Φ/Β στην Παλαιστίνη. Ουσιαστικά, διεξάγεται μια σύγκριση μεταξύ φωτοβολταϊκών συστημάτων ανατολικού-δυτικού προσανατολισμού και νότιου προσανατολισμού όσον αφορά το κόστος ενέργειας και τις τεχνικές τους απαιτήσεις. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το προτεινόμενο μοντέλο είναι ακριβές στην πρόβλεψη της ισχύος εξόδου ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ανατολικού-δυτικού προσανατολισμού. Διαπιστώθηκε επίσης ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα με ανατολικό-δυτικό προσανατολισμό απαιτεί λιγότερη έκταση γης -εξοικονομεί 10% σε σύγκριση με την απαιτούμενη έκταση γης στο φωτοβολταϊκό σύστημα νότιου προσανατολισμού-, μικρότερο κόστος για την τοποθέτηση πασσάλων και χαλύβδινων κατασκευών -εξοικονομεί 24% του κόστους που απαιτείται για φωτοβολταϊκό σύστημα νότιου προσανατολισμού- και λιγότερη χωρητικότητα του υποσταθμού ηλεκτρικής ενέργειας που διασυνδέεται -καθώς εξοικονομεί περίπου το 85% της απαιτούμενης χωρητικότητας και 21% του απαιτούμενου κόστους για τον υποσταθμό ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με το φωτοβολταϊκό σύστημα νότιου προσανατολισμού- (ειδικά σε περίπτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων με κλίση σε υψηλή γωνία κλίσης). Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι το νότιο προσανατολισμένο φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει 8% περισσότερη ενέργεια. Εν τέλη, δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ του κόστους ενέργειας για τα δύο συστήματα. Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι για απευθείας διασύνδεση με δίκτυο, το φωτοβολταϊκό σύστημα ανατολικού-δυτικού προσανατολισμού μπορεί να παρέχει ομαλότερη έγχυση ισχύος στο δίκτυο με λιγότερη αρμονική και λιγότερη αντίστροφη ισχύ. Από την άλλη πλευρά, το νότιο προσανατολισμένο φωτοβολταϊκό σύστημα προτιμάται όταν απαιτείται έγχυση υψηλής ισχύος (*Khatib & Deria*, 2022).

Πίνακας 2.1.2.1 : Σύγκριση Ανατολικού-Δυτικού και Νότιου προσανατολισμού βάσει τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από την έρευνα.

Πηγή : (*Khatib & Deria*, 2022).

	Ανατολικός-Δυτικός Προσανατολισμός	Νότιος Προσανατολισμός
Έκταση γης	X	

Κόστος τοποθέτησης πασσάλων και χαλύβδινων κατασκευών	X
Χωρητικότητα υποσταθμού ηλεκτρικής ενέργειας	X
Παραγωγή ενέργειας	X

Μια ακόμη έρευνα, του *Hanson*, γίνεται στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον ρόλο των εγκατεστημένων βιομηχανιών, οι οποίες έχουν στην κατοχή τους σημαντικούς πόρους για τον σχηματισμό συστημάτων τεχνολογικής καινοτομίας. Το σχέδιο/δομή που εμπεριέχει τα συστήματα αυτά, εφαρμόζεται για την ανάλυση της εμφάνισης μιας βιομηχανίας φωτοβολταϊκών συστημάτων στη Νορβηγία. Ο σκοπός αυτής της έρευνας είναι να διερευνήσει εάν οι αναδυόμενες βιομηχανίες μπορούν να επωφεληθούν από τους πόρους που είναι ενσωματωμένοι σε εγκατεστημένες βιομηχανίες. Συγκεκριμένα, έχει ως στόχο να διερευνήσει υπό ποιες συνθήκες οι εγκατεστημένες βιομηχανίες μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία νέου συστήματος τεχνολογικής καινοτομίας. Τα ευρήματα δείχνουν ότι υπάρχει δυνατότητα τόνωσης της μεταφοράς πόρων και της κοινής χρήσης στοιχείων μεταξύ των εγκατεστημένων και των αναδυόμενων βιομηχανιών. Ωστόσο, τα ευρήματα σε αυτή τη δημοσίευση υποδηλώνουν ότι μπορεί να υπάρχουν όρια στη διατήρηση μιας θετικής συνεισφοράς από τον καθιερωμένο κλάδο στο πέρασμα του χρόνου (*Hanson*, 2018).

Σύμφωνα με μια έρευνα των *Padilha Campos Lopes et al.*, η ολοένα αυξανόμενη ανάπτυξη της τεχνολογίας πλωτών φωτοβολταϊκών σε όλο τον κόσμο έχει δημιουργήσει νέες δυνατότητες στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και παρέχει μοναδικές ευκαιρίες για πολλές χώρες και αγορές. Συγκρίνοντάς τις με τις κοινές εφαρμογές των Φ/Β, στα πλωτά Φ/Β συναντώνται σημαντικά πλεονεκτήματα συμπεριλαμβανομένης της υψηλότερης απόδοσης λόγω της ψυκτικής επίδραση του νερού. Αυτή η μελέτη αξιολογεί τις τεχνικές δυνατότητες εγκατάστασης πλωτών Φ/Β για τον ενεργειακό τομέα της Βραζιλίας. Η εκτίμηση βασίστηκε στις τρέχουσες διαμορφώσεις των υφιστάμενων πλωτών Φ/Β που εφαρμόζονται σε άλλες χώρες. Τα αποτελέσματα δείχνουν εκτιμώμενο δυναμικό 43 GWp, ακόμη και με συντηρητική εξέταση μόνο το 1% της κάλυψης υιοθετήθηκε στη μελέτη. Αυτό το δυναμικό των συγκεκριμένων Φ/Β ισοδυναμεί με περίπου το 12% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Βραζιλία και το 16,5% της εθνικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι επίσης ισοδύναμο με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται ετησίως από το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας Itaipu (το δεύτερο μεγαλύτερο παγκοσμίως). Ωστόσο, για τον προσδιορισμό των αξιοποιήσιμων τεχνικών δυνατοτήτων, θα χρειαστεί μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση για να φανεί πώς το δυναμικό αλληλεπιδρά με άλλους παράγοντες, όπως τεχνολογικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς, λειτουργικούς, περιβαλλοντικούς και ρυθμιστικούς. Στον τομέα των πλωτών Φ/Β εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις που απαιτούν περαιτέρω έρευνα και μάθηση (*Padilha Campos Lopes et al.*, 2022).

Πίνακας 2.1.2.2 : Συγκεντρωτική παρουσίαση βασικών σημείων μελετών – Φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ερευνητές	Έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο μελέτης	Συμπέρασμα
	2022	Αξιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος ηλεκτρικής	Για απευθείας διασύνδεση με δίκτυο, το φωτοβολταϊκό σύστημα ανατολικού-δυτικού προσανατολισμού μπορεί να

Khatib & Deria		ενέργειας με ανατολικό-δυτικό προσανατολισμό.	παρέχει ομαλότερη έγχυση ισχύος στο δίκτυο με λιγότερη αρμονική και λιγότερη αντίστροφη ισχύ. Το νότιο προσανατολισμένο φωτοβολταϊκό σύστημα προτιμάται όταν απαιτείται έγχυση υψηλής ισχύος
Hanson	2018	Διευρεύνηση για το εάν οι αναδυόμενες βιομηχανίες μπορούν να επωφεληθούν από τους πόρους που είναι ενσωματωμένοι σε εγκατεστημένες βιομηχανίες στη Νορβηγία.	Υπάρχει δυνατότητα τόνωσης της μεταφοράς πόρων και της κοινής χρήσης στοιχείων μεταξύ των εγκατεστημένων και των αναδυόμενων βιομηχανιών. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν όρια στη διατήρηση μιας θετικής συνεισφοράς από τον καθιερωμένο κλάδο στο πέρασμα του χρόνου.
Padilha Campos Lopes et al.	2022	Αξιολόγηση των τεχνικών δυνατοτήτων εγκατάστασης πλωτών Φ/Β για τον ενεργειακό τομέα της Βραζιλίας.	Δυναμικό Φ/Β 43 GWp, ακόμη και με συντηρητική εξέταση μόνο το 1% της κάλυψης υιοθετήθηκε στη μελέτη. Αυτό ισοδυναμεί με περίπου το 12% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Βραζιλία και το 16,5% της εθνικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

### 2.1.3 ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μία από τις πρώτες μορφές φυσικής ενέργειας που εκμεταλλεύτηκε η ανθρωπότητα. Καθώς η επιφάνεια της Γης θερμαίνεται ανομοιόμορφα, μεγάλες μάζες αέρα μετακινούνται από ένα σημείο σε ένα άλλο δημιουργώντας τον άνεμο. Ως άνεμος ορίζεται η κίνηση αερίων μαζών, η οποία εμπεριέχει ένα σημαντικό ποσό κινητικής ενέργειας. Οι μεταβλητές οι οποίες επηρεάζουν τον άνεμο είναι η ταχύτητα και η διεύθυνσή του. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται αιολική και χρησιμοποιείται από τις αιολικές μηχανές. Οι αιολικές μηχανές είναι οι μηχανές, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια που προαναφέρθηκε σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας. Ένα είδος αιολικών μηχανών αποτελούν οι ανεμογεννήτριες. Αυτές έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν την ενέργεια αυτή σε περιστροφική-μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική (Ασημακόπουλος & Αραμπατζής, 2020). Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες βάσει τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου. Πιο συγκεκριμένα :

- *Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα* : ο δρομέας είναι τύπου έλικα (συνήθως τριών περυγίων) και τοποθετείται σε παράλληλη θέση με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.
- *Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα* : ο δρομέας παραμένει σταθερός και τοποθετείται σε κάθετη θέση προς την επιφάνεια του εδάφους.

Το μεγαλύτερο ποσοστό ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούνται είναι οριζοντίου άξονα μιας και ανεμογεννήτριες διαφορετικών τύπων δεν έχουν αναπτυχθεί σε βαθμό που να αποτελούν αξιόπιστες εναλλακτικές επιλογές.

Συνήθως οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται σε περιοχές που παρουσιάζουν υψηλό αιολικό δυναμικό. Προκειμένου να γίνει ουσιαστική εκμετάλλευση των περιοχών αυτών, οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται πολλές μαζί. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται τα αιολικά πάρκα, τα οποία παράγουν και τροφοδοτούν το ηλεκτρικό δίκτυο με ηλεκτρική ενέργεια. Η παροχή ενέργειας δύνανται να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μικρά αυτόνομα συστήματα (π.χ. σπίτια, σκάφη) όσο και σε μεγάλα νησιά απομονωμένου δικτύου (Ασημακόπουλος & Αραμπατζής, 2020).

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα αποτελούνται από τα εξής κύρια μέρη :

- *Πυλώνας* : πρόκειται για τον κορμό της ανεμογεννήτριας. Πάνω σε αυτόν στηρίζεται ο δρομέας και το κέλυφος.
- *Δρομέας* : είναι το σημαντικότερο μέρος μιας ανεμογεννήτριας, μιας και σε αυτόν ένα μέρος της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε περιστροφική-μηχανική στον άξονα. Ακόμα, αυτός απαρτίζεται από την πλήμνη και τα περύγια τα οποία είναι ειδικά σχεδιασμένες αεροτομές κατά μήκος των οποίων παρατηρείται συστροφή.
- *Σύστημα μετάδοσης* : αποτελείται από το κιβώτιο προσαρμογής στροφών, τους άξονες περιστροφής και τα έδρανα στήριξης.
- *Γεννήτρια* : είναι το σημείο όπου η περιστροφική κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.
- *Αισθητήρες & Μηχανισμός περιστροφής/προσανατολισμού* : πρόκεινται για όργανα που μετρούν την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου με απώτερο σκοπό την μέγιστη δυνατή απόδοση ισχύος των μηχανών. Ο μηχανισμός περιστροφής εκμεταλλευόμενος τις μετρήσεις που γίνονται, στρέφει την ανεμογεννήτρια προς τη μεριά που έρχεται ο άνεμος.
- *Συστήματα ελέγχου ασφαλείας* : είναι όλα τα ηλεκτρομηχανικά συστήματα που αποσκοπούν στη σωστή λειτουργία της ανεμογεννήτριας (Jha, 2011).

Πίνακας 2.1 3.1 : Ετήσια δεδομένα αιολικής ενέργειας, Καλαμάτα Μεσσηνίας.

Πηγή : Global Atlas, <https://globalatlas.irena.org/workspace>

	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
Μέση ταχύτητα ανέμου στα 60 m	4,50	m/s
Μέση ταχύτητα ανέμου στα 120 m	4,79	m/s
Ετήσια μέση πυκνότητα ισχύος στα 60 m	152,96	W/m <sup>2</sup>
Ετήσια μέση πυκνότητα ισχύος στα 120 m	206,98	W/m <sup>2</sup>

Οι Zhang *et al.* μελέτησαν την λειτουργία των ανεμογεννητριών οι οποίες είναι εγκατεστημένες στην ταράτσα ενός κτιρίου και αναφέρονται στην αστική χρήση της αιολικής ενέργειας. Η λειτουργία των ανεμογεννητριών που τοποθετούνται σε αυτούς τους χώρους, μελετάται αριθμητικά μέσω της δημιουργίας μιας προσομοίωσης των μεγάλων στροβιλισμών τους. Στην παρούσα έρευνα, οι τουρμπίνες μοντελοποιήθηκαν από το μοντέλο του δίσκου ενεργοποιητή και η αστική περιοχή για την οποία γίνεται λόγος αντιπροσωπεύθηκε από δεκαέξι εξιδανικευμένα κτίρια σε σχήμα κύβου. Τα κύρια συμπεράσματα ήταν τα εξής: (α) Λόγω του φαινομένου του παραγκωνισμού της αστικής περιοχής, σχηματίστηκε μια φανερή/καθαρή περιοχή επιτάχυνσης πάνω από την αστική. Εν τω μεταξύ, η ένταση των αναταράξεων

ενισχύθηκε σημαντικά λόγω της ισχυρή διατμητικής επίδρασης της στέγης των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, οι δύο πρώτες σειρές των κτιρίων (ειδικά τα κτίρια της πρώτης σειράς) αλληλεπιδρούσαν εκτενώς με μια εισερχόμενη ροή και τόσο η μέση ταχύτητα όσο και η ένταση των αναταράξεων στην περιοχή εισόδου της αστικής περιοχής, άλλαζε δραστικά. Καθώς η ροή εξελισσόταν κατάντη, η ροή πάνω από την ταράτσα προσέγγιζε μια σχεδόν πλήρως ανεπτυγμένη κατάσταση. (β) Ακόμα, η συνολική ισχύς αυτών των ανεμογεννητριών ταράτσας αυξήθηκε σημαντικά. Ως αποτέλεσμα του προφίλ που σχηματίστηκε για την εισερχόμενη ταχύτητα, η συνολική ισχύς αυξήθηκε μονότονα με το ύψος της πλήμνης. Σε αυτή τη μελέτη, ο ρυθμός αύξησης της συνολικής ισχύος έφτασε σε μέγιστη τιμή 74,3%. Όταν το ύψος της πλήμνης ήταν χαμηλό, υπήρχε σημαντική διαφορά ισχύος μεταξύ της πρώτης σειράς και των κατάντη ανεμογεννητριών ταράτσας, κάτι το οποίο μπορεί να αποδίδεται στη διαφορά των τοπικών αιολικών πόρων και στην επίδραση της προστασίας των ανεμογεννητριών ανάντη. Με την αύξηση του ύψους της πλήμνης, η διαφορά στους αιολικούς πόρους μειώθηκε πάνω από την ταράτσα, και η διαφορά ισχύος επηρεάστηκε από την επιρροή του στεγάστρου. (γ) Οι διακυμάνσεις της ισχύος και του φορτίου των ανεμογεννητριών ταράτσας είναι στενά συνδεδεμένες με την τοπική ένταση αναταράξεων και παρουσιάζουν υψηλές διακυμάνσεις λόγω των ενισχυμένων αναταράξεων στην ταράτσα. Καθώς αυξήθηκε το ύψος της πλήμνης, οι διακυμάνσεις της συνολικής ισχύος και του φορτίου μειώθηκαν μονοτονικά. (δ) Τέλος, οι επιπτώσεις των μικρών ανεμογεννητριών ταράτσας στον περιβάλλον του ανέμου (π.χ. μέση ταχύτητα ανέμου) στην αστική περιοχή περιορίζονται κυρίως στην περιοχή της ταράτσας (Zhang et al., 2022).



Εικόνα 2.1.3.1 : Εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών.

Πηγή : SimplyEnergy, <https://www.simplyenergy.com>

Μια ακόμη έρευνα που αξίζει να αναφερθεί, αποτελεί αυτή των Wu et al.. Η συγκεκριμένη μελέτη επικεντρώνεται στη βελτιστοποίηση του συγχρονισμού της επιλογής τοποθεσίας ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου, της τρισδιάστατης διάταξης των ανεμογεννητριών και της τρισδιάστατης δρομολόγησης του καλωδιακού δικτύου βάσει μεθόδων αλγορίθμων και γεωγραφικών συστημάτων σχηματισμού. Προτείνεται ένα μοντέλο δύο επιπέδων. Το μοντέλο του εξωτερικού στρώματος αναφέρεται στην επιλογή της τοποθεσίας και τη βελτιστοποίηση της διάταξης της ανεμογεννήτριας. Το μοντέλο του εσωτερικού στρώματος προορίζεται για τη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης των καλωδίων για αποφυγή εμποδίων. Οι κύριες καινοτομίες που παρουσιάζονται αναφέρονται : (α) στην πραγματοποίηση μιας ταυτόχρονης βελτιστοποίησης με πολλαπλά υποπροβλήματα, (β) στην πρόταση μιας τρισδιάστατης αποφυγής εμποδίων βάσει μιας μεθοδολογίας διάταξης για ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο και (γ) σε ένα υβριδικό αλγόριθμο σύζευξης. Βάσει των αποτελεσμάτων, η ταυτόχρονη

βελτιστοποίηση πολλαπλών υποπροβλημάτων θα μπορούσε να αυξήσει το ετήσιο όφελος κατά εκατοντάδες χιλιάδες ή και εκατομμύρια δολάρια κατά τη διάρκεια ζωής των υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Άλλωστε το έδαφος του βυθού, όχι μόνο επηρεάζει τις σχετικές θέσεις των ανεμογεννητριών και των υποσταθμών, αλλά επηρεάζει άμεσα και το υποθαλάσσιο καλώδιο δρομολόγησης. Διαπιστώνεται ότι υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή της ενέργειας, του κόστους των καλωδίων και της απώλειας ενέργειας. Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα δείχνουν αύξηση πάνω από ένα εκατομμύριο δολάρια ετησίως σε σύγκριση με τη χρήση συμβατικών μεθόδων (Wu et al., 2022).

Σύμφωνα με τους *Pellegrini et al.*, οι δυνατότητες που υπάρχουν μέσα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αστικό επίπεδο από μικροανεμογεννήτριες δεν έχει γίνει ευρέως αντιληπτή. Η ολοένα αυξανόμενη εξάπλωση των μικροανεμογεννητριών δεν προάγει μονάχα την αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας, αλλά συνεισφέρει στην επίτευξη μειώσεων στις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου και υποστηρίζει τη μετάβαση στην ηλεκτροδότηση του συστήματος μεταφορών. Ωστόσο, ένα από τα εμπόδια για τη «επέκταση» αυτού του είδους ανεμογεννητριών στους αστικούς οικισμούς, είναι η δυσκολία που παρουσιάζεται στην εκτίμηση της σκοπιμότητάς του βάσει τους τοπικούς αιολικούς πόρους, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα περιορισμένοι και λιγότερο προβλέψιμοι από άλλες ανανεώσιμες πηγές σε αστικό πλαίσιο (όπως ηλιακή ενέργεια, βιομάζα). Η μελέτη ασχολείται με την εκτενή παρακολούθηση και ανάλυση μιας μικροανεμογεννήτριας που εδράζεται σε περιοχή της Ιταλίας. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η διερευνηθείσα τεχνολογία δεν είναι βιώσιμη για έναν χώρο εγκατάστασης με πολύ χαμηλή ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου (*Pellegrini et al.*, 2021).

Πίνακας 2.1.3.2 : Συγκεντρωτική παρουσίαση βασικών σημείων μελετών -Αιολικά συστήματα.

Ερευνητές	Έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο μελέτης	Συμπέρασμα
Zhang et al.	2022	Λειτουργία ανεμογεννητριών οι οποίες είναι εγκατεστημένες στην ταράτσα ενός κτιρίου και αναφέρονται στην αστική χρήση της αιολικής ενέργειας.	Η συνολική ισχύς αυξήθηκε μονότονα με το ύψος της πλήμνης. Ακόμη, ο ρυθμός αύξησης της συνολικής ισχύος έφτασε σε μέγιστη τιμή 74,3%. Σημειώνεται ότι όταν το ύψος της πλήμνης ήταν χαμηλό, υπήρχε σημαντική διαφορά ισχύος μεταξύ της πρώτης σειράς και των κατάντη ανεμογεννητριών ταράτσας.
Wu et al.	2022	Βελτιστοποίηση του συγχρονισμού της επιλογής τοποθεσίας ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου, της τρισδιάστατης διάταξης των ανεμογεννητριών και της τρισδιάστατης δρομολόγησης του καλωδιακού δικτύου βάσει μεθυστικών αλγορίθμων και	Η ταυτόχρονη βελτιστοποίηση πολλαπλών υποπροβλημάτων θα μπορούσε να αυξήσει το ετήσιο όφελος κατά εκατοντάδες χιλιάδες ή και εκατομμύρια δολάρια κατά τη διάρκεια ζωής των

	γεωγραφικών συστημάτων σηματισμού.	υπεράκτιων αιολικών πάρκων.
Pellegrini et al.	2021	Δυνατότητες που υπάρχουν μέσα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αστικό επίπεδο από μικροανεμογεννήτριες παρακολουθώντας και αναλύοντας μια μικροανεμογεννήτρια που εδράζεται σε περιοχή της Ιταλίας.

## 2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ

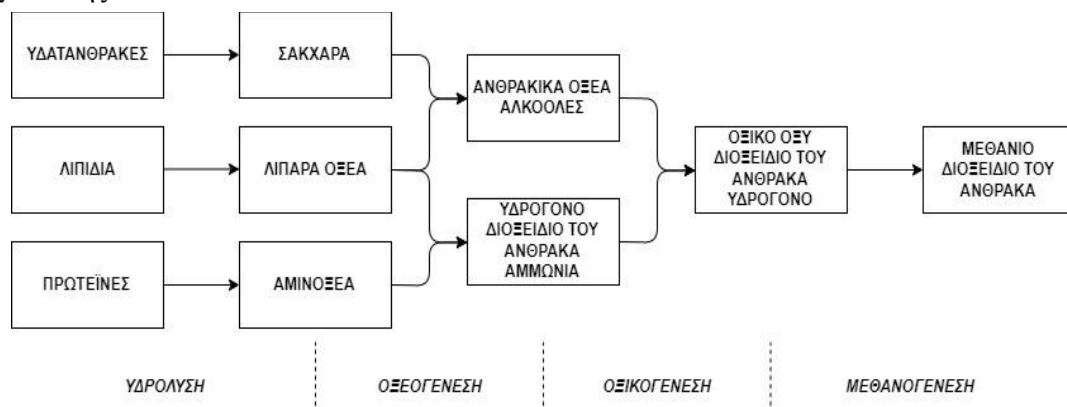
Τόσο τα γεωργικά υπολείμματα όσο και τα απόβλητα των βιομηχανιών δύνανται να επεξεργαστούν με πληθώρα μεθόδων προκειμένου να παραχθεί ενέργεια από αυτά. Η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της κάθε βιομηχανικής ή όχι μονάδας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η αξιοποίηση των υπολειμμάτων/αποβλήτων βοηθά στην ανάπτυξη της ιδέας της κυκλικής οικονομίας και στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

### 2.2.1 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για την ανάγκη αντικατάστασης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με πιο βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις. Μία εξ' αυτών των εναλλακτικών είναι και η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Ως Αναερόβια Χώνευση ορίζεται μια βιοχημική διεργασία που πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου σε αεροστεγείς δεξαμενές χώνευσης είτε συνεχούς λειτουργίας, σε μεγάλες εγκαταστάσεις, είτε διακοπτόμενης (Ασημακόπουλος & Αραμπατζής, 2020). Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την χρήση βιοαποδομήσιμων αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας με διάσπαση της οργανικής ύλης μέσω μιας σειράς βιοχημικών αντιδράσεων. Συνήθως λαμβάνει χώρα σε υδάτινα ρεύματα, ιζήματα και υγρά εδάφη, από πρώτες ύλες όπως βιομηχανικά και δημοτικά λύματα, αγροτοβιομηχανικές, δημοτικές, επισιτιστικές δραστηριότητες και φυτικά απόβλητα, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός μείγματος αερίων γνωστό ως βιοαέριο. Η αναερόβια χώνευση είναι η μόνη τρέχουσα διαδικασία βιολογικής επεξεργασίας που μπορεί να παράξει το βιοαέριο, το οποίο πρόκειται για ένα μείγμα μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και οξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Επιπρόσθετα, αυτή επιτρέπει την βιοαποικοδόμηση διαφόρων οργανικών ουσιών χωρίς την παρουσία οξυγόνου, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός προϊόντος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα εδάφους (Náthia-Neves et al., 2018).

Πιο συγκεκριμένα, η αναερόβια χώνευση επιτρέπει την επεξεργασία αποβλήτων που διαθέτουν υψηλή οργανική φόρτωση προκειμένου να μειωθεί ο όγκος και το φορτίο του, ενώ ανακτάται βιοαέριο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας αλλά και βιοκαυσίμων. Η διαδικασία σχηματισμού του βιοαερίου αποτελείται από συγκεκριμένα στάδια, στα οποία το αρχικό υλικό προς επεξεργασία διασπάται σε ολοένα και μικρότερα στοιχεία. Σε καθένα από αυτά τα βήματα παίρνουν μέρος ειδικές ομάδες μικροοργανισμών. Οι οργανισμοί αυτοί αποσυνθέτουν διαδοχικά τα προϊόντα που παράχθηκαν σε προηγούμενα βήματα. Ακολουθώντας παρουσιάζεται ένα διάγραμμα που αναφέρεται στη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης, η οποία διακρίνεται σε τέσσερα κύρια

στάδια: την υδρόλυση, την οξεογένεση, την οξικογένεση και τη μεθανογένεση. Τα στάδια της διεργασίας λαμβάνουν χώρα παράλληλα στον χώρο και τον χρόνο, μέσα στη δεξαμενή χώνευσης.



Εικόνα 2.2.1 2: Κύρια στάδια διαδικασίας Αναερόβιας Χώνευσης.

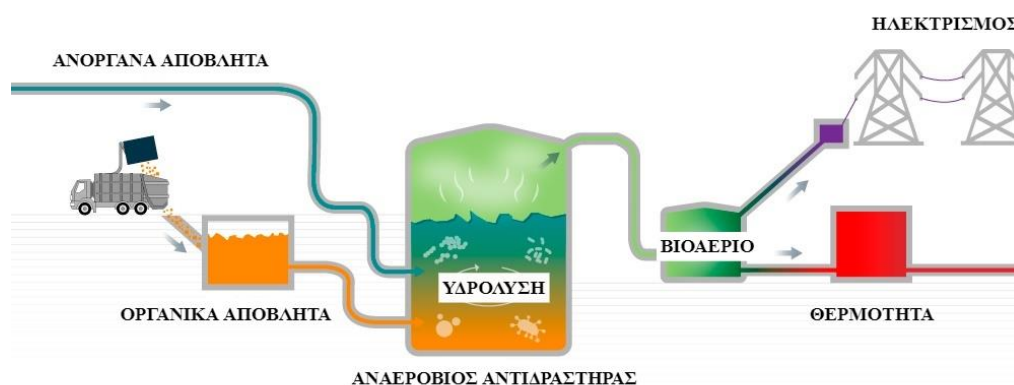
Κατά την πρώτη φάση της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, η πιο περίπλοκη σωματιδιακή ύλη μετατρέπεται σε διαλυμένα απλά υλικά. Αυτή η διαδικασία μετατροπής δίνεται από τη δραστηριότητα των υδρολυτικών μικροοργανισμών και απαιτεί την παραγωγή εξωενζύμου που εκκρίνεται από τα ζυμωτικά βακτήρια, τα οποία σπάνε διάφορες σύνθετες ενώσεις όπως πρωτεΐνες, αμινοξέα και υδατάνθρακες σε μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες. Επίσης, επιτρέπουν τη μετατροπή των λιπιδίων σε λιπαρά αμινοξέα μακράς αλυσίδας και γλυκερίνη. Το συγκεκριμένο στάδιο είναι το πιο χρονοβόρο της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης κάτι το οποίο οφείλεται στον σχηματισμό τοξικών ή ανεπιθύμητων ενώσεων. Η υδρόλυση περιορίζει ακόμα την ταχύτητα της αναερόβιας χώνευσης εάν το χρησιμοποιούμενο υπόστρωμα έχει τη μορφή σωματιδίων. Στη συνέχεια, μια εντατικοποίηση της διαδικασίας της υδρόλυσης οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης της πέψης. Βιολογικές, χημικές και μηχανικές προκατεργασίες, ή ο συνδυασμός τους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιτάχυνση της υδρόλυσης, μιας και μπορεί να προκαλέσουν λύση ή αποσύνθεση του υποστρώματος και επιτρέπουν την απελευθέρωση ενδοκυτταρικής ύλης επιτρέποντας μεγαλύτερη προσβασιμότητα αναερόβιων μικροοργανισμών, μειώνοντας έτσι τον χρόνο κατακράτησης στον χωνευτήρα.

Η δεύτερη φάση της αναερόβιας χώνευσης εμφανίζεται χάρη στη δράση οξινογόνων ζυμωτικών μικροοργανισμών (στρεπτόκοκκος, σαλμονέλα) που μετατρέπουν τα διαλυτά προϊόντα της υδρόλυσης σε ενώσεις όπως λιπαρά οξέα, αλκοόλες, γαλακτικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, αμμωνία και υδρόθειο. Η μετατροπή της οργανικής ύλης σε οργανικά οξέα προκαλεί πτώση του pH του συστήματος. Αυτή η όξινη κατάσταση ευνοεί τη δράση οξινογόνων και ακετογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι προτιμούν ένα ελαφρώς όξινο pH (4,5-5,5). Το οξικό και βουτυρικό οξύ που παράγονται σε αυτό το στάδιο αποτελούν σημαντικά στοιχεία για τη συνολική απόδοση της αναερόβιας χώνευσης, αφού αυτά αποτελούν τις προτιμώμενες πρόδρομες ουσίες για την παραγωγή μεθανίου.

Στην τρίτη φάση, τα ακετογόνα βακτήρια μετατρέπουν τις ενώσεις που δημιουργούνται κατά την οξεογόνα φάση, παράγοντας υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και οξικό άλας. Κατά τον σχηματισμό του οξικού και των προπιονικών οξέων, σχηματίζεται μεγάλη ποσότητα ιόντων υδρογόνου προκαλώντας μείωση του pH. Το βέλτιστο pH για τη δράση των ακετογόνων μικροοργανισμών είναι περίπου ίσο με 6. Αυτοί οι μικροοργανισμοί είναι αργά

αναπτυσσόμενοι και ευαίσθητοι στις διακυμάνσεις των οργανικών φορτίων αλλά και στην περιβαλλοντική αλλαγή.

Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης ονομάζεται μεθανογένεση. Στο συγκεκριμένο στάδιο, τα μεθανογόνα συμπλέγματα μονοκύτταρων οργανισμών προάγουν τη διάσπαση των οργανικών ενώσεων που προέρχονται από την προηγούμενη φάση. Αυτά χωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες: τα ακετοκλαστικά, τα οποία αποικοδομούν το οξικό οξύ ή τη μεθανόλη προκειμένου να παράξει μεθάνιο, και τα υδρογονοτροφικά, τα οποία χρησιμοποιούν υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα για την παραγωγή μεθανίου. Τα υδρογονοτροφικά μεθανογόνα είναι πιο ανθεκτικά στις περιβαλλοντικές αλλαγές από τα ακετοκλαστικά μεθανογόνα. Σε αντίθεση με άλλους μικροοργανισμούς, τα μεθανογόνα προτιμούν ελαφρώς αλκαλικό περιβάλλον (6,5-8). Μια καλά ισορροπημένη διεργασία αναερόβιας χώνευσης εμφανίζεται όταν όλα τα προϊόντα που παράγονται σε ένα μεταβολικό στάδιο μετατρέπονται στο επόμενο χωρίς συσσώρευση ενδιάμεσων προϊόντων, με αποτέλεσμα την πλήρη διάσπαση της οργανικής ύλης στα τελικά της προϊόντα (Náthia-Neves et al., 2018).



Εικόνα 2.2.1.2 : Διεργασία αναερόβιας χώνευσης (Πηγή : <https://www.dumpsters.com/blog/anaerobic-digestion-process/>)

Ορισμένες κρίσιμες παράμετροι επηρεάζουν σε υψηλό βαθμό την αποδοτικότητα της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, και κατ' επέκτασιν τους μικροοργανισμούς που δημιουργούνται σε αυτήν. Η απουσία οξυγόνου, η θερμοκρασία, η τιμή του pH, η ένταση της ανάδευσης καθώς και η παρουσία ανασταλτικών προϊόντων επηρεάζουν τους αναερόβιους μικροοργανισμούς.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα βακτήρια του μεθανίου, τα οποία λαμβάνουν μέρος στη διεργασία, είναι «δύσκολοι» αναερόβιοι οργανισμοί. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να αποφεύγεται η παρουσία οξυγόνου καθόλη τη διάρκεια της διεργασίας της χώνευσης.

Άλλος ένας αξιοσημείωτος παράγοντας είναι η θερμοκρασία. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι τιμές αυτές χωρίζονται στα ακόλουθα θερμοκρασιακά εύρη:

- Ψυχρόφιλη : κάτω από 25° C.
- Μεσόφιλη : 25 – 45° C.
- Θερμόφιλη : 45 – 70° C.

Η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται βάσει την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται και η θερμοκρασία διεργασίας παρέχεται στις περισσότερες περιπτώσεις από τα διάφορα συστήματα θέρμανσης που υπάρχουν εντός του χωνευτή.

Η ενεργός οξύτητα ή pH είναι ένας εύχρηστος τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης των κατιόντων υδροξωνίου ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) σε ένα υδατικό διάλυμα. Πρόκειται δηλαδή, για το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας του διαλύματος και εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Ο αριθμός των μεθανογενών μικροοργανισμών επηρεάζεται από την τιμή του pH που σημειώνεται στο υπόστρωμα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να επηρεάσει τον διαχωρισμό των ενώσεων που πραγματοποιούνται (αμμωνία, οργανικά οξέα). Η παραγωγή το μεθανίου κατά την διεργασία που εξετάζεται, πραγματοποιείται σε περιβάλλον με βέλτιστο εύρος pH ίσο με 7 – 8 για τους περισσότερους μεθανογενείς οργανισμούς.

Αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης σε διάφορους τομείς. Αρχικά, στη μελέτη των *Comino et al.*, διερευνήθηκαν στους 35°C η απόδοση βιοαερίου το οποίο αποτελούνταν από μείγματα ιλύος βοοειδών και ορού γάλακτος (τυρογάλου), οι ρυθμοί παραγωγής του μεθανίου, η αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης της ζήτησης χημικού οξυγόνου και η βιολογική ζήτηση οξυγόνου. Μέσω της επεξεργασίας μείγματος που αποτελούνταν από 50% λάσπη και ορό γάλακτος, ελήφθη σταθερή παραγωγή βιοαερίου 621 l/kg πτητικών στερεών σε υδραυλικό χρόνο κατακράτησης 42 ημερών. Η συγκέντρωση του μεθανίου στο βιοαέριο που παράχθηκε ήταν περίπου ίση με 55%. Οι μέγιστες αποδόσεις αφαίρεσης για ζήτηση χημικού οξυγόνου και βιολογική ζήτηση ήταν 82% και 90%, αντίστοιχα. Ακόμα, επιτεύχθηκε μέγιστη αύξηση της παραγωγής βιοαερίου κατά 79% σε σχέση με την «φάση» εκκίνησης. Πιο συγκεκριμένα, το αποτέλεσμα της παρούσας μελέτης έδειξε πως η συνπύση μεγάλου όγκου ορού γάλακτος είναι δυνατή χωρίς τη χρήση χημικών ουσιών για τη διόρθωση του pH. Ακόμη και το χωνεμένο υπόλειμμα παρατηρήθηκε πως έχει πολύτιμη απόδοση μεθανίου αφού με έναν οργανικό ρυθμό φόρτωσης των 1,6 g-VS/l-d, επιτεύχθηκε απόδοση μεθανίου 155,75 l-CH<sub>4</sub>/kg-VS. Για το λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητη η κάλυψη της δεξαμενής αποθήκευσης. Τέλος, αποδείχθηκε ότι αυτό το είδος μείγματος έχει παρόμοια ενεργειακή δυνατότητα για επεξεργασία μέσω της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης όπως οι ενεργειακές καλλιέργειες (*Comino et al.*, 2012).

Η μελέτη των *Kassongo et al.* είχε ως στόχο την αξιολόγηση του βιοενεργειακού δυναμικού της συνδυασμένης επεξεργασίας αποβλήτων. Τα απόβλητα αυτά προέρχονταν από βιομηχανίες παραγωγής κρασιού και τυριού. Η χώνευση της πρώτης ύλης σε αναλογία 3/1 απόσταγμα σταφυλιού/ορού γάλακτος (w/w) διεξήχθη σε μη αναδεδόμενες συνθήκες στους 45°C, μετά από βελτιστοποίηση μέσω της μεθόδου Taguchi. Οι αποδόσεις του σωρευτικού βιοαερίου και του μεθανίου ήταν 0,601 m<sup>3</sup> αέριο kg<sup>-1</sup> VS και 0,363 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> VS αντίστοιχα. Η συν-χώνευση του αποστάγματος σταφυλιού και του ορού γάλακτος δημιουργεί μια βιώσιμη προσέγγιση για την παραγωγή βιοενέργειας, με μειωμένη εξάρτηση από μη ανανεώσιμα ορυκτά καύσιμα και κατ' επέκτασιν μείωση των αερίων θερμοκηπίου. Παρά τα υψηλά συνολικά στερεά της πένης, οι εκπομπές βιοαερίου ήταν σταθερά και τυπικά δεν παρατηρήθηκε το φαινόμενο της υπερφόρτωσης. Ακόμα, οι οικονομικές προβλέψεις έδειξαν μια συνδυασμένη ηλεκτρική και θερμική απόδοση 80 GWh ετησίως και δυνητική δέσμευση άνθρακα ίση με 29.000 Mt CO<sub>2</sub>-ισοδύναμων ετησίως για την περιοχή της Αυστραλίας (*Kassongo et al.*, 2020).

Η έρευνα των *Ivanchenko et al.* μελετά την επίδραση της μηχανικής προεπεξεργασίας των απορριμμάτων που περιέχουν φυτικά απόβλητα και παχύρευστη ενεργή λάσπη λυμάτων για την παραγωγή βιοαερίου και την γεωπονική ποιότητα των χωνεμάτων. Η αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας αξιολογήθηκε από την απόδοση μεθανίου κατά την αναερόβια χώνευση με ορό γάλακτος, καθώς και η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά στα χωνεμένα προϊόντα με τη χρήση αγροχημικής δοκιμής. Διαπιστώθηκε ότι αυξάνοντας την ένταση θρυμματισμού,

το μέγεθος των σωματιδίων του υποστρώματος μειώνεται από 50 σε 16  $\mu\text{m}$ , γεγονός που προκαλεί αύξηση της απόδοσης βιοαερίου κατά περίπου 30%. Ως αποτέλεσμα, η περιεκτικότητα σε άνθρακα στα χωνεμένα προϊόντα μειώνεται από 72 σε 44%. Επιπλέον, ο συνδυασμός του δυναμικού του θρυμματισμού με την προσθήκη ορού γάλακτος οδηγεί σε σημαντική μείωση της διάρκειας ζύμωσης και αυξάνει την παραγωγή βιοαερίου κατά 41%. Τα ληφθέντα χωνεμένα υπολείμματα μπορούν να θεωρηθούν ως οργανικά ορυκτά λιπάσματα, καθώς περιέχουν έως και 43% της συνολικής ποσότητας φυτικών αποβλήτων και παχύρευστης ενεργής λάσπης λυμάτων, και πληρούν τις απαιτήσεις για την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα σύμφωνα με την ουκρανική νομοθεσία (Ivanchenko et al., 2021).

Ακόμα, οι *El Gnaoui et al.* αποφάσισαν να διερευνηθεί η αναερόβια χώνευση των λυμάτων ελαιοτριβείου μαζί με λύματα φαγητού στο εστιατόριο του ιδρύματος Tofail, προκειμένου να ενισχυθεί η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης των λυμάτων αυτών όσον αφορά την παραγωγή μεθανίου και τη σταθερότητα της διαδικασίας. Παρασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν διαφορετικά συν-υποστρώματα, στα οποία το περιεχόμενο των λυμάτων της ελιάς κυμαινόταν από 20 έως 80 %. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω αυτής της μελέτης αποκαλύπτουν ότι η συν-χώνευση των λυμάτων ελιάς με τα απόβλητα των τροφίμων είναι μια αποτελεσματική και κατάλληλη μέθοδος για την επίλυση του προβλήματος των λυμάτων ενός ελαιοτριβείου. Οι καλύτερες επιδόσεις στη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης παρατηρήθηκαν για το μείγμα (απόβλητα τροφίμων: λύματα ελαιοτριβείου) (80:20), στο οποίο το μεθάνιο, η απόδοση και η βιοαποικοδόμηση ήταν υψηλότερες και εμφάνισαν της τάξεως  $302,16 \pm 03,04 \text{ mL}_{\text{STP}} \text{ CH}_4 \cdot \text{g VS}^{-1}$  και  $86 \pm 04,7\%$  αντίστοιχα. Η απόδοση του μεθανίου στον συγκεκριμένο έλεγχο ήταν  $219,77 \pm 04,4 \text{ mL}_{\text{STP}} \text{ CH}_4 \cdot \text{g VS}^{-1}$ . Για όλο το μείγμα που δοκιμάστηκε, η διαδικασία ήταν σταθερή. Ο επιτρεπόμενος οργανικός βαθμός φόρτωσης βρέθηκε ίσος με  $2 \pm 0,06 \text{ kg VS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  για το ίδιο μείγμα. Τέλος, εφαρμόστηκαν δύο κινητικά μοντέλα: (α) το τροποποιημένο μοντέλο Gompertz και (β) το Logistic. Τα αποτελέσματα της κινητικής έδειξαν ότι ο χρόνος υστέρησης αυξήθηκε με την αύξηση ποσότητα των λυμάτων ελιάς, και το τροποποιημένο μοντέλο Gompertz είχε την καλύτερη εφαρμογή (El Gnaoui et al., 2020).

Στη μελέτη των *Maragkaki et al.* εξετάστηκε η βελτιστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου από τη λάσπη λυμάτων, αυτό επιχειρήθηκε με χρήση της διεργασίας της συν-χώνευσης με ένα αποξηραμένο μείγμα υπολειμμάτων τροφίμων, ορού γάλακτος και λυμάτων ελαιοτριβείου. Πραγματοποιήθηκε μια σειρά εργαστηριακών πειραμάτων σε αντιδραστήρες συνεχούς λειτουργίας στους  $37^\circ\text{C}$ , τροφοδοτούμενους με θερμικά αποξηραμένα μείγματα των λυμάτων που προαναφέρθηκαν σε συγκεντρώσεις 3%, 5% και 7% αντίστοιχα. Η συνολική διαδικασία σχεδιάστηκε με υδραυλικό χρόνο συγκράτησης (HRT) 24 ημερών. Η προσθήκη μείγματος λυμάτων μπορεί να αυξήσει τις αποδόσεις βιοαερίου εάν το μείγμα υπερβαίνει τη συγκέντρωση του 3% (v/v) στην τροφοδοσία. Οποιαδήποτε περαιτέρω αύξηση άνω του 5% του μείγματος προκαλεί μια μικρή αύξηση στην παραγωγή βιοαερίου. Επομένως, η συγκέντρωση τάξεως 5% του μείγματος με τη λάσπη αποδείχθηκε πως είναι η πιο αποτελεσματική, καθώς βελτιώνει σημαντικά την ρυθμό παραγωγής βιοαερίου. Συγκεκριμένα, η συνολική παραγωγή βιοαερίου μετά από συν-χώνευση της λάσπης με 5% ήταν  $1172 \pm 216 \text{ mL/L}_{\text{reactor}}/\text{d}$ , 2,7 φορές ή 170% υψηλότερο. Η χρήση, λοιπόν, του μείγματος των υπολειμμάτων τροφίμων, του ορού γάλακτος και των λυμάτων ελαιοτριβείου ως συν-υποστρώματα στην αναερόβια χώνευση του συστήματός μας παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η βελτίωση της απόδοσης μεθανίου και η ευελιξία της διαδικασίας λόγω της εποχικής παραγωγής αυτού του τύπου των απορριμμάτων (Maragkaki et al., 2018).

Πίνακας 2.2.1.1 : Συγκεντρωτική παρουσίαση βασικών σημείων μελετών – Διεργασία αναερόβιας χώνευσης.

Ερευνητές	Έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο μελέτης	Συμπέρασμα
Comino et al.	2012	Η απόδοση βιοαερίου αποτελούμενο από μείγματα ιλύος βοοειδών και ορού γάλακτος, οι ρυθμοί παραγωγής του μεθανίου, η αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης της ζήτησης χημικού οξυγόνου και η βιολογική ζήτηση οξυγόνου στους 35°C.	Η συνπύση μεγάλου όγκου ορού γάλακτος είναι δυνατή χωρίς τη χρήση χημικών ουσιών για τη διόρθωση του pH και το χωνεμένο υπόλειμμα παρατηρήθηκε πως έχει πολύτιμη απόδοση μεθανίου.
Kassongo et al.	2020	Αξιολόγηση του βιοενεργειακού δυναμικού της συνδυασμένης επεξεργασίας αποβλήτων.	Η συν-χώνευση του αποστάγματος σταφυλιού και του ορού γάλακτος δημιούργησε μια βιώσιμη προσέγγιση για την παραγωγή βιοενέργειας, με μειωμένη εξάρτηση από μη ανανεώσιμα ορυκτά καύσιμα και κατ' επέκτασιν μείωση των αερίων θερμοκηπίου.
Ivanchenko et al.	2021	Επίδραση της μηχανικής προεπεξεργασίας των απορριμμάτων που περιέχουν φυτικά απόβλητα και παχύρευστη ενεργή λάσπη λυμάτων για την παραγωγή βιοαερίου και την γεωπονική ποιότητα των χωνεμάτων.	Αυξάνοντας την ένταση θρυμματισμού, παρατηρείται αύξηση της απόδοσης βιοαερίου κατά περίπου 30%. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα στα χωνεμένα προϊόντα μειώνεται από 72 σε 44%. Επιπλέον, ο συνδυασμός του δυναμικού του θρυμματισμού με την προσθήκη ορού γάλακτος αυξάνει την παραγωγή βιοαερίου κατά 41%.
El Gnaoui et al.	2020	Διερεύνηση της αναερόβιας χώνευσης των λυμάτων ελαιοτριβείου μαζί με λύματα φαγητού στο εστιατόριο ενός ιδρύματος, προκειμένου να ενισχυθεί η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης των λυμάτων αυτών όσον αφορά	Η καλύτερη επίδοση παρατηρήθηκε για το μείγμα (απόβλητα τροφίμων: λύματα ελαιοτριβείου) (80:20), στο οποίο το μεθάνιο, η απόδοση και η βιοαποικοδόμηση ήταν

	την παραγωγή μεθανίου και τη σταθερότητα της διαδικασίας.	υψηλότερες και εμφάνισαν της τάξεως $302,16 \pm 03,04 \text{ mL}_{\text{STP}} \text{ CH}_4 \cdot \text{g VS}^{-1}$ και $86 \pm 04,7\%$ αντίστοιχα.
Maragkaki et al.	2018 Βελτιστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου από τη λάσπη λυμάτων, με χρήση της διεργασίας της συν-χώνευσης με ένα αποξηραμένο μείγμα υπολειμμάτων τροφίμων, ορού γάλακτος και λυμάτων ελαιοτριβείου.	Βελτίωση της απόδοσης μεθανίου και ευελιξία της διαδικασίας λόγω της εποχικής παραγωγής αυτού του τύπου των απορριμμάτων.

## 2.2.2 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Η διαδικασία της αεριοποίησης βιομάζας συνίσταται για τη μετατροπή μιας στερεής ή υγρής οργανικής ένωσης σε αέρια και στερεή μορφή. Η αέρια μορφή, η οποία είναι ευρέως γνωστή ως «αέριο σύνθεσης», έχει υψηλή θερμαντική ισχύ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή βιοκαυσίμων. Η στερεή μορφή, η οποία ονομάζεται εξανθράκωμα, αποτελείται από το οργανικό μη μετατρέπόμενο κλάσμα και το αδρανές υλικό που παρατηρείται στην επεξεργασμένη βιομάζα. Η μετατροπή αυτή αντιπροσωπεύει μια μερική οξείδωση του άνθρακα στο υλικό τροφοδοσίας. Ακόμα, πραγματοποιείται παρουσία ενός φορέα αεριοποίησης, όπως το οξυγόνο, ο ατμός, ο αέρας ή το διοξείδιο του άνθρακα. Η διεργασία της αεριοποίησης βιομάζας θεωρείται ως ένας τρόπος αύξησης της χρήσης της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας, επιτρέποντας την ευρεία χρήση της. Η ανάπτυξη των διεργασιών αεριοποίησης της βιομάζας προωθείται από την ολοένα και αυξανόμενη συνειδητοποίηση τόσο των πιθανών επιπτώσεων που έχει η χρήση ορυκτών καυσίμων στο κλίμα όσο και τη συνεχή αύξηση των τιμών του πετρελαίου (Molino et al., 2016).



Εικόνα 2.2.2.1 : Διεργασία αεριοποίησης (Πηγή : <https://wbc-lab.com/gasification>)

Το αέριο σύνθεσης που παράγεται, πρόκειται για ένα αέριο μείγμα μονοξειδίου του άνθρακα (CO), υδρογόνου (H<sub>2</sub>), μεθανίου (CH<sub>4</sub>) και διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) καθώς και ελαφρών υδρογονανθράκων, όπως το αιθάνιο και το προπάνιο, και βαρύτερων υδρογονανθράκων, όπως η πίσσα. Ανεπιθύμητα αέρια, όπως το σουλφιδρικό (H<sub>2</sub>S) και χλωριούχο οξύ (HCl) ή αδρανή

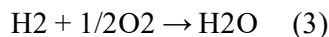
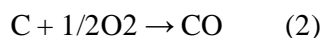
αέρια, όπως το άζωτο ( $N_2$ ), μπορεί επίσης να υπάρξουν στο αέριο αυτό. Η παρουσία τους εξαρτάται από το είδος της βιομάζας που υποβάλλεται σε επεξεργασία, αλλά και από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η διεργασία της αεριοποίησης (Molino et al., 2016).

Το εξανθράκωμα που παράγεται είναι ένα μείγμα μη μετατρεπόμενου οργανικού κλάσματος, το οποίο αποτελείται κυρίως από άνθρακα και τέφρα. Η ποσότητά του εξαρτάται κυρίως από την τεχνολογία της αεριοποίησης και τις συνθήκες λειτουργίας. Η ποσότητα της τέφρας εξαρτάται από την επεξεργασμένη βιομάζα.

Οι κυριότερες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στη διεργασία της αεριοποίησης είναι ενδόθερμες. Τα κυριότερα βήματα της διαδικασίας αυτής είναι τα εξής :

- Οξείδωση (εξώθερμο στάδιο)
- Ξήρανση (ενδόθερμο στάδιο)
- Πυρόλυση (ενδόθερμο στάδιο)
- Αναγωγή (ενδόθερμο στάδιο)

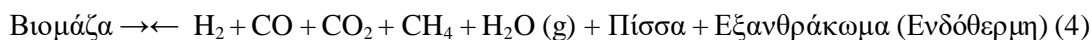
Η οξείδωση ενός μέρους της βιομάζας κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να ληφθεί η θερμική ενέργεια που απαιτείται για τις ενδόθερμες διεργασίες, για τη διατήρηση της θερμοκρασίας λειτουργίας στην ζητούμενη τιμή. Η οξείδωση πραγματοποιείται σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου ως προς τη στοιχειομετρική αναλογία προκειμένου να οξειδωθεί μονάχα ένα μέρος του καυσίμου (Molino et al., 2016; Μαρνέλλος et al., n.d.). Παρά τη μερική οξείδωση η οποία περιλαμβάνει όλα τα ανθρακούχα είδη (συμπεριλαμβανομένης της πίσσας) είναι πιθανό το σύστημα να απλοποιηθεί δεδομένου ότι μόνο το εξανθράκωμα και το αέριο σύνθεσης συμμετέχουν στις οξειδωτικές αντιδράσεις. Οι κυριότερες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά το στάδιο της οξείδωσης είναι οι ακόλουθες :



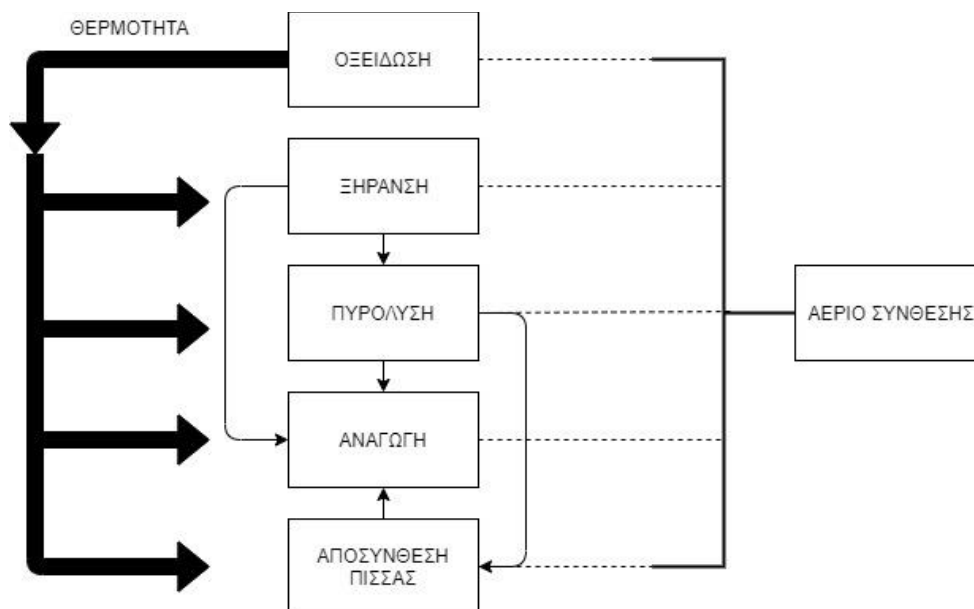
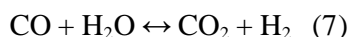
Το κύριο προϊόν αυτών των αντιδράσεων είναι η θερμική ενέργεια που απαιτείται για όλη τη διαδικασία, ενώ το προϊόν της καύσης είναι ένα μείγμα αερίων  $CO$ ,  $CO_2$  και νερό. Σε αυτό το μείγμα μπορεί να υπάρχει άζωτο εάν η διεργασία της οξείδωσης βιομάζας πραγματοποιείται παρουσία αέρα, διαφορετικά το άζωτο απουσιάζει εάν χρησιμοποιείται μόνο οξυγόνο.

Η ξήρανση συνίσταται για την εξάτμιση της υγρασίας που υπάρχει στην πρώτη ύλη. Η ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται σε αυτό το βήμα είναι ανάλογη της περιεκτικότητας της υγρασίας. Τέλος, η θερμότητα για την οποία γίνεται λόγος ουσιαστικά προέρχεται από τα άλλα στάδια της διαδικασίας.

Επόμενο βήμα, αποτελεί η πυρόλυση. Σε αυτό το στάδιο γίνεται αποσύνθεση των ανθρακούχων υλικών. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τη χημική διάσπαση των υλικών έχοντας ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό μορίων με κατώτερο μοριακό βάρος. Η διαδικασία της πυρόλυσης μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη αντίδραση :



Τελευταίο βήμα αποτελεί αυτό της αναγωγής. Περιλαμβάνει όλα τα προϊόντα των προηγούμενων σταδίων της πυρόλυσης και της οξείδωσης (Molino et al., 2016; Μαρνέλλος et al., n.d.). Το μείγμα των αερίων που έχουν παραχθεί και το char αντιδρούν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να σχηματιστεί το τελικό αέριο σύνθεσης. Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο συγκεκριμένο στάδιο παρουσιάζονται ακολούθως :



Εικόνα 2.2.2 2: Βασικά στάδια διεργασίας αεριοποίησης.

Πληθώρα ερευνητών έχει ασχοληθεί με την εκμετάλλευση της διεργασίας της αεριοποίησης και την αποτελεσματικότητά της. Η μελέτη των *Nam et al.* στόχευσε στη διερεύνηση της οικονομικής ανάλυσης ενός υβριδικού συστήματος συγχώνευσης-βιομάζας για την παραγωγή καθαρών καυσίμων. Η χρήση της τεχνολογίας μολύβδου λιθίου (LiPb) και καρβιδίου του πυριτίου (SiC), σαν διπλό ψυκτικό θα μπορούσε να παρέχει πάνω από 600 °C θερμότητας για την ενδόθερμη αντίδραση της αεριοποίησης. Αυτή η τεχνική επέκταση επέτρεπε την παραγωγή αερίου σύνθεσης, το οποίο μετατράπηκε είτε σε τεχνητό ντίζελ μέσω της αντίδρασης Fischer-Tropsch είτε σε υδρογόνο μέσω της αντίδρασης με νερό-αέριο. Πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα για να ληφθούν δεδομένα σχετικά με την απώλεια μάζας και για την ενδόθερμη θερμότητα της βιομάζας σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας. Από αυτό, το κατώτερο κόστος καυσίμου υπολογίστηκε ίσο με 0,46 \$/λίτρο για το ντίζελ και 1,05 \$/kg για το υδρογόνο. Αξίζει να σημειωθεί πως προκειμένου να γίνει μια μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος, θα πρέπει να σχεδιαστεί και να αξιολογηθεί από διάφορες οπτικές του τεχνικού ζητήματος, της αγοράς ενέργειας, της δράσης για το κλίμα και της δημόσιας αποδοχής. Μόλις επιτευχθεί κάτι τέτοιο, αυτό το σύστημα θα επιτύχει τόσο σταθερή παροχή ενέργειας όσο και μείωση CO<sub>2</sub> (*Nam et al.*, 2019).

Η έρευνα των *Kamble et al.* αναφέρεται σε συστήματα ελέγχου σε πραγματικό χρόνο για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας αεριοποίησης υπό ορισμένες συνθήκες για τη βελτίωση της απόδοσης μετατροπής του άνθρακα και της σταθερότητας του αεριοποιητή. Το Πανεπιστήμιο της Γλασκώβης σχεδίασε και κατασκεύασε έναν καθοδικό αεριοποιητή με μικρής κλίμακας λαιμό προκειμένου να αξιολογήσει εύκολα την απόδοση της διεργασίας της αεριοποίησης υπό διαφορετικές συνθήκες (π.χ. ποικιλία πρώτων υλών, με διαφορετικά όργανα και στρατηγικές ελέγχου). Αεριοποιήθηκαν διάφορες ποικιλίες της πρώτης ύλης *Miscanthus* (οι στοιχειακές

συνθέσεις διέφεραν ανάλογα με τις γενετικές τους ιδιότητες) με την ίδια αναλογία ισοδυναμίας. Στη συνέχεια, εγκαταστάθηκε μια μονάδα ελέγχου στον πειραματικό αεριοποιητή για τη μέτρηση των βασικών παραμέτρων (θερμοκρασία, πίεση, ροή υγρού και ροή μάζας). Το κύριο αποτέλεσμα της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η διερεύνηση του αντίκτυπου της ποικιλίας πρώτης ύλης στην απόδοση αεριοποίησης και ο εντοπισμός των προτιμώμενων ποικιλιών *Miscanthus*, ώστε να αναπτυχθούν σε κλίμακα με βελτιστοποιημένη αεριοποίηση. Μετά το πέρας της διεργασίας κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η κύρια διαφορά των ποικιλιών εμφανιζόταν στην περιεκτικότητά τους σε υγρασία. Τέλος, παρατηρήθηκε διακύμανση στις μέσες θερμοκρασίες αεριοποίησης, στο στέγνωμα, στο λαιμό και στις ζώνες πυρόλυσης. Παρόλα αυτά οι διαφορές πίεσης κατά μήκος της σχάρας ήταν παρόμοιες (Kamble et al., 2019).

Οι *Cano et al.* αποφάσισαν να αναλύσουν τον αντίκτυπο των ΑΠΕ σε ένα υβριδικό σύστημα εκτός δικτύου που αποτελείται από φωτοβολταϊκά, υδροκινητικούς στρόβιλους, μπαταρίες και αεριοποιητές βιομάζας, που χρησιμοποιούσαν διάφορους τύπους βιομάζας προκειμένου να καθοριστεί η βέλτιστη διαμόρφωση του συστήματος σε μια περιοχή νότια του Ισημερινού. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην τεχνικοοικονομική ανάλυση βελτιστοποίησης έδειξε ότι για το διαφορετικούς τύπους βιομάζας στον αεριοποιητή, σημειώθηκε μικρή διακύμανση της παραμέτρου αναχαιτίσης και της κλίσης του καυσίμου. Η βιομάζα που χρησιμοποιείται ως ενεργειακός πόρος, παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός αεριοποιητή βιομάζας ο οποίος τροφοδοτούσε μια μικροτουρμπίνα. Οι μελέτες ευαισθησίας έδειξαν την αύξηση του κόστους του συστήματος με αύξηση της ελάχιστης κατάστασης φόρτισης στις μπαταρίες. Ωστόσο, αυτή η αύξηση μείωσε την κατανάλωση βιομάζας και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Η υψηλότερη παραγωγή - ίση με 67,2% - εμφανίστηκε από τον συνδυασμό υπολειμμάτων μπανάνας, ζαχαροκάλαμου και κακάου. Συνεπώς, θα ήταν εφικτό τόσο από τεχνική όσο και από οικονομική άποψη, να παρέχεται φορτίο εκτός δικτύου μέσω ενός συστήματος που απαρτίζεται από όσα προαναφέρθηκαν (Cano et al., 2020).

Πίνακας 2.2.2.1 : Συγκεντρωτική παρουσίαση βασικών σημείων μελετών – Διεργασία αεριοποίησης.

Ερευνητές	Έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο μελέτης	Συμπέρασμα
Nam et al.	2019	Διερεύνηση της οικονομικής ανάλυσης ενός υβριδικού συστήματος συγχώνευσης -βιομάζας για την παραγωγή καθαρών καυσίμων.	Για την ανάπτυξη του συστήματος θα πρέπει να σχεδιαστεί και να αξιολογηθεί από διάφορες οπτικές του τεχνικού ζητήματος, της αγοράς ενέργειας, της δράσης για το κλίμα και της δημόσιας αποδοχή προκειμένου το σύστημα να επιτύχει τόσο σταθερή παροχή ενέργειας όσο και μείωση CO <sub>2</sub>
Kamble et al.	2019	Βελτιστοποίηση της διαδικασίας αεριοποίησης υπό ορισμένες συνθήκες για τη βελτίωση της απόδοσης μετατροπής του άνθρακα και της σταθερότητας του αεριοποιητή.	Η κύρια διαφορά των ποικιλιών εμφανίστηκε στην περιεκτικότητά τους σε υγρασία. Παρατηρήθηκε διακύμανση στις μέσες θερμοκρασίες αεριοποίησης, στο στέγνωμα, στο λαιμό και στις ζώνες πυρόλυσης.

Cano et al.	2020	Ανάλυση του αντίκτυπου των ΑΠΕ σε ένα υβριδικό σύστημα εκτός δικτύου αποτελούμενο από φωτοβολταϊκά, υδροκινητικούς στροβίλους, μπαταρίες και αεριοποιητές βιομάζας.	Αύξηση του κόστους του συστήματος με αύξηση της ελάχιστης κατάστασης φόρτισης στις μπαταρίες, μειώνοντας ταυτόχρονα την κατανάλωση βιομάζας και τις εκπομπές CO <sub>2</sub> .
-------------	------	---	--

### 2.2.3 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Η διεργασία της συμπαραγωγής θεωρείται ευρέως ως μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για πιο καινοτόμες και «ανθεκτικές» λύσεις σε περίπλοκα ενεργειακά και κλιματικά προβλήματα. Η επιτυχημένη γνώση της συμπαραγωγής απαιτεί την συμμετοχή όλων των παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων και των εμπειρογνομόνων/ειδικών. Πιο συγκεκριμένα, ως συμπαραγωγή ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία παρατηρείται ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής (ή και μηχανικής) και θερμικής ενέργειας. Η διεργασία αυτή λαμβάνει χώρο σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα μηχανών, οι οποίες χρησιμοποιούν το ίδιο καύσιμο για τη λειτουργία τους (Eaton et al., 2021).

Όπως κάθε διεργασία που χρησιμοποιείται στον κλάδο της ενέργειας, έτσι και αυτή της συμπαραγωγής έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές. Πιο συγκεκριμένα, οι *Entchev et al.* παρουσίασαν τα αποτελέσματά τους από μια δοκιμή που έγινε με ένα υβριδικό σύστημα μικρο-συμπαραγωγής, το οποίο εφαρμόστηκε για να ικανοποιήσει τις ανάγκες τόσο θερμικής όσο και ηλεκτρικής ενέργειας σε μια τυπική μονοκατοικία στον Καναδά. Το υβριδικό αυτό σύστημα αποτελούταν από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσεως, ο οποίος ήταν ενσωματωμένος με φούρνο υψηλής απόδοσης. Πραγματοποιήθηκε, ακόμη, ανάλυση κόστους προκειμένου να εξεταστεί το οικονομικό προφίλ τέτοιων συστημάτων σε σχέση με διαφορετικές δομές τιμών που επιβάλλονται από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Από τη συγκεκριμένη μελέτη αποδείχθηκε ότι η υβριδική μικρο-συμπαραγωγή του συστήματος λειτούργησε αξιόπιστα και παρήγαγε τόσο θερμότητα όσο και ισχύ με υψηλή απόδοση κατά την περίοδο θέρμανσης. Αξίζει να σημειωθεί, πως κατάφερε να ικανοποιήσει τη ζήτηση θέρμανσης υπό πολύ κρύες καιρικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια της περιόδου δοκιμής, το υβριδικό σύστημα παράξε κατά μέσο όρο 19,6 kWh ηλεκτρικής ενέργειας την ημέρα, από την οποία χρησιμοποιήθηκε το 50,4% στο σπίτι και το 49,6% εξήχθη στο δίκτυο. Το έργο έδειξε ότι τα συστήματα μικρο-συμπαραγωγής όταν έχουν το κατάλληλο μέγεθος (ώστε να καλύπτεται το βασικό ηλεκτρικό φορτίο και το θερμικό φορτίο της κατοικίας) είναι μια πολύτιμη εναλλακτική λύση για την κεντρικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και είναι σε θέση να ικανοποιήσουν αξιόπιστα τη ζήτηση θερμικής/ηλεκτρικής ενέργειας του σπιτιού ακόμη και κάτω από ακραίες συνθήκες ψύχους. Οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνταν κυρίως από το πρώτο στάδιο του υβριδικού συστήματος (κινητήρας IC). Το δεύτερο στάδιο του συστήματος (κινητήρας και φούρνος) ήταν σε λειτουργία περιστασιακά, γεγονός που οδήγησε σε σημαντική μείωση των κύκλων του κλιβάνου και στην έγκαιρη λειτουργία σε σύγκριση με το σύστημα κλιβάνου στο σπίτι αναφοράς. Επίσης, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία για την πρόβλεψη της απόδοσης του συστήματος κατά τη διάρκεια μιας πλήρους περιόδου θέρμανσης με βάση τη μέτρηση πειραματικά δεδομένα. Οι μέσες αποδόσεις των υποσυστημάτων υβριδικού συστήματος κατά τη διάρκεια των εβδομάδων των δοκιμών ήταν ίσες με: 75% και 93% όσον αφορά την απόδοση του κινητήρα και του κλιβάνου αντίστοιχα με μικρές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της

δοκιμής. Τέλος, η συνολική απόδοση κυμαινόταν μεταξύ 70 και 78% μιας και εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από την έγκαιρη λειτουργία του φούρνου (Entchev et al., 2013).

Η μελέτη των *Dallan et al.* στόχευσε στο να χρησιμοποιηθεί το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ως αντλία θερμότητας για τη διαχείριση της περίσσειας θερμικής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Επίσης, διερευνήθηκε η βιωσιμότητα της μετατροπής φωτοηλεκτρικής σπαταλούμενης θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του θερμοηλεκτρικού φαινομένου προκειμένου να γίνει καλύτερη διαχείριση της απόδοσης μετατροπής μιας φωτοβολταϊκής μονάδας. Πιο συγκεκριμένα, ο ρόλος μιας θερμοηλεκτρικής μονάδας είναι να μετατρέπει την φωτοηλεκτρική σπατάλη θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια και για να συντηρεί το φωτοβολταϊκό υλικό σε πιο αποδοτική θερμοκρασία μετατροπής ενέργειας. Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν έδειξαν ότι η συμβολή της ηλεκτρικής ισχύος της θερμοηλεκτρικής μονάδας κατά τη λειτουργία εκτός των φωτοηλεκτρικών σπαταλών θερμότητας ήταν αμελητέα σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε από τη φωτοβολταϊκή μονάδα. Λόγω της ηλεκτρικής αντίστασης της θερμοηλεκτρικής μονάδας και της ανώτερης ηλεκτροκινητικής δύναμης της φωτοβολταϊκής μονάδας, μειώνεται η ισχύς εξόδου του υβριδικού συστήματος. Τέλος, η δράση της ως αντλία θερμότητας επιτρέπει τη λειτουργία της φωτοβολταϊκής μονάδας με μεγαλύτερη απόδοση μετατροπής (Dallan et al., 2015).

Σύμφωνα με την έρευνα των *Vieira et al.*, η αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα πρόκειται για μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που μπορεί να συγκεντρωθεί στα συστήματα συμπαραγωγής. Παρουσιάζονται, λοιπόν, διάφορα συστήματα τα οποία ενσωματώνουν τον πεπιεσμένο αέρα για την αποθήκευση ενέργειας κατά τη διεργασία της συμπαραγωγής. Ανάμεσα στα συστήματα που αναλύθηκαν, η αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα με ηλιακή θέρμανση παρουσίασε την καλύτερη εξεργειακή απόδοση, προτείνοντας μια τάση προς τα συστήματα θαλάμων που ενσωματώνουν αεριοστρόβιλους και οργανικούς κύκλους Rankine. Κατά την αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων της ενέργειας συμπιεσμένου αέρα συμπαραγωγής συστημάτων αποθήκευσης σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συστήματα συμπαραγωγής χωρίς αποθηκευμένη ενέργεια πεπιεσμένου αέρα, θα μπορούσαν να προκύψουν ασυνέπειες ανάλογα με τις παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη. Τέλος, για πολλές μονάδες συμπαραγωγής με αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα, θα ήταν δυνατό να βελτιωθεί η απόδοση. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα που δεν έδειξαν δικαιολογημένο κέρδος στην αποτελεσματικότητα τουλάχιστον παρουσίαζαν οικονομικά πλεονεκτήματα (Vieira et al., 2021).

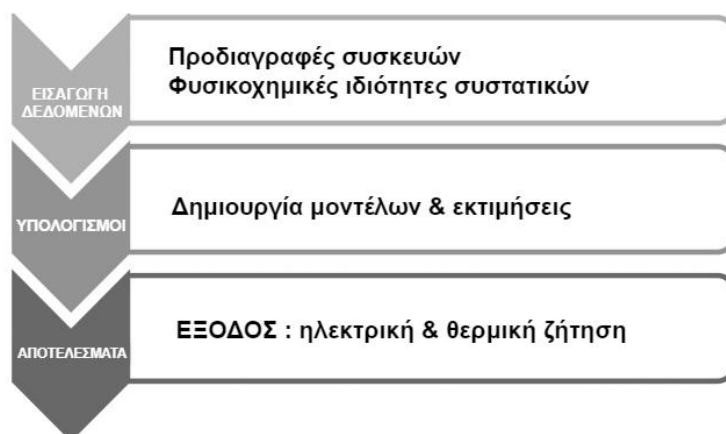
Πίνακας 2.2.3.1 : Συγκεντρωτική παρουσίαση βασικών σημείων μελετών – Διεργασία συμπαραγωγής.

Ερευνητές	Έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο μελέτης	Συμπέρασμα
Entchev et al.	2013	Εφαρμογή ενός υβριδικού συστήματος μικρο-συμπαραγωγής για να ικανοποιήσει τις ανάγκες τόσο θερμικής όσο και ηλεκτρικής ενέργειας σε μια τυπική μονοκατοικία στον Καναδά.	Η συνολική απόδοση κυμαινόταν μεταξύ 70 και 78% μιας και εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από την έγκαιρη λειτουργία του φούρνου.
		Χρησιμοποίηση θερμοηλεκτρικού	Η συμβολή της ηλεκτρικής ισχύος της θερμοηλεκτρικής

Dallan et al.	2015	φαινομένου ως αντλία θερμότητας για τη διαχείριση της περίσσειας θερμικής ενέργειας ενός Φ/Β και διερεύνηση της βιωσιμότητας της μετατροπής φωτοηλεκτρικής σπαταλούμενης θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του θερμοηλεκτρικού φαινομένου.	μονάδας κατά τη λειτουργία εκτός των φωτοηλεκτρικών σπαταλών θερμότητας ήταν αμελητέα σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε από τη φωτοβολταϊκή μονάδα. Μειώθηκε η ισχύς εξόδου του υβριδικού συστήματος και αυξήθηκε η απόδοση μετατροπής.
Vieira et al.	2021	Παρουσίαση συστημάτων που ενσωματώνουν τον πεπιεσμένο αέρα για την αποθήκευση ενέργειας κατά τη διεργασία της συμπαραγωγής.	Για πολλές μονάδες συμπαραγωγής με αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα, θα ήταν δυνατό να βελτιωθεί η απόδοση. Ενώ, τα συστήματα που δεν έδειξαν δικαιολογημένο κέρδος παρουσίαζαν οικονομικά πλεονεκτήματα.

### 2.3 ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Ο τομέας των τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας, αντιπροσωπεύει το 20–35% (ανάλογα με την πηγή) της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε όλο τον κύκλο ζωής. Ενώ μεγάλο μερίδιο των επιπτώσεων προέρχεται από τη γεωργική παραγωγή, το στάδιο της επεξεργασίας τροφίμων αποτελεί επίσης ένα σημαντικό μέρος της ζήτησης ενέργειας. Η μεγάλη ποσότητα τροφίμων που παράγεται και καταναλώνεται σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η παραγωγή τους απαιτεί ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, που παράγεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα, καθιστά την παραγωγή τροφίμων σχετικό περιβαλλοντικό ζήτημα. Επομένως, θα ήταν απαραίτητο να αξιολογηθεί ο αντίκτυπος που συνδέεται με την κατανάλωση και κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης στον τομέα της βιομηχανίας τροφίμων (Sanjuán et al., 2014).



Εικόνα 2.3.1 : Διαδικασία και εισαγωγή δεδομένων για την εκτίμηση της ενεργειακής ζήτησης και τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας στην επεξεργασία τροφίμων (Πηγή : (Sanjuán et al., 2014))

Η μελέτη των *Madadian et al.* διερεύνησε τη θερμοχημική απόδοση των υποπροϊόντων επεξεργασίας του χυμού σταφυλιού, δηλαδή των κόκκων πυρήνων σταφυλιού, της σκόνης πυρήνων σταφυλιού, των σπόρων σταφυλιού και των σπόρων σταφυλιού σε σκόνη, χρησιμοποιώντας διαφορική θερμοβαρυμετρική ανάλυση για τον προσδιορισμό των κινητικών παραμέτρων κατά τη θερμική αποσύνθεση. Πραγματοποιήθηκαν διάφορα πειράματα πυρόλυσης με ρυθμούς θέρμανσης 10°C, 20°C και 30°C σε μέγιστη θερμοκρασία 700°C. Η μέση ενέργεια ενεργοποίησης για τη σκόνη των πυρήνων των σταφυλιών – ίση με 29,96 kJ/mol - ήταν η πιο ενεργειακά αποδοτική πυρόλυση μεταξύ των τεσσάρων τύπων υποπροϊόντων που εξετάστηκαν. Ο φυσικοχημικός χαρακτηρισμός επιβεβαίωσε ότι αυτά τα υπολείμματα πολτού θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως δυνητική πρώτη ύλη για την παραγωγή καυσίμου και ενέργειας. Οι σπόροι σταφυλιού είχαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιγνίνη (49 και 52% για τους σπόρους και τη σκόνη) από τον πολτό (38 και 45% για τους κόκκους και σκόνη), καθιστώντας τα κατάλληλη πρώτη ύλη για βιομηχανικές εφαρμογές, ιδιαίτερα σε χημική παραγωγή. Η προτεινόμενη τεχνική θερμικής μετατροπής θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κατάντη από τους συμβατικούς βιοχωνευτές για τη μετατροπή των χωνεμάτων του χυμού επεξεργασίας των υποπροϊόντων, σε βιοκάrbουνο και βιοενέργεια. Τέλος, τα βασικά ευρήματα αυτής της μελέτης στόχευσαν στην ανάπτυξη βιώσιμης κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία τροφίμων (*Madadian et al.*, 2022).

Σύμφωνα με τους *Ismail et al* η χρήση της βιομηχανικής ηλιακής θερμότητας είναι αναγκαία για όλους τους βιομηχανικούς τομείς στην πορεία προς την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές. Καθώς η ζήτηση της βιομηχανίας αυξάνεται, οι εξελίξεις στις ηλιακές θερμικές τεχνολογίες και τα υλικά αναμένεται να δημιουργήσουν σημαντικό αριθμό ευκαιριών στο εγγύς μέλλον για όσους «συμμετέχουν» στην αγορά. Η ανάλυση στην οποία βασίζεται αυτή η έρευνα έχει εντοπίσει τις δυνατότητες των ηλιακών θερμικών πηγών για την παραγωγή θερμότητας για τη βιομηχανία τροφίμων. Αναφέρεται πως έως το 2020, τουλάχιστον 95 ηλιακές θερμικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος 41 MWth εγκαταστάθηκαν παγκοσμίως για αυτό το είδος βιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα, οι επίπεδοι συλλέκτες ήταν οι πιο εφαρμοζόμενοι ηλιακοί συλλέκτες στη βιομηχανία τροφίμων, με ποσοστό που άγγιζε το 38%. Έχει αποδειχθεί ότι οι πιο συνήθεις εφαρμογές θερμότητας είναι η προθέρμανση, ο καθαρισμός και η παστερίωση. Ακόμα, βάσει την εγκατεστημένη ηλιακή θερμική μονάδα, το 27% χρησιμοποιήθηκε για τη θέρμανση του νερού αναπλήρωσης. Η παρούσα εφαρμογή είναι εγκατεστημένη κυρίως για την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων και γενική επεξεργασία τροφίμων σε προθέρμανση, καθαρισμό, αποστείρωση και παστερίωση λόγω χαμηλού εύρους ζήτησης θερμοκρασίας. Τέλος, με την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων θα μπορούσε να

ενισχυθεί περαιτέρω η βιομηχανική εφαρμογή, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες λόγω πολλών παραγόντων όπως η διαθεσιμότητα γης, νερού, εργατικού δυναμικού, πόρων και υποδομών (Ismail et al., 2021).

Η έρευνα των Kumar et al. αναφέρεται σε μια βιομηχανία παραγωγής τσαγιού. Η παραγωγή και η επεξεργασία του τσαγιού απαιτούν ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε διάφορες διεργασίες όπως η άρδευση, ο μαρασμός, η έλαση, η ζύμωση, η ξήρανση, η διαλογή/ταξινόμηση και η συσκευασία. Για την παραγωγή ενός κιλού τσαγιού απαιτείται θερμικό και ηλεκτρικό φορτίο ενέργειας που κυμαίνεται στα 4,45 – 6,84 kWh και 0,4 – 0,7 kWh αντίστοιχα. Στη βιομηχανία τσαγιού, τα ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας και το ντίζελ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο χρησιμοποιούνται κυρίως για την αντιμετώπιση των αναγκών θερμικής ενέργειας. Αυτές οι πηγές ενέργειας ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον. Τα συμβατικά αυτά καύσιμα μπορούν να αντικατασταθούν από κατάλληλες ΑΠΕ για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης τόσο των φυτειών τσαγιού όσο και των βιομηχανιών. Παρατηρήθηκε ότι από την εκτίμηση των αποβλήτων βιοενέργειας από τη βιομηχανία και τον κήπο, θα μπορούσε να καλυφθεί έως και 83% των απαιτήσεων θερμικής ενέργειας στη βιομηχανία τσαγιού. Ακόμα, οι ηλιακοί συλλέκτες εκκενωμένων σωλήνων θα μπορούσαν να παρέχουν ζεστό αέρα στο εύρος θερμοκρασίας από 90°C έως 160°C για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης που απαιτείται στις διαδικασίες της ξήρανσης και του μαρασμού. Το υβριδικό σύστημα ηλιακής βιομάζας θα μπορούσε με τη σειρά του να χρησιμοποιείται για την παροχή ζεστού αέρα για τη διεργασία της ξήρανσης και του μαρασμού καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον, ο ζεστός αέρας από τον εκκενωμένο συλλέκτη σωλήνα θα μπορούσε να αποθηκεύεται σε συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων κατά τη διάρκεια ημερών με μη ύπαρξη ηλιοφάνειας. Συμπερασματικά, η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας στον κήπο και τη βιομηχανία τσαγιού θα μπορούσε να ανταποκριθεί με τρεις διαφορετικές τεχνολογίες αιεφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ηλιακά φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και μικρο-υδροηλεκτρικά συστήματα με βάση τη διαθεσιμότητα των πόρων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο παγκόσμιος τομέας τσαγιού θα μπορούσε να αντικαταστήσει τις προαναφερθείσες πρακτικές βασιζόμενες στις ΑΠΕ προκειμένου να ενισχυθούν η παραγωγικότητα, η ανταγωνιστικότητα και ο σεβασμός προς το περιβάλλον (K. R. Kumar et al., 2021).

Πίνακας 2.3.1 : Συγκεντρωτική παρουσίαση βασικών σημείων μελετών – Κάλυψη ενεργειακής ζήτησης.

Ερευνητές	Έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο μελέτης	Συμπέρασμα
Madadian et al.	2022	Διευρέυνση της θερμοχημικής απόδοσης των υποπροϊόντων επεξεργασίας του χυμού σταφυλιού.	Τα υπολείμματα πολτού θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως δυνητική πρώτη ύλη για την παραγωγή καυσίμου και ενέργειας. Οι σπόροι σταφυλιού είχαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιγνίνη από τον, καθιστώντας τα κατάλληλη πρώτη ύλη για βιομηχανικές εφαρμογές, ιδιαίτερα σε χημική παραγωγή.
		Εντοπισμός των δυνατοτήτων των ηλιακών θερμικών πηγών για την	Οι επίπεδοι συλλέκτες ήταν οι πιο εφαρμοζόμενοι ηλιακοί συλλέκτες στη βιομηχανία

Ismail et al.	2021	παραγωγή θερμότητας για τη βιομηχανία τροφίμων.	τροφίμων, με ποσοστό που άγγιξε το 38%. Ακόμη, βάσει την εγκατεστημένη ηλιακή θερμική μονάδα, το 27% χρησιμοποιήθηκε για τη θέρμανση του νερού αναπλήρωσης.
Kumar et al.	2021	Η παραγωγή και η επεξεργασία του τσαγιού απαιτούν ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε διάφορες διεργασίες. Όμως, οι πηγές ενέργειας στις οποίες βασίζονται για την αντιμετώπιση των αναγκών θερμικής ενέργειας, ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον.	Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας στον κήπο και τη βιομηχανία τσαγιού θα μπορούσε να ανταποκριθεί με τρεις διαφορετικές τεχνολογίες αειφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ηλιακά φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και μικρο-υδροηλεκτρικά συστήματα βάσει τη διαθεσιμότητα των πόρων.

## 2.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Η έννοια της ενεργειακής ευελιξίας έχει λάβει περισσότερη προσοχή τις τελευταίες δεκαετίες όπου οι βιομηχανίες λειτουργούν σε ένα σκληρό ανταγωνιστικό περιβάλλον όσον αφορά το κόστος και την παραγωγικότητά τους. Η ευελιξία στη λειτουργία μιας εγκατάστασης είναι απαραίτητη για τους διάφορους στόχους που θέτει η διοίκηση λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ως ευελιξία ορίζεται η ικανότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να ανταποκρίνεται στην αλλαγή της ζήτησης και της προσφοράς. Η ευελιξία εκτιμάται ιδιαίτερα στα συστήματα ισχύος του εικοστού πρώτου αιώνα, με υψηλότερα επίπεδα μεταβλητής ανανεώσιμης ενέργειας που συνδέεται με το δίκτυο (κυρίως, αιολική και ηλιακή).

Σε αρκετές χώρες παγκοσμίως, η βιομηχανία αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Δεδομένης της ιδιαίτερης σημασίας της παροχής αυτού του είδους ενέργειας σε μια βιομηχανία, η αξιόπιστη παροχή της αποτελεί βασική προϋπόθεση για περαιτέρω βιομηχανική και σχετική οικονομική ανάπτυξη. Καθώς οι χώρες αποδέχονται και υιοθετούν τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα (μέσα από την ανάπτυξη ΑΠΕ), η αυξανόμενη διακύμανση της παραγωγής ΑΠΕ απαιτεί νέες επιλογές όσον αφορά την ευελιξία στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Δρώντας κατ' αυτόν τον τρόπο προωθείται η πράσινη βιομηχανική ανάπτυξη, αλλά γίνεται επίσης μια κινητήρια δύναμη για βιομηχανική ανάπτυξη (Heffron et al., 2020).

Την τελευταία δεκαετία, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για την παροχή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, καθώς μπορεί να συμβάλει στην διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος. Η παρούσα μελέτη των *Pierri et al.* στοχεύει στη χαρτογράφηση ορισμένων στρατηγικών ευελιξίας και των απαιτήσεών τους στο περιβάλλον της βιομηχανίας διεργασιών. Η επινόηση μέτρων ευελιξίας προϋποθέτει χαρακτηρισμό των ροών ενέργειας, προκειμένου να εντοπιστούν τα σημεία ενδιαφέροντος και να εκτιμηθούν οι δυνατότητές τους. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκε μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία με σκοπό την υποστήριξη επενδυτικών

αποφάσεων για μια μελέτη στον τομέα παραγωγής χαρτιού που εδράζεται στη Γερμανία. Μέσω, λοιπόν, του χαρακτηρισμού των ενεργειακών ροών, δύναται να προβλεφθεί η πιθανή εφαρμογή των επιλεγμένων μέτρων. Το προτεινόμενο σχέδιο δράσης στο οποίο κατέληξαν αποτελούνταν από τα ακόλουθα βήματα: (α) ενοποίηση των ΑΠΕ στις εγκαταστάσεις, για μείωση του ενεργειακού κόστους και αύξηση της ενεργειακής ευελιξίας σε εργοστασιακό επίπεδο, (β) εγκατάσταση αντλιών θερμότητας στην πρώτη μονάδα παραγωγής προς ανάκτηση υπολειμμάτων θερμότητας από τους μύλους και τις μηχανές χαρτιού και (γ) εγκατάσταση εξοπλισμού ξήρανσης λάσπης για τη μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία της λάσπης και συνεπώς την αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης, μειώνοντας κατά συνέπεια τα σημεία συμφόρησης στην παραγωγή (Pierri et al., 2020).

Ο κλάδος της βιομηχανίας έχει σημαντική ευθύνη για την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων αλλά και την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Για το λόγο αυτό, έχουν παρθεί αρκετές πρωτοβουλίες από τον κλάδο αυτό προκειμένου να μετριάσει αυτά τα ζητήματα. Μία από αυτές τις πρωτοβουλίες αφορά την εφαρμογή στρατηγικών ενεργειακής απόδοσης. Αυτό είναι και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας έρευνας. Τόσο η χρήση ΑΠΕ όσο και η αποθήκευση ενέργειας γίνονται αντικείμενα ζωτικής σημασίας για την παροχή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας σε περιόδους αιχμής. Ακόμη, η επεξεργασία τροφίμων φαίνεται να αντιπροσωπεύει πολλά υποσχόμενα μονοπάτια για την απανθρακοποίηση του τομέα της επεξεργασίας τροφίμων, η οποία συναντάται σε περιορισμένο βαθμό. Θα πρέπει, λοιπόν, να αναπτυχθούν κατάλληλες πολιτικές οι οποίες θα ενθαρρύνουν τους χρήστες να υιοθετήσουν τέτοιου είδους στρατηγικές. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να επιτευχθεί παρέχοντας κίνητρα όσον αφορά την αγορά τεχνολογιών που σχετίζονται με την έξυπνη επεξεργασία τροφίμων κάτι το οποίο θα ήταν κερδοφόρο μακροπρόθεσμα. Σύμφωνα με τους *Clairand et al.*, αναμένεται να υπάρξει ένα χάσμα μεταξύ της παραγωγής τροφίμων (που θα αυξηθεί κατά 70%) και του ενεργειακού τομέα. Επομένως, θα ήταν χρήσιμο να επιτευχθούν τέτοιου είδους επενδύσεις στον τομέα αυτόν και πιο συγκεκριμένα στις ΑΠΕ (Clairand et al., 2020).

Πίνακας 2.4.1 : Συγκεντρωτική παρουσίαση βασικών σημείων μελετών – Ενεργειακή ευελιξία.

Ερευνητές	Έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο μελέτης	Συμπέρασμα
Pierri et al.	2020	Χαρτογράφηση ορισμένων στρατηγικών ευελιξίας και των απαιτήσεών τους στο περιβάλλον της βιομηχανίας διεργασιών.	Ενοποίηση των ΑΠΕ στις εγκαταστάσεις, εγκατάσταση αντλιών θερμότητας στην πρώτη μονάδα παραγωγής προς ανάκτηση υπολειμμάτων θερμότητας από τους μύλους και τις μηχανές χαρτιού και εγκατάσταση εξοπλισμού ξήρανσης.
Clairand et al.	2020	Εφαρμογή στρατηγικών ενεργειακής απόδοσης τόσο με τη χρήση ΑΠΕ όσο και με την αποθήκευση ενέργειας.	Αναμένεται να υπάρξει ένα χάσμα μεταξύ της παραγωγής τροφίμων και του ενεργειακού τομέα της τάξεως του 70%. Επομένως, θα ήταν χρήσιμο να επιτευχθούν τέτοιου είδους επενδύσεις στις ΑΠΕ.

## 2.5 ΣΥΝΘΕΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν σημαντικές προσπάθειες παγκοσμίως, από την έρευνα έως τις πολιτικές πρωτοβουλίες, για την υποστήριξη της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και ιδιαίτερα από καινοτόμες ιδέες. Ωστόσο, για την επίτευξη των απαιτητικών περιβαλλοντικών στόχων που έχουν τεθεί, για την οικονομικά προσιτή ενέργεια -τόσο για τις τωρινές όσο και για τις επόμενες γενιές- απαιτούνται σαφείς στρατηγικές σε όλους τους ενεργειακούς τομείς. Όσον αφορά τη θέρμανση και την ψύξη, όπως και τις μεταφορές, αντιπροσωπεύουν σημαντικές συνεισφορές στη ενεργειακή κατανάλωση (αποτέλεσμα των οποίων είναι η εκπομπή αερίων θερμοκηπίου), βασίζονται ολοκληρωτικά στην πρωτογενή ενέργεια από ορυκτά καύσιμα (στις περισσότερες χώρες) και είναι αναμφισβήτητα πιο δύσκολο να απανθρακωθούν σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια (Mancarella, 2014).

Η ολοένα αποδοχή των υβριδικών ΑΠΕ αυξάνεται συνεχώς λόγω της συμπληρωματικής συμπεριφοράς τους και της ικανότητάς τους να μειώνουν την επιβάρυνση στο συνδεδεμένο δίκτυο ή στη συμβατική γεννήτρια ντίζελ ή στην ικανότητα αποθήκευσης. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη διαθεσιμότητα όσο και την τεχνολογική πρόοδο, τα φωτοβολταϊκά και ο άνεμος γίνονται οι πιο προτιμώμενες πηγές ενέργειας για να σχηματίσουν ένα υβριδικό ενεργειακό σύστημα με βάση τις ΑΠΕ. Αν και η υβριδική διαμόρφωση φωτοβολταϊκών και αιολικών παρέχει μεγαλύτερο βαθμό λειτουργικής σταθερότητας όσον αφορά τις μειώσεις των διακυμάνσεων από τα ανανεώσιμα συστήματα, το σύστημα αποθήκευσης μπαταριών και η γεννήτρια ντίζελ είναι ακόμη η απαραίτητη υποστήριξη που απαιτείται για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της λειτουργικής σταθερότητας του συστήματος. Η βελτιστοποίηση του υβριδικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του συστήματος αποθήκευσης ή της βοηθητικής πηγής παραγωγής (δηλαδή του ντίζελ), διασφαλίζει την τεχνοοικονομική λειτουργία του συστήματος. Ωστόσο, η τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ακριβείς προβλέψεις του ανέμου και της ακτινοβολίας και τη συνέπεια στη μέση ταχύτητα ανέμου και την ηλιακή ακτινοβολία (Hina Fathima et al., 2018).

Αρκετοί ερευνητές αξιολόγησαν την αποδοτικότητα που παρουσιάζει η σύνθεση διάφορων ενεργειακών συστημάτων. Οι *Kirim et al* σχεδίασαν αρθρωτά υβριδικά συστήματα ΑΠΕ, τα οποία αποτελούνταν από βιοαέριο και ηλιακά φωτοβολταϊκά, για διάφορους αχυρώνες βοοειδών γαλακτοπαραγωγής που βρίσκονταν στην επαρχία της Τουρκίας. Μέσα από τη συγκεκριμένη μελέτη, εκτιμήθηκε ότι το συνδεδεμένο στο δίκτυο σύστημα (συμπεριλαμβανομένων των φωτοβολταϊκών και της βιομάζας, ήταν πιο εφικτό σε σχέση με το αυτόνομο σύστημα βιομάζας βάσει διαφόρων παραγόντων (παρόν κόστος, απόδοση επένδυσης, κόστος ενέργειας, ετήσιας αξίας). Χρησιμοποιήθηκε πληθώρα μεταβλητών προκειμένου να γίνει πρόβλεψη της συμβολής της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα συγκεκριμένα συστήματα ΑΠΕ στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν της χώρας. Τέλος, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως το παγκόσμιο συνολικό εγκατεστημένο κόστος της ηλιακής ενέργειας κατείχε το μεγαλύτερο βάρος όσον αφορά το μερίδιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ως προς το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, το ποσοστό του οποίου υπολογίστηκε ίσο με 97% (*Kirim et al.*, 2022).

Σύμφωνα με την έρευνα των *Sifakis et al*, ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής έχει καταστεί έκτακτη ανάγκη για τα λιμάνια, τα οποία προσπαθούν να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση και να μειώσουν τις εκπομπές άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση βελτιστοποίησης ενός υβριδικού ανανεώσιμου θαλάσσιου λιμένα που συνδεόταν με το δίκτυο. Εξετάστηκαν αρκετά σενάρια σχετικά με τους πιθανούς συνδυασμούς των πιο «ώριμων» ΑΠΕ και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σύμφωνα με το περιβαλλοντικό

τους αποτύπωμα, τη μελλοντική τους απασχολησιμότητα αλλά και του κόστους ενέργειας. Ως εκ τούτου, φαίνεται πως οι εκπομπές μειώθηκαν στο μηδέν, καθώς οι καθαρές αγορές δικτύου ήταν μηδενικές, ενσωματώνοντας πλήρως πράσινες υποδομές. Η ιδέα, λοιπόν, που υιοθετήθηκε αποδείχθηκε μια βιώσιμη και εφικτή λύση για τα λιμάνια (Sifakis et al., 2021).

Η παρούσα μελέτη, των *Jahangir & Cheraghi* στόχευσε στην παρουσίαση ενός υβριδικού συστήματος ΑΠΕ που αποτελείται από φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτριες και γεννήτρια βιοαερίου για την ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών στην επαρχία του Ιράν. Η χρήση αυτού του συστήματος εκτός δικτύου αποτρέπει την ανάπτυξη ορυκτών καυσίμων και εκπομπές CO<sub>2</sub> από τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής. Το βέλτιστο οικονομικό σύστημα στο οποίο κατέληξαν από την έρευνά τους, περιλάμβανε μια γεννήτρια βιοαερίου (150 kW), φωτοβολταϊκά πάνελ (80,7 kW), μπαταρίες και μετατροπέα. Η περιβαλλοντική εκτίμηση που έγινε, έδειξε ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από προτεινόμενα υβριδικά συστήματα ΑΠΕ ήταν αμελητέες σε σύγκριση με ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας με βάση τον άνθρακα και το δίκτυο. Η μείωση του CO<sub>2</sub> στην παρουσιαζόμενη προσέγγιση κατάφερε να εξοικονομήσει περισσότερα από \$8000 ετησίως (Jahangir & Cheraghi, 2020).

Μια ακόμη μελέτη – των *Eze et al.* - επικεντρώθηκε στην τεχνική και οικονομική αξιολόγηση σκοπιμότητας ενός υβριδικού συστήματος ΑΠΕ για την ενίσχυση ενός κτιρίου στην Κένυα. Επίσης, στόχευσε στον προσδιορισμό του βέλτιστου υβριδικού συστήματος ΑΠΕ το οποίο μπορούσε να παρέχει αξιόπιστη και προσιτή ενέργεια σε αυτό. Η συνολική ενεργειακή ζήτηση και κατανάλωση της εγκατάστασης βρέθηκαν να είναι 84,59 kW και 1172 kWh/ημέρα, αντίστοιχα. Έπειτα από αναλύσεις βρέθηκε πως η βέλτιστη διαμόρφωση του συστήματος θα αποτελούνταν από πλέγμα, φωτοβολταϊκά και ντίζελ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα θα ήταν τεχνικά και οικονομικά βιώσιμο. Τέλος, αποδείχθηκε ότι αυτό κατάφερε να μειώσει τόσο την αγορά ρεύματος από το δίκτυο όσο και το λογαριασμό ρεύματος κατά 77% και 84% αντίστοιχα (Eze et al., 2022).

Βασικός στόχος της έρευνας των *Das et al.* αποτέλεσε η διερεύνηση της βελτιστοποίησης ενός υβριδικού συστήματος ΑΠΕ, το οποίο χρησιμοποιούσε την περίσσεια ενέργειας που παραγόταν από τις δικές του πηγές προκειμένου να ικανοποιήσει τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία μιας απομακρυσμένης κοινότητας. Η προτεινόμενη διαμόρφωση συστήματος αποτελούνταν από φωτοβολταϊκό στοιχείο, ανεμογεννήτρια, μπαταρία, ελεγκτή θερμικού φορτίου και λέβητα αερίου. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που έγιναν υπέδειξαν ότι η βελτιστοποιημένη υβριδική επιλογή που βασιζόταν σε Φ/Β, ανεμογεννήτρια και μπαταρία προσέφερε χαμηλότερο κόστος ενέργειας (0,255\$/kWh) όταν το σύστημα ικανοποιούσε το θερμικό φορτίο χρησιμοποιώντας τον ελεγκτή θερμικού φορτίου και τον λέβητα αερίου χωρίς να χρησιμοποιείται υπερβολική ενέργεια (0,274 \$/kWh). Αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνική βελτιστοποίησης γενετικού αλγορίθμου που εφαρμόστηκε έδειξε ότι το προτεινόμενο σύστημα ήταν εξαιρετικά αξιόπιστο – ίσο με 99,92 % - με ταυτόχρονη κάλυψη των ηλεκτρολογικών και θερμικών απαιτήσεων (Das et al., 2021).

Πίνακας 2.5.1 : Συγκεντρωτική παρουσίαση βασικών σημείων μελετών – Υβριδικά συστήματα.

Ερευνητές	Έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο μελέτης	Συμπέρασμα
Kirim et al.	2022	Σχεδιασμός αρθρωτών υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ, τα οποία αποτελούνταν από βιοαέριο και ηλιακά φωτοβολταϊκά,	Το παγκόσμιο συνολικό εγκατεστημένο κόστος της ηλιακής ενέργειας κατείχε το μεγαλύτερο βάρος όσον αφορά το μερίδιο της

		για διάφορους αχυρώνες βοοειδών γαλακτοπαραγωγής στην επαρχία της Τουρκίας.	παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ως προς το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (97%).
Sifakis et al.	2021	Ανάλυση βελτιστοποίησης ενός υβριδικού ανανεώσιμου θαλάσσιου λιμένα συνδεδεμένο με το δίκτυο.	Οι εκπομπές μειώθηκαν στο μηδέν, καθώς οι καθαρές αγορές δικτύου ήταν μηδενικές, ενσωματώνοντας πλήρως πράσινες υποδομές. Η ιδέα αποδείχθηκε βιώσιμη και εφικτή λύση για τα λιμάνια.
Jahangir & Cheraghi	2020	Παρουσίαση ενός υβριδικού συστήματος ΑΠΕ αποτελούμενο από φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτριες και γεννήτρια βιοαερίου για την ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών στην επαρχία του Ιράν.	Η περιβαλλοντική εκτίμηση έδειξε ότι οι εκπομπές CO <sub>2</sub> από προτεινόμενα υβριδικά συστήματα ΑΠΕ ήταν αμελητέες σε σύγκριση με ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας με βάση τον άνθρακα και το δίκτυο (μείωση του CO <sub>2</sub> στην παρουσιαζόμενη προσέγγιση κατά \$8000 ετησίως).
Eze et al.	2022	Τεχνική και οικονομική αξιολόγηση σκοπιμότητας ενός υβριδικού συστήματος ΑΠΕ για την ενίσχυση ενός κτιρίου στην Κένυα.	Η βέλτιστη διαμόρφωση του συστήματος θα αποτελούσαν από πλέγμα, Φ/Β και ντίζελ. Το σύστημα θα ήταν τεχνικά και οικονομικά βιώσιμο μειώνοντας τόσο την αγορά ρεύματος από το δίκτυο όσο και το λογαριασμό ρεύματος κατά 77% και 84% αντίστοιχα.
Das et al.	2021	Διερεύνηση της βελτιστοποίησης ενός υβριδικού συστήματος ΑΠΕ, το οποίο χρησιμοποιούσε την περίσσεια ενέργειας που παραγόταν από τις δικές του πηγές προκειμένου να ικανοποιήσει τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία μιας απομακρυσμένης κοινότητας.	Η βελτιστοποιημένη υβριδική επιλογή βασιζόμενη σε Φ/Β, ανεμογεννήτρια και μπαταρία προσέφερε χαμηλότερο κόστος ενέργειας (0,255\$/kWh) όταν το σύστημα ικανοποιούσε το θερμικό φορτίο χρησιμοποιώντας τον ελεγκτή θερμικού φορτίου και τον λέβητα αερίου χωρίς να χρησιμοποιείται υπερβολική ενέργεια (0,274 \$/kWh).

## 2.6 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

### 2.6.1 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνωρίζοντας τη σημασία της ανάδειξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσα από την εγκατάστασή τους σε ολοένα και περισσότερους τομείς, έχει θέσει διάφορα μέτρα προκειμένου να βοηθήσει στην ομαλή εξέλιξη της κοινωνίας. Τα έργα ΑΠΕ υλοποιούνται κατόπιν επιτυχούς ολοκλήρωσης μιας σύνθετης διαδικασίας αδειοδότησης που περιλαμβάνει διακριτά στάδια αξιολόγησης κι έγκρισης, στα οποία εμπλέκονται διαφορετικές διοικητικές αρχές και φορείς, η αρμοδιότητα των οποίων καθορίζεται αναλόγως με το είδος και το στάδιο ανάπτυξης του εκάστοτε επενδυτικού σχεδίου (ΡΑΕ, 2022). Για την οριοθέτηση του θέματος αυτού έχουν παρθεί πολυάριθμοι θεσμοί. Ορισμένοι από αυτούς παρουσιάζονται παρακάτω:

- Κανονισμός (ΕΕ) 2018/1999 : του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 11ης Δεκεμβρίου 2018, για τη διακυβέρνηση της Ενεργειακής Ένωσης και της Δράσης για το Κλίμα, για την τροποποίηση των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 663/2009 και (ΕΚ) αριθ. 715/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, των οδηγιών 94/22/ΕΚ, 98/70/ΕΚ, 2009/31/ΕΚ, 2009/73/ΕΚ, 2010/31/ΕΕ, 2012/27/ΕΕ και 2013/30/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, των οδηγιών 2009/119/ΕΚ και (ΕΕ) 2015/652 του Συμβουλίου και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 525/2013 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.
- Νόμος υπ' αριθμόν 4685/2020 : Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις (*ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4685*, n.d.).
- Αριθμός ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/114746/4230 : Κανονισμός Βεβαιώσεων Παραγωγού Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και Βεβαιώσεων Παραγωγού Ηλεκτρικής Ενέργειας Ειδικών Έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) (ΣΗΘΕΙΑ, n.d.).

### 2.6.2 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Στον ελλαδικό χώρο η εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) παρουσιάζει αξιοσημείωτη αύξηση τις τελευταίες δεκαετίες. Ολοένα και περισσότεροι κλάδοι τείνουν να υιοθετούν απόψεις όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος. Σταδιακά κάτι τέτοιο θα σήμαινε την μερική ή ολική ανεξαρτητοποίηση διαφόρων κλάδων από την κατανάλωση επιβλαβών ουσιών. Η Ελλάδα όντας μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμμετέχει σε όλες τις σύγχρονες οδηγίες σχετικά με τις ΑΠΕ. Επομένως, το θεσμικό πλαίσιο, το οποίο ακολουθεί, καλύπτεται από πληθώρα νόμων που θέτονται με το πέρασ των χρόνων. Οι πιο πρόσφατες υπουργικές αποφάσεις που έχουν παρθεί παρουσιάζονται ακολούθως:

- Αριθμός ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/121501/5015 : Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων μικρής ισχύος σε κατοικίες συνδεδεμένες με αντίστοιχη παροχή οικιακής χρήσης.
- Αριθμός ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/121503/5016 : 2η τροποποίηση της υπό στοιχεία ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/ 15084/382/19.02.2019 (Β' 759) υπουργικής απόφασης «Εγκατάσταση σταθμών παραγωγής από αυτοπαραγωγούς με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 14Α του

ν. 3468/2006, όπως ισχύει, και από Ενεργειακές Κοινότητες με εφαρμογή εικονικού ενεργειακού συμφητισμού σύμφωνα με το άρθρο 11 του ν. 4513/2018».

- Αριθμός ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/123726/5096 : Καθορισμός τεχνολογιών ή και κατηγοριών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εντάσσονται σε καθεστώς στήριξης με τη μορφή Λειτουργικής Ενίσχυσης μέσω ανταγωνιστικής διαδικασίας υποβολής προσφορών, χαρακτηρισμός των ανταγωνιστικών διαδικασιών υποβολής προσφορών ως τεχνολογικά ουδέτερων ή μη και καθορισμός μεθοδολογίας και διαδικασίας επιμερισμού ισχύος για συμμετοχή, στις ανταγωνιστικές διαδικασίες υποβολής προσφορών, σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εγκαθίστανται σε χώρες εντός του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου υπό την προϋπόθεση ενεργού Διασυνοριακού Εμπορίου ενέργειας με αυτές, με βάση την παρ. 2 του άρθρου 7 του ν. 4414/2016.

Οι αποφάσεις αυτές πάρθηκαν βασιζόμενες και σεβόμενες τους νόμους που έχουν ήδη συνταχθεί. Οι νόμοι αυτοί, οι οποίοι αποτελούν τα θεμέλια των παραπάνω υπουργικών αποφάσεων είναι οι εξής:

- Νόμος ν. 4414/2016 «Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης - Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις» (Α' 149) και ιδιαίτερα την παρ. 2 του άρθρου 7.
- Νόμος ν. 4685/2020 «Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις.» (Α' 92)(ΦΕΚ-Β-6250\_2021-ΥΑ-123726, n.d.).
- Νόμος ν. 4513/2018 «Ενεργειακές κοινότητες και άλλες διατάξεις» (Α' 9).
- Νόμος ν. 4602/2019 «Έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού της Χώρας, σύσταση Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, ιδιοκτησιακός διαχωρισμός δικτύων διανομής φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις.» (Α' 45) και ιδίως το άρθρο 72.
- Νόμος ν. 4622/2019 «Επιτελικό Κράτος: Οργάνωση, λειτουργία και διαφάνεια της Κυβέρνησης, των Κυβερνητικών Οργάνων και της Κεντρικής Δημόσιας Διοίκησης» (Α' 133) (ΦΕΚ-Β-6287\_2021-ΥΑ-121503-2η-Τροποποίηση-ΥΑ-Ενεργειακού-Συμφητισμού, n.d.).
- Νόμος ν. 3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις» (Α' 129), και ιδίως την παρ. 1 του άρθρου 14Α αυτού, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 162 του ν. 4759/2020 (Α' 245).
- Νόμος ν. 4759/2020 «Εκσυγχρονισμός της Χωροταξικής και Πολεοδομικής Νομοθεσίας και άλλες διατάξεις» (Α' 245).
- Νόμος ν. 4495/2017 «Έλεγχος και προστασία του Δομημένου Περιβάλλοντος και άλλες διατάξεις» (Α' 167), και ιδίως το άρθρο 30 αυτού.
- Νόμος ν. 4001/2011 «Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου για Έρευνα, Παραγωγή και Δίκτυα Μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις» (Α' 179).
- Νόμος ν. 4067/2012 «Νέος Οικοδομικός Κανονισμός» (Α' 79)(ΦΕΚ-Β-6351\_2021-ΥΑ-121501-ΦΒ-Στεγών, n.d.).

- Νόμος ν. 4014/11 «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος».

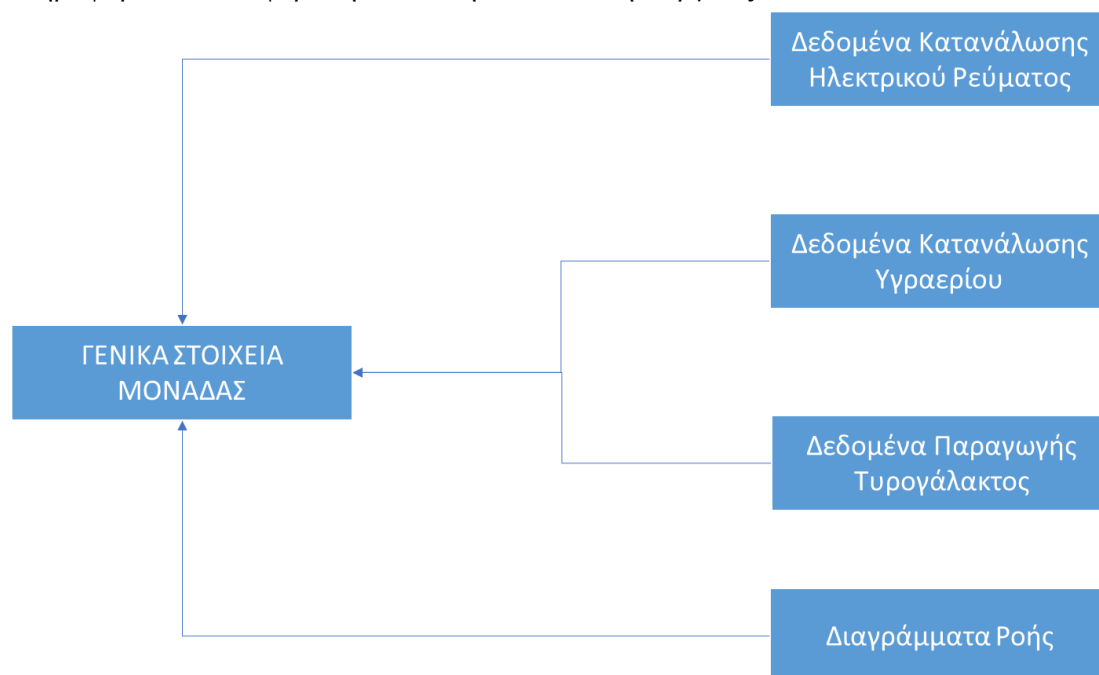
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το τρίτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας στοχεύει στην επεξήγηση και στην παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Το υποκεφάλαιο 3.1 αναφέρεται στον τρόπο κατά τον οποίο συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγής αποβλήτου της υπό εξέτασης μονάδας. Επιπλέον, γίνεται λόγος για τις δύο πηγές βιομάζας που εξετάζονται ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε όσον αφορά την οικονομοτεχνική αξιολόγηση της επένδυσης που μελετάται.

### 3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο συγκεκριμένο σημείο της εργασίας, παρουσιάζεται η συλλογή των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας της μονάδας παραγωγής που εξετάζεται και εν συνεχεία γίνεται η κατάλληλη επεξεργασία τους. Τα δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται αφορούν την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, την κατανάλωση βιοαερίου, και την ποσότητα παραγωγής ορού τυρογάλακτος. Ακόμη, σχεδιάστηκαν ορισμένα διαγράμματα ροής ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή αναπαράσταση της διαδικασίας παραγωγής τόσο του ορού γάλακτος όσο και της ολικής λειτουργίας του εργοστασίου. Απώτερο σκοπό αποτέλεσε η συλλογή χρήσιμων πληροφοριών όσον αφορά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας.



Εικόνα 3.1.1 : Διάγραμμα ροής γενικών στοιχείων μονάδας.

Στον ακόλουθο πίνακα γίνεται μια επιγραμματική αναφορά στα είδη των δεδομένων που συλλέχθηκαν.

Πίνακας 3.1.1 : Είδη καταγεγραμμένων δεδομένων.

Δεδομένα	Πηγή δεδομένων	Μονάδες μέτρησης
Ηλεκτρική ενέργεια	ENERGY	kWh
Θερμική ενέργεια	Coralgas	L
Δυναμικό Βιομάζας	ΟΠΕΚΕΠΕ	ha

Ορός γάλακτος

ARTEMIS

kg

### 3.1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ

Η μονάδα που μελετάται πρόκειται για ένα σύγχρονο τυροκομείο, το οποίο εδράζεται στην Εύα Μεσσηνίας. Απέχει σχεδόν 16 χιλιόμετρα από την πόλη της Καλαμάτας και κατασκευάστηκε το έτος 2009. Το τυροκομείο διαθέτει σύγχρονο μηχανολογικό εξοπλισμό συλλογής, καθαρισμού και επεξεργασίας γάλακτος, καθώς και ειδικά διαμορφωμένους χώρους παρασκευής, ωρίμανσης, συντήρησης και ψύξης των προϊόντων που παράγει. Ακόμη, στο ίδιο σημείο εδράζει ο στόλος των οχημάτων που διανέμει τα προϊόντα της.

Η συνολική επιφάνεια της οροφής των κτιριακών εγκαταστάσεων ανέρχεται στα 708,59 m<sup>2</sup>. Η έκταση που καταλαμβάνει η εγκατάσταση ανέρχεται στα 8.865,39 m<sup>2</sup>, προκειμένου να διασφαλιστεί η ομαλή κυκλοφορία των διερχόμενων οχημάτων κατά τη διαδικασία παραλαβής γάλακτος και λοιπών διεργασιών (π.χ. φόρτωση και εκφόρτωση πρώτων υλών).

Μέχρι στιγμής δε λειτουργεί κάποιο σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη μονάδα. Η ενέργεια που απαιτείται για την ομαλή λειτουργία της προέρχεται από το δίκτυο και την κατανάλωση υγραερίου.



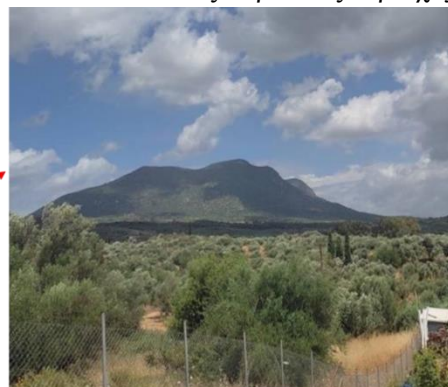
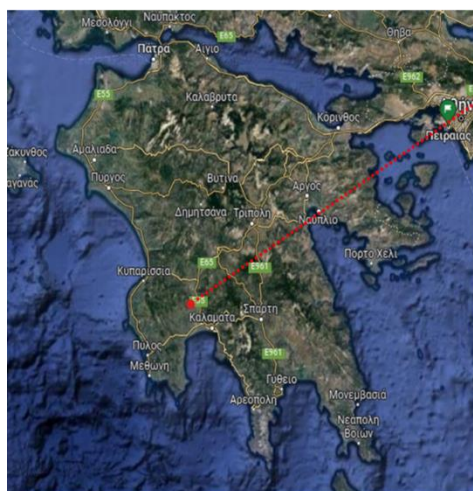
Εικόνα 3.1.1.1 : Εγκαταστάσεις της υπό μελέτης μονάδας.

Ο Δήμος Μεσσήνης, στον οποίο εδράζεται η επιχείρηση, υπάγεται διοικητικά στην Περιφερειακή Ενότητα Μεσσηνίας της Περιφέρειας Πελοποννήσου. Η έκταση που καλύπτει συνολικά είναι 563,7 km<sup>2</sup> και ο πληθυσμός του είναι 23.885 κάτοικοι.



Εικόνα 3.1.1.2 : Γεωγραφική θέση Δήμου Μεσσήνης, εντός της Περιφέρειας Πελοποννήσου.  
Πηγή : Δήμος Μεσσήνης:

Το κλίμα της Μεσσηνίας είναι εύκρατο μεσογειακό, με ζεστό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος κυμαίνεται μεταξύ 13 °C και 19 °C. Το καλοκαίρι στις παράκτιες περιοχές είναι δροσερό, ενώ οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες εμφανίζονται στην άνω μεσσηνιακή πεδιάδα (όπου βρίσκεται και το σημείο ενδιαφέροντος). Το χιόνι είναι σπάνιο και περιορίζεται στις υψηλές κορυφές του Ταΰγету, ενώ οι άνεμοι έχουν μικρές εντάσεις και είναι συνήθως βόρειοι – βορειοδυτικοί στο εσωτερικό και νότιοι – νοτιοδυτικοί στις παράκτιες περιοχές.



**Περιοχή :** Δήμος Μεσσήνης,  
Περιφερειακή Ενότητα Μεσσηνίας  
**Έκταση :** 563,7 km<sup>2</sup>  
**Πληθυσμός :** 19.200 (Απογραφή 2021)

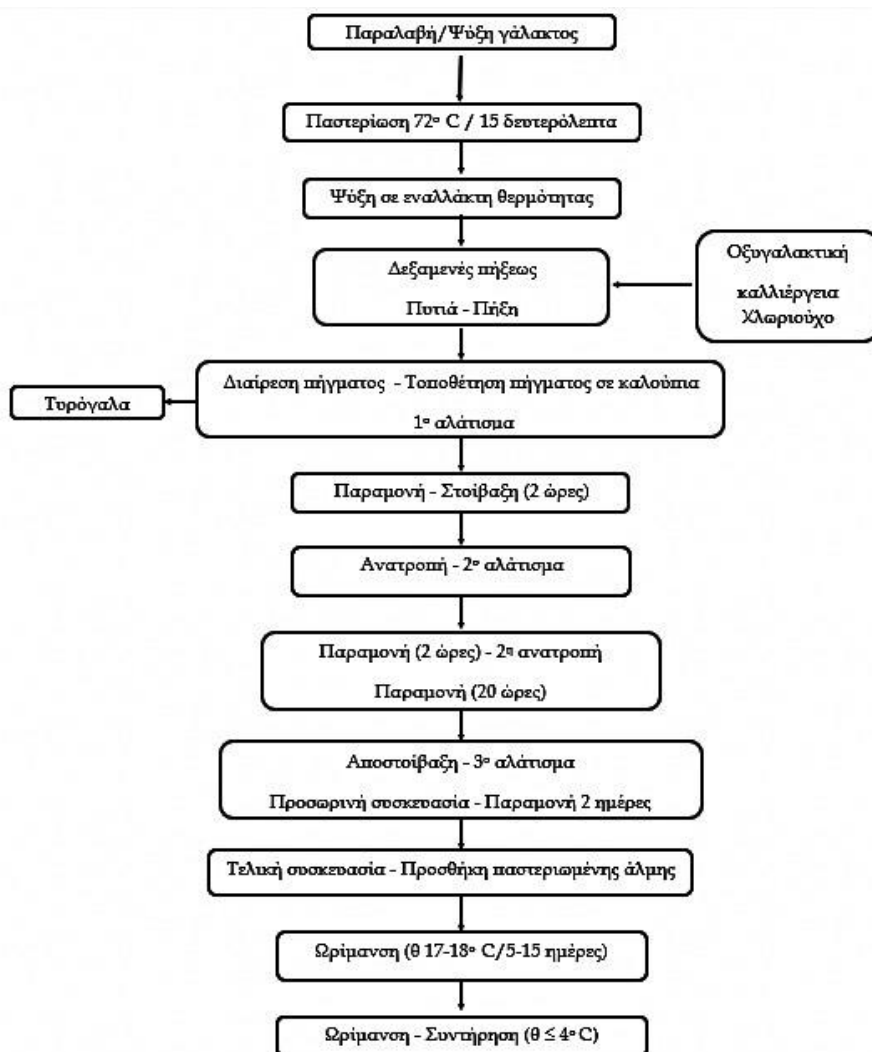
Εικόνα 3.1.1.3 : Απεικόνιση της υπό μελέτης περιοχής.

### 3.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ

Στη μονάδα παραγωγής που μελετάται, καθημερινά για όσο διάστημα αυτή λειτουργεί λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένες διεργασίες προκειμένου να παραχθούν τα προϊόντα που προσφέρει. Τα κύρια προϊόντα που παράγονται είναι: η φέτα, τα σκληρά τυριά, η σφέλα και το γιαούρτι. Ακολουθώς παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής που αντιστοιχούν στην παραγωγή των προαναφερθέντων τυριών, τα οποία συμβάλλουν στην πρόσθετη παραγωγή τυρογάλακτος.

Στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 3.1.2.1) παρουσιάζεται η διαδικασία κατά την οποία παράγεται η φέτα. Αρχικά, το γάλα παραλαμβάνεται από τους κτηνοτρόφους, ψύχεται και αναδεύεται σε ειδικά διαμορφωμένες παγολεκάνες. Με τη βοήθεια αντλιών, αυτό μεταφέρεται

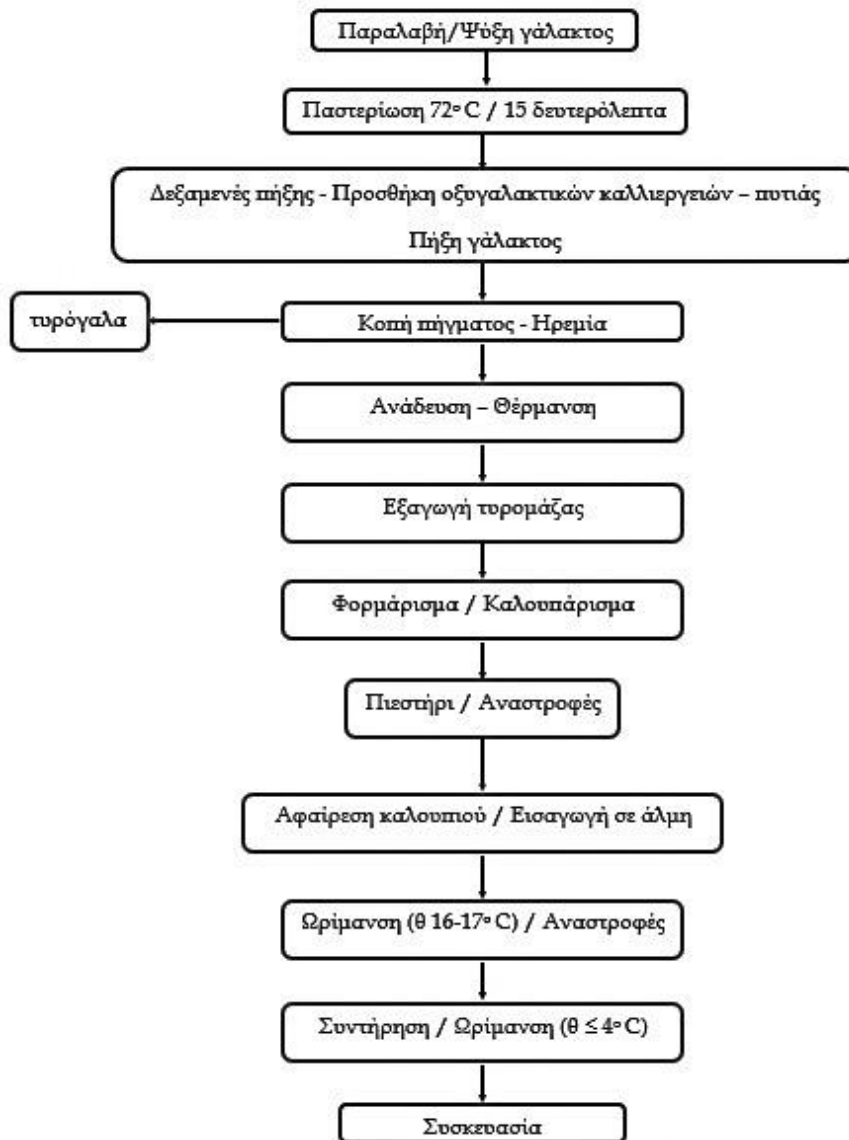
στο μηχάνημα του παστεριωτή όπου και παστεριώνεται στους 72°C για δεκαπέντε δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια, το παστεριωμένο γάλα ψύχεται σε εναλλάκτη θερμότητας και μεταφέρεται σε δεξαμενές πήξεως. Σε αυτό το σημείο, προστίθεται οξυγαλακτική καλλιέργεια και χλωριούχο. Χάρη στην χορήγηση της πυτιάς, παρατηρείται το φαινόμενο της πήξης του γάλακτος. Ακολουθεί η διαίρεση του πηγματος, η τοποθέτησή του σε καλούπια και το πρώτο αλάτισμα. Από τη στράγγιση της μάζας τυριού στα καλούπια συλλέγεται τυρόγαλο. Αφότου το πηγμα παραμείνει στοιβαγμένο για δύο ώρες, ανατρέπεται και γίνεται το δεύτερο αλάτισμα. Παραμένει άλλες δύο ώρες στοιβαγμένο, ανατρέπεται και πλέον ηρεμεί για είκοσι ώρες. Επόμενο βήμα αποτελεί η αποστοίβαξή του, το τρίτο αλάτισμα και η προσωρινή του συσκευασία για δύο ημέρες. Τέλος, τοποθετείται στην τελική του συσκευασία, προστίθεται παστεριωμένη άλμη, μεταφέρεται στο θάλαμο ωρίμανσης για πέντε έως δεκαπέντε ημέρες στους 17-18°C και καταλήγει στο θάλαμο ωρίμανσης συντήρησης για θερμοκρασία  $\leq 4^\circ\text{C}$ .



Εικόνα 3.1.2.1 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγή φέτας.

Το επόμενο διάγραμμα ροής που παρουσιάζεται αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής σκληρών τυριών (Εικόνα 3.1.2.2). Ο τρόπος συλλογής και παστερίωσης του γάλακτος ακολουθεί τα ίδια βήματα με προηγούμενως. Αφότου παστεριωθεί κατευθύνεται σε ειδικές δεξαμενές πήξης, όπου και προστίθενται οξυγαλακτικές καλλιέργειες και η πυτιά, και ακολουθεί η πήξη του γάλακτος. Στη συνέχεια, γίνεται η κοπή του πηγματος απ' όπου εξάγεται τυρόγαλο και αφήνεται να ηρεμήσει. Ακολουθεί ανάδευση, θέρμανσή της, εξαγωγή της

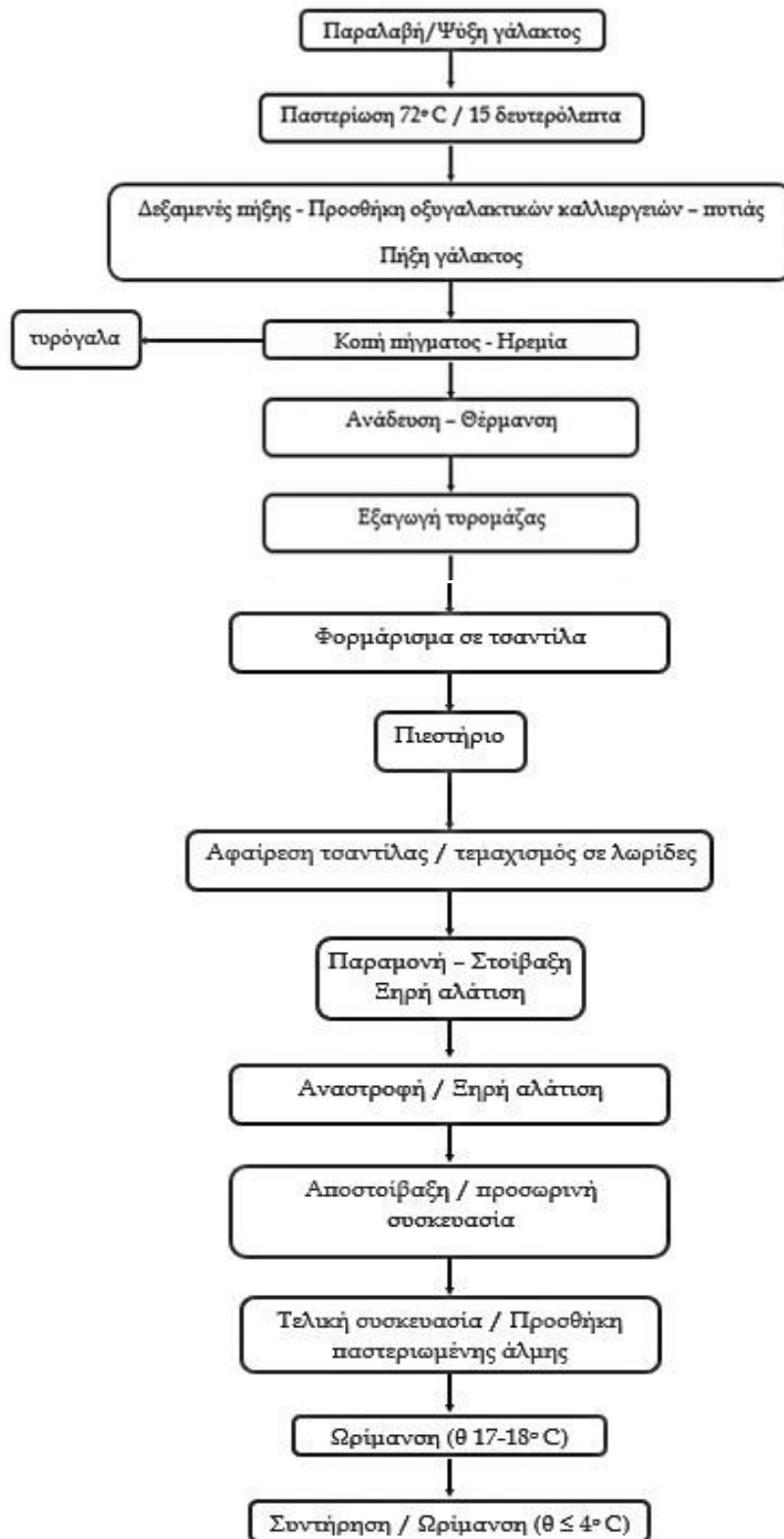
τυρόμαζας από το καζάνι και φορμάρισμά της σε ειδικά σχεδιασμένα καλούπια. Αφού τα γεμάτα πλέον καλούπια οδηγηθούν στα πιεστήριο, εξάγονται από αυτό και αναστρέφεται το περιεχόμενό τους. Εν συνεχεία, αφαιρείται το καλούπι και το περιεχόμενο εισάγεται σε άλμη. Κατά τη διαδικασία της ωρίμανσης στους 16-17°C αναστρέφεται. Τέλος, οδηγείται στον θάλαμο της συντήρησης/ωρίμανσης σε θερμοκρασία  $\leq 4^{\circ}\text{C}$  και συσκευάζεται.



Εικόνα 3.1.2.2 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγή σκληρών τυριών.

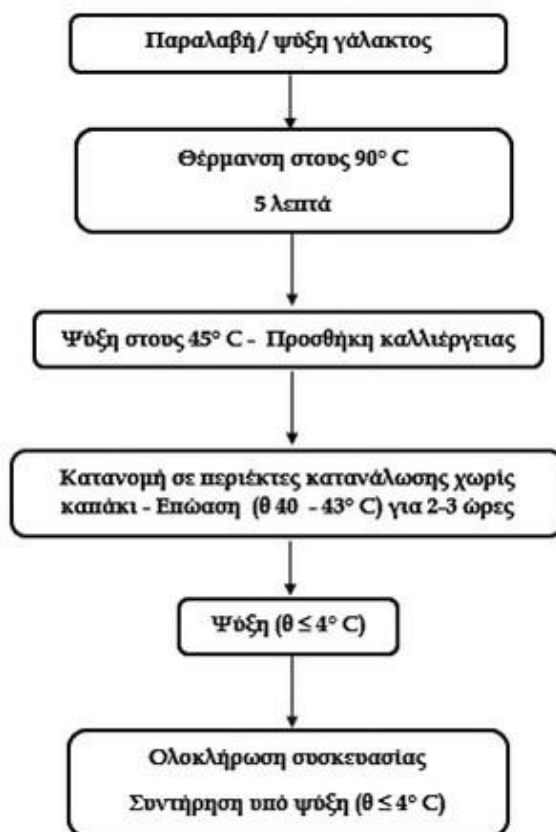
Το τρίτο διάγραμμα ροής παρουσιάζει την διαδικασία κατά την οποία παράγεται ένα τοπικό τυρί της Μεσσηνίας, η σφέλα (Εικόνα 3.1.2.3). Το γάλα παραλαμβάνεται, ψύχεται, αναδεύεται και παστεριωποιείται όπως και έχει ήδη αναφερθεί. Μετά από αυτό το στάδιο, οδηγείται σε δεξαμενές πήξης, όπου και προστίθενται οξυγαλακτικές καλλιέργειες και πυτιά και γίνεται πήξη του γάλακτος. Το πήγμα κόβεται, αφήνεται να ηρεμήσει και εξάγεται από αυτό τυρόγαλο. Ακολουθεί ανάδευση και θέρμανσή του, εξαγωγή της τυρομάζας που δημιουργείται και φορμάρισμά της σε τσαντίλα. Τοποθετείται στο πιεστήριο και στη συνέχεια αφαιρείται η τσαντίλα και τεμαχίζεται σε λωρίδες. Η τυρομάζα παραμένει στοιβαγμένη έχοντας υποστεί ξηρή αλάτιση. Αναστρέφεται και αλατίζεται ξανά με τον ίδιο τρόπο. Μετά αποστοιβάζεται και τοποθετείται σε προσωρινή συσκευασία, έως ότου έρθει η ώρα για να «μπει» στην τελική της

συσκευασία μαζί με την προστιθέμενη παστεριωμένη άλμη. Τελευταίο βήμα αποτελεί η ωρίμανσή της σε θάλαμο 17-18°C και συντήρηση/ωρίμανσή της σε νέο θάλαμο σε θερμοκρασίες  $\leq 4^{\circ}\text{C}$ .



Εικόνα 3.1.2.3 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγή σφέλας.

Ένα ακόμη παραγόμενο προϊόν είναι αυτό της γιαούρτης (Εικόνα 3.1.2.4). Αρχικά, το γάλα παραλαμβάνεται και ψύχεται. Εν συνεχεία θερμαίνεται στους 90°C για πέντε λεπτά, ψύχεται στους 45°C και προστίθεται καλλιέργεια. Ακολουθεί η κατανομή του σε περιέκτες κατανάλωσης χωρίς καπάκι και η επώασή τους στους 40 - 43°C για δύο έως τρεις ώρες. Ψύχεται σε θερμοκρασία  $\leq 4^{\circ}\text{C}$ , ολοκληρώνεται η συσκευασία της γιαούρτης τοποθετείται σε συντήρηση υπό ψύξη σε θερμοκρασία  $\leq 4^{\circ}\text{C}$ .



Εικόνα 3.1.2.4 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγή παραδοσιακής γιαούρτης.

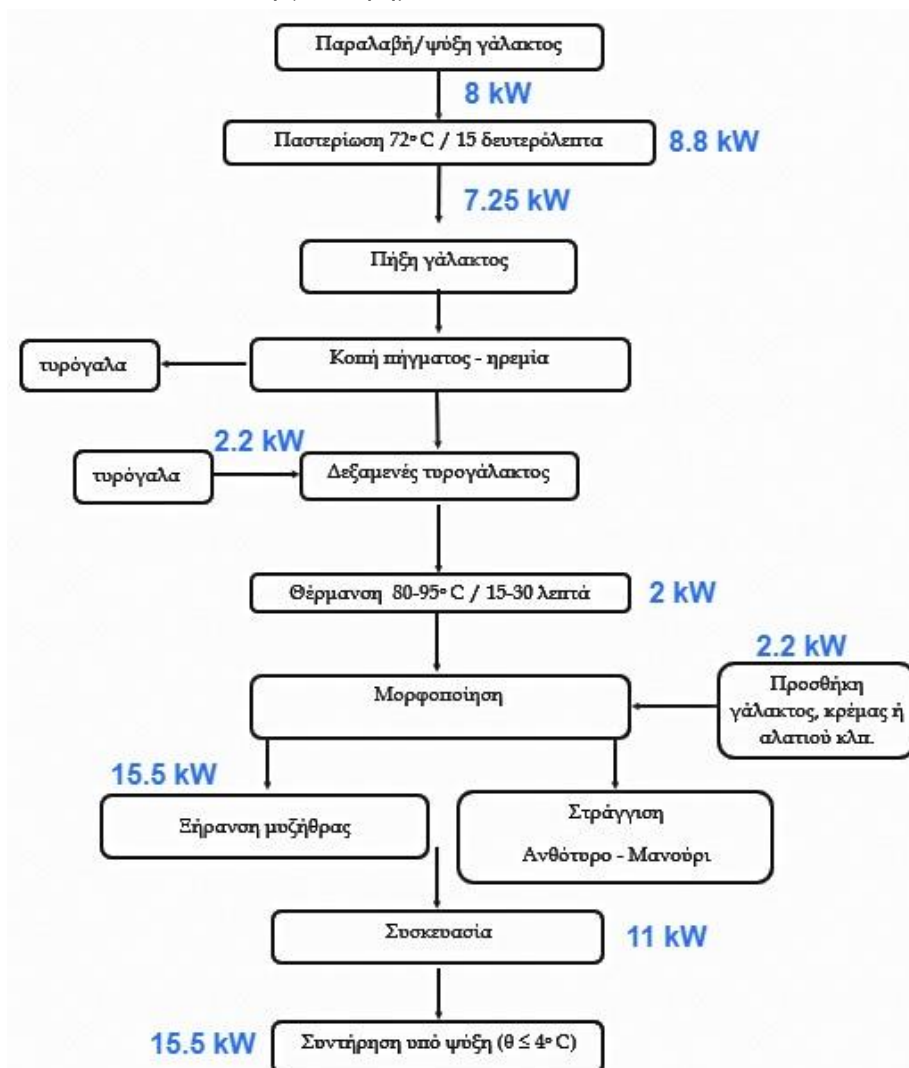
Το σημείο ενδιαφέροντος αυτής της εργασίας είναι ο ορός τυρογάλακτος. Για το λόγο αυτό ακολουθώντας παρουσιάζεται συνοπτικά η κύρια διαδικασία που προηγείται και απαιτείται για την παραγωγή αυτού του αποβλήτου.

Αρχικά, αφού παραληφθεί η ημερήσια ποσότητα γάλακτος από τους κτηνοτρόφους, αυτό φυλάσσεται σε ειδικές παγολεκάνες. Όντας σε αυτές το γάλα αναδεύεται και ψύχεται ταυτόχρονα, έως ότου αντληθεί από αυτές και μέσω αγωγών οδηγηθεί στον παστεριωτή όπου και γίνεται η παστερίωσή του στους 72°C για 15 δευτερόλεπτα. Το παστεριωμένο πλέον γάλα οδηγείται μέσω νέων αγωγών στις κατάλληλες δεξαμενές προκειμένου με κατάλληλη επεξεργασία να πήξει και στη συνέχεια να κοπεί. Το συγκεκριμένο στάδιο αποτελεί το σημείο της παραγωγικής διαδικασίας στο οποίο συλλέγεται ο ορός τυρογάλακτος και αφότου αυτός αντληθεί με την χρήση της κατάλληλης αντλίας, μέσω σωληνώσεων οδηγείται στις επόμενες δεξαμενές τυρογάλακτος. Στο σημείο αυτό, μετά από τις απαιτούμενες διεργασίες (θέρμανση και προσθήκη γάλακτος, κρέμας ή αλατιού), δημιουργείται μια μάζα τυριού (μυζήθρας), η οποία μορφοποιείται, στραγγίζεται, ξηραίνεται, συσκευάζεται και τοποθετείται σε συντήρηση υπό ψύξη στους  $\leq 4^{\circ}\text{C}$ .

Πιο συνοπτικά, η διαδικασία παραγωγής ορού γάλακτος εξελίσσεται στα παρακάτω βασικά στάδια:

1. Παραλαβή και ψύξη γάλακτος σε ειδικές παγολεκάνες.
2. Παστερίωση γάλακτος.
3. Πήξη γάλακτος στις κατάλληλες δεξαμενές.
4. Κοπή πήγματος και ηρεμία αυτού.
5. Αντληση ορού τυρογάλακτος και οδήγησή του σε νέες δεξαμενές (με τη χρήση αντλίας).
6. Θέρμανσή του στους 80 - 95 °C για 15 - 30 λεπτά.
7. Προσθήκη γάλακτος, κρέμας ή αλατιού και μορφοποίησή του.
8. Ξήρανση μυζήθρας ή στράγγιση μείγματος.
9. Συσκευασία τελικού προϊόντος.
10. Συντήρησή του υπό ψύξη σε  $\leq 4^{\circ}\text{C}$ .

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα ροής έχει συμπεριληφθεί η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που σημειώνεται σε κάθε κατεργασία/βήμα.



Εικόνα 3.1.2.5 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγής τυριών ορού γάλακτος.

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που αφορά τα επιμέρους τμήματα της διαδικασίας παραγωγής τυριών ορού τυρογάλακτος αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη :

- Μηχάνημα ψύξης και ανάδευσης γάλακτος συνολικής ισχύος 8 kW.
- Αντλίες συνολικής ισχύος 13,2 kW.
- Παστεριωτής και ατμολέβητας ισχύος 8,8 kW.

- Θερμαινόμενη δεξαμενή (Καζάνι) ισχύος 2 kW.
- Ξηραντήριο ισχύος 15,5 kW.
- Μηχάνημα συσκευασίας συρρίκνωσης κενού ισχύος 11 kW.

Πίνακας 3.1.2.1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά κύριου μηχανολογικού εξοπλισμού μονάδας.

	Ποσότητα	Τύπος	Χωρητικότητα	rpm	Hz	V	W	Σύστημα / Κατηγορία Προστασίας
Παγολεκάνη 1	1	IC - 800	850 Lit	-	50	-	4.361	ISO-5708
Παγολεκάνη 2	1	IC - 1000	1075 Lit	-	50	-	3.563	ISO-5708
Παστεριωτής	1	-	-	-	50	400	-	-
Ατμολέβητας	1	-	400 kg/h	-	-	-	-	0656
Αντλία	3	GL 60	-	1400	-	380	-	-
Καζάνι Μυζήθρας	2	-	1000 Lit	-	-	-	-	O.N.-0100
Ξηραντήριο Μυζήθρας	1	R-	-	-	50	400	-	-
Μηχάνημα συσκευασίας συρρίκνωσης κενού (VACUUM)	1	DC 800	-	-	50	400	11.000	IP 20



(α)

(β)

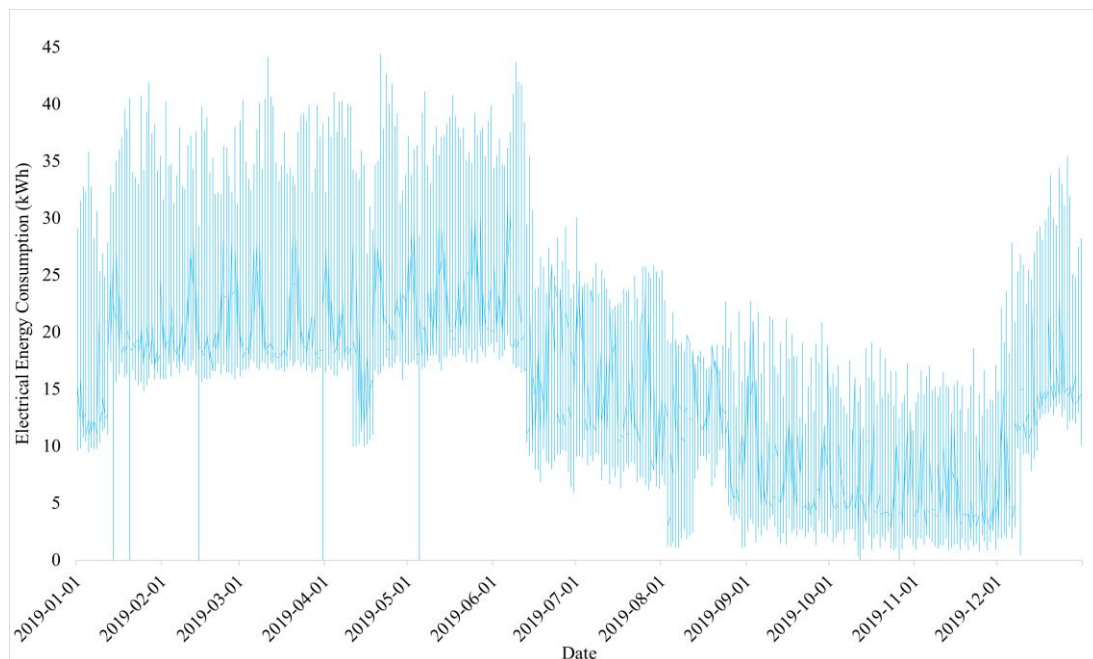
Εικόνα 3.1.2.6 : (α) Μηχάνημα ψύξης και ανάδευσης γάλακτος (παγολεκάνη). (β) Πήξη γάλακτος.

### 3.1.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλεκτρική ενέργεια πρόκειται για ένα σύνολο φαινομένων που παράγονται χάρη στην κίνηση και την αλληλεπίδραση που παρατηρείται μεταξύ των θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων των σημάτων. Η παραγωγή αυτού του τύπου ενέργειας, ανάλογα με τον τρόπο κατά τον οποίο παράγεται χαρακτηρίζεται ως περισσότερο ή λιγότερη φιλική ως προς το περιβάλλον. Οι κύριες ενέργειες που παίρνουν μέρος στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να είναι δύο τύπων :

- **Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.
- **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**, οι οποίες προέρχονται από φυσικές πηγές όπως ο άνεμος, ο ήλιος και το νερό.

Τα δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος στη μονάδα παραγωγής που μελετάται πάρθηκαν από τον πάροχο ενέργειας. Αφότου λήφθηκαν, επεξεργάστηκαν στο πρόγραμμα του Excel, κατηγοριοποιήθηκαν ανά ώρα και «τοποθετήθηκαν» σε μία στήλη. Η στήλη ανέγραφε την ημερομηνία και την ώρα της μέτρησης, και στη συνέχεια, αφότου χωρίστηκε με κόμμα, ορίστηκε η τιμή της κατανάλωσης ρεύματος σε kWh για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ακολουθώντας, παρουσιάζεται η γραφική αναπαράσταση των δεδομένων κατανάλωσης ρεύματος της επιχείρησης για το έτος 2019. Αξίζει να σημειωθεί πως για πέντε μήνες κάθε χρόνο το εργοστάσιο δεν παράγει προϊόντα, επομένως η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει αισθητή μείωση.



Εικόνα 3.1.3.1 : Προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας έτους 2019.

#### 3.1.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ

Εκτός από την ευρεία χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος, η μονάδα χρειάζεται για τη λειτουργία της και θερμότητα. Η ενέργεια αυτή παράγεται από τη χρήση ενός υγραερίου, του προπανίου. Πρώτο βήμα, λοιπόν, αποτέλεσε η συλλογή των δεδομένων όσον αφορά την κατανάλωση που σημειώνεται στη μονάδα που μας απασχολεί. Κάτι τέτοιο επιτεύχθηκε μέσω της παροχής των δεδομένων από τους αρμόδιους φορείς. Αφότου λήφθηκαν τα αριθμητικά δεδομένα, καταγράφηκαν στο πρόγραμμα του Excel και έγιναν οι αναγκαίες μετατροπές.

Έχοντας στη διάθεσή μας τα κιλά που καταναλώθηκαν το έτος 2019, το ειδικό βάρος του προπανίου και τα λίτρα στα οποία αντιστοιχούν αυτές οι ποσότητες, υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες κιλοβατώρες (kWh). Οι υπολογισμοί αυτοί στηρίχθηκαν στο ότι 1 λίτρο αντιστοιχεί σε 11,98 kWh.

Πίνακας 3.1.4.1 : Δεδομένα κατανάλωσης προπανίου κατά το έτος 2019.  
Πηγή : CoralGas

Έτος	Μήνας	ΧΛΓΜ	Ειδικό Βάρος	Λίτρα	kWh
2019	Ιανουάριος	2314	0.520	4450	27,721.72
2019	Φεβρουάριος	2080	0.520	4000	24,918.40
2019	Μάρτιος	1482	0.520	2850	17,754.36
2019	Απρίλιος	1144	0.520	2200	13,705.12
2019	Μάιος	2188	0.521	4200	26,212.24

Επόμενο βήμα αποτέλεσε η δημιουργία μιας στήλης στο πρόγραμμα του Excel, η κάθε γραμμή της οποίας απαρτιζόταν από την ημερομηνία και την ώρα της μέτρησης και χωριζόμενη με κόμμα ακολούθησε ο ορισμός της ποσότητας προπανίου σε kWh που καταναλώθηκε.

### 3.1.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΡΟΥ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ

Προκειμένου να γίνει η συλλογή των δεδομένων που αναφέρονται στα κιλά τυρογάλακτος που παράγονται ημερησίως και κατ' επέκτασιν μηνιαίως, χρησιμοποιήθηκε η διαδικτυακή πύλη «ARTEMIS» στην οποία και βρίσκονταν καταγεγραμμένα όλα τα δεδομένα. Αυτά, συγκεντρώθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε αρχεία του προγράμματος Excel. Βασίζόμενοι σε αυτά, υπολογίστηκε πως το έτος 2019 παράχθηκαν κατά μέσο όρο 26,9 τόνοι ορού γάλακτος σε μηνιαία βάση.

Πίνακας 3.1.5.1 : Ποσότητα παραγωγής ορού τυρογάλακτος..  
Πηγή : ARTEMIS

Ποσότητα Παραγωγής Ορού Τυρογάλακτος (kg)	
Ετήσια Παραγωγή	322.977
Μέση Μηνιαία Παραγωγή	26.915

Στο ακόλουθο διάγραμμα απεικονίζεται η ποσότητα σε κιλά ορού τυρογάλακτος που παράχθηκε κάθε μήνα κατά τη διάρκεια του έτους 2019. Όπως επισημάνθηκε και στους προηγούμενους «τομείς», η μονάδα δεν λειτουργούσε κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο.



Εικόνα 3.1.5.1 : Γράφημα αναπαράστασης της παραγωγής ορού τυρογάλακτος κατά το έτος 2019.

### 3.1.6 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Επόμενο βήμα αποτέλεσε η καταγραφή και ανάλυση του διαθέσιμου δυναμικού βιομάζας της περιοχής και των μετεωρολογικών δεδομένων ώστε να γίνει η αξιολόγηση του δυναμικού των ΑΠΕ στην περιοχή της Μεσσηνίας.



Εικόνα 3.1.6.1 : Διάγραμμα ροής διαδικασίας αξιολόγησης δυναμικού ΑΠΕ.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που είναι καταγεγραμμένα από τον ΟΠΕΚΕΠΕ για το έτος 2019, το σύνολο των καλλιεργήσιμων εκτάσεων στον Δήμο Μεσσήνης είναι ίσο με 24.389,46 ha. Από αυτά, τα 19.862,24 ha αναφέρονται σε ελαιώνες.

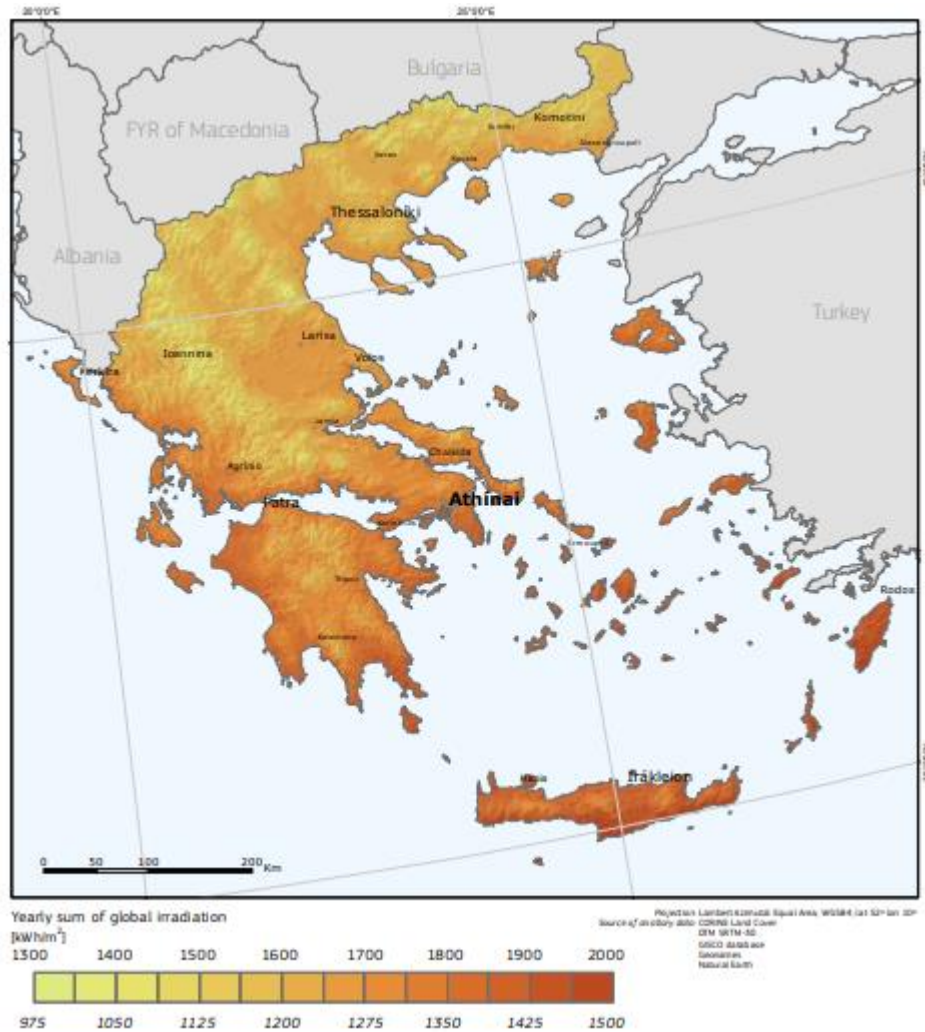
Βασιζόμενοι στην ανάλυση της φυτικής παραγωγής μέσω των στοιχείων του ΟΠΕΚΕΠΕ, και λαμβάνοντας υπόψιν τους ανάλογους συντελεστές παραγωγής ξυλόδους βιομάζας, υπολογίζεται το διαθέσιμο δυναμικό ξηρής βιομάζας που εντοπίζεται στο Δήμο Μεσσήνης. Η βιομάζα αυτή προέρχεται κυρίως από τα γεωργικά υπολείμματα καλλιέργειας ελαιώνων.

Πίνακας 3.1.6.1 : Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας ξυλείας στο Δήμο Μεσσήνης.

Πηγή : ΟΠΕΚΕΠΕ (2019), (Contreras et al., 2020) .

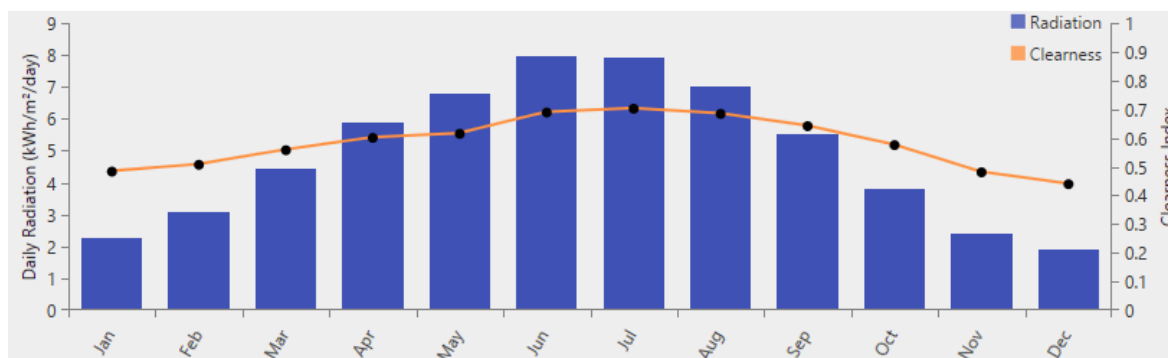
Δήμος	Καλλιέργεια	Ποικιλία	Επιλέξιμη Έκταση		Συντελεστής Βιομάζας	Διαθέσιμη Βιομάζα	Διαθεσιμότητα	Βιομάζα (τελική)
			ha	km <sup>2</sup>	t/ha	t		t
Μεσσήνης	Ελαιώνες	Κορωνέικη (για παραγωγή ελαιολάδου)	18.587,68	185,88	1,5	27.881,52	0,4	11.152,6
		Καλαμών (για παραγωγή επιτραπέζιας)	536,87	5,39	1,5	805,305	0,4	322,1
		Ελαιώνες (για παραγωγή ελαιολάδου)	394,89	3,95	1,5	592,335	0,4	236,9
		Καλαμών (για παραγωγή ελαιολάδου)	183,18	1,83	1,5	274,77	0,4	109,9
		Λουπά	159,62	1,60	1,5	239,43	0,4	95,8
ΣΥΝΟΛΟ						29.793,36		11.917,3

Η διαθέσιμη, μη αξιοποιημένη επιφάνεια που υπάρχει στην επίπεδη οροφή των εγκαταστάσεων της μονάδας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση οριζόντιων τοποθετημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Σύμφωνα με τον ακόλουθο χάρτη, το ηλιακό δυναμικό κυμαίνεται από 1.700 – 1.800 kWh/m<sup>2</sup> στην περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 3.1.6.2 : Εκτίμηση ακτινοβολίας και ηλιακού δυναμικού.

Αρκετά σημαντικοί παράγοντες για την έρευνα που γίνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία αποτελούν τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής μελέτης (Εύα Μεσσηνίας / Καλαμάτα). Το λογισμικό HOMER Pro έχοντας πρόσβαση στα μετεωρολογικά δεδομένα της NASA μπορεί να παρέχει μετρήσεις όσον αφορά την ωριαία ηλιακή ακτινοβολία για την χρονική περίοδο ενός έτους. Επιλέγοντας, λοιπόν, ο χρήστης τις συντεταγμένες της περιοχής μελέτης εξάγει τις αντίστοιχες πληροφορίες.



Εικόνα 3.1.6.3 : Γραφική απεικόνιση ηλιακής παγκόσμιας οριζόντιας ακτινοβολίας (GHI) για επίπεδα πάνελ Φ/Β – Καλαμάτα.

Πηγή : HOMER Pro

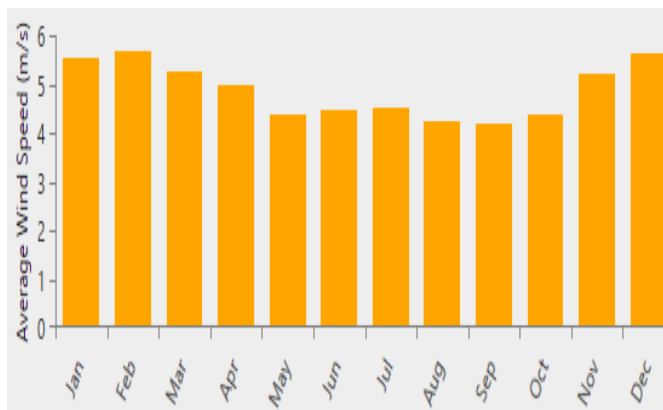
Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 3.1.6.3) παρουσιάζεται η Ηλιακή Παγκόσμια Οριζόντια Ακτινοβολία (GHI) χάρη στην οποία υπολογίζεται η έξοδος των Φ/Β για επίπεδα πάνελ. Πρόκειται για το άθροισμα της ακτινοβολίας δέσμης, της διάχυτης ακτινοβολίας και της ακτινοβολίας που ανακλάται στο έδαφος. Παρατηρείται πως η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλότερη από τον Μάιο έως και τον Σεπτέμβριο. Ο μέσος δείκτης αιθριότητας ισούται με 0,580, και η μέση ημερήσια ακτινοβολία με 4,92 kWh/m<sup>2</sup>.

Τα δεδομένα που έχουν να κάνουν με την ταχύτητα του ανέμου πάρθηκαν με τον ίδιο τρόπο από το λογισμικό του HOMER Pro, έχοντας ως πηγή προέλευσης των δεδομένων τη NASA.

Πίνακας 3.1.6.2 : Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου – Καλαμάτα.

Πηγή : HOMER Pro

Μήνας	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)
Ιανουάριος	5,54
Φεβρουάριος	5,67
Μάρτιος	5,24
Απρίλιος	4,97
Μάιος	4,36
Ιούνιος	4,47
Ιούλιος	4,49
Αύγουστος	4,22
Σεπτέμβριος	4,20
Οκτώβριος	4,37
Νοέμβριος	5,20
Δεκέμβριος	5,61
<b>Μέση τιμή</b>	<b>4,86</b>



Εικόνα 3.1.6.4 : Γραφική απεικόνιση μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου – Καλαμάτα.

Πηγή : HOMER Pro

Οι μεγαλύτερες τιμές ανέμου παρατηρούνται κατά τη χειμερινή περίοδο - Νοέμβριο έως Μάρτιο – με μέση τιμή ίση με 4,86 m/s.

Εργαζόμενοι κατά τον ίδιο τρόπο, εξήχθησαν τα δεδομένα που αφορούν τη θερμοκρασία στην περιοχή της Εύας Μεσσηνίας. Παρακάτω παρουσιάζονται αριθμητικά τα στοιχεία που βρέθηκαν.

Πίνακας 3.1.6.3 : Μέση μηνιαία θερμοκρασία – Καλαμάτα.  
Πηγή : HOMER Pro

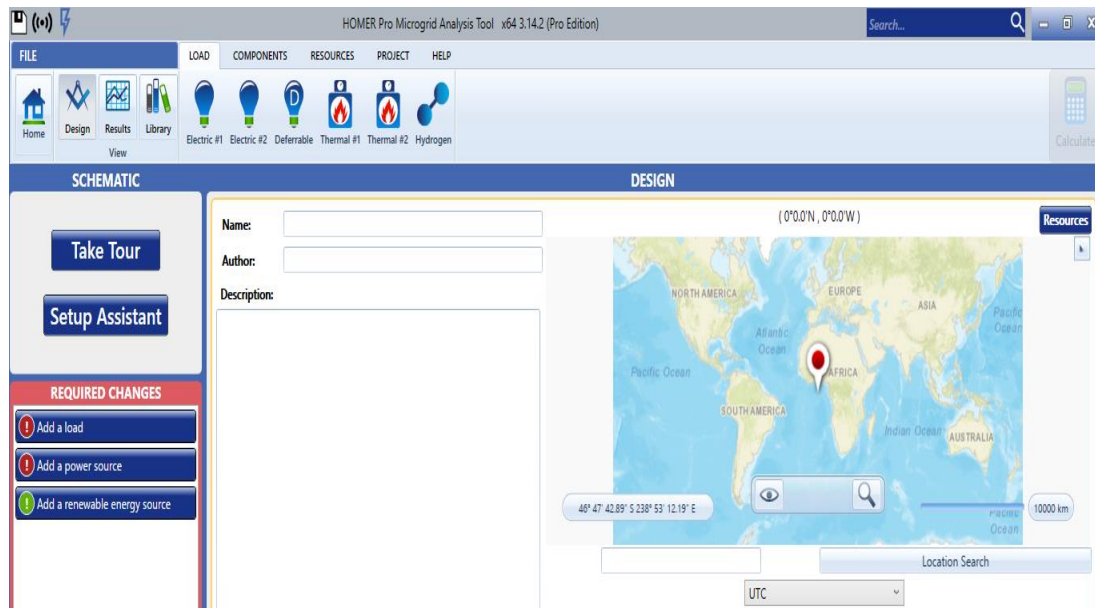
Μήνας	Ημερήσια Θερμοκρασία (°C)
Ιανουάριος	9.35
Φεβρουάριος	9.38
Μάρτιος	11.21
Απρίλιος	14.26
Μάιος	18.59
Ιούνιος	22.84
Ιούλιος	25.91
Αύγουστος	26.29
Σεπτέμβριος	22.77
Οκτώβριος	18.73
Νοέμβριος	14.41
Δεκέμβριος	10.74
<b>Μέση τιμή</b>	<b>17,04</b>

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται την καλοκαιρινή περίοδο και πιο συγκεκριμένα από τον μήνα Ιούνιο έως τον μήνα Σεπτέμβριο, με τη μέση τιμή να ισούται με 17,04 °C .

### 3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το λογισμικό μικροδικτύων HOMER Pro από την HOMER Energy πρόκειται για το παγκόσμιο πρότυπο όσον αφορά τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των μικροδικτύων σε όλους τους τομείς, από την ηλεκτρική ενέργεια των χωριών και τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας σε νησιά έως τις συνδεδεμένες με το δίκτυο πανεπιστημιούπολεις και στρατιωτικές βάσεις.

Αρχικά, το λογισμικό αυτό αναπτύχθηκε στο Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, βελτιώθηκε και στη συνέχεια διανεμήθηκε από την εταιρεία HOMER Energy. Το HOMER – το οποίο ουσιαστικά είναι ένα Υβριδικό Μοντέλο Βελτιστοποίησης για Πολλαπλούς Ενεργειακούς Πόρους - ενσωματώνει τρεις ισχυρές λειτουργίες σε ένα προϊόν λογισμικού, έτσι ώστε η μηχανική και η οικονομία να λειτουργούν αρμονικά.



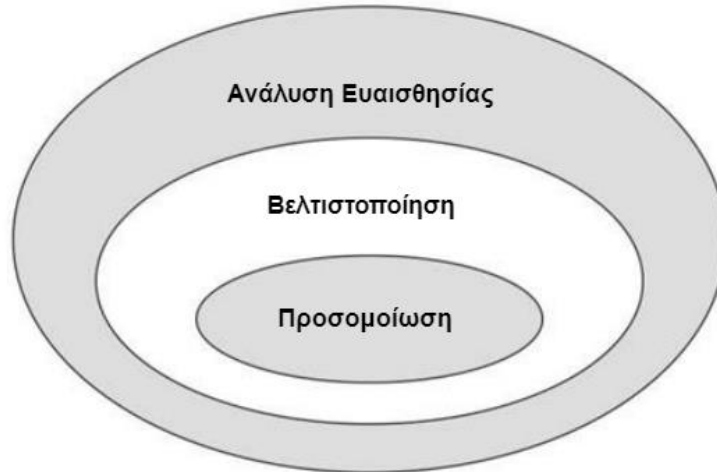
Εικόνα 3.2.1 : Περιβάλλον λογισμικού HOMER Pro.

Η πρώτη εξ αυτών αναφέρεται στην Προσομοίωση. Το λογισμικό αυτό θα προσπαθήσει να προσομοιώσει ένα βιώσιμο σύστημα για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς του υπό εξέταση εξοπλισμού. Ανάλογα με τον τρόπο ρύθμισης του κάθε προβλήματος, το HOMER είναι ικανό να προσομοιώσει εκατοντάδες ή και χιλιάδες συστήματα. Μπορεί να προσομοιώνει τη λειτουργία ενός υβριδικού μικροδικτύου για έναν ολόκληρο χρόνο, σε χρονικά βήματα από ένα λεπτό έως και μία ώρα.

Η δεύτερη λειτουργία έχει να κάνει με τη Βελτιστοποίηση. Το HOMER εξετάζει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς τύπων συστημάτων σε μία μόνο εκτέλεση και στη συνέχεια ταξινομεί τα συστήματα αυτά σύμφωνα με την επιλεγμένη μεταβλητή βελτιστοποίησης. Το λογισμικό HOMER Pro που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, διαθέτει ένα νέο αλγόριθμο βελτιστοποίησης, ο οποίος απλοποιεί σημαντικά τη διαδικασία σχεδιασμού για τον εντοπισμό επιλογών χαμηλού κόστους για μικροδίκτυα ή άλλα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας καταναεμημένης παραγωγής.

Η τρίτη και τελευταία λειτουργία είναι αυτή της Ανάλυσης Ευαισθησίας. Το HOMER επιτρέπει στον χρήστη να ρωτήσει όσα «Και αν;» επιθυμεί, μιας και δεν μπορούν να ελεγχθούν όλες οι πτυχές ενός συστήματος και δεν γίνεται ο χρήστης να γνωρίζει τη σημασία μιας συγκεκριμένης μεταβλητής ή επιλογής χωρίς να εκτελεσθούν εκατοντάδες ή χιλιάδες προσομοιώσεις ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους. Το λογισμικό αυτό διευκολύνει με τη σύγκριση χιλιάδων δυνατοτήτων σε μία μόνο εκτέλεση. Κάτι τέτοιο, επιτρέπει στον χρήστη να δει τον αντίκτυπο των μεταβλητών που είναι πέρα από τον έλεγχό του, όπως για παράδειγμα η ταχύτητα του ανέμου, το κόστος του καυσίμου κ.λπ. και να κατανοήσει πώς αλλάζει το βέλτιστο σύστημα από αυτές τις παραλλαγές.

Το ακόλουθο σχήμα (Εικόνα 3.2.2) δείχνει τη σχέση που υπάρχει μεταξύ της προσομοίωσης, της βελτιστοποίησης και της ανάλυσης ευαισθησίας. Πρόκειται για ένα σχήμα αποτελούμενο από τρεις ελλείψεις. Κάθε μία από αυτές αναφέρεται και σε μία από τις λειτουργίες που προαναφέρθηκαν. Παρατηρείται πως η έλλειψη που αφορά τη βελτιστοποίηση περικλείει την έλλειψη της προσομοίωσης ώστε να γίνει φανερό το γεγονός ότι μια βελτιστοποίηση απαιτεί και αποτελείται από πολλαπλές προσομοιώσεις. Αντίστοιχα, η έλλειψη που αναφέρεται στην ανάλυση ευαισθησίας περιβάλλει την έλλειψη της βελτιστοποίησης, μιας και μια ανάλυση ευαισθησίας αποτελείται από αρκετές βελτιστοποιήσεις.



Εικόνα 3.2.2 : Σχέση μεταξύ προσομοίωσης, βελτιστοποίησης και ανάλυσης ευαισθησίας.

Το HOMER Pro μπορεί να προσαρμοστεί με έως και εννέα μεμονωμένες μονάδες για να καλύψει τις ορισμένες ανάγκες μοντελοποίησης, ορισμένες από τις οποίες παρουσιάζονται ακολούθως :

- Βιομάζα,
- Υδρογόνο,
- Υδροηλεκτρικοί Πόροι,
- Συνδυασμένη Θερμότητα και Ισχύς, και
- σύνδεσμο MATLAB.

Στο λογισμικό αυτό υπάρχουν και αρκετοί οικονομικοί δείκτες οι οποίοι περιγράφονται με τη μορφή εξισώσεων προκειμένου να αξιολογηθεί το ρίσκο μιας επένδυσης. Ένας από αυτούς είναι και το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας (IKE – COE) το οποίο ορίζεται ως το μέσο κόστος ανά kWh χρήσιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα. Για τον υπολογισμό του IKE το HOMER διαιρεί το ετήσιο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (το συνολικό ετήσιο κόστος μείον το κόστος εξυπηρέτησης του θερμικού φορτίου) με το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που εξυπηρετείται, χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση :

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - c_{boiler} * H_{served}}{E_{served}} \quad (1)$$

Όπου,

$C_{ann,tot}$  : το συνολικό ετήσιο κόστος του συστήματος (€/έτος),

$c_{boiler}$  : το οριακό κόστος του λέβητα (€/kWh),

$H_{served}$  : το συνολικό θερμικό φορτίο που εξυπηρετείται (kWh/έτος), και

$E_{served}$  : το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που εξυπηρετείται (kWh/έτος).

Ο δεύτερος όρος στον αριθμητή είναι το τμήμα του ετήσιου κόστους που προκύπτει από την εξυπηρέτηση του θερμικού φορτίου. Σε συστήματα όπως αιολικά ή φωτοβολταϊκά, τα οποία δεν εξυπηρετούν κάποιο θερμικό φορτίο ο όρος αυτός μηδενίζεται.

Ένας ακόμη δείκτης που απασχολεί την παρούσα εργασία είναι αυτός που αναφέρεται στο ισοσταθμισμένο κόστος της θερμικής ενέργειας (ΙΚΘΕ) και παρουσιάζεται ακολούθως :

$$LCOTE = \frac{AC_{boiler}}{TE_{boiler}} \quad (2)$$

Όπου,

$TE_{boiler}$ : το συνολικό ετήσιο κόστος του συστήματος (kWh/έτος) και

$AC_{boiler}$ : το ετήσιο κόστος του λέβητα (€/έτος).

Μία ακόμη χρήσιμη εξίσωση είναι αυτή του ετησιοποιημένου κόστους ( $C_{ann}$ ) ενός στοιχείου. Είναι το κόστος που, εάν επρόκειτο να συμβεί εξίσου σε κάθε έτος της διάρκειας ζωής του έργου, θα έδινε το ίδιο καθαρό παρόν κόστος με την πραγματική ακολουθία ταμειακών ροών που σχετίζεται με αυτό το στοιχείο. Το HOMER υπολογίζει το ετήσιο κόστος υπολογίζοντας πρώτα το καθαρό παρόν κόστος και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντάς το με τον συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου, όπως στην ακόλουθη εξίσωση :

$$C_{ann} = CRF * (i, R_{proj}) * C_{NPC} \quad (3)$$

Όπου,

$C_{NPC}$ : το καθαρό παρόν κόστος (€),

$i$ : το ετήσιο πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο (%),

$R_{proj}$ : η διάρκεια ζωής του έργου (έτος), και

$CRF$ : η συνάρτηση που επιστρέφει τον παράγοντα ανάκτησης του κεφαλαίου.

### 3.2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Κύρια κατευθυντήρια ιδέα της παρούσας μελέτης αποτέλεσε η δημιουργία ορισμένων σεναρίων, τα οποία θα έθεταν τις βάσεις τους στις απαιτήσεις που ορίστηκαν στο περιβάλλον του λογισμικού HOMER Pro. Πιο συγκεκριμένα, το λογισμικό αυτό προσφέρει τη δυνατότητα στον χρήστη να προσομοιώσει ένα υβριδικό ενεργειακό σύστημα και να μελετήσει τη συμπεριφορά του ως προς διάφορες κατευθύνσεις. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκαν ορισμένες τεχνολογίες, εισήχθησαν πραγματικά αριθμητικά δεδομένα και ορίστηκαν μεταβλητές, τα οποία αποτέλεσαν τη βάση των σεναρίων που θα σχηματίζονταν σε επόμενο βήμα. Απώτερος σκοπός ήταν να «κατασκευαστούν» κάποιες πιθανές επιλογές, βασιζόμενες στις ζητούμενες προϋποθέσεις. Σε τελικό στάδιο, τα υβριδικά ενεργειακά συστήματα που δημιουργήθηκαν ερευνήθηκαν προκειμένου να βρεθεί το βέλτιστο που θα ανταποκρίνεται σε αυτές.

### 3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΡΙΣΚΟΥ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Προκειμένου να αξιολογηθεί οικονομικά μια επένδυση έχουν δημιουργηθεί διάφοροι δείκτες, από τους οποίους οι πιο συνηθισμένοι είναι αυτοί της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ), του Εσωτερικού Βαθμού Αποδόσεως (EBA) και της Έντοκης Περιόδου Αποπληρωμής (ΕΠΑ).

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ – NPV) πρόκειται για ένα χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται για να καθοριστεί αν μια επένδυση ή ένα έργο κρίνεται συμφέρον για να χρηματοδοτηθεί ή όχι. Πιο συγκεκριμένα, η ΚΠΑ ενός έργου είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των αναμενόμενων ταμειακών ροών του έργου και της παρούσας αξίας του κόστους του. Η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών υπολογίζεται με την προεξόφλησή τους, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο. Ο όρος αυτός περιγράφεται από την ακόλουθη γενική σχέση :

$$NPV = -K_0 + \sum_{i=1}^N \frac{KTP_i}{(i+k)^i} + \frac{YA_N}{(i+k)^N} \quad (1)$$

Όπου,

$K_0$  : το κόστος της επένδυσης,

$KTP_i$  : η Καθαρή Ταμειακή Ροή του έτους  $i$ ,

$k$  : η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται,

$N$  : η διάρκεια της επένδυσης σε έτη, και

$YA_N$  : η υπολειμματική αξία της επένδυσης στο  $N$ -οστό έτος.

Η ΚΠΑ λαμβάνει υπόψη όλα τα μελλοντικά έσοδα και έξοδα της επένδυσης και έτσι αξιολογεί τη συνολική της επίπτωση στην επιχείρηση. Για να γίνει δυνατή η άθροιση και η σύγκριση των χρηματικών ποσών που αναφέρονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, το κριτήριο της ΚΠΑ προεξοφλεί όλες τις μελλοντικές χρηματικές ροές που οφείλονται ή προκύπτουν από την επένδυση, και αθροίζει αλγεβρικά τις παρούσες αξίες του.

Αντίστοιχα, ο δείκτης του Εσωτερικού Βαθμού Αποδόσεως (EBA – IRR) είναι το επιτόκιο το οποίο μηδενίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία μιας επένδυσης. Αναφέρεται στο βαθμό απόδοσης που αναμένεται από μια επένδυση και αλγεβρικά υπολογίζεται από την επίλυση της εξίσωσης :

$$-K_0 + \sum_{i=1}^N \frac{KTP_i}{(i + IRR)^i} \quad (2)$$

Η τρίτη και τελευταία μέθοδος αξιολόγησης μιας επένδυσης είναι η Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ – DPP), δηλαδή η περίοδος κατά την οποία επανακτάται το κόστος της επένδυσης ( $K_0$ ) από τις Καθαρές Ταμειακές Ροές (KTP). Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τον αριθμό των απαιτούμενων ετών για την κάλυψη της αρχικής δαπάνης, θεωρώντας την υπολειμματική αξία της επένδυσης ως μηδενική :

$$-K_0 + \sum_{i=1}^N \frac{KTP_i}{(i + k)^i} = 0 \quad (3)$$

(Zopounidis K., 2022; Savvakis N., 2015)

### 3.3.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ

Ανάλογα με την τιμή που θα υπολογιστεί για την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ-NPV) καθίσταται δυνατή η αξιολόγηση της βιωσιμότητας του επενδυτικού σχεδίου. Εάν εξετάζονται περισσότερα το ενός επενδυτικά σχέδια, επιλέγεται εκείνο που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή ΚΠΑ, υπό την προϋπόθεση ότι όλα τα επενδυτικά σχέδια έχουν την ίδια διάρκεια ζωής. Πιο συγκεκριμένα :

- Όταν  $KΠΑ > 0$  , η αμοιβή του επενδυτή από την επένδυση υπερβαίνει τη ζητούμενη αποδοτικότητα.
- Όταν  $KΠΑ < 0$  , η αμοιβή του επενδυτή από την επένδυση είναι μικρότερη από τη ζητούμενη αποδοτικότητα.
- Όταν  $KΠΑ = 0$  , ο επενδυτής παίρνει από την επένδυση ακριβώς τη ζητούμενη αποδοτικότητα.

Ακόμη, κάθε επένδυση χαρακτηρίζεται από ένα μοναδικό Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (EBA – IRR), ο οποίος θέτει την ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων του επενδυτή

( $k_{\min}$ ) μέσω της οποίας αξιολογείται η επιλεξιμότητα της επένδυσης. Κατά την αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου, ισχύουν τα εξής :

- Εάν  $EBA > k_{\min}$  , τότε η επένδυση γίνεται αποδεκτή.
- Εάν  $EBA < k_{\min}$  , τότε η επένδυση δεν γίνεται αποδεκτή.
- Εάν  $EBA = k_{\min}$  , τότε ο επενδυτής είναι αδιάφορος.

Γενικότερα, ο επενδυτικός κανόνας του Εσωτερικού Βαθμού Αποδόσεως (EBA) αναφέρει ότι «Πρέπει να εκμεταλλευτούμε κάθε επενδυτική ευκαιρία της οποίας ο EBA υπερβαίνει το κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου».

### 3.3.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Η αξιολόγηση της επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια στο επιτόκιο αναγωγής είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη τόσο η απόδοση των ιδίων κεφαλαίων που κρίνει ο επενδυτής ως αποδεκτή όσο και το επιτόκιο των δανειακών κεφαλαίων. Οι παραπάνω τύποι (1), (2) και (3) ισχύουν εξίσου και για το σύνολο μιας επένδυσης, ωστόσο σε αυτή την περίπτωση ο υπολογισμός του μέσου σταθμικού κόστους κεφαλαίου θα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$k_{tot} = P_d * k_d * (1 - \Phi\Sigma) + P_{Eq} * k_{Eq} \quad (4)$$

Όπου,

$k_{tot}$  : το μέσο σταθμικό κόστος των ιδίων και ξένων κεφαλαίων της επιχείρησης,

$P_d$  : το ποσοστό συμμετοχής των δανειακών κεφαλαίων στο σύνολο της επένδυσης,

$k_d$  : το επιτόκιο δανεισμού,

$P_{Eq}$  : το ποσοστό συμμετοχής των ιδίων κεφαλαίων στο σύνολο της επένδυσης,

$k_{Eq}$  : το κόστος των ιδίων κεφαλαίων της επιχείρησης, και

$\Phi\Sigma$  : ο φορολογικός συντελεστής (Savvakis N., 2015).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

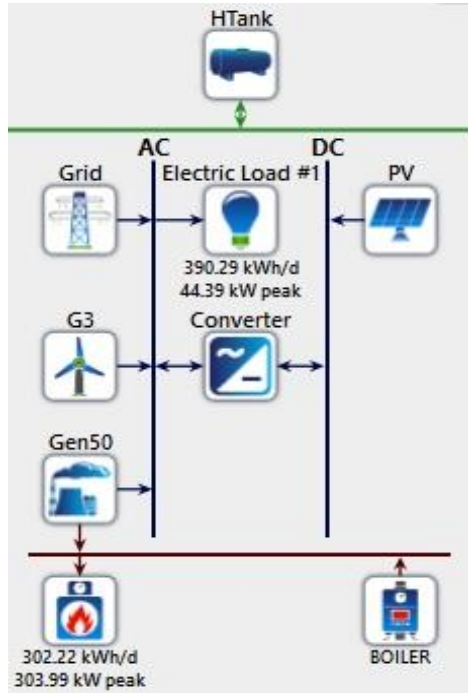
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σενάρια που δημιουργήθηκαν στο λογισμικό HOMER Pro, αναλύονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που πάρθηκαν. Τα σενάρια διαχωρίζονται σε δύο περιπτώσεις, όσες είναι και οι πηγές βιομάζας που εξετάζονται. Ακόμα, αφότου βρεθεί το βέλτιστο σενάριο κάθε περίπτωσης, γίνεται σύγκριση μεταξύ τους.

### 4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HOMER PRO

Στην παρούσα φάση, το υπό μελέτη εργοστάσιο παρουσιάζει μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση ίση με 390,29 kWh/day όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια και 302,22 kWh/day όσον αφορά τη θερμική ενέργεια. Η ετήσια παραγωγή του ορού τυρογάλακτος υπολογίζεται σε 322.977 kg, με τη μέση μηνιαία παραγωγή να αγγίζει τους 26,9 τόνους.

#### 4.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΚΛΑΔΙΑ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΩΝ

Αφότου εισήχθησαν στο λογισμικό του HOMER Pro τα δεδομένα της ηλεκτρικής ενέργειας, της θερμικής ενέργειας και της βιομάζας που προέρχεται από τα κλαδέματα των ελαιόδεντρων επιλέχθηκαν συγκεκριμένα δομικά στοιχεία. Επιλέχθηκε το στοιχείο «Grid», το οποίο αναφέρεται στο δίκτυο από το οποίο τροφοδοτεί με ρεύμα το τυροκομείο. Αρχικά, προστέθηκε η γεννήτρια Gen50 και ένας λέβητας (boiler) τα οποία σχετίζονται με τα δεδομένα κατανάλωσης προπανίου της ήδη υπάρχουσας εγκατάστασης. Εν συνεχεία, εισήχθησαν επίπεδα φωτοβολταϊκά, ένα σύστημα ανεμογεννητριών (V-Twin 10) και ένας μετατροπέας ρεύματος. Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω του ότι υπάρχει ένα κόστος για το λέβητα, το οποίο δεν μπορεί να ενσωματωθεί μέσα στο περιβάλλον του Homer Pro, εν τέλει ενσωματώθηκε με έναν ιδιαίτερο τρόπο που έχει ξαναχρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για την προσθήκη μίας δεξαμενής υδρογόνου στην οποία ορίστηκε το κόστος της εγκατεστημένης ισχύος του λέβητα, το οποίο ισούται με 100 €/kW. Ακολούθως, παρουσιάζεται σχηματικά το διάγραμμα του τελικού συστήματος (*Εικόνα 4.1.1.1*).



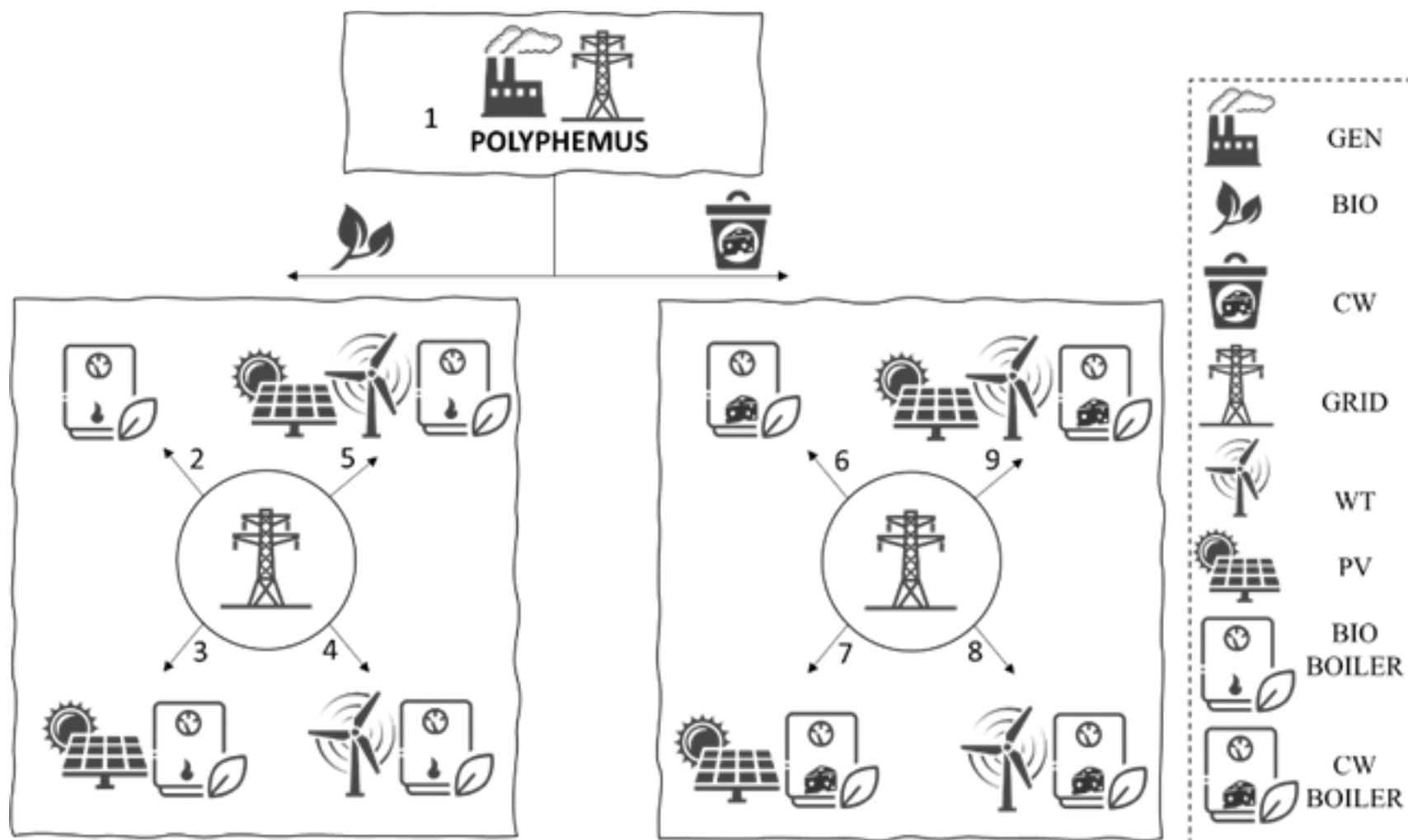
Εικόνα 4.1.1.23 : Σχηματική αναπαράσταση δοκιμών στοιχείων μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο HOMER Pro.

Πίνακας 4.1.1.1 : Παρουσίαση σεναρίων.

	Σενάριο	PV (kW)	WT (kW)	GEN (kW)	Converter (kW)	Grid (kW)	Boiler* (kW)
Βιομάζα Κλαδέματα Ελιάς	1					X	X
	2			X		X	X
	3	X		X	X	X	X
	4		X	X		X	X
	5	X	X	X	X	X	X
Βιομάζα Ορός Γάλακτος	6			X		X	X
	7	X		X	X	X	X
	8		X	X		X	X
	9	X	X	X	X	X	X
*Αναφέρεται και στους δύο τύπους βιομάζας.							

Αφού έγιναν οι απαραίτητοι υπολογισμοί, δημιουργήθηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια στα οποία ενσωματώθηκαν διαφορετικές τεχνολογίες - και κατ' επέκτασιν, συνδυασμοί των τεχνολογιών αυτών - τα οποία παρουσιάζονται ακολούθως. Το πρώτο σενάριο έχει να κάνει με το σύστημα όντας συνδεδεμένο στο δίκτυο. Αυτό το σενάριο αποτελεί τη βασική περίπτωση (baseline case) της μελέτης. Το δεύτερο σενάριο αναφέρεται στην ύπαρξη μόνο της βιομάζας

από τα κλαδιά της ελιάς. Το τρίτο σενάριο περιλαμβάνει την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων και καμίας άλλης τεχνολογίας. Το τέταρτο σενάριο αναφέρεται στην ύπαρξη ενός συστήματος το οποίο απαρτίζεται μονάχα από ένα σύστημα ανεμογεννητριών. Επιπρόσθετα, το πέμπτο και τελευταίο σενάριο περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά συστήματα και ανεμογεννήτριες, προκειμένου να γίνει εκμετάλλευση τόσο του ηλιακού όσο και του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Τέλος, η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται στην περίπτωση που αντί για κλαδιά ελιάς, χρησιμοποιείται ως καύσιμο βιομάζας το παραγόμενο αέριο από την αναερόβια χώνευση του ορού γάλακτος.



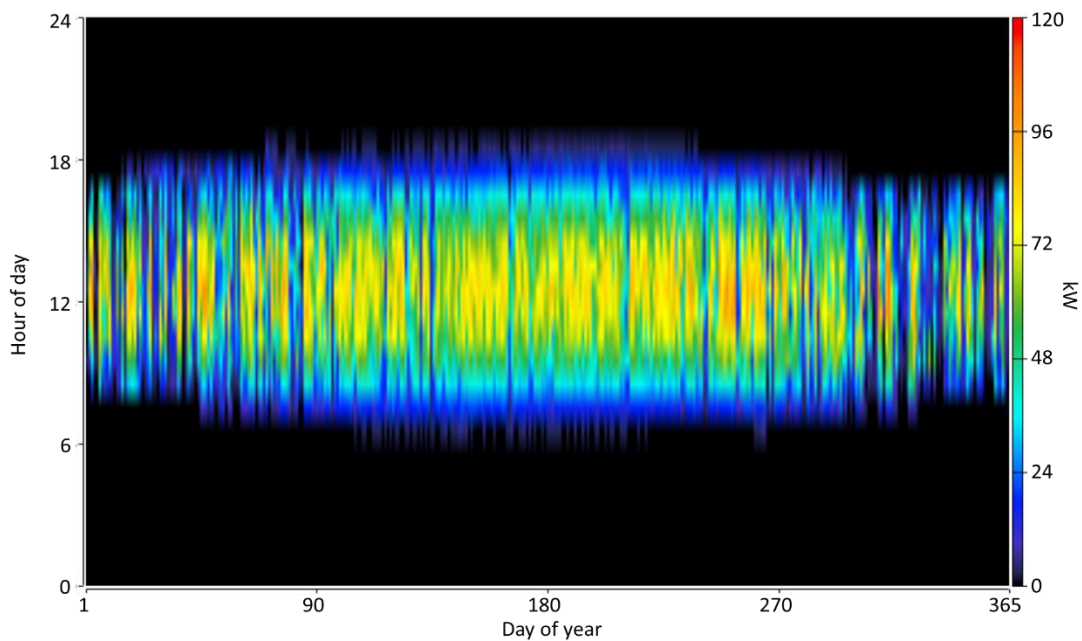
Εικόνα 4.1.1.24 : Εικονική αναπαράσταση υπό εξέταση σεναρίων.

Πίνακας 4.1.1.2 : Παρουσίαση αποτελεσμάτων για το κάθε σενάριο.

Σενάριο	PV (kW)	WT (kW)	GEN (kW)	Boiler* (kW)	LCOE (€)	LCOTE (€)	PP (y)	IRR (%)	ROI (%)	RF (%)	Net Energy (kWh)	Emissions (t/yr)
1				X	0,436	0,185	n/a	n/a	0	0	142.455	355,4
Βιομάζα - Κλαδιά Ελιάς	2		X	X	0,339 (-22,2%)	0,147 (-20,5%)	7,56	12,9	10,9	66,3	48.063	139,6 (-60,7%)
	3	X		X	0,192 (-56,3%)	0,158 (-14,6%)	5,96	16,5	14,1	79,4	4	124,8 (-64,9%)
	4		X	X	0,210 (-51,9%)	0,160 (-13,5%)	7,14	13,6	11,3	78,9	-3,52	120,8 (-66,0%)
	5	X	X	X	<b>0,188</b> <b>(-57,0%)</b>	<b>0,164 (-11,4%)</b>	<b>6,21</b>	<b>15,8</b>	<b>13,4</b>	<b>79,1</b>	<b>-4,08</b>	<b>128,5</b> <b>(-63,9%)</b>
	6		X	X	0,314 (-28,0%)	0,085 (-54,1%)	6,81	14,4	12,7	42,0	82.543	208,2 (-41,4%)
Βιομάζα - Ορός Γάλακτος	7	X		X	0,153 (-64,9%)	0,140 (-24,3%)	5,68	17,3	15,0	70,8	-2	170,9 (-51,9%)
	8		X	X	0,170 (-61,0%)	0,131 (-29,2%)	6,65	14,7	12,3	74,4	-5.218	141,9 (-60,1%)
	9	X	X	X	<b>0,157</b> <b>(-64,0%)</b>	<b>0,148 (-20,0%)</b>	<b>5,93</b>	<b>16,5</b>	<b>14,2</b>	<b>73,6</b>	<b>-4.623</b>	<b>160,2</b> <b>(-54,9%)</b>

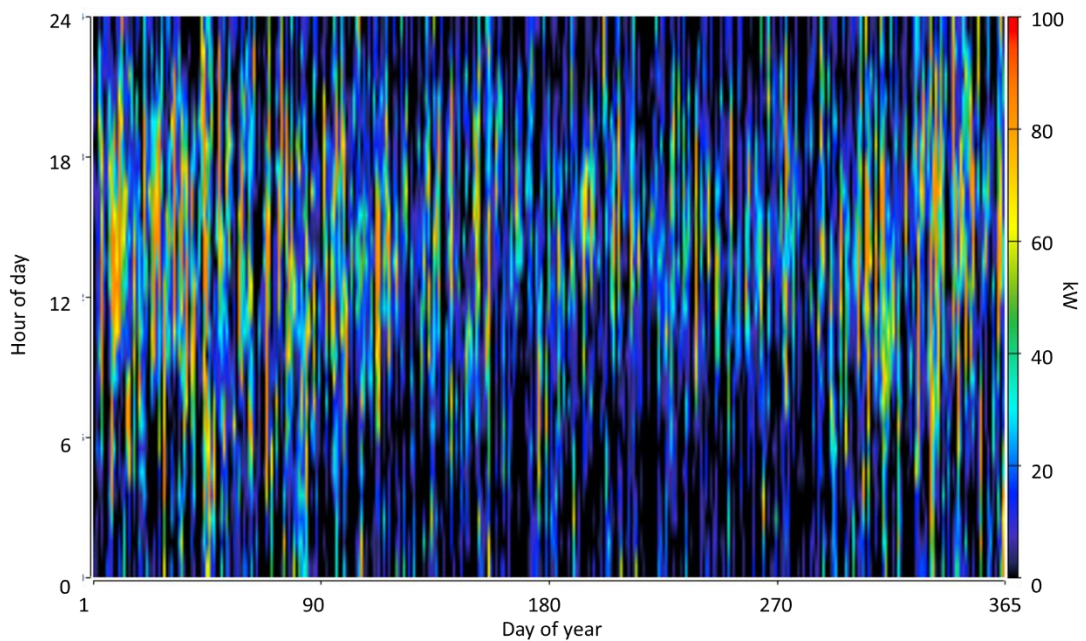
Από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το λογισμικό HOMER Pro παρατηρείται πως η συνολική παραγωγή ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές διαφέρει σε κάθε σενάριο που εξετάζεται. Στα σενάρια 1 και 2 δεν έχει συμπεριληφθεί κάποια πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Στο σενάριο 3 προτείνεται να τοποθετηθούν στο σύστημα τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Αυτά λειτουργούν και αποδίδουν καλύτερα κατά τη διάρκεια της ημέρας λόγω του αυξημένου διαθέσιμου ηλιακού δυναμικού, γεγονός που εξηγεί την ύπαρξη μηδενικής παραγωγής ενέργειας κατά τις νυχτερινές ώρες (Εικόνα 4.1.1.3). Όσον αφορά το σενάριο 4, σε αυτό λειτουργούν ανεμογεννήτριες χωρίς κάποια διακοπή παράγοντας ενέργεια με διάφορες διακυμάνσεις (Εικόνα 4.1.1.4). Τέλος, στο σενάριο 5 παρατηρείται έντονη παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ κατά τη διάρκεια της ημέρας, μιας και αποδίδουν τόσο οι ανεμογεννήτριες όσο και τα φωτοβολταϊκά, ενώ στις βραδινές ώρες η παραγωγή παρουσιάζει αισθητή μείωση (Εικόνα 4.1.1.5).

Αξίζει να αναφερθεί πως κατά τη σύγκριση των δημιουργηθέντων σεναρίων λήφθηκαν υπόψη ορισμένοι οικονομικοί δείκτες. Οι κυριότεροι εξ αυτών αναφέρονται στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (IRR), στην απόδοση της επένδυσης (ROI), στο ισοδύναμο κόστος της ενέργειας (LCOE) και στο ισοδύναμο κόστος της θερμικής ενέργειας (LCOTE).



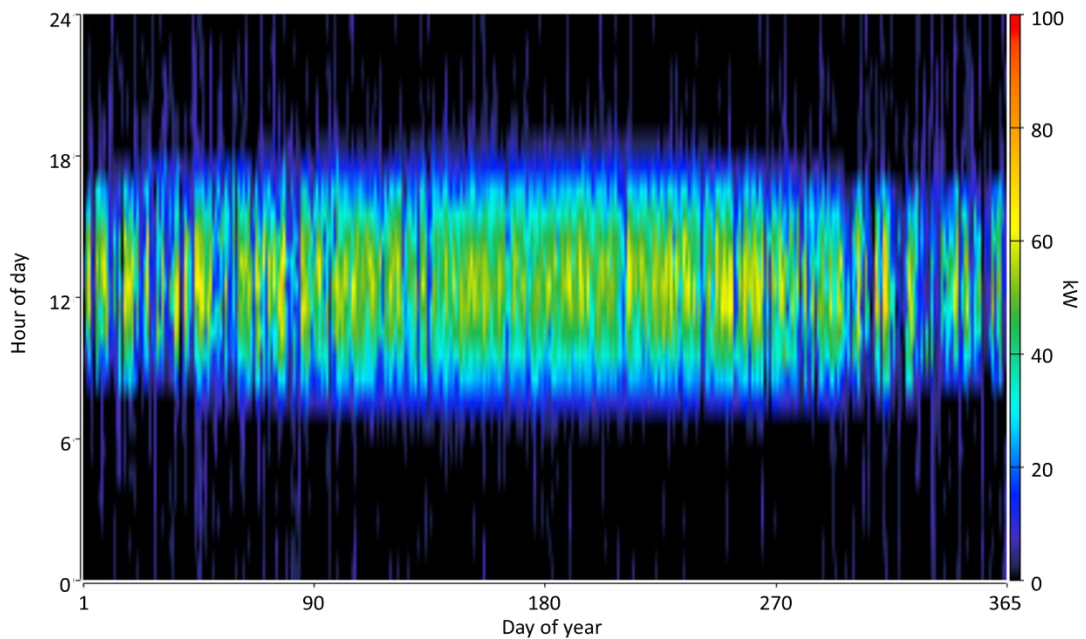
Εικόνα 4.1.1.25: Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ - Σενάριο 3.

Στο παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 4.1.1.3) απεικονίζεται η συνολική παραγωγή ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας του συγκεκριμένου συστήματος (Σενάριο 3). Το είδος των ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί είναι αυτό των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αξίζει να σημειωθεί πως τις καλοκαιρινές ώρες και ημέρες παρατηρείται περισσότερη παραγωγή ενέργειας. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, δηλαδή το καλοκαίρι έχει περισσότερες ώρες ήλιο ανά ημέρα. Ακόμη, το χειμώνα παρατηρείται σχηματικά μείωση του εύρους των τιμών της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα γεγονός που οφείλεται στην μείωση της διάρκειας της ημέρας.



Εικόνα 4.1.1.26: Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 4.

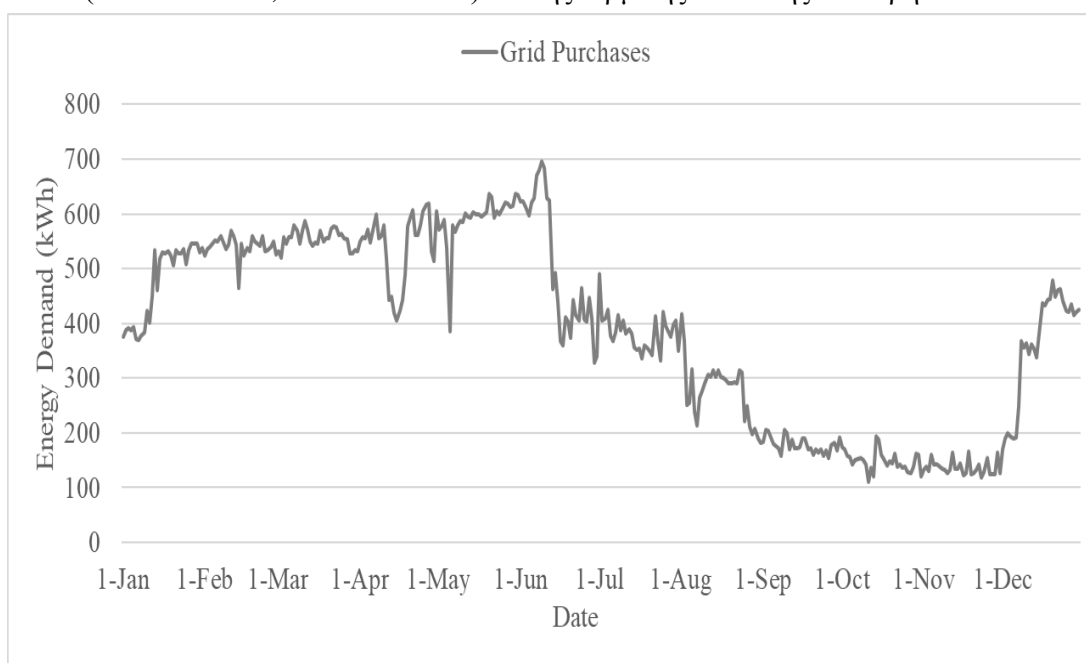
Στο σενάριο 4, οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν αδιάκοπα καθόλη τη διάρκεια της ημέρας (Εικόνα 4.1.1.4). Όπως φαίνεται παραπάνω στο διάγραμμα, η παραγωγή ενέργειας δεν είναι σταθερή μιας και υπάρχουν εναλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου από την οποία και εξαρτώνται. Η μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας θα μπορούσε κανείς να πει πως συναντάται την περίοδο του χειμώνα κατά τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες.



Εικόνα 4.1.1.27: Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 5.

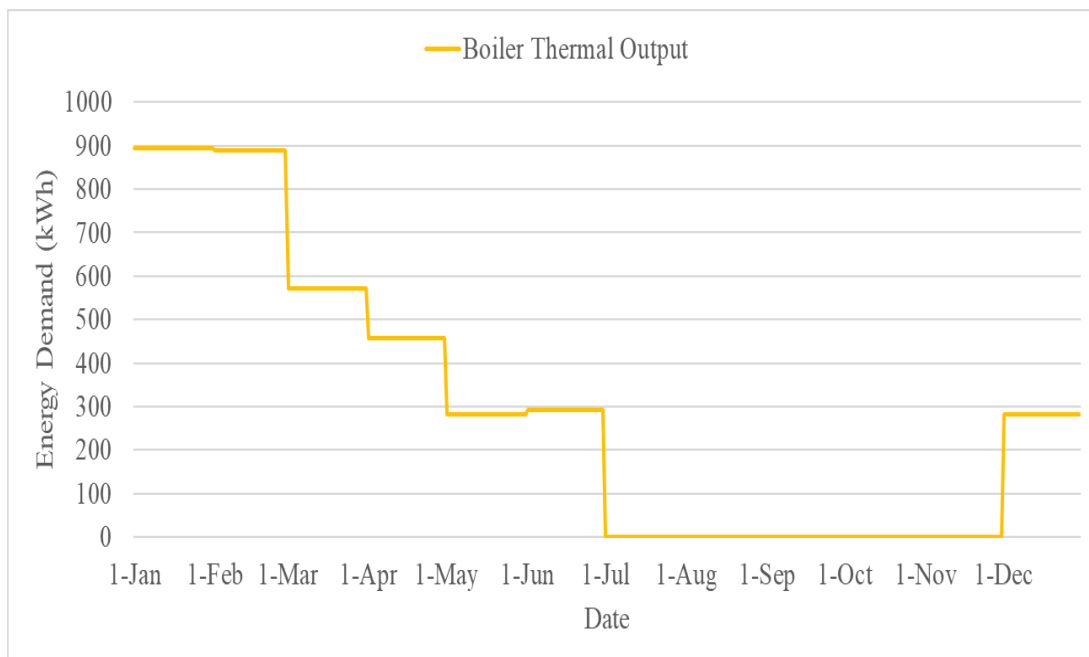
Το τελευταίο διάγραμμα το οποίο αφορά στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ αναφέρεται στην περίπτωση που έχουν εγκατασταθεί τόσο φωτοβολταϊκά συστήματα όσο και ανεμογεννήτριες. Παρατηρώντας το, γίνεται αντιληπτό πως κατά τη διάρκεια της ημέρας η απόδοση του συστήματος είναι αρκετά υψηλή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι λειτουργούν ταυτόχρονα και οι δύο πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η παραγωγή της ενέργειας παρουσιάζει αισθητή μείωση, εφόσον οι ανεμογεννήτριες είναι οι μόνες που συνεισφέρουν στο σύστημα.

Όπως προαναφέρθηκε, αφότου εισήχθησαν τα απαιτούμενα δεδομένα στο περιβάλλον του HOMER Pro και έγιναν ορισμένοι υπολογισμοί, εξήχθησαν αριθμητικά αποτελέσματα βάσει των οποίων σχεδιάστηκαν τα ακόλουθα διαγράμματα για κάθε σενάριο ξεχωριστά. Το πρώτο σενάριο απαρτίζεται μονάχα από την τυροκομική μονάδα η οποία είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο. Τα ακόλουθα διαγράμματα αναφέρονται στα δεδομένα της ηλεκτρικής ενέργειας που εξασφαλίζεται από το δίκτυο (Εικόνα 4.1.1.9, Εικόνα 4.1.1.10) και της θερμικής απόδοσης του λέβητα.



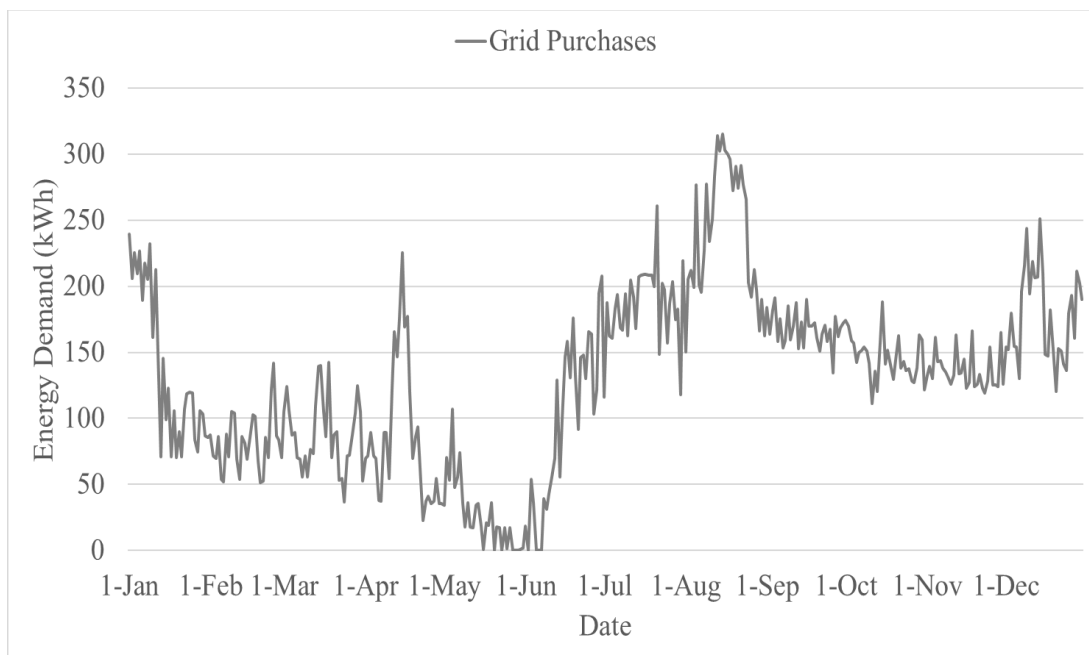
Εικόνα 4.1.1.28: Παρεχόμενη ενέργεια από το δίκτυο – Σενάριο 1.

Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται μείωση των τιμών κατά την καλοκαιρινή περίοδο που δεν λειτουργεί η τυροκομική μονάδα. Στην περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας που προμηθεύεται η μονάδα από το δίκτυο παραγωγής ηλεκτρισμού (Εικόνα 4.1.1.6), η μείωση που παρατηρείται είναι της τάξεως του 30% μιας και υπάρχει κάποια κατανάλωση ενέργειας η οποία οφείλεται στη συντήρηση των παραχθέντων προϊόντων. Ταυτόχρονα, όπως γίνεται αντιληπτό και από το ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 4.1.1.7) η θερμική απόδοση του λέβητα μηδενίζεται για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 4.1.1.29: Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 1.

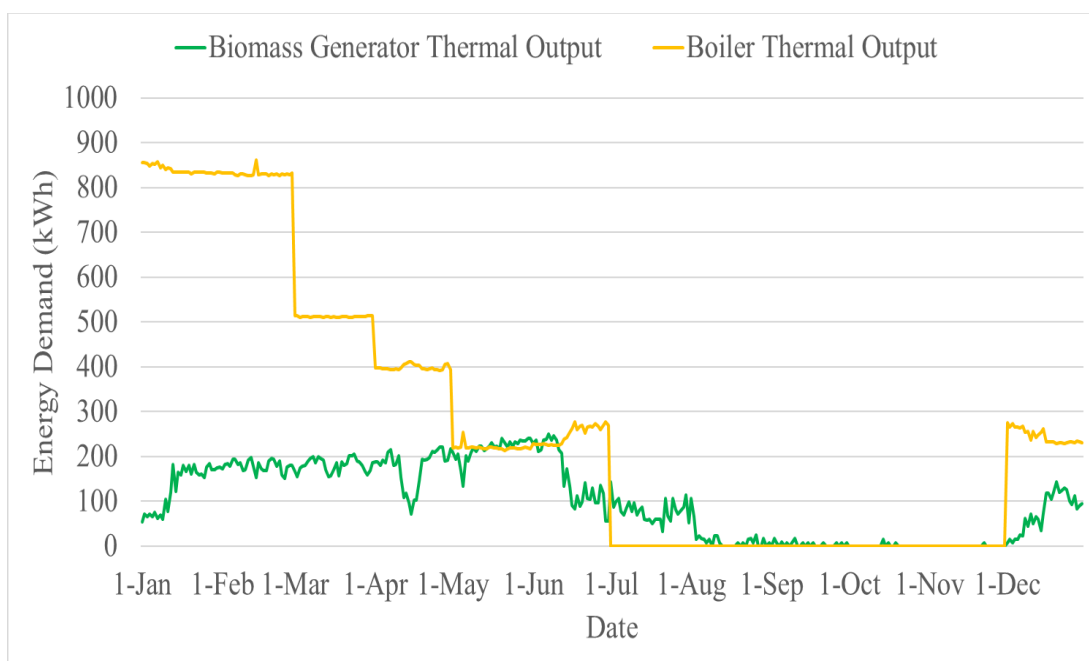
Στο επόμενο σενάριο -Σενάριο 2- έχουν προστεθεί ως πηγή βιομάζας τα κλαδιά από τα δέντρα της ελιάς. Παρατηρώντας τα παρακάτω διαγράμματα, διαφορά σημειώνεται κυρίως σε αυτό που έχει να κάνει με το θερμικό φορτίο.



Εικόνα 4.1.1.30 : Παρεχόμενη ενέργεια από το δίκτυο – Σενάριο 2.

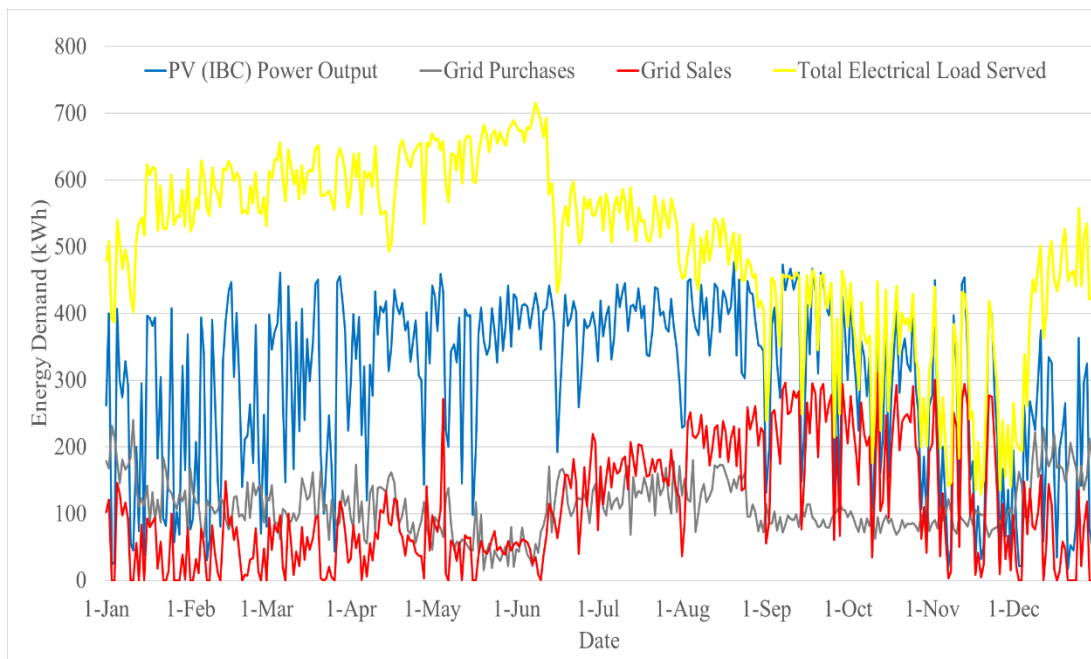
Πιο συγκεκριμένα, πλέον υπάρχει ένας λέβητας βιομάζας ο οποίος δεν συνεισφέρει στο ηλεκτρικό φορτίο του συστήματος, παρά μόνο στο θερμικό. Επομένως, η «πράσινη» παραγωγή ενέργειας του

συστήματος θα αυξηθεί. Ακόμη, και σε αυτή την περίπτωση κατά τη θερινή περίοδο η παραγωγή θερμικής ενέργειας της τυροκομικής μονάδας μειώνεται αισθητά.



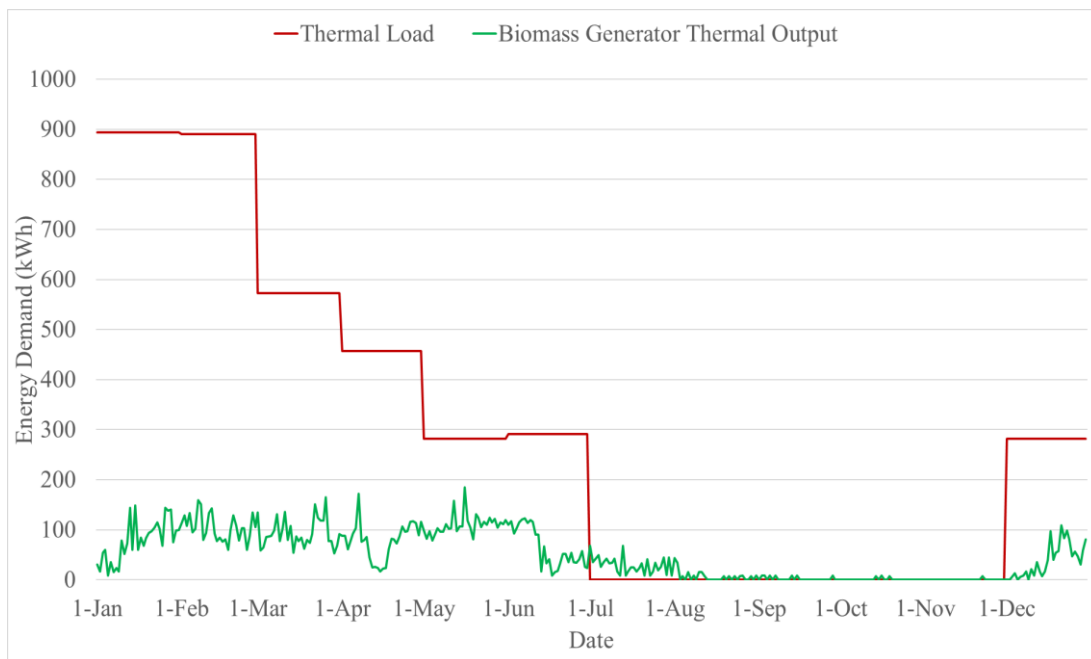
Εικόνα 4.1.1.31 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 2.

Το Σενάριο 3 περιλαμβάνει την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων και καμίας άλλης τεχνολογίας ΑΠΕ. Πλέον, το διάγραμμα που αναφέρεται στο ηλεκτρικό φορτίο έχει εμπλουτιστεί μιας και υπάρχουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ και ένας λέβητας. Οι αγορές εντός δικτύου παρουσιάζονται μειωμένες. Όσον αφορά το θερμικό φορτίο, σε αυτό παίρνουν μέρος η γεννήτρια που υπάρχει εξ αρχής στο σύστημα και ο λέβητας της βιομάζας.



Εικόνα 4.1.1.32 : Παρεχόμενη ενέργεια από το σύστημα - Σενάριο 3.

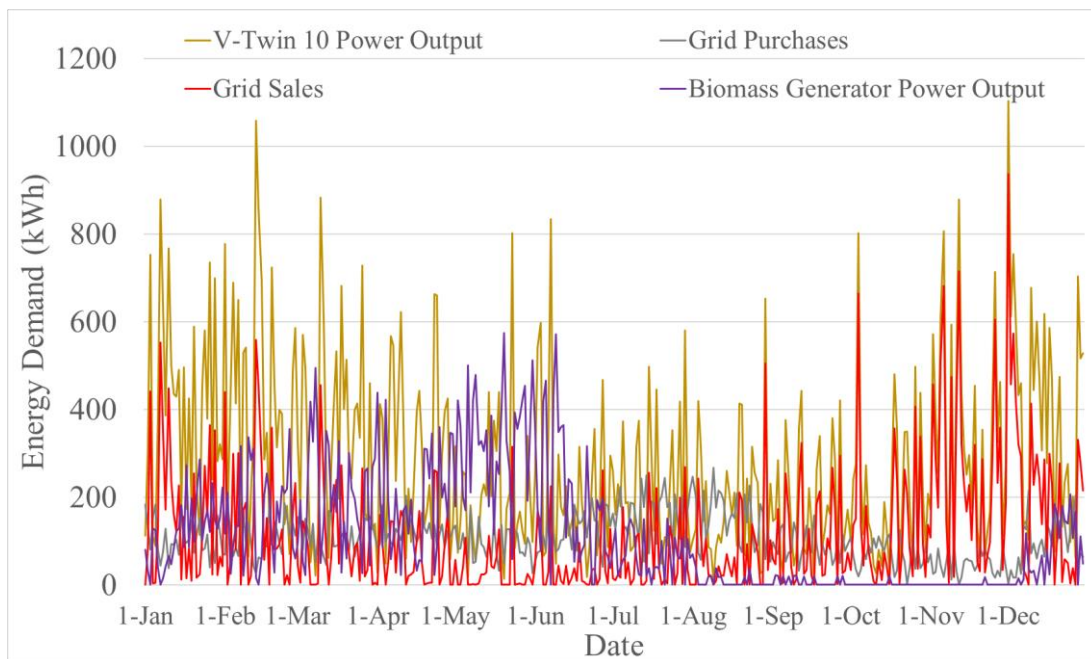
Στο παραπάνω γράφημα (Εικόνα 4.1.1.13) παρουσιάζονται όλες οι συνιστώσες που επηρεάζουν το ηλεκτρικό δίκτυο του εργοστασίου. Αρχικά, παρατηρούνται κάποιες αυξομειώσεις των τιμών που έχουν να κάνουν με την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, με τις χαμηλότερες αυτών να καταγράφονται κατά τους χειμερινούς μήνες. Ακόμη, το ισοζύγιο αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο παρουσιάζει αρνητικό πρόσημο. Πιο συγκεκριμένα, κατά το διάστημα που το εργοστάσιο λειτουργεί κανονικά οι δύο συνιστώσες αυξομειώνονται συνεχώς με τις μεγαλύτερες αλλαγές να παρατηρούνται στον τομέα των πωλήσεων. Κατά τους θερινούς μήνες, οι πωλήσεις παρουσιάζουν έντονη αύξηση, ενώ οι αγορές περιορίζονται. Τέλος, η γεννήτρια που έχει τοποθετηθεί εμφανίζει μηδενική απόδοση σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του έτους αν και παρατηρείται πως καθώς πέφτει η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, η συνεισφορά της γεννήτριας βιομάζας αυξάνεται.



Εικόνα 4.1.1.33 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου - Σενάριο 3.

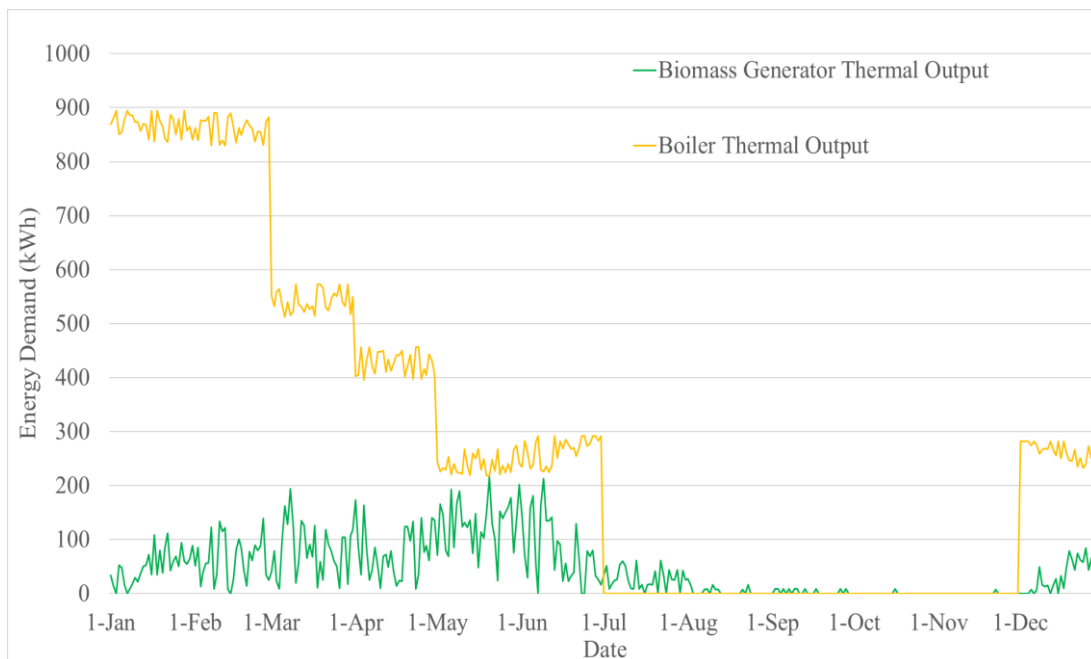
Παρά τις έντονες αλλαγές που σημειώνονται στον τομέα που αφορά το ηλεκτρικό φορτίο, η θερμική απόδοση της γεννήτριας παρουσιάζει μικρές διαφορές (Εικόνα 4.1.1.14). Βάσει της ανωτέρω εικόνας, εξάγεται το συμπέρασμα πως στη θερμική απόδοση του συστήματος παίρνουν μέρος τόσο η γεννήτρια βιομάζας όσο και το θερμικό φορτίο. Πιο συγκεκριμένα, η γεννήτρια φαίνεται να παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές όσον αφορά την παραγόμενη ενέργεια κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Τους θερινούς μήνες η τιμή της ενέργειας αυτής σχεδόν μηδενίζεται ενώ το υπόλοιπο έτος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως χαμηλή. Τέλος, όσον αφορά το θερμικό φορτίο, αυτό παρουσιάζει κλιμακωτές αλλαγές κατά το πέρας ενός και άλλοτε δύο μηνών. Το χρονικό διάστημα που δε λειτουργεί το εργοστάσιο μηδενίζεται, ενώ οι υψηλότερες τιμές σημειώνονται κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο.

Το τέταρτο σενάριο αφορά σε ένα σύστημα το οποίο απαρτίζεται από ένα σύστημα ανεμογεννητριών. Όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρικού φορτίου έχει να κάνει με τις ανεμογεννήτριες που έχουν εγκατασταθεί.



Εικόνα 4.1.1.34 : Παρεχόμενη ενέργεια από το σύστημα - Σενάριο 4.

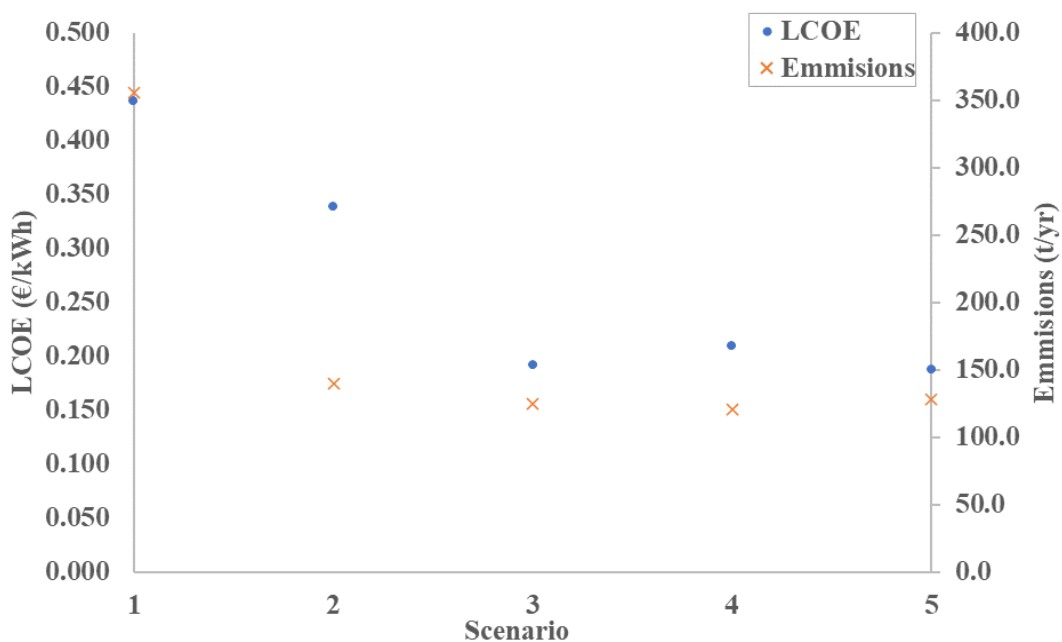
Οι ανεμογεννήτριες παράγουν και προσφέρουν στο σύστημα το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας, όμως αυτή τους η απόδοση δεν φαίνεται να είναι σταθερή. Αυτό οφείλεται στις εναλλαγές που παρουσιάζει η ταχύτητα του ανέμου. Ακόμη, η εγκατεστημένη γεννήτρια παρέχει ενέργεια σε μικρότερη κλίμακα. Θα μπορούσε κανείς να αναφέρει παρατηρώντας το γράφημα πως καθώς μειώνεται η ενεργειακή παροχή των ανεμογεννητριών, η γεννήτρια προσπαθεί να καλύψει αυτό το κενό που δημιουργείται. Τέλος, στο σενάριο αυτό φαίνεται πως η ανάγκη αγοράς ενέργειας από το δίκτυο είναι αισθητά μικρότερη από την πώλησή της σε αυτό.



Εικόνα 4.1.1.35 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου - Σενάριο 4.

Η θερμική απόδοση του λέβητα παρουσιάζει κλιμακωτές αλλαγές ανά διαστήματα και μηδενίζεται την περίοδο που δεν λειτουργεί το εργοστάσιο. Την ίδια χρονική περίοδο παρουσιάζονται χαμηλές τιμές και στην απόδοση της γεννήτριας, η οποία καθόλο το υπόλοιπο χρονικό διάστημα σημειώνει αποδόσεις ελαφρώς υψηλότερου βεληνεκούς.

Προκειμένου να γίνει σύγκριση τόσο των τεσσάρων σεναρίων που εμπεριέχουν το λέβητα καύσης βιομάζας με τα κλαδιά των ελαιόδεντρων όσο και του βασικού μας σεναρίου σχεδιάστηκε το ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 4.1.1.17). Στόχος είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (IKE - LCOE) αλλά και των εκπομπών (Emissions). Παρατηρώντας λοιπόν τόσο το παρακάτω διάγραμμα όσο και τα αριθμητικά δεδομένα που υπολογίστηκαν (Πίνακας 4.1.1.1), καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως το βέλτιστο σενάριο είναι το Σενάριο 5.



Εικόνα 4.1.1.36: Σύγκριση σεναρίων.

Πιο συγκεκριμένα, στο πέμπτο σενάριο το ισοδύναμο κόστος ενέργειας ισούται με 0,188€ (μείωση κατά 57,0%), το ισοδύναμο κόστος θερμικής ενέργειας είναι ίσο με 0,164€ (μείωση κατά 11,4%) και ταυτόχρονα οι εκπομπές ρύπων έχουν μειωθεί κατά 63,9% σε σχέση με το βασικό σενάριο, δηλαδή η ποσότητά τους πλέον θα ανέρχεται σε 128.461 kg/yr από 355.420 kg/yr. Ακόμη, η αποπληρωμή του συγκεκριμένου συστήματος υπολογίστηκε στα 6,21 χρόνια.

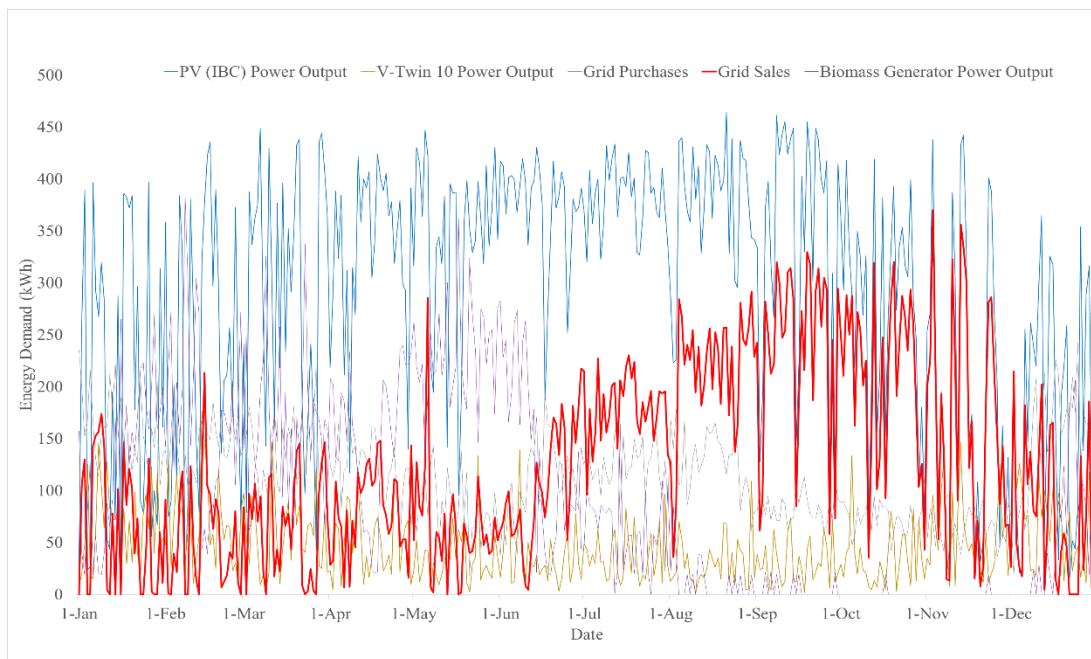
Όσον αφορά το βέλτιστο σενάριο (Σενάριο 5) το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο έχει διάφορες διακυμάνσεις κατά το πέρας κάθε μήνα. Η αισθητή μείωση που παρατηρείται κατά τη διάρκεια των πέντε μηνών (Ιούλιος έως και Νοέμβριος), οφείλεται στο γεγονός του ότι δεν σημειώνεται παραγωγική διαδικασία στο εργοστάσιο το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Επομένως, αυτή τη χρονική περίοδο οι ανάγκες του σε ηλεκτρική ενέργεια περιορίζονται. Ακόμη, παρόμοια είναι η εικόνα του θερμικού φορτίου. Εφόσον δεν υπάρχει παραγωγή στην υπό εξέταση μονάδα, δεν λειτουργούν αρκετά από τα μηχανήματα ένα εκ των οποίων είναι και ο λέβητας. Για το λόγο αυτό, παρατηρείται μηδενική κατανάλωση θερμικής ενέργειας (Εικόνα 4.1.1.18).



Εικόνα 4.1.1.37: Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου – Σενάριο 5.

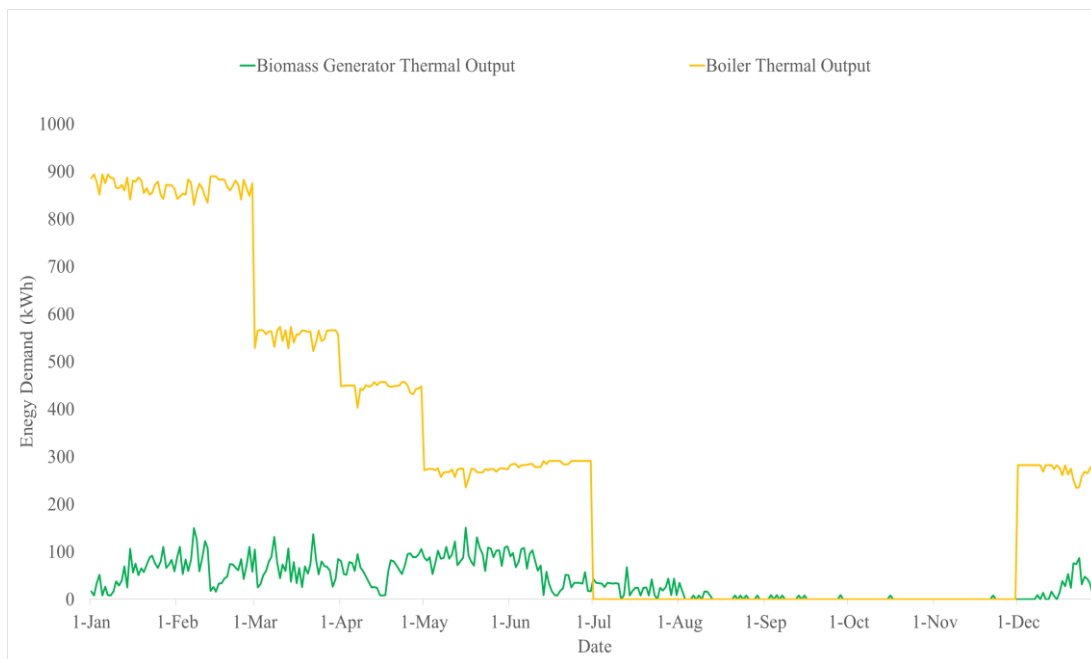
Το παραγόμενο ηλεκτρικό φορτίο του συγκεκριμένου σεναρίου, παρατηρείται πως προέρχεται από αρκετές πηγές ενέργειας (Εικόνα 4.1.1.19). Αρχικά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα φαίνεται να παρέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που παράγεται. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αναμενόμενο μιας και επικρατεί ηλιοφάνεια στην περιοχή ενδιαφέροντος. Κατά τους θερινούς μήνες η παραγωγή αυτή αυξάνεται έντονα λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας της ημέρας σε ώρες αλλά και των πιο ευνοϊκών καιρικών συνθηκών. Το σύστημα ανεμογεννητριών παρέχει στο σύστημα μικρότερο ποσό ενέργειας κάτι το οποίο οφείλεται στη μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ τους στο συγκεκριμένο σενάριο.

Ακόμη, το ισοζύγιο πώλησης και αγοράς ενέργειας στο δίκτυο από το εργοστάσιο σημειώνεται ως θετικό. Παρότι αρχικά παρατηρείται πως οι δύο συνιστώσες κυμαίνονται σχεδόν στα ίδια επίπεδα, αργότερα, κατά την περίοδο μη λειτουργίας της επιχείρησης η πώληση της παραγόμενης ενέργειας οπότε περισσότερη ενέργεια διαχέεται στο δίκτυο απ' ότι απορροφάται από αυτό. Η γεννήτρια βιομάζας εμφανίζει πτώση όσον αφορά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που προσφέρει στο σύστημα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αναμενόμενο, μιας και η λειτουργία της σταματά.



Εικόνα 4.1.1.38: Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού φορτίου – Σενάριο 5.

Ακολούθως απεικονίζεται γραφικά η ενέργεια που παράγεται στο πέμπτο σενάριο και αφορά το θερμικό φορτίο (Εικόνα 4.1.1.20). Οι τιμές που αναφέρονται στην παραγόμενη ενέργεια από τη γεννήτρια φαίνονται να είναι χαμηλές καθόλη τη διάρκεια του έτους. Το διάστημα του καλοκαιριού η παραγωγή αυτή σχεδόν μηδενίζεται. Από την άλλη πλευρά, η ενέργεια που παράγεται από το λέβητα φαίνεται να είναι αρκετά υψηλή κατά τους τρεις πρώτους μήνες του χρόνου, ενώ με το πέρασμα των μηνών απεικονίζεται μια κλιμακωτή μείωση των τιμών αυτών. Βάσει όσων έχουν προαναφερθεί, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η παραγωγή αυτή μηδενίζεται εφόσον δεν λειτουργεί το συγκεκριμένο τμήμα του εργοστασίου.



Εικόνα 4.1.1.39: Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 5.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι αριθμητικές τιμές που αφορούν στη συνολική θερμική και ηλεκτρική ενέργεια μηνιαίως. Παρατηρείται πως η μεγαλύτερη κατανάλωση θερμικού φορτίου εντοπίζεται κατά το μήνα Ιανουάριο, ενώ του ηλεκτρικού κατά το μήνα Μάιο.

Πίνακας 4.1.1.3: Μηνιαία δεδομένα θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου - Σενάριο 5.

	Άθροισμα θερμικού φορτίου (MWh)	Άθροισμα ηλεκτρικού φορτίου (MWh)
Ιανουάριος	27,1	18,3
Φεβρουάριος	24,9	18,4
Μάρτιος	18,1	21,8
Απρίλιος	13,8	21,6
Μάιος	8,9	23,7
Ιούνιος	8,7	22,3
Ιούλιος	0,3	21,7
Αύγουστος	0	19,7
Σεπτέμβριος	0	16,3
Οκτώβριος	0	14,2
Νοέμβριος	0	10,5
Δεκέμβριος	8,5	14,5
<b>Σύνολο</b>	<b>110,3</b>	<b>223</b>

Συνοψίζοντας, το Σενάριο 5 επιλέχθηκε ως το βέλτιστο σενάριο ανάμεσα στο βασικό σενάριο και τα υπόλοιπα τρία που εξετάστηκαν, τα οποία εμπεριείχαν ως πηγή βιομάζας τα κλαδιά των

ελαιόδεντρων. Σε καθένα από αυτά ενσωματώθηκαν διαφορετικές τεχνολογίες, οι οποίες και συνδυάστηκαν σε ορισμένες περιπτώσεις.

Αρχικά, στο πέμπτο σενάριο εντοπίστηκε μια από τις χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η οποία ισούται με 128,5 t/yr. Συγκριτικά με το βασικό σενάριο (Σενάριο 1), υπολογίστηκε μείωση της τάξεως του 63,9%.

Επιπρόσθετα, στο σενάριο αυτό σημειώνεται μία από τις υψηλότερες τιμές της επιστροφής που επενδύθηκαν (ROI) η οποία αναφέρεται στο κέρδος που θα έχει ο επενδυτής σε σχέση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Και ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεως (EBA/ IRR) στην προκειμένη περίπτωση είναι ένας από τους δύο καλύτερους ανάμεσα στα αποτελέσματα και των πέντε σεναρίων.

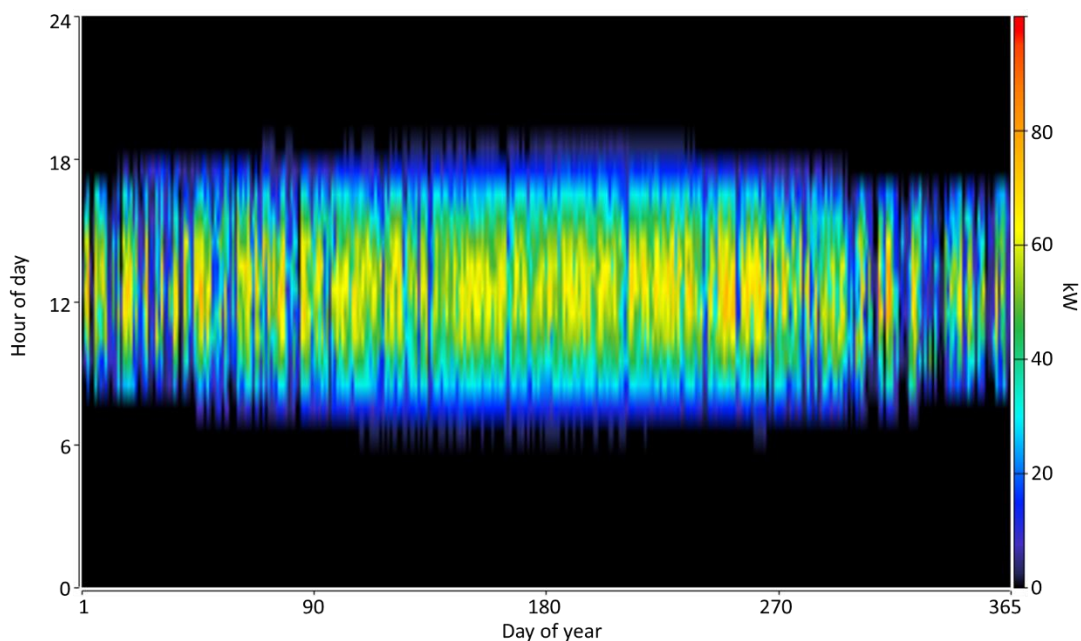
Ακόμη, το ισοδύναμο κόστος ενέργειας (IKE/LCOE) παρουσιάζει την μικρότερη τιμή που υπολογίστηκε. Πιο συγκεκριμένα, το IKE στην περίπτωση του πέμπτου σεναρίου ισούται με 0,1876€, δηλαδή παρατηρείται μείωση κατά 57% σε σχέση με το βασικό σενάριο (Σενάριο 1).

Αξίζει να σημειωθεί πως στις δύο τελευταίες παραμέτρους που προαναφέρθηκαν (ROI, EBA/IRR) οι βέλτιστες τιμές σημειώνονται στο Σενάριο 3. Όμως, στο σενάριο αυτό το ισοδύναμο κόστος ενέργειας παρουσιάστηκε υψηλότερο.

Προκειμένου, λοιπόν, να παρθεί η απόφαση για το ποιο είναι το βέλτιστο σενάριο, οι συνιστώσες που συγκρίθηκαν μεταξύ τους ήταν αυτές του IKE και των εκπομπών των αερίων. Όσον αφορά τις εκπομπές των αερίων των δύο αυτών περιπτώσεων παρουσίασαν μικρή διαφορά. Αυτές που αναφέρονταν στο τρίτο σενάριο ήταν ελάχιστα χαμηλότερες από αυτές του πέμπτου, 124,8 t/yr έναντι 128,5 t/yr. Ακόμη, το IKE ήταν μικρότερο στην περίπτωση του πέμπτου σεναρίου όμως ήταν αρκετά κοντά στην τιμή που υπολογίστηκε για το τρίτο σενάριο. Η διαφορά τους υπολογίστηκε σε 0,7%. Για το λόγο αυτό προτιμήθηκε το Σενάριο 5, το οποίο συνολικά παρουσίασε ένα προφίλ περισσότερο φιλικό προς το περιβάλλον.

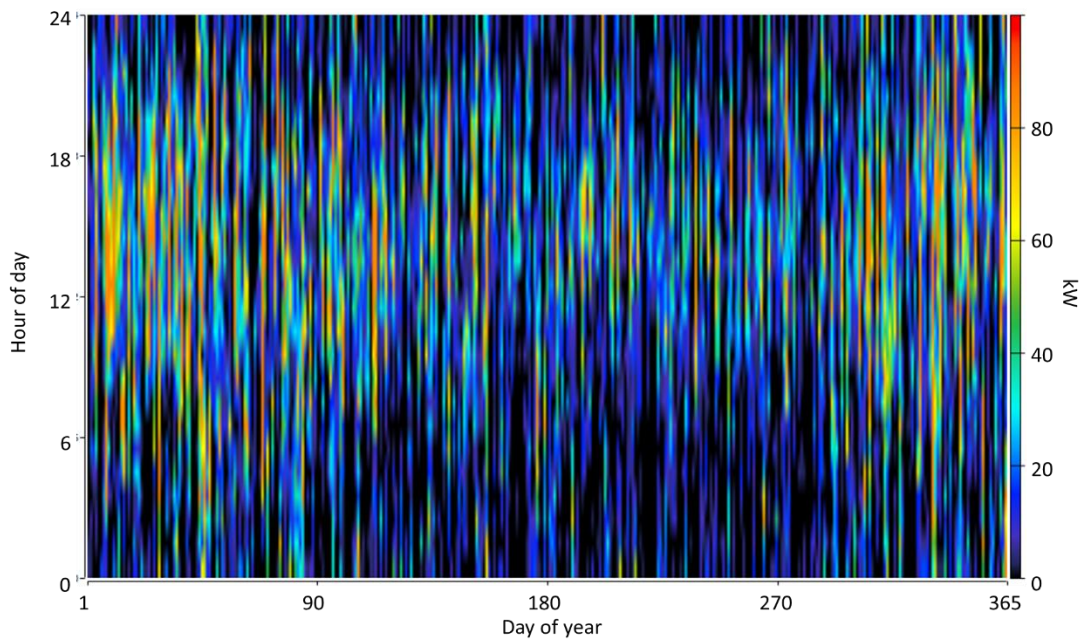
#### 4.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΟΡΟΣ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ

Επόμενο βήμα αποτέλεσε η εκ νέου εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό HOMER Pro όσον αφορά την πηγή βιομάζας. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο ορός τυρογάλακτος που παράγεται καθημερινά και αποτελεί το βασικότερο απόβλητο του υπό εξέταση τυροκομείου. Ακολούθως παρουσιάζονται θερμοχάρτες οι οποίοι αναφέρονται στην συνολική παραγωγή ενέργειας μέσω ΑΠΕ κάθε συστήματος.



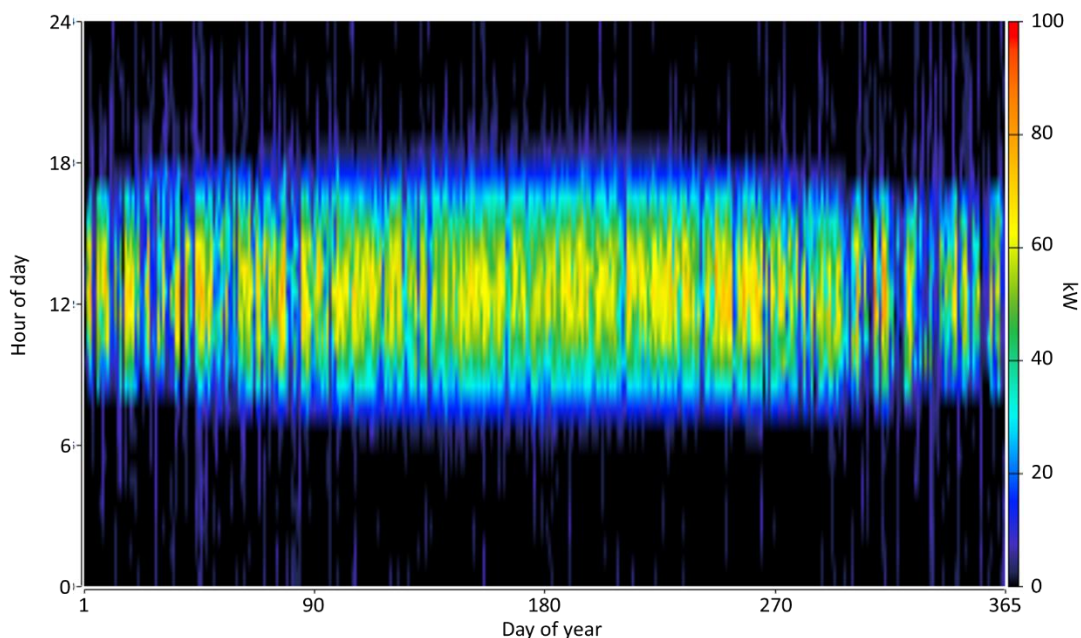
Εικόνα 4.1.2.1 : Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 7.

Στο σενάριο 7 έχουν εγκατασταθεί φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία συλλειτουργούν με το λέβητα βιομάζας. Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4.1.2.1) παρατηρείται πως κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες το σύστημα παράγει τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Επίσης, κατά τους χειμερινούς μήνες, η παραγωγή αυτή μειώνεται αρκετά εφόσον δεν συναντάται το ίδιο ποσοστό ηλιοφάνειας αλλά και ταυτόχρονα μειώνεται η διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 4.1.2.2 : Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 8.

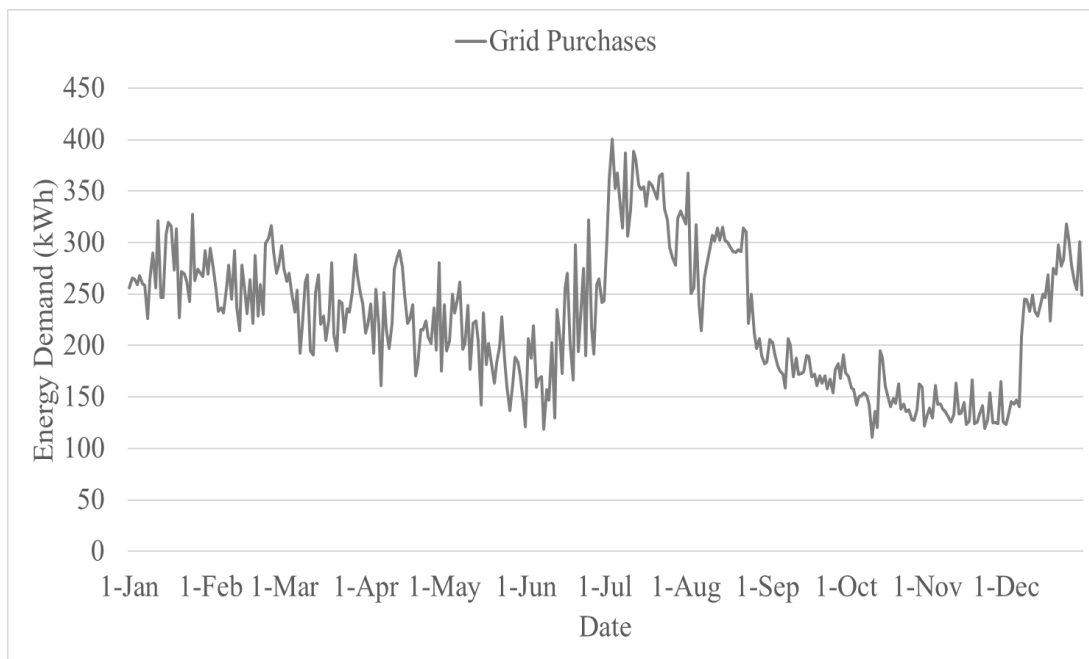
Στο σενάριο 8 οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν συνεχόμενα παρουσιάζοντας ένα ευρύ φάσμα τιμών για την παραγόμενη ενέργεια (Εικόνα 4.1.2.2). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός του ότι η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται συνεχώς. Ακόμη, παρατηρείται πως τον μήνα Ιανουάριο σημειώνεται έντονη αύξηση της τιμής της παραγόμενης ενέργειας σε σχέση με το υπόλοιπο έτος.



Εικόνα 4.1.2.3 : Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ – Σενάριο 9.

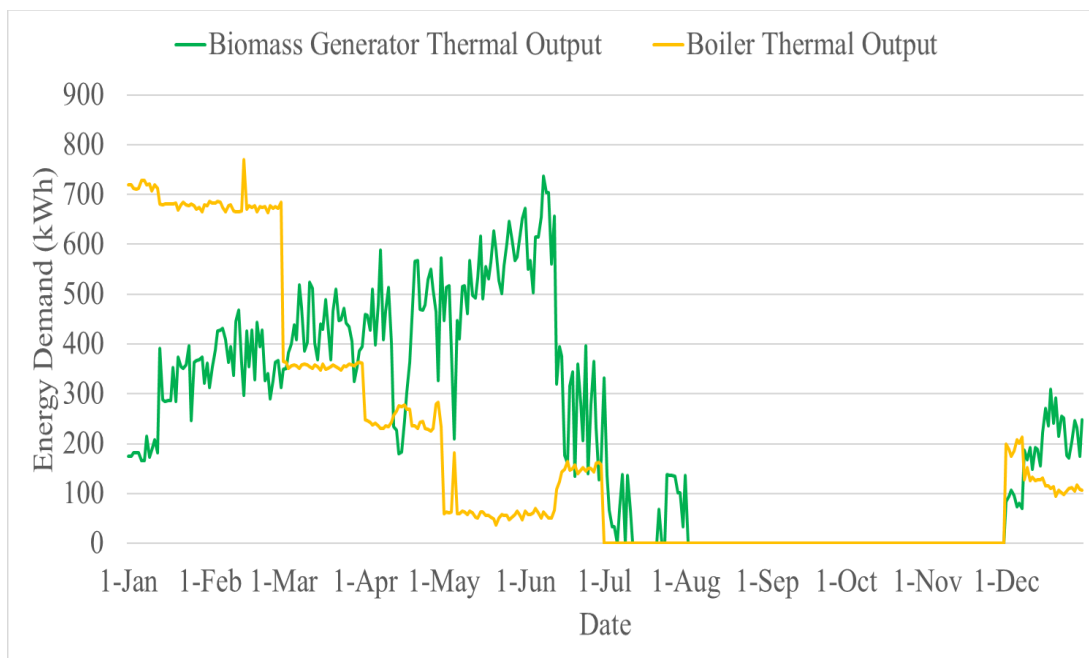
Το τελευταίο σενάριο (Σενάριο 9) αναφέρεται σε ένα σύστημα στο οποίο έχουν εγκατασταθεί φωτοβολταϊκά συστήματα και ανεμογεννήτριες. Από την παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4.1.2.3) εξάγεται το συμπέρασμα ότι η παραγωγή ενέργειας από το σύστημα παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές της κατά τις μεσημεριανές κυρίως ώρες. Αυτό οφείλεται στο ότι όλες οι εγκατεστημένες ΑΠΕ συνεισφέρουν ταυτόχρονα στο σύστημα. Αντιθέτως, κατά τις βραδινές ώρες τα φωτοβολταϊκά δεν παίρνουν μέρος στην παραγωγή που σημειώνεται.

Συνεχίζοντας, έχοντας ως βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, σχεδιάστηκαν ορισμένα διαγράμματα τα οποία αναφέρονται στην παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από κάθε σύστημα που μελετήθηκε.



Εικόνα 4.1.2.4 : Παρεχόμενη ενέργεια από το δίκτυο – Σενάριο 6.

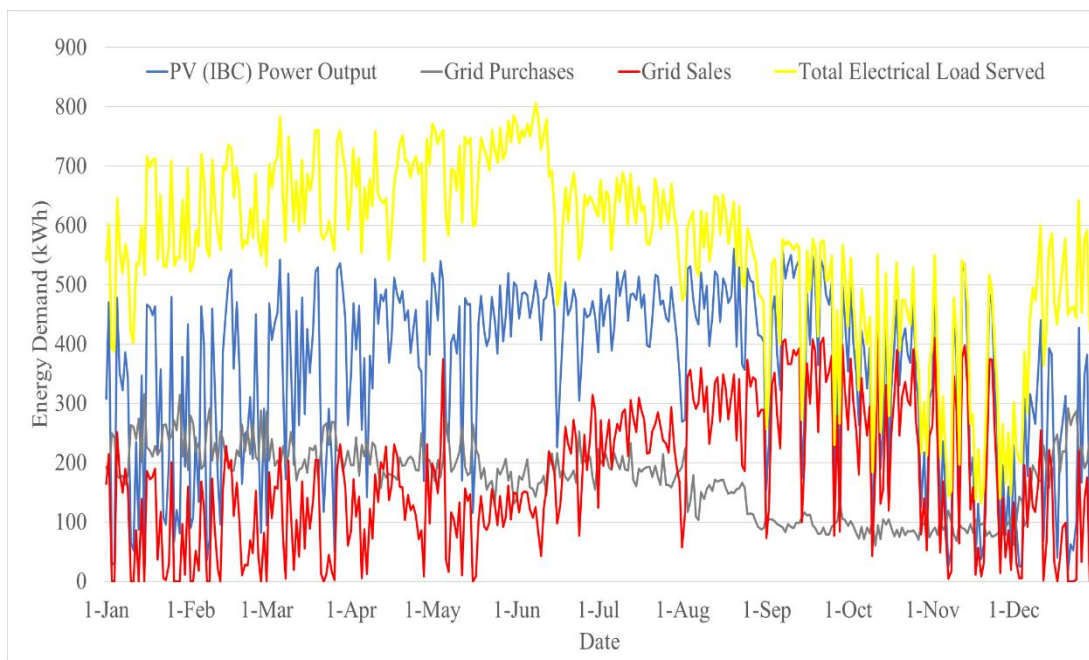
Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4.1.2.4) παρουσιάζεται η ηλεκτρική ενέργεια που αγοράστηκε για το εργοστάσιο στο σενάριο 6. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχει εγκατασταθεί στο σύστημα κάποια μορφή ΑΠΕ η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια, γι' αυτό και στο διάγραμμα λαμβάνει χώρα μόνο η συνιστώσα της ενέργειας που αγοράστηκε από το δίκτυο.



Εικόνα 4.1.2.5 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 6.

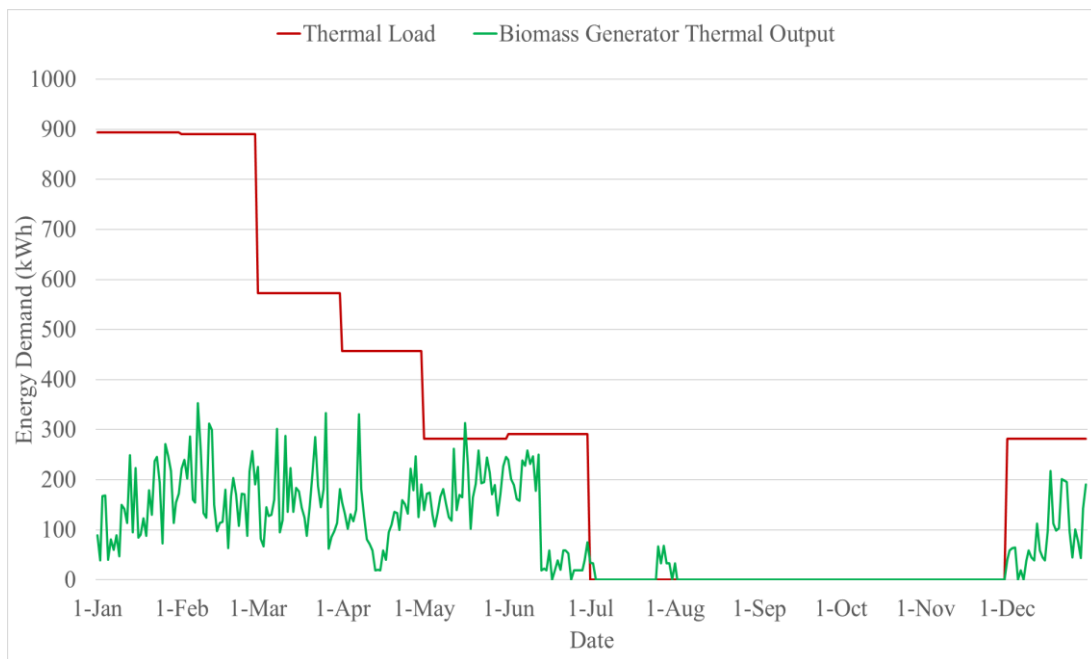
Ωστόσο, η γεννήτρια βιομάζας και ο λέβητας παίρνουν μέρος στην παραγωγή θερμικής ενέργειας. Η πρώτη φαίνεται να παράγει ενέργεια με μη σταθερό ρυθμό. Σχεδόν καθόλη τη διάρκεια της

παραγωγικής διαδικασίας (Δεκέμβριο έως Ιούνιο) η παρεχόμενη ενέργεια στο σύστημα φαίνεται να αυξομειώνεται συνεχώς. Πιο συγκεκριμένα, τον Ιούνιο η παραγωγή αυτή αγγίζει την υψηλότερη τιμή της, ενώ κατά τους μήνες που δε λειτουργεί το εργοστάσιο, αυτή μηδενίζεται. Ακόμη, όσον αφορά το λέβητα, η ενέργεια που προέρχεται από αυτόν παρουσιάζει κλιμακωτές αλλαγές. Από τον Ιανουάριο έως τον Μάρτιο οι τιμές βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, και στη συνέχεια μειώνονται αισθητά έως ότου μηδενιστούν.



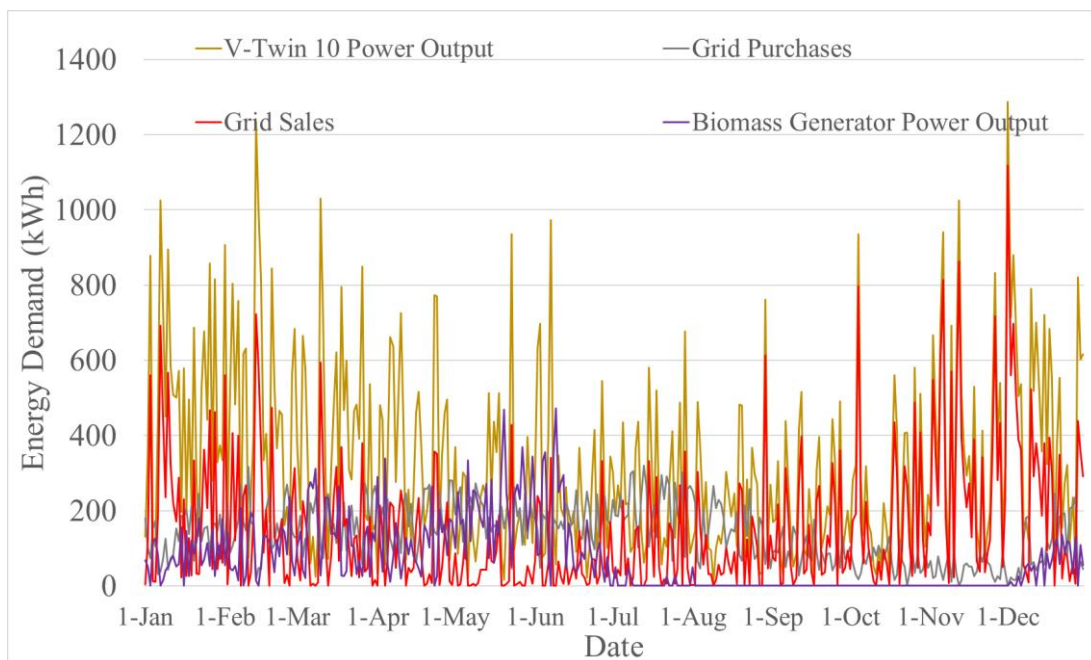
Εικόνα 4.1.2.6 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού φορτίου – Σενάριο 7.

Στο έβδομο σενάριο έχουν εγκατασταθεί στο σύστημα φωτοβολταϊκά πάνελ. Παρατηρώντας την παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4.1.2.6) φαίνεται πως στην ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται παίρνουν μέρος διάφορες συνιστώσες. Αρχικά, οι πωλήσεις ενέργειας φαίνονται να αυξάνονται έντονα κατά τους θερινούς μήνες κατά τους οποίους στη μονάδα δεν σημειώνεται παραγωγική διαδικασία. Ταυτόχρονα, οι αγορές ενέργειας παρουσιάζουν ελαφριά πτώση κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Ακόμα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα παράγουν ενέργεια με σταθερούς κυρίως ρυθμούς, οι οποίοι όμως ελαττώνονται τον χειμώνα.



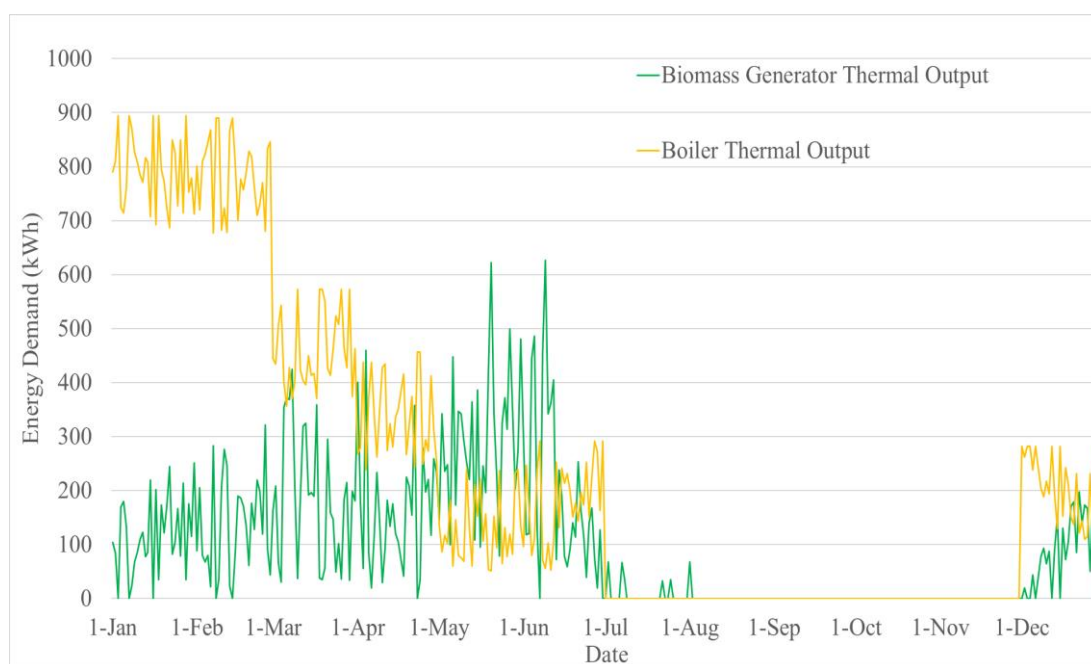
Εικόνα 4.1.2.7 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 7.

Όσον αφορά το θερμικό φορτίο του σεναρίου αυτού, σημειώνονται κλιμακωτές αλλαγές κατά το πέρας των μηνών. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται τους δύο πρώτους μήνες του έτους, ενώ από μηδενίζεται για όλο το χρονικό διάστημα που δε λειτουργεί πλήρως η μονάδα. Σχετικά με τη γεννήτρια βιομάζας, η παραγόμενη ενέργεια κυμαίνεται μεταξύ 100 και 300 kWh ενώ γίνεται ίση με το μηδέν από τον Ιούλιο έως και το Νοέμβριο.



Εικόνα 4.1.2.8 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού φορτίου – Σενάριο 8.

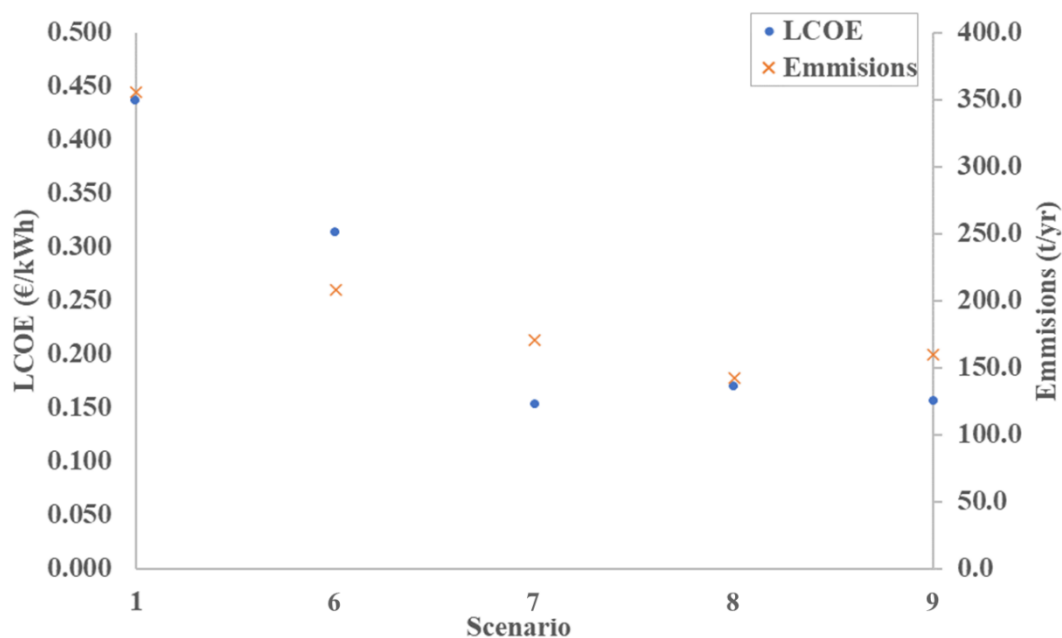
Ακολουθεί το σενάριο 8, στο οποίο έχει εγκατασταθεί ένα σύστημα ανεμογεννητριών. Σύμφωνα με την *Εικόνα 4.1.2.8* το ηλεκτρικό φορτίο που παράγεται στο σύστημα προέρχεται από αρκετές διαφορετικές πηγές. Αρχικά, η γεννήτρια βιομάζας προσφέρει έως και 500 kWh ενέργειας στο σύστημα και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η ποσότητα αυτή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αμελητέα. Επιπρόσθετα, οι πωλήσεις ενέργειας που έχουν καταγραφεί φαίνονται να είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αγορές. Κάτι τέτοιο σημαίνει πως η ενέργεια που διαχέεται στο δίκτυο είναι περισσότερη απ' ό,τι αυτή που απορροφάται. Τέλος, οι ανεμογεννήτριες φαίνονται να προσφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα παρουσιάζονται αρκετά υψηλές τιμές λόγω ενδεχομένως των πιο έντονων καιρικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης. Το καλοκαίρι παρότι η ποσότητα αυτή μειώνεται αισθητά, οι ανεμογεννήτριες παραμένουν η κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος.



*Εικόνα 4.1.2.9 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 8.*

Το παραπάνω διάγραμμα αναφέρεται στο θερμικό φορτίο που παράγεται από το σύστημα που έχει σχεδιαστεί στο σενάριο 8 (*Εικόνα 4.1.2.9*). Ο λέβητας φαίνεται να παράγει αρχικά μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας σε σχέση με αυτή που προέρχεται από τη γεννήτρια βιομάζας. Καθώς ο λέβητας παρουσιάζει κλιμακωτή μείωση των τιμών, η γεννήτρια βιομάζας προσφέρει σταδιακά περισσότερη ενέργεια στο σύστημα. Κατά τη θερινή περίοδο το θερμικό φορτίο που παράγεται είναι μηδενικό για τον λέβητα, ενώ η γεννήτρια τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο προσφέρει μικρές ποσότητες ενέργειας στο σύστημα.

Στη συνέχεια, θέλοντας να γίνει σύγκριση τόσο των τεσσάρων τελευταίων σεναρίων που εμπεριέχουν το λέβητα καύσης βιομάζας με τον ορό τυρογάλακτος όσο και του βασικού μας σεναρίου σχεδιάστηκε το ακόλουθο διάγραμμα (*Εικόνα 4.1.2.12*). Απώτερος σκοπός – όπως ήταν και στον προηγούμενο τύπο βιομάζας - είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (IKE - LCOE) αλλά και των εκπομπών (Emissions).



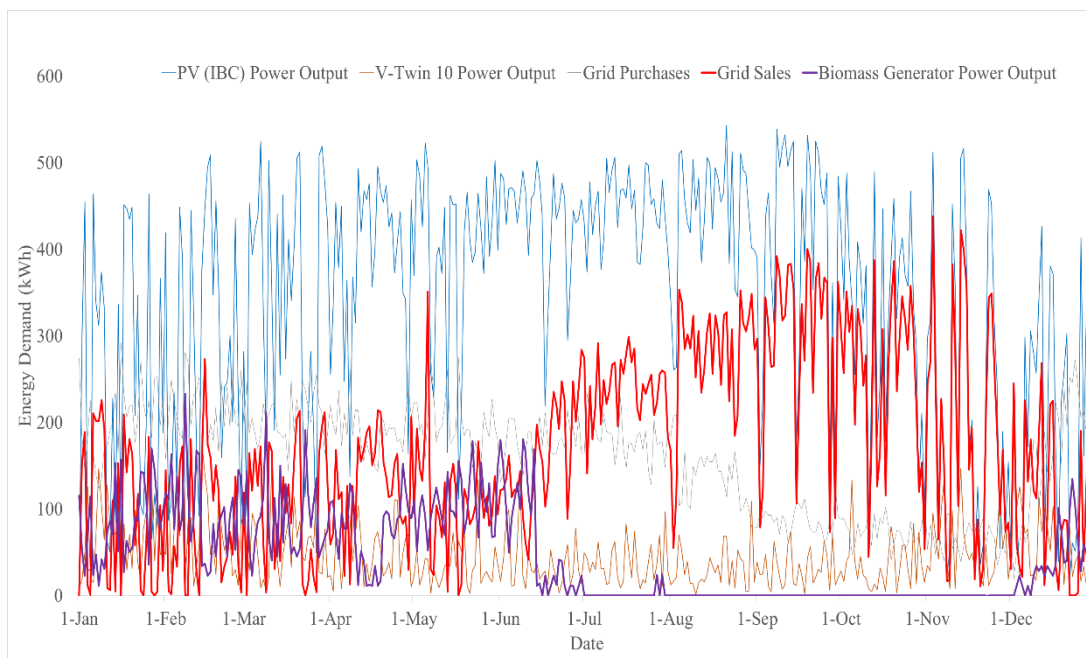
Εικόνα 4.1.2.10 : Σύγκριση σεναρίων.

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 4.1.2.10) μπορεί κανείς να αντιληφθεί πως το σενάριο που παρουσιάζει χαμηλές τιμές τόσο για τις εκπομπές των αερίων όσο και για το ΙΚΕ είναι το ένατο σενάριο. Παρότι το σενάριο 8 είναι αυτό με τις μικρότερες εκπομπές ρύπων, το ΙΚΕ που αντιστοιχεί σε αυτό είναι υψηλότερο σε σύγκριση με αυτό του σεναρίου 9. Επομένως, συμπεραίνεται ότι το βέλτιστο σενάριο στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ως πηγή βιομάζας ο ορός τυρογάλακτος είναι αυτό που εμπεριέχει όλα τα συστήματα ΑΠΕ εγκατεστημένα σε αυτό.



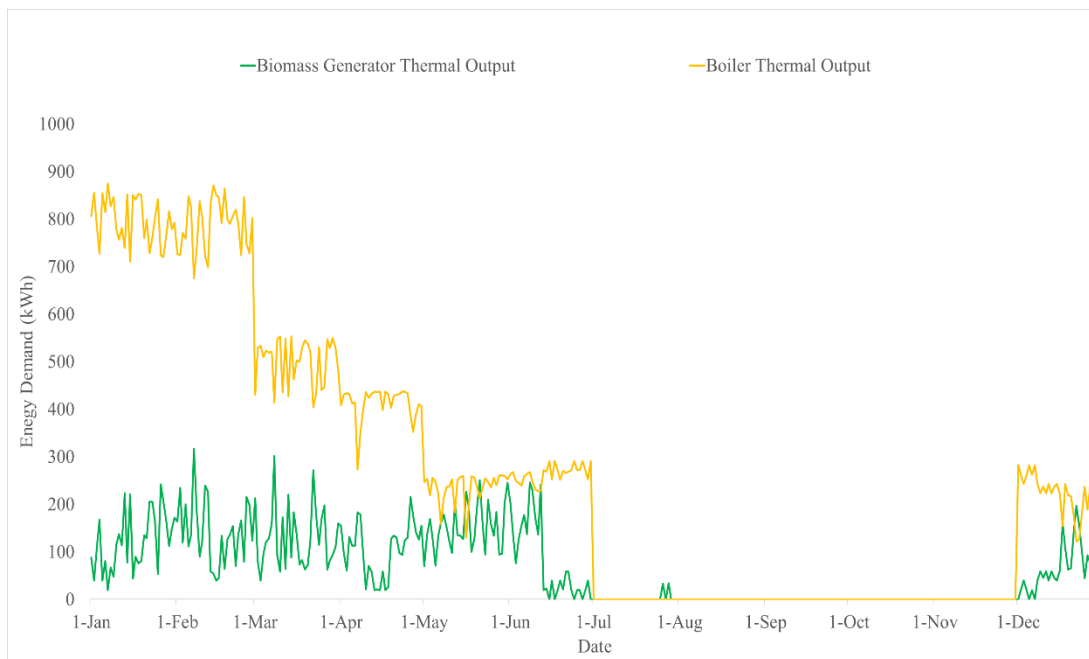
Εικόνα 4.1.2.11 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου – Σενάριο 9.

Στην εικόνα 4.1.2.11 απεικονίζεται γραφικά το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο της μονάδας για όλο το έτος που εξετάζεται. Το ηλεκτρικό φορτίο παρουσιάζει διάφορες διακυμάνσεις οι οποίες θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως ομαλές. Η μείωση που σημειώνεται γίνεται κατά τους θερινούς μήνες, μιας και κατά τη διάρκεια αυτών δεν υπάρχει παραγωγική διαδικασία στο εργοστάσιο. Από την άλλη πλευρά, ο λέβητας εμφανίζει κλιμακωτές αλλαγές μετά το πέρας κάθε μήνα, με την υψηλότερη τιμή ενέργειας να σημειώνεται τον Ιανουάριο και τη χαμηλότερη το καλοκαίρι.



Εικόνα 4.1.2.12 : Γραφική απεικόνιση ηλεκτρικού φορτίου – Σενάριο 9.

Το τελευταίο σενάριο που εξετάστηκε είναι αυτό που απαρτίζεται τόσο από ανεμογεννήτριες όσο και από φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα φωτοβολταϊκά όπως φαίνεται στη γραφική αναπαράσταση (Εικόνα 4.1.2.12) προσφέρουν το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αναμενόμενο, μιας και στην περιοχή μελέτης επικρατεί κυρίως ηλιοφάνεια. Οι ανεμογεννήτριες παράγουν επίσης ένα αξιοσημείωτο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας, σε μικρότερο όμως βαθμό. Λαμβάνοντας υπόψιν τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, το φαινόμενο αυτό δικαιολογείται. Ακόμη, το ισοζύγιο πώλησης και αγοράς ενέργειας παρουσιάζει θετικό πρόσημο, μιας και οι πωλήσεις παρουσιάζουν έντονη αύξηση από τον Ιούλιο έως και το τέλος του έτους. Τέλος, η ενέργεια που παράγεται από τη γεννήτρια βιομάζας κυμαίνεται στις 100 kWh περίπου, με αυτή να μηδενίζεται σχεδόν για όλο το διάστημα που δεν σημειώνεται παραγωγική διαδικασία στην υπό μελέτη μονάδα.

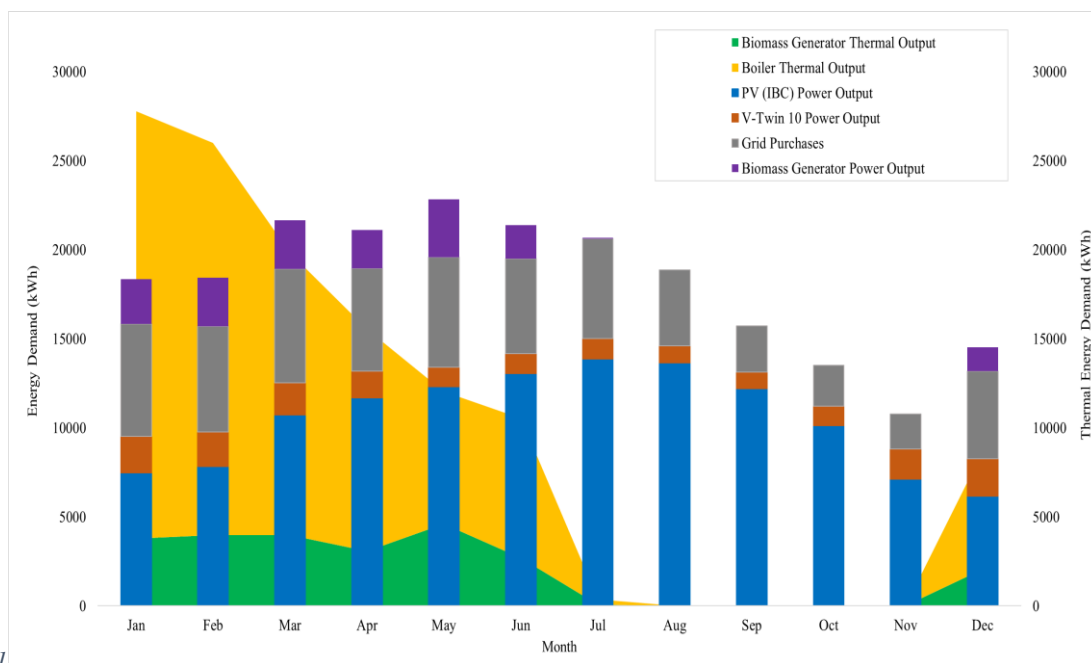


Εικόνα 4.1.2.13 : Γραφική απεικόνιση θερμικού φορτίου – Σενάριο 9.

Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει το θερμικό φορτίο που δημιουργείται στο σύστημα του ενάτου σεναρίου. Η γεννήτρια βιομάζας προσφέρει στο σύστημα σχετικά σταθερό ποσό ενέργειας. Παρατηρείται ωστόσο έντονη μείωση από τα τέλη Ιουνίου και μετά, ενώ στη συνέχεια προσεγγίζει μηδενικές τιμές έως και τον Δεκέμβριο. Όσον αφορά το λέβητα, η ενέργεια που προέρχεται από αυτόν είναι μεταβλητή. Παρουσιάζει μικρές αυξομειώσεις αλλά και κλιμακωτές αλλαγές μετά το πέρας σχεδόν κάθε μήνα. Τέλος, αυτή ισούται με το μηδέν από το μήνα Ιούλιο έως και τον Δεκέμβριο.

Στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 4.1.2.14) παρουσιάζονται τα μηνιαία δεδομένα του παραγόμενου θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου. Γίνεται φανερό πως το ηλεκτρικό φορτίο παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του κατά το μήνα Μάιο και την ελάχιστη το μήνα Νοέμβριο. Έχοντας στο νου πως πρόκειται για την συνολική ποσότητα ενέργειας που καταναλώθηκε για την εξυπηρέτηση του πρωτεύοντος και του αναβαλλόμενου φορτίου κατά τη διάρκεια του έτους, συν την ποσότητα ενέργειας που πωλήθηκε στο δίκτυο, εξάγεται το συμπέρασμα πως η λειτουργία της μονάδας στηρίζεται κυρίως στην ηλεκτρική ενέργεια. Κάθε στήλη αποτελείται από την ενέργεια που παράγεται από κάθε σύστημα που έχει εγκατασταθεί στο σενάριο 9. Όπως φαίνεται, τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι αυτά που προσφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας.

Επιπρόσθετα, το θερμικό φορτίο φαίνεται να κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα κατά τους δύο πρώτους μήνες του έτους, στη συνέχεια μειώνεται και τελικά μηδενίζεται για όλο το χρονικό διάστημα που δεν σημειώνεται παραγωγή στην επιχείρηση. Το φορτίο αυτό προέρχεται τόσο από την ενέργεια που παράγει η γεννήτρια βιομάζας που έχει εγκατασταθεί όσο και από το λέβητα που υπάρχει στο σύστημα. Βάσει την ακόλουθη εικόνα γίνεται αντιληπτό πως ο λέβητας είναι αυτός που έχει πρωταρχικό ρόλο στην παραγωγή και διάθεση θερμικής ενέργειας στο σύστημα.



Εικόνα 4.1.2.14 : Μηνιαία δεδομένα θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου - Σενάριο 9.

Εν κατακλείδι, ως βέλτιστο σενάριο επιλέχθηκε το ένατο. Προκειμένου να παρθεί αυτή η απόφαση έπρεπε αρχικά να συγκριθούν τα τέσσερα σενάρια που εξετάστηκαν - τα οποία χρησιμοποιούσαν ως πηγή βιομάζας τον ορό τυρογάλακτος - μεταξύ τους αλλά και με το βασικό σενάριο. Κάθε σενάριο απαρτιζόταν από διαφορετικές τεχνολογίες μέσω των οποίων παραγόταν ενέργεια ηλεκτρική και θερμική.

Αρχικά, η πρώτη μεταβλητή που επηρέασε την απόφαση για την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου ήταν αυτή του ΙΚΕ. Στο έβδομο και στο ένατο σενάριο υπολογίσθηκαν οι χαμηλότερες τιμές ΙΚΕ. Στο σενάριο 7 η τιμή αυτή ισούταν με 0,153€ ενώ στο σενάριο 9 με 0,157€.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες συνιστώσες, η μεγαλύτερη τιμή του εσωτερικού βαθμού αποδόσεως (EBA/IRR) εντοπίζεται στο σενάριο 7, όπως και αυτή που αναφέρεται στο κέρδος που θα έχει ο επενδυτής συγκριτικά με το επενδυμένο κεφάλαιό του (ROI).

Συνεχίζοντας, ο δεύτερος σημαντικότερος παράγοντας ήταν αυτός που αναφέρεται στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (Emissions). Το χαμηλότερο ποσό παραγόμενων εκπομπών εντοπίζεται στο σενάριο 8. Όμως, το συγκεκριμένο σενάριο μη παρουσιάζοντας ικανοποιητικό δείκτη ισοδύναμου κόστους ενέργειας απορρίφθηκε. Το αμέσως καλύτερο ποσοστό παραγόμενων ρύπων εντοπίζεται στο σενάριο 9. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι εκπομπές βλαβερών αερίων υπολογίστηκε πως έχουν μειωθεί κατά 54,9% σε σχέση με αυτές του βασικού σεναρίου (Σενάριο 1).

Έχοντας, λοιπόν, τα απαραίτητα δεδομένα για όλα τα σενάρια συγκρίθηκαν μεταξύ τους οι τιμές που αναφέρονταν τόσο στις εκπομπές των αερίων όσο και στο ΙΚΕ. Ανάμεσα στα πέντε σενάρια που εξετάστηκαν αυτά που ξεχώρισαν ήταν το έβδομο και το ένατο. Το πρώτο εξ αυτών απαρτιζόταν από φωτοβολταϊκά συστήματα ενώ δεύτερο εμπεριείχε όλες τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας (φωτοβολταϊκά συστήματα και ανεμογεννήτριες).

Η ποσότητα εκπομπών αερίων των δύο αυτών περιπτώσεων υπολογίσθηκαν σε 170,9 t/yr για το έβδομο και σε 160,2 t/yr για το ένατο. Επιπρόσθετα, το ΙΚΕ στην περίπτωση του εβδόμου σεναρίου

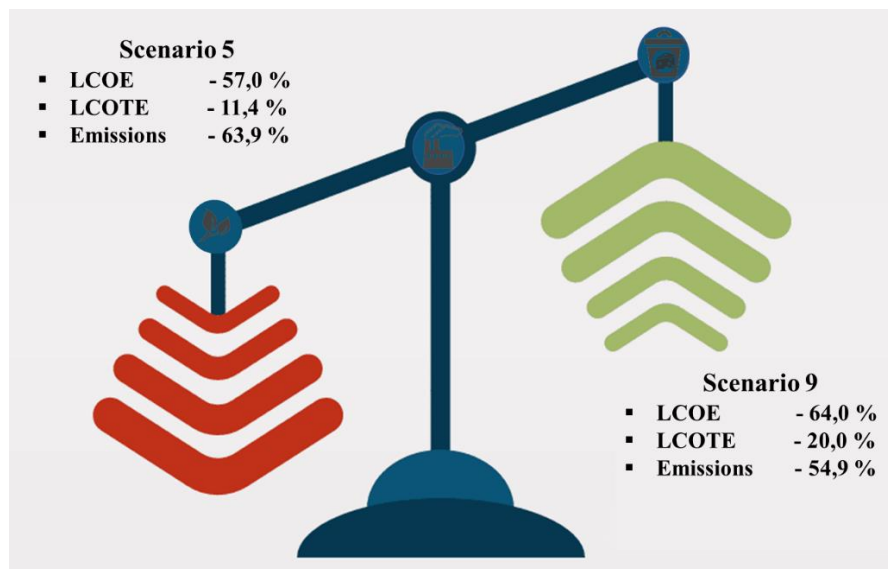
ισούταν με 0,153€ όπως και προαναφέρθηκε. Η διαφορά των δύο ΙΚΕ ήταν της τάξεως του 3%. Επομένως, η διαφορά που παρουσιάστηκε στο ισοδύναμο κόστος ενέργειας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αμελητέα. Το σενάριο 9 ωστόσο, παρουσίασε την πιο φιλική «στάση» προς το περιβάλλον και σε συνδυασμό με το ικανοποιητικό ΙΚΕ επιλέχθηκε ως το βέλτιστο σενάριο.

#### 4.1.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Σε κάθε μια από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν – έχοντας ως πηγή βιομάζας τα κλαδιά από τα ελαιόδεντρα ή τον ορό τυρογάλακτος – βρέθηκε το βέλτιστο σενάριο. Στην πρώτη περίπτωση, ως βέλτιστο σενάριο ορίστηκε το σενάριο 5. Σε αυτό, η τιμή του ισοδύναμου κόστους ενέργειας ισούταν με 0,188€, δηλαδή ήταν μειωμένο κατά 57% σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος της βασικής περίπτωσης. Ακόμη, η ποσότητα των εκπομπών βλαβερών αερίων ως προς το περιβάλλον υπολογίστηκε στους 128,5 t/yr. Αρκετά χαμηλότερη τιμή σε σχέση με αυτή τους πρώτου σεναρίου, 355,4 t/yr.

Στην δεύτερη περίπτωση όπου χρησιμοποιήθηκε ως πηγή βιομάζας το κυριότερο απόβλητο της επιχείρησης - ο ορός τυρογάλακτος – επιλέχθηκε ως βέλτιστο το τελευταίο σενάριο που δημιουργήθηκε, το σενάριο 9. Οι τιμές των περισσότερων δεικτών που υπολογίστηκαν ήταν αρκετά κοντά σε αυτά που αναφέρονταν στο σενάριο 5. Ωστόσο, τα δύο αυτά σενάρια παρουσιάζουν διαφορές ως προς τις δύο βασικότερες συνιστώσες. Στο σενάριο 9 το ισοδύναμο κόστος ενέργειας υπολογίστηκε ως 0,157 € και οι εκπομπές των αερίων ισούταν με 160,2 tn/yr.

Λαμβάνοντας υπόψη πως ο ορός τυρογάλακτος δεν επιφέρει κάποιο έξοδο στην επιχείρηση εφόσον αποτελεί απόβλητο αυτής, συμπεραίνεται πως αυτή είναι και η μόνη διαφορά ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις που εξετάζονται. Πιο συγκεκριμένα, η απόκλιση που υπολογίστηκε ανάμεσα στις δύο τιμές του ΙΚΕ ισούταν με 0,031€. Το ποσό αυτό αναφέρεται ουσιαστικά στο πόσο θα στοιχίσει η αγορά των κλαδιών των ελαιόδεντρων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σαν καύσιμο. Όσον αφορά το ΙΚΘΕ, αυτό υπολογίστηκε ίσο με 0,164€ και 0,148€, για το σενάριο 5 αι 9 αντίστοιχα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο ότι στο πέμπτο σενάριο η βιομάζα αγοράζεται ενώ στο ένατο αποτελεί παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας της μονάδας. Ακόμη, και στα δύο αυτά σενάρια, οι εκπομπές των ρύπων έχουν μειωθεί κατά ένα μεγάλο ποσοστό σε σχέση με τη βασική περίπτωση του σεναρίου 1.



Εικόνα 4.1.3.1 : Σύγκριση βέλτιστων σεναρίων.

Συνοψίζοντας, από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν και αναλύθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, προτείνεται το σενάριο 9 ως το βέλτιστο όλων των σεναρίων που εξετάστηκαν. Προτείνεται βέβαια ο συνδυασμός των δύο αυτών τύπων βιομάζας μιας και λειτουργώντας μαζί, η μια πηγή βιομάζας θα κάλυπτε τα κενά της άλλης.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Το κεφάλαιο 5 πραγματεύεται την ανάλυση ευαισθησίας που έγινε στο βέλτιστο σενάριο που επιλέχθηκε παραπάνω, δηλαδή στο ένατο σενάριο. Επιλέχθηκαν έξι διαφορετικές συνιστώσες των οποίων η «συμπεριφορά» αναλύθηκε παρατηρώντας τα αντίστοιχα διαγράμματα.

### 5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στο σημείο αυτό έγινε η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου ανάμεσα σε όλα τα σενάρια που δημιουργήθηκαν, είτε είχαν ως πηγή βιομάζας τα κλαδιά από τα ελαιόδεντρα είτε τον ορό τυρογάλακτος. Το σενάριο 9 ήταν αυτό που πληρούσε όλες τις προϋποθέσεις που τέθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Για το λόγο αυτό, μέσω του λογισμικού HOMER Pro έγινε ανάλυση ευαισθησίας του συστήματος για έξι διαφορετικές συνιστώσες.

Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι ακόλουθες παράμετροι: το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο, η τιμή του καυσίμου ντίζελ, ο αέρας, η βιομάζα, η ηλιακή ακτινοβολία και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Στα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζεται η επιρροή που ασκούν στο ΙΚΕ και τις εκπομπές βλαβερών ουσιών οι εναλλαγές των τιμών του βέλτιστου σεναρίου.

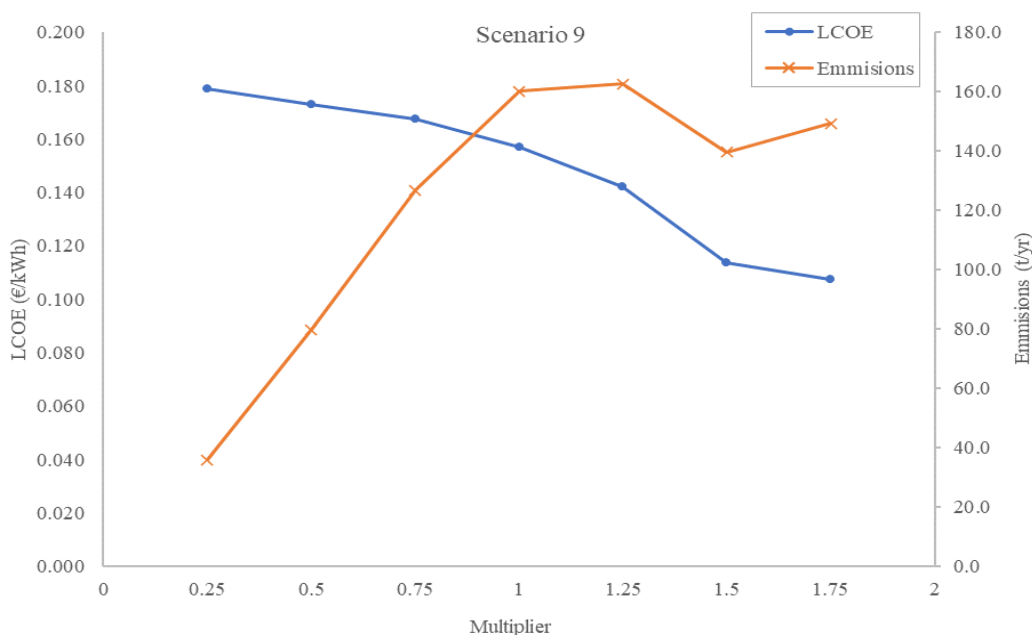
Επιπρόσθετα, η ανάλυση ευαισθησίας έγινε για επτά συνολικά διαφορετικούς πολλαπλασιαστές. Ο πολλαπλασιαστής που αντιστοιχεί στην τιμή «1,00» αναφέρεται στις αρχικές τιμές κάθε μεταβλητής βάσει του βέλτιστου σεναρίου. Οι αρχικές αυτές τιμές πολλαπλασιάστηκαν με άλλους έξι συντελεστές προκειμένου να παρατηρηθεί η «συμπεριφορά» του συστήματος στις επιμέρους αλλαγές τόσο ως προς το ηλεκτρικό όσο και το θερμικό φορτίο. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράμετροι που εξετάστηκαν (Πίνακας 5.1.1).

Πίνακας 5.1.1 : Σύνοψη παραμέτρων ανάλυσης ευαισθησίας.

Ποσοστό (%)	Ηλεκτρικό & Θερμικό Φορτίο (kWh/ημέρα)		Τιμή καυσίμου Diesel (€)		Αιολικό δυναμικό (m/s)		Βιομάζα (t/ημέρα)		Ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m <sup>2</sup> /ημέρα)		Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας (€)	
	LCOE (€)	Emissions (t/έτος)	LCOE (€)	Emissions (t/έτος)	LCOE (€)	Emissions (t/έτος)	LCOE (€)	Emissions (t/έτος)	LCOE (€)	Emissions (t/έτος)	LCOE (€)	Emissions (t/έτος)
<b>25</b>	0,1788	35,9	0,1686	165,3	0,1768	171,2	0,1571	160,4	0,3339	189,8	0,1664	180,1
<b>50</b>	0,1730	79,8	0,1650	162,9	0,1745	170,5	0,1570	160,2	0,2773	172,7	0,1662	178,8
<b>75</b>	0,1676	126,8	0,1613	161,5	0,1658	166,8	0,1570	160,2	0,2058	164,2	0,1658	177,9
<b>100</b>	0,1570	160,2	0,1570	160,2	0,1570	160,2	0,1570	160,2	0,1570	160,2	0,1570	160,2
<b>125</b>	0,1421	162,6	0,1522	159,3	0,1506	152,3	0,1570	160,2	0,1479	157,9	0,1374	89,0
<b>150</b>	0,1138	139,6	0,1164	153,8	0,1450	144,6	0,1570	160,2	0,1457	157,0	0,1318	65,0
<b>175</b>	0,1074	149,2	0,0658	145,8	0,1412	138,6	0,1570	160,2	0,1445	156,2	0,1299	56,1

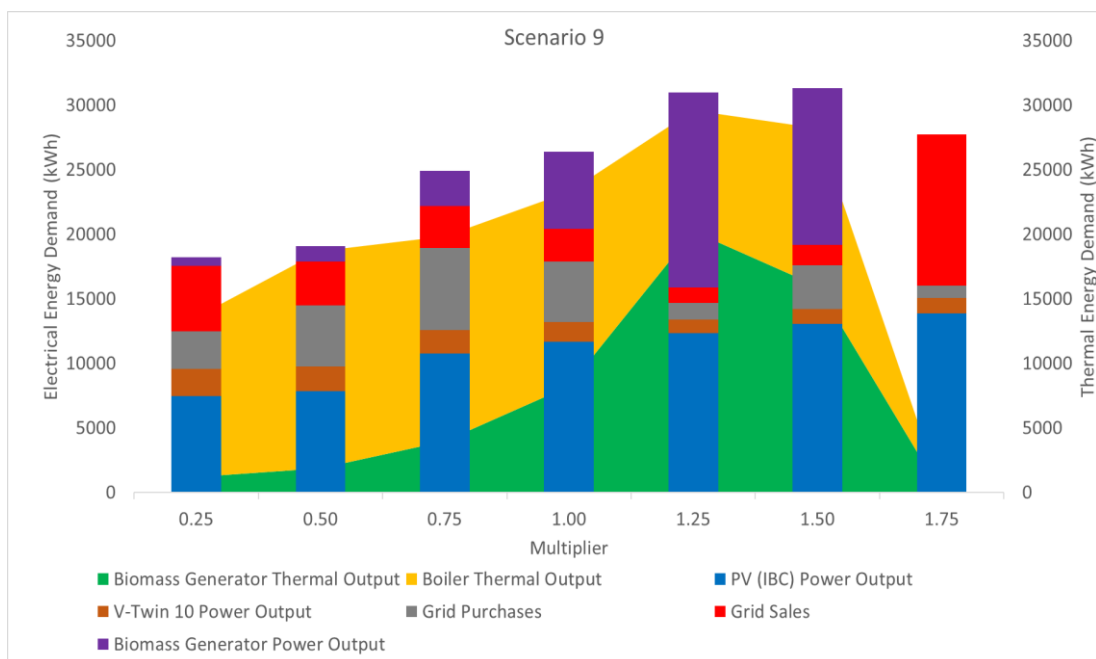
### 5.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ & ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Αρχικά παρουσιάζεται το γράφημα που αναφέρεται στο ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο. Στον οριζόντιο άξονα έχουν οριστεί οι πολλαπλασιαστές που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να αναλυθεί η «συμπεριφορά» που εμφανίζει κάθε μεταβλητή. Ο πολλαπλασιαστής «1» σηματοδοτεί τις τιμές του σεναρίου προτού γίνει η ανάλυση ευαισθησίας. Παρατηρείται, λοιπόν, πως καθώς αυξάνεται η τιμή του πολλαπλασιαστή, το ΙΚΕ παρουσιάζει καθοδική πορεία έως ότου φτάνει στο «1,50», στην συνέχεια εμφανίζει απότομη αύξηση. Όσον αφορά τις εκπομπές των αερίων, αυξάνονται ομαλά μέχρι την τιμή της μονάδας, στη συνέχεια παρουσιάζουν μικρή μείωση για την τιμή «1,25». Ακολουθεί μικρή αύξηση και στην τελευταία περίπτωση πολύ έντονη μείωση των εκπομπών πράγμα που έρχεται σε αντίθεση με το πώς αντιδρά το ΙΚΕ στη συγκεκριμένη αλλαγή.



Εικόνα 5.1.1.40: Επίδραση ηλεκτρικού & θερμικού φορτίου σε LCOE και Emissions – Σενάριο 9.

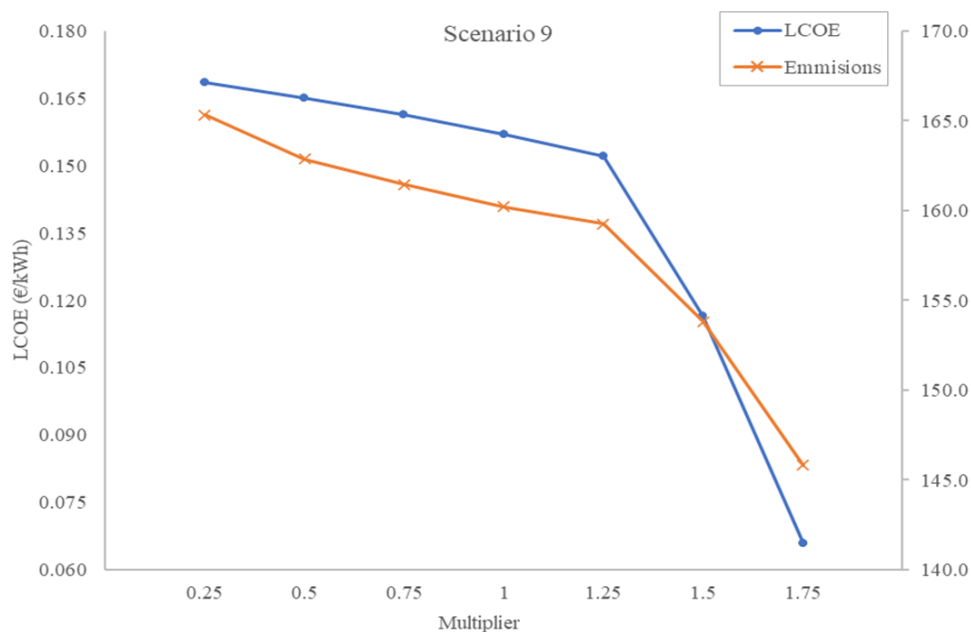
Στην Εικόνα 5.1.1.2 παρουσιάζεται γραφικά το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο που παράγεται από το σύστημα του σεναρίου 9. Κάθε στήλη αναφέρεται και σε διαφορετικό πολλαπλασιαστή. Όπως φαίνεται, ενώ για τις πρώτες τέσσερις περιπτώσεις το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας προέρχεται από το φωτοβολταϊκά συστήματα, στις τελευταίες τρεις παρουσιάζεται διαφορετικό προφίλ. Πιο συγκεκριμένα, στις περιπτώσεις που έχουν να κάνουν με τους πολλαπλασιαστές «1,25» και «1,50» η γεννήτρια βιομάζας έχει αυξήσει σε μεγάλο βαθμό την προσφορά ενέργειας στο σύστημα, ενώ στην περίπτωση του πολλαπλασιαστή «1,75» οι πωλήσεις ενέργειας στο δίκτυο φαίνεται να έχουν πλέον μεγάλη επιρροή. Ακόμη, αυξάνοντας τις τιμές του ηλεκτρικού και του θερμικού φορτίου κατά 25% και 50% παρουσιάζεται άνοδος των τιμών τόσο για το λέβητα όσο και για τη γεννήτρια βιομάζας. Και τα δύο ωστόσο εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές τους στην τελευταία περίπτωση.



Εικόνα 5.1.1.2 : Επιρροή ηλεκτρικού & θερμικού φορτίου στο σύστημα – Σενάριο 9.

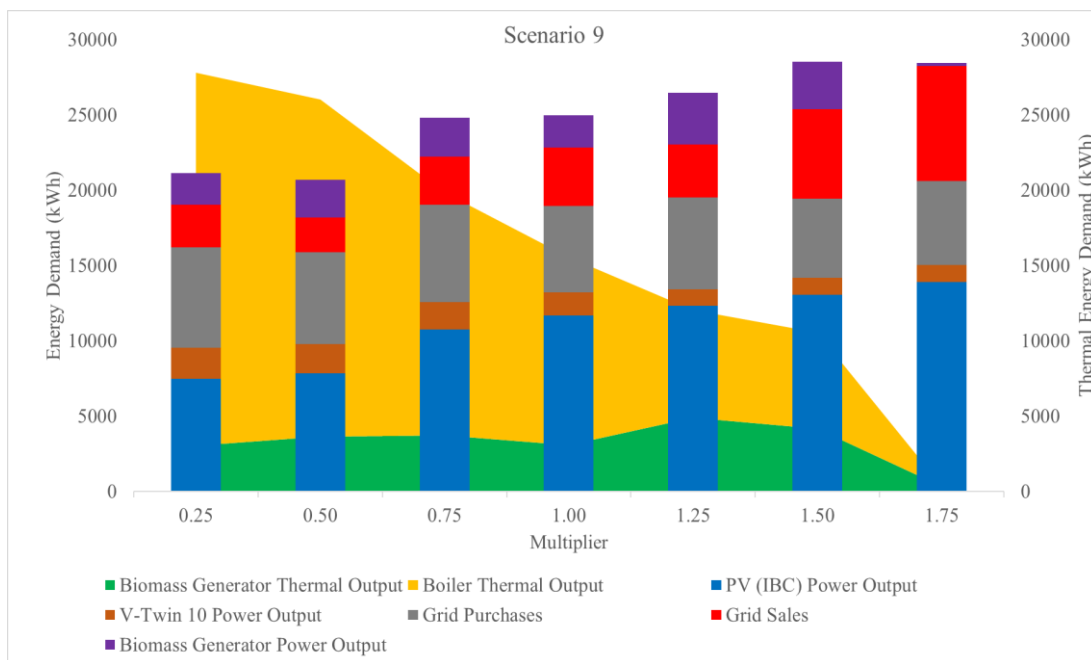
#### 5.1.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΤΙΜΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ DIESEL

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα (Εικόνα 5.1.2.1) παρουσιάζεται μια αρκετά παρόμοια εικόνα και για τις δύο μεταβλητές που εμπεριέχονται σε αυτό. Υπάρχει μια καθοδική πορεία τόσο για το ΙΚΕ όσο και για τις εκπομπές των αερίων έως και τον πολλαπλασιαστή «1,50». Στη συνέχεια, παρουσιάζεται έντοση πτώση της τιμής του ΙΚΕ και λίγο ομαλότερη για τις εκπομπές των ρύπων. Η τελευταία περίπτωση φαίνεται να είναι η ιδανικότερη, μιας και έχουν μειωθεί σε μεγάλο βαθμό και οι δύο μεταβλητές που μας ενδιαφέρουν.



Εικόνα 5.1.2.1 : Επίδραση τιμής καυσίμου diesel σε LCOE και Emissions – Σενάριο 9.

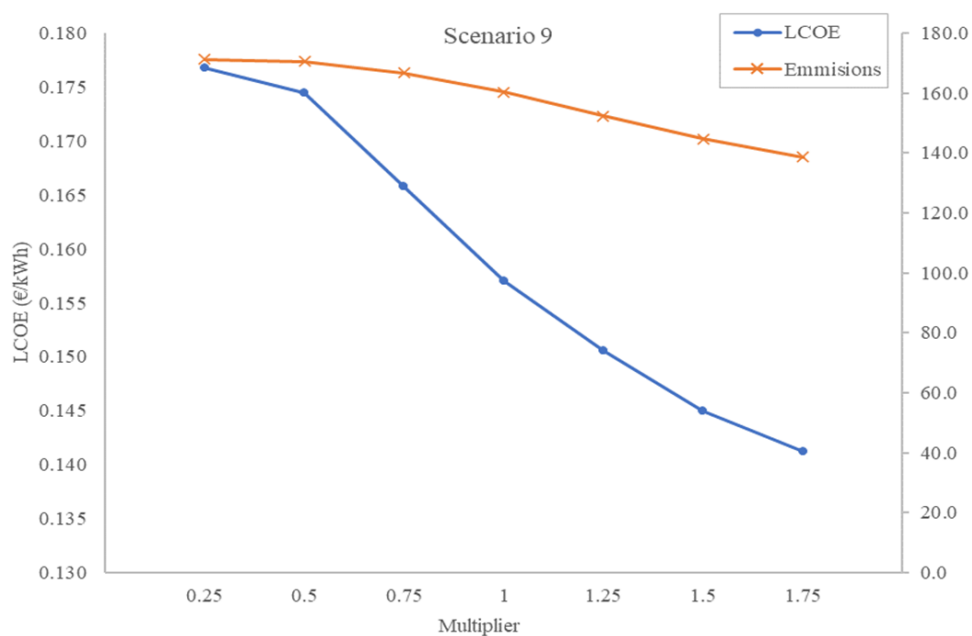
Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.1.2.2) παρουσιάζεται η αλλαγή που σημειώνεται στην προσφορά ενέργειας από κάθε εγκατεστημένο σύστημα του σεναρίου 9 αλλάζοντας κάθε φορά τη μεταβλητή που αναφέρεται στην τιμή του καυσίμου. Όπως γίνεται αντιληπτό, όσο αυξάνεται η τιμή του, τόσο περισσότερο περιορίζεται η χρήση των συστημάτων που εξαρτώνται από αυτό, δηλαδή του λέβητα. Ταυτόχρονα, αυξάνονται οι πωλήσεις ενέργειας προς το δίκτυο, ενώ μειώνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη γεννήτρια βιομάζας.



Εικόνα 5.1.2.2 : Επιρροή τιμή καυσίμου diesel στο σύστημα – Σενάριο 9.

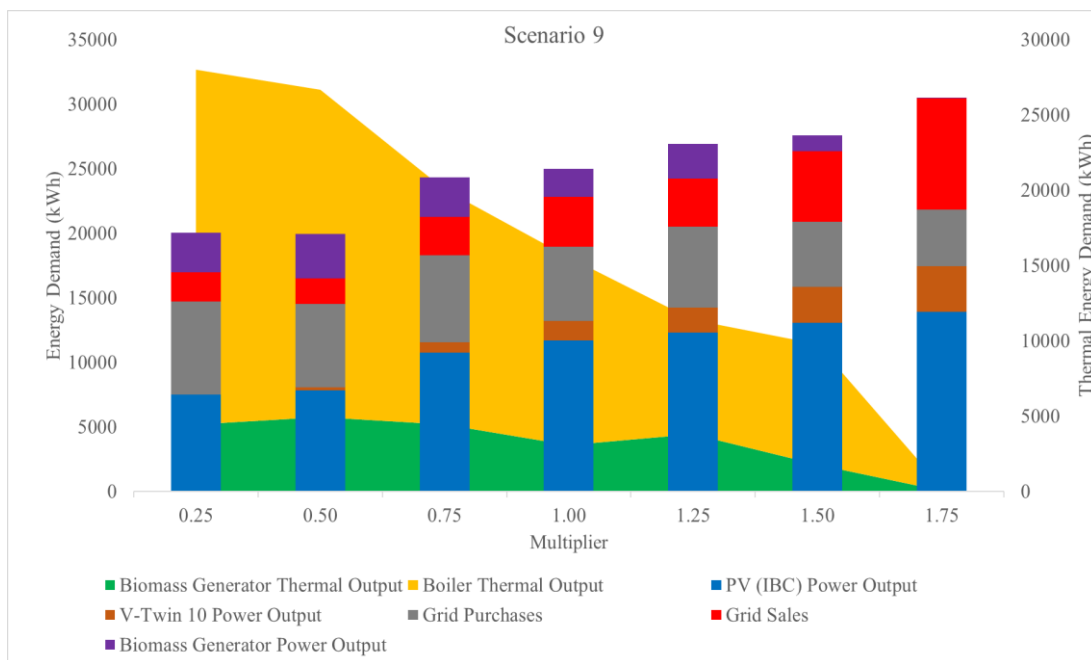
### 5.1.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Ακολουθεί το διάγραμμα που αφορά τον άνεμο (Εικόνα 5.1.3.1). Επηρεάζοντας αυτή τη φορά τη συνιστώσα αυτή παρατηρείται πως καθώς αυξάνεται η τιμή του πολλαπλασιαστή, μειώνονται και οι δύο μεταβλητές. Αξίζει να σημειωθεί πως ενώ η μεταβλητή που αναφέρεται στις εκπομπές των αερίων μειώνεται με ομαλό ρυθμό, η μεταβλητή που αφορά το ΙΚΕ παρουσιάζει έντονη διαφορά ως προς την κλίση της καμπύλης καθώς μειώνεται η τιμή του.



Εικόνα 5.1.3.1: Επίδραση αιολικού δυναμικού σε LCOE και Emissions – Σενάριο 9.

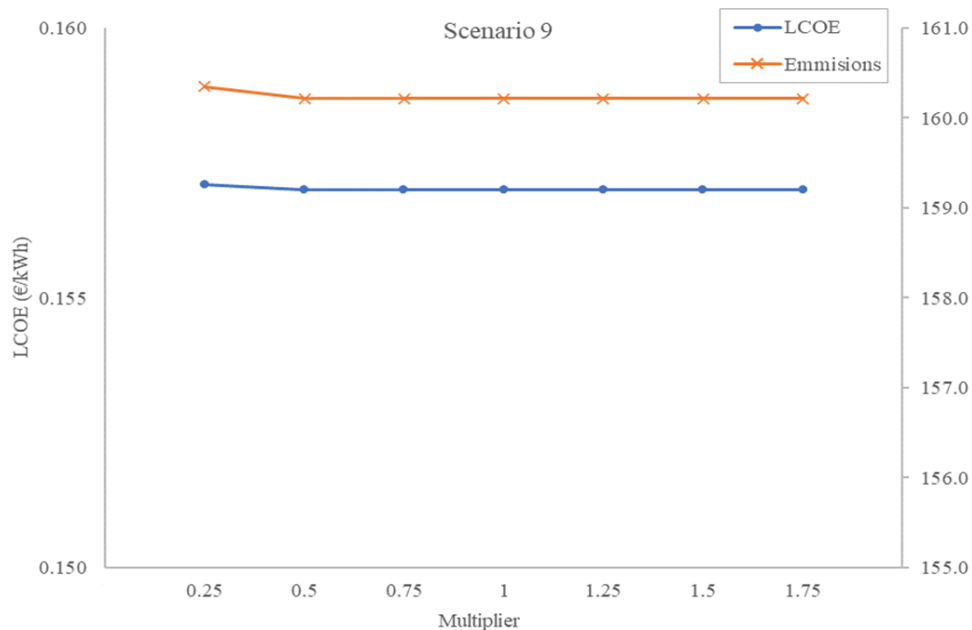
Στην Εικόνα 5.1.3.2, παρουσιάζεται γραφικά η επιρροή που ασκεί στο σύστημα η αλλαγή στις τιμές που αναφέρονται στον άνεμο. Καθώς αυξάνεται η τιμή του πολλαπλασιαστή, αυξάνονται οι επιδόσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων, της ανεμογεννήτριας και των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο ενώ μειώνεται η επίδραση όλων των υπόλοιπων εγκατεστημένων συστημάτων.



Εικόνα 5.1.3.2 : Επιρροή αιολικού δυναμικού στο σύστημα – Σενάριο 9.

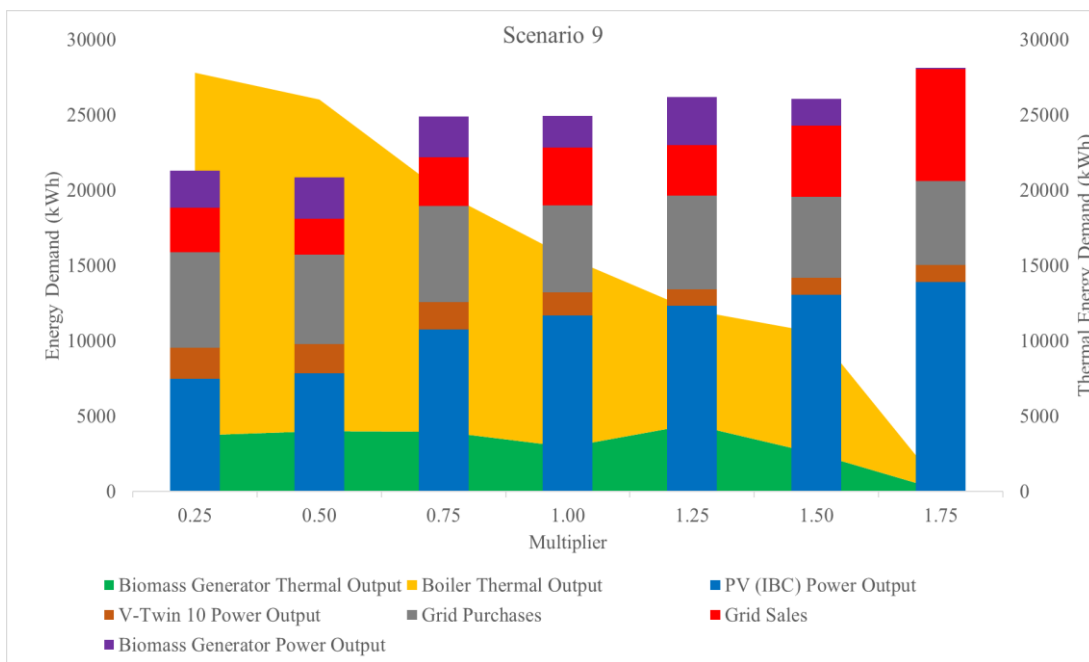
#### 5.1.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΒΙΟΜΑΖΑ

Η τέταρτη ανάλυση που εξετάστηκε ήταν αυτή της βιομάζας. Όπως φαίνεται και γραφικά (Εικόνα 5.1.4.1) η τιμή του ΙΚΕ και των εκπομπών των αερίων παραμένουν σταθερές και για τις έξι τιμές των πολλαπλασιαστών, με μέγιστες τιμές να παρουσιάζουν στην πρώτη περίπτωση.



Εικόνα 5.1.4.1 : Επίδραση βιομάζας σε LCOE και Emissions– Σενάριο 9.

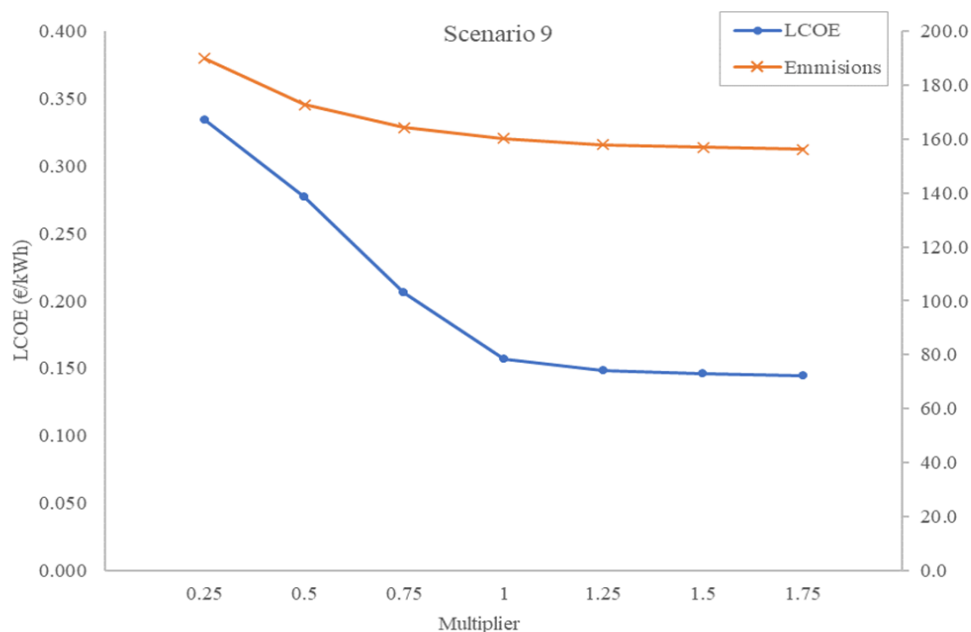
Όσον αφορά τις αλλαγές που εντοπίζονται ως προς τη «σύσταση» του ηλεκτρικού φορτίου, παρατηρείται πως όσο μικρότερη είναι η τιμή του συντελεστή που έχει χρησιμοποιηθεί τόσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλία των πηγών ηλεκτρικής ενέργειας που συμμετάσχουν σε αυτή την παραγωγή. Καθώς αυξάνεται η τιμή των πολλαπλασιαστών αυξάνεται η συνεισφορά ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι πωλήσεις ενέργειας προς το δίκτυο. Οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο φαίνεται να παραμένει σταθερή. Το θερμικό φορτίο ωστόσο λειτουργεί αντιστρόφως ανάλογα σε σχέση με τους πολλαπλασιαστές. Πιο συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται η τιμή των συντελεστών που έχουν να κάνουν με τη διαθεσιμότητα βιομάζας στο σύστημα, το παραγόμενο θερμικό φορτίο ελαττώνεται (Εικόνα 5.1.4.2).



Εικόνα 5.1.4.2 : Επιρροή βιομάζας στο σύστημα – Σενάριο 9.

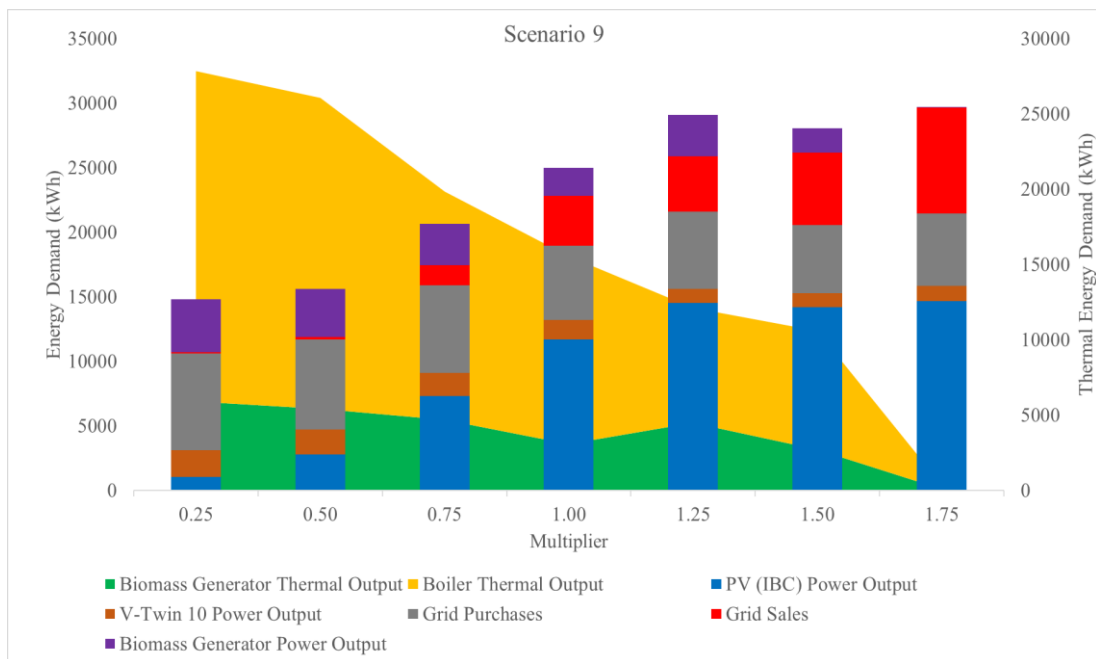
#### 5.1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ιδιαίτερη σημασία έχει η περίπτωση που αφορά την ηλιακή ακτινοβολία, μιας και στο σενάριο 9 έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα που στηρίζεται στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σύμφωνα με την Εικόνα 5.1.5.1, το ισοδύναμο κόστος ενέργειας είναι σε υψηλά επίπεδα για πολλαπλασιαστές μικρότερους της μονάδας, ενώ για τους μεγαλύτερους αυτής παρουσιάζει μικρή μείωση. Όσον αφορά τη μεταβλητή που αναφέρεται στις εκπομπές των βλαβερών ουσιών ως προς το περιβάλλον, εμφανίζει ομαλή μείωση με την κλίση της καμπύλης να παραμένει σχεδόν σταθερή για τις τέσσερις τελευταίες περιπτώσεις.



Εικόνα 5.1.5.1 : Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας σε LCOE και Emissions – Σενάριο 9.

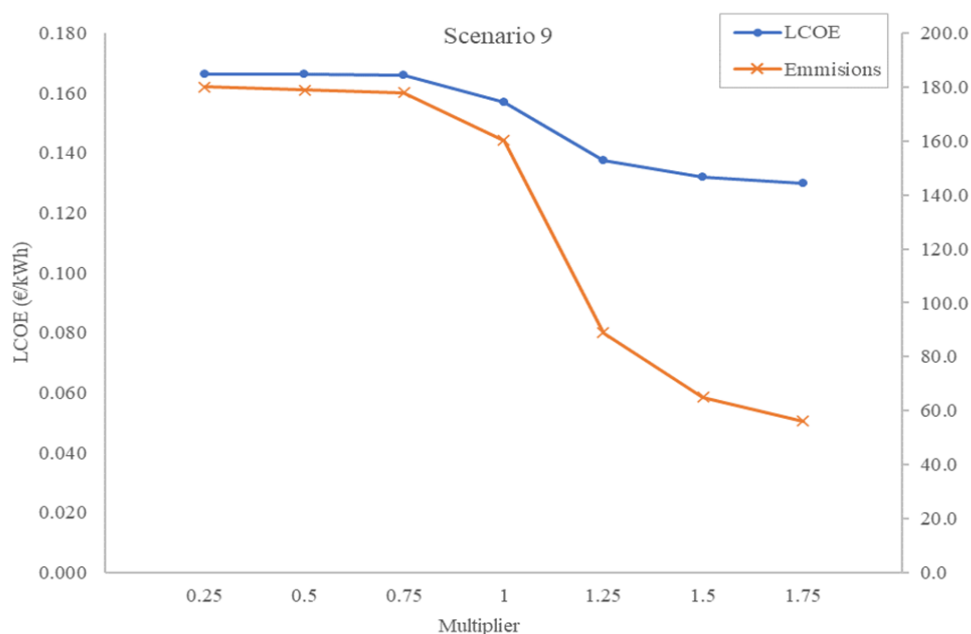
Παρακάτω παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση που αναφέρεται στο πώς επηρεάζεται το επιλεγμένο βέλτιστο σύστημα σε αλλαγές των τιμών που έχουν να κάνουν με την ηλιακή ακτινοβολία (Εικόνα 5.1.5.2). Μέσω αυτής της ανάλυσης ευαισθησίας εξάγεται το συμπέρασμα ότι καθώς αυξάνεται η τιμή του συντελεστή, μειώνεται η συνεισφορά της γεννήτριας βιομάζας στο σύστημα, ενώ υιοθετούν σημαντικό ρόλο σε αυτό τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Οι πωλήσεις ενέργειας στο δίκτυο φαίνονται να αυξάνονται με έντονο ρυθμό, ενώ η προσφορά ενέργειας από την ανεμογεννήτρια περιορίζεται. Το θερμικό φορτίο με τη σειρά του στηρίζεται στην παραγόμενη ενέργεια από το λέβητα, η οποία όμως μειώνεται αρκετά στην περίπτωση που ο πολλαπλασιαστής ισούται με «1,75».



Εικόνα 5.1.5.2 : Επιρροή ηλιακής ακτινοβολίας στο σύστημα – Σενάριο 9.

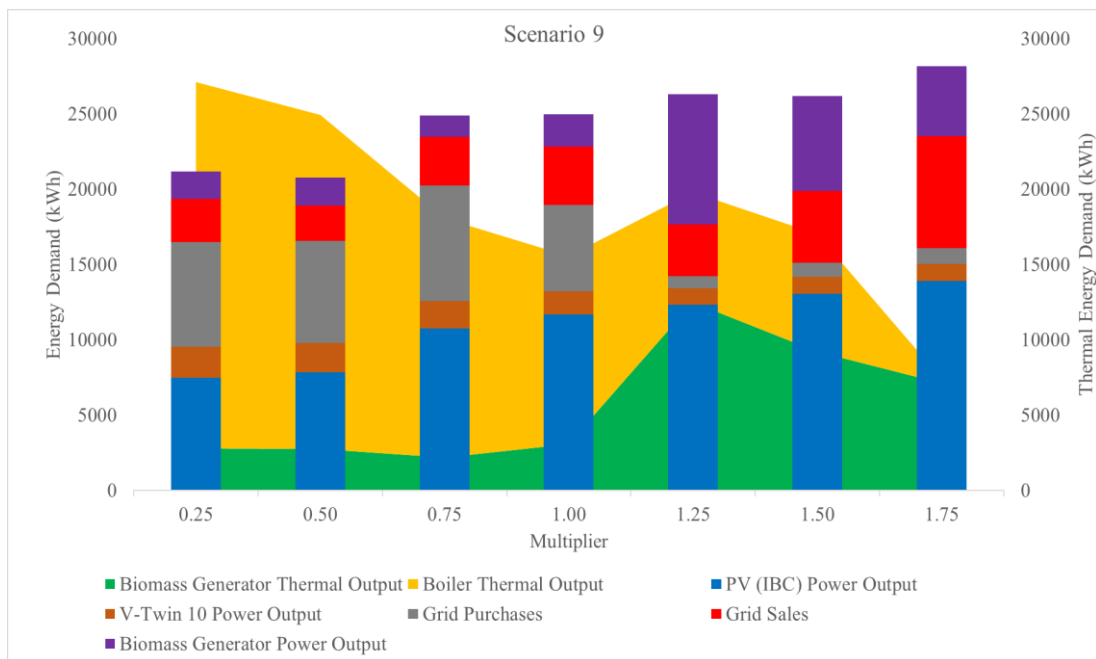
#### 5.1.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – ΤΙΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η τελευταία μεταβλητή για την οποία έγινε ανάλυση ευαισθησίας ήταν αυτή της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 5.1.6.1). Έως και τον πολλαπλασιαστή με την τιμή «0,75» φαίνεται οι δύο μεταβλητές ακολουθούν παρόμοιες διακυμάνσεις. Ακολουθεί ελαφριά πτώση των τιμών και των δύο ενώ στη συνέχεια, το ΙΚΕ παρουσιάζει καθοδική πορεία χωρίς έντονες καμπύλες σε αντίθεση με τη μορφή της καμπύλης που αφορά τις εκπομπές των αερίων, η οποία εμφανίζει απότομη πτώση τιμών. Οι τιμές και των δύο μεταβλητών ωστόσο παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές τους για τον πολλαπλασιαστή με τιμή «1,75».



Εικόνα 5.1.6.1 : Επίδραση τιμής ηλεκτρικής ενέργειας σε LCOE και Emissions–Σενάριο 9.

Στην Εικόνα 5.1.6.2 παρουσιάζεται η επιρροή που επιφέρει στο σύστημα η αλλαγή των αριθμητικών δεδομένων που έχουν να κάνουν με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς οι πολλαπλασιαστές κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα (για τις τιμές «0,25» και «0,50») παρατηρείται πως η παραγόμενη ενέργεια προέρχεται κυρίως από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τις αγορές που γίνονται από το δίκτυο. Με αύξηση της τιμής του πολλαπλασιαστή η προσφορά ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά αυξάνεται σε μικρό βαθμό, ενώ μεγάλο μέρος πλέον αφορά τις πωλήσεις ενέργειας προς το δίκτυο. Τέλος, για την τιμή «1,25» φαίνεται πως η γεννήτρια βιομάζας αποκτά σημαντικό ρόλο στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα στο θερμικό φορτίο παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή της.



Εικόνα 5.1.6.2 : Επιρροή τιμής ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα – Σενάριο 9.

## 5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ερευνώντας τη διαθέσιμη βιβλιογραφία παρατηρήθηκε πως υπάρχει περιορισμένο διαθέσιμο υλικό σε ερευνητικά άρθρα σχετικά με την τεchnοοικονομική ανάλυση των ΥΕΣ χρησιμοποιώντας το λογισμικό HOMER Pro. Στη συγκεκριμένη εργασία υπολογίστηκε συνολική μείωση της τάξεως του 64,0% όσον αφορά το ΙΚΕ. Σε αντίστοιχες έρευνες των *Shahzad et al.* και *Ribó-Pérez et al.* βρέθηκαν παρόμοια αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη οικονομική συνιστώσα. Ακόμα, σε μελέτες που διεξήχθησαν από τους *Ivanchenko et al.* και τους *Kumar & Channi* οι μειώσεις των εκπομπών αερίων του άνθρακα βρέθηκαν να πλαισιώνουν τα ευρήματα της παρούσας εργασίας. Τέλος, όσον αφορά τον χρόνο απόσβεσης (PP), σε αυτή την εργασία υπολογίστηκε ίσος με 5,93 έτη, το οποίο συνάδει με το εύρημα των *Chowdhury et al.* οι οποίοι αναφέρονται σε ένα ΥΕΣ με χρόνο απόσβεσης 6,90 έτη.

Πίνακας 5.2.1 : Σύγκριση αποτελεσμάτων μελέτης με σχετική βιβλιογραφία (Μ/Δ: μη δοσμένο, Μ/Ε: μη εξετασμένο).

Αναφορά	LCOE (% μείωση)	LCOTE (% μείωση)	Emissions (% μείωση)	RF (%)	PP (y)
(Ivanchenko et al., 2021)	Μ/Δ	Μ/Ε	24,0	Μ/Δ	Μ/Δ
(R. Kumar & Channi, 2022)	Μ/Δ	Μ/Ε	99,9	100	Μ/Δ
(Shahzad et al., 2017)	46,8	Μ/Ε	Μ/Δ	Μ/Δ	9,50
(Ribó-Pérez et al., 2021)	50,0	Μ/Ε	Μ/Δ	Μ/Δ	Μ/Δ
(P. Kumar et al., 2022)	Μ/Δ	Μ/Ε	Μ/Δ	94,4	2,04
(Chowdhury et al., 2020)	Μ/Δ	Μ/Ε	Μ/Δ	Μ/Δ	6,90
Παρούσα μελέτη	64,0	20,0	54,9	73,6	5,93

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 ΚΥΡΙΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ενεργειακή αναβάθμιση μιας βιομηχανίας τροφίμων (παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων) στην περιοχή της Μεσσηνίας. Εξετάστηκε η ενεργειακή αξιοποίηση δύο διαφορετικών τύπων αποβλήτων σε ενέργεια, τόσο θερμική όσο και ηλεκτρική. Το υβριδικό ενεργειακό σύστημα που αναπτύχθηκε συνδύαζε τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά συστήματα, και την αξιοποίηση των αποβλήτων μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, της αεριοποίησης και της συμπαραγωγής ενέργειας. Συνολικά, σχεδιάστηκαν και εξετάστηκαν εννέα διαφορετικά σενάρια. Το βέλτιστο σενάριο καλούνταν να μειώσει το ΙΚΕ, το αποτύπωμα του άνθρακα και ταυτόχρονα να ενσωματώσει στο σύστημα τεχνολογίες ΑΠΕ.

Αφότου έγινε η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου, αναλύθηκαν και σχολιάστηκαν τα αριθμητικά δεδομένα που υπολογίστηκαν μέσω του λογισμικού HOMER Pro. Σύμφωνα με τα ευρήματα, τα υγρά απόβλητα (ορός τυρογάλακτος) της υπό εξέτασης μονάδας και η τοπική διαθέσιμη βιομάζα (κλαδιά ελαιόδεντρων) δύνανται να βοηθήσουν στη δημιουργία ενός συστήματος που θα θέτει τις βάσεις του στην «πράσινη» ενέργεια.

Η συγκεκριμένη μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα πως το βέλτιστο σύνολο τεχνολογιών που ανταπεξέρχεται στις ανάγκες της μονάδας ήταν αυτό το οποίο ως πηγή βιομάζας χρησιμοποιούσε τον ορό τυρογάλακτος και απαρτιζόταν από όλες τις τεχνολογίες που εξετάστηκαν. Το σύστημα αυτό προσέφερε καλύτερη οικονομική απόδοση σε σύγκριση με τα υπόλοιπα. Πιο συγκεκριμένα, το ισοδύναμο κόστος ενέργειας παρουσίασε μείωση της τάξεως του 64% σε σχέση με την τρέχουσα παροχή ενέργειας. Ακόμα, ο δείκτης που αναφέρεται στον ισοδύναμο κόστος θερμικής ενέργειας μειώθηκε κατά 20% συγκρινόμενος με τη βασική περίπτωση της μελέτης. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας για τις κυριότερες μεταβλητές του συστήματος προκειμένου να παρατηρηθεί η «συμπεριφορά» που υιοθετεί το σύστημα σε καθεμία από αυτές. Το σύστημα του σεναρίου 9 φάνηκε, λοιπόν, να παρουσιάζει ευελιξία ως προς την κάλυψη των αναγκών της μονάδας παρά τις μικρές ή μεγάλες αλλαγές που έγιναν στις αρχικές τιμές των μεταβλητών.

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν επικυρώθηκαν από επιστημονικά άρθρα αντίστοιχου περιεχομένου. Αξίζει να σημειωθεί πως τόσο οι οικονομικοί (LCOE, IRR) όσο και οι περιβαλλοντικοί (Εκπομπές βλαβερών αερίων) δείκτες που υπολογίστηκαν στην παρούσα εργασία συνάδουν με αυτούς της βιβλιογραφίας. Ωστόσο, ο δείκτης που αφορά το κόστος της θερμότητας (LCOTE) δεν είχε συμπεριληφθεί σε κάποια άλλη έρευνα.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που έγινε στη συγκεκριμένη μελέτη, εντοπίστηκαν ορισμένα ερευνητικά κενά όσον αφορά τη ζήτηση και την προσφορά ενέργειας από ΑΠΕ στον εργοστασιακό τομέα.

Συγκεντρωτικά, μοντελοποιήθηκαν εννέα διαφορετικά συστήματα για τα οποία έγιναν οι απαραίτητοι υπολογισμοί και ακολούθως αξιολογήθηκαν. Το πρώτο σενάριο αφορούσε την μονάδα όπως είναι αυτή την στιγμή όντας συνδεδεμένη στο δίκτυο και χωρίς την παρουσία καμίας μορφής ΑΠΕ. Τα υπόλοιπα οκτώ σενάρια σχεδιάστηκαν στηριζόμενα στην ύπαρξη ως πηγή ενέργειας τη βιομάζα. Τέσσερα εξ αυτών χρησιμοποίησαν ως πηγή τον ορό τυρογάλακτος που αποτελεί το κύριο

απόβλητο της επιχείρησης και τα υπόλοιπα ένα ποσοστό από τα κλαδιά των ελαιόδεντρων της περιοχής. Κάθε υβριδικό ενεργειακό σύστημα που σχεδιάστηκε ήταν διαφορετικό από τα υπόλοιπα.

Ως καινοτόμο βήμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να αναφερθεί η μοντελοποίηση που έγινε αρχικά για την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης αλλά και την διεργασία της αεριοποίησης στο λογισμικό HOMER Pro. Προκειμένου να μελετηθεί η αποδοτικότητα των συστημάτων που δημιουργήθηκαν, συλλέχθηκαν δεδομένα όσον αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας της μονάδας παραγωγής, την παραγωγή των υγρών της αποβλήτων και την διαθεσιμότητα της ξηρής βιομάζας από τα κλαδιά των ελαιόδεντρων. Ακόμη, συμπεριλήφθηκαν οι τιμές αγοράς κάθε συνιστώσας. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας έτσι ώστε να εντοπιστεί η επιρροή που επιφέρουν στο βέλτιστο σενάριο οι μεταβλητές ελέγχου του συστήματος.

## 6.2 ΠΙΘΑΝΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Παρότι κατέστη δυνατή η σχεδίαση και υλοποίηση ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος μέσω του λογισμικού HOMER Pro, παρουσιάστηκαν ορισμένες αδυναμίες που χρήζουν αντιμετώπισης. Αρχικά, το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε δεν παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να χρησιμοποιήσει στο σύστημα παραπάνω από μια πηγή βιομάζας. Ακόμη, ενώ εξήχθησαν πολυάριθμα αποτελέσματα για δείκτες που αφορούσαν την παραγωγή και κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, η διάθεση πληροφοριών για την θέση της θερμικής ενέργειας στο σύστημα ήταν ελλιπής. Η ανάλυση επιπρόσθετων δεικτών θα βοηθούσε στην ευρύτερη κατανόηση περαιτέρω πτυχών του συστήματος.

Αξία διερεύνησης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μια επιπρόσθετη έρευνα όσον αφορά τη συνύπαρξη και των δύο τύπων βιομάζας (ορός τυρογάλακτος & κλαδιών ελαιόδεντρων) που εξετάστηκαν. Λαμβάνοντας υπόψιν τα όσα υπολογίστηκαν και σχεδιάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα νέο σύστημα το οποίο θα λειτουργούσε χρησιμοποιώντας τόσο τον ορό τυρογάλακτος όσο και την ξηρή βιομάζα που προέρχεται από τα κλαδιά των ελαιόδεντρων. Κατ' αυτόν τον τρόπο δύνανται να ξεπεραστούν ορισμένα από τα προβλήματα που παρακολούθηθηκαν.

Ολοκληρώνοντας, μέσω της εγκατάστασης του σεναρίου που προτείνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, η υπό εξέταση μονάδα υιοθετεί έναν «πράσινο» χαρακτήρα. Λαμβάνοντας υπόψιν την δυσμενή κατάσταση που επικρατεί την τρέχουσα χρονική περίοδο στον τομέα της ενέργειας, η εύρεση εναλλακτικών μορφών παραγωγής ενέργειας κρίνεται ως επιτακτική ανάγκη. Ακόμα, μέσα από αυτές τις αλλαγές πρόκειται να βελτιωθούν οι συνθήκες των εργαζομένων της επιχείρησης αλλά και η ποιότητα ζωής τους γενικότερα. Η έρευνα αυτή αναμένεται να αποτελέσει πρότυπο και να παρακινήσει επιπλέον επιχειρήσεις ίδιου ή μεγαλύτερου βεληνεκούς ώστε να στρέψουν την προσοχή τους στην εκμετάλλευση του τοπικού δυναμικού, των αποβλήτων τους και των πολλά υποσχόμενων ΑΠΕ. Άλλωστε, εν έτει 2022 το να διαθέτει μια επιχείρηση «Πράσινο Πιστοποιητικό», το οποίο βεβαιώνει πως η ενέργεια που καταναλώθηκε από την εγκατάσταση προέρχεται από τη χρήση ΑΠΕ και συστημάτων παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας αποτελεί ένα ισχυρό, στο πλαίσιο του ανταγωνισμού, συγκριτικό πλεονέκτημα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cano, A., Arévalo, P., & Jurado, F. (2020). Energy analysis and techno-economic assessment of a hybrid PV/HKT/BAT system using biomass gasifier: Cuenca-Ecuador case study. *Energy*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117727>
- Chowdhury, N., Hossain, C. A., Longo, M., & Yaïci, W. (2020). Feasibility and cost analysis of photovoltaic-biomass hybrid energy system in off-grid areas of Bangladesh. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/su12041568>
- Clairand, J. M., Briceno-Leon, M., Escriva-Escriva, G., & Pantaleo, A. M. (2020). Review of energy efficiency technologies in the food industry: Trends, barriers, and opportunities. In *IEEE Access* (Vol. 8, pp. 48015–48029). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2979077>
- Comino, E., Riggio, V. A., & Rosso, M. (2012). Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey. *Bioresource Technology*, 114, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.090>
- Contreras, M. del M., Romero, I., Moya, M., & Castro, E. (2020). Olive-derived biomass as a renewable source of value-added products. In *Process Biochemistry* (Vol. 97, pp. 43–56). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.06.013>
- Dallan, B. S., Schumann, J., & Lesage, F. J. (2015). Performance evaluation of a photoelectric-thermoelectric cogeneration hybrid system. *Solar Energy*, 118, 276–285. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.05.034>
- Das, B. K., Tushar, M. S. H. K., & Hassan, R. (2021). Techno-economic optimisation of stand-alone hybrid renewable energy systems for concurrently meeting electric and heating demand. *Sustainable Cities and Society*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102763>
- Eaton, W. M., Burnham, M., Kirchoff, C., & Clare Hinrichs, C. (2021). Expert habits of mind: Implications for knowledge co-production in energy transitions. *Energy Research and Social Science*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102234>
- el Gnaoui, Y., Sounni, F., Bakraoui, M., Karouach, F., Benlemlih, M., Barz, M., & el Bari, H. (2020). Anaerobic co-digestion assessment of olive mill wastewater and food waste: Effect of mixture ratio on methane production and process stability. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103874>
- Entchev, E., Yang, L., Szadkowski, F., Armstrong, M., & Swinton, M. (2013). Application of hybrid micro-cogeneration system - Thermal and power energy solutions for Canadian residences. *Energy and Buildings*, 60, 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.004>

- Eze, F., Ogola, J., Kivindu, R., Egbo, M., & Obi, C. (2022). Technical and economic feasibility assessment of hybrid renewable energy system at Kenyan institutional building: A case study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101939>
- Hanson, J. (2018). Established industries as foundations for emerging technological innovation systems: The case of solar photovoltaics in Norway. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 26, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.06.001>
- Heffron, R., Kömer, M. F., Wagner, J., Weibelzahl, M., & Fridgen, G. (2020). Industrial demand-side flexibility: A key element of a just energy transition and industrial development. *Applied Energy*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115026>
- Hina Fathima, A., Palanisamy, K., Mekhilef, S., Justo, J., Kalam, A., & Prabakaran, N. (2018). *Hybrid Renewable Energy Source Typically, Hybrid RES (HRES) includes several forms of renewable energy to generate electricity. From: Hybrid-Renewable Energy Systems in Microgrids.*
- Ismail, M. I., Yunus, N. A., & Hashim, H. (2021). Integration of solar heating systems for low-temperature heat demand in food processing industry – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111192>
- Ivanchenko, A., Yelatontsev, D., & Savenkov, A. (2021). Anaerobic co-digestion of agro-industrial waste with cheese whey: Impact of centrifuge comminution on biogas release and digestate agrochemical properties. *Biomass and Bioenergy*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106010>
- Jahangir, M. H., & Cheraghi, R. (2020). Economic and environmental assessment of solar-wind-biomass hybrid renewable energy system supplying rural settlement load. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100895>
- Jha, A. R. (2011). *Wind Turbine Technology*. CRC Press.
- Kamble, P., Khan, Z., Gillespie, M., Farooq, M., McCalmont, J., Donnison, I., & Watson, I. (2019). Biomass gasification of hybrid seed Miscanthus in Glasgow's downdraft gasifier testbed system. *Energy Procedia*, 158, 1174–1181. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.303>
- Kassongo, J., Shahsavari, E., & Ball, A. S. (2020). Renewable energy from the solid-state anaerobic digestion of grape marc and cheese whey at high treatment capacity. *Biomass and Bioenergy*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105880>
- Khatib, T., & Deria, R. (2022). East-west oriented photovoltaic power systems: model, benefits and technical evaluation. *Energy Conversion and Management*, 266, 115810. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115810>

- Kirim, Y., Sadikoglu, H., & Melikoglu, M. (2022). Technical and economic analysis of biogas and solar photovoltaic (PV) hybrid renewable energy system for dairy cattle barns. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.082>
- Kumar, K. R., Dashora, K., Krishnan, N., Sanyal, S., Chandra, H., Dharmaraja, S., & Kumari, V. (2021). Feasibility assessment of renewable energy resources for tea plantation and industry in India - A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 145). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111083>
- Kumar, P., Pal, N., & Sharma, H. (2022). Optimization and techno-economic analysis of a solar photo-voltaic/biomass/diesel/battery hybrid off-grid power generation system for rural remote electrification in eastern India. *Energy*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123560>
- Kumar, R., & Channi, H. K. (2022). A PV-Biomass off-grid hybrid renewable energy system (HRES) for rural electrification: Design, optimization and techno-economic-environmental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131347>
- Madadian, E., Rahimi, J., Mohebbi, M., & Simakov, D. S. A. (2022). Grape pomace as an energy source for the food industry: A thermochemical and kinetic analysis. *Food and Bioproducts Processing*, 132, 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.01.006>
- Mancarella, P. (2014). MES (multi-energy systems): An overview of concepts and evaluation models. In *Energy* (Vol. 65, pp. 1–17). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.041>
- Maragkaki, A. E., Vasileiadis, I., Fountoulakis, M., Kyriakou, A., Lasaridi, K., & Manios, T. (2018). Improving biogas production from anaerobic co-digestion of sewage sludge with a thermal dried mixture of food waste, cheese whey and olive mill wastewater. *Waste Management*, 71, 644–651. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.016>
- Mckendry, P. (n.d.). *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*.
- Molino, A., Chianese, S., & Musmarra, D. (2016). Biomass gasification technology: The state of the art overview. *Journal of Energy Chemistry*, 25(1), 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2015.11.005>
- Nam, H., Mukai, K., Konishi, S., & Nam, K. (2019). Biomass gasification with high temperature heat and economic assessment of fusion-biomass hybrid system. *Fusion Engineering and Design*, 146, 1838–1842. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2019.03.047>
- Náthia-Neves, G., Berni, M., Dragone, G., Mussatto, S. I., & Forster-Carneiro, T. (2018). Anaerobic digestion process: technological aspects and recent developments. In *International Journal of Environmental Science and Technology* (Vol. 15, Issue 9, pp. 2033–2046). Center for Environmental and Energy Research and Studies. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1682-2>

- Padilha Campos Lopes, M., Nogueira, T., Santos, A. J. L., Castelo Branco, D., & Pouran, H. (2022). Technical potential of floating photovoltaic systems on artificial water bodies in Brazil. *Renewable Energy*, 181, 1023–1033. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.104>
- Pellegrini, M., Guzzini, A., & Saccani, C. (2021). Experimental measurements of the performance of a micro-wind turbine located in an urban area. *Energy Reports*, 7, 3922–3934. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.05.081>
- Pierri, E., Schulze, C., Herrmann, C., & Thiede, S. (2020). Integrated methodology to assess the energy flexibility potential in the process industry. *Procedia CIRP*, 90, 677–682. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.124>
- Ribó-Pérez, D., Herraiz-Cañete, Á., Alfonso-Solar, D., Vargas-Salgado, C., & Gómez-Navarro, T. (2021). Modelling biomass gasifiers in hybrid renewable energy microgrids; a complete procedure for enabling gasifiers simulation in HOMER. *Renewable Energy*, 174, 501–512. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.083>
- Sanjuán, N., Stoessel, F., & Hellweg, S. (2014). Closing data gaps for LCA of food products: Estimating the energy demand of food processing. *Environmental Science and Technology*, 48(2), 1132–1140. <https://doi.org/10.1021/es4033716>
- Savvakis N. (2015). «Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων-Οικονομοτεχνική μελέτη» «ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ».
- Shahzad, M. K., Zahid, A., Rashid, T., Rehan, M. A., Ali, M., & Ahmad, M. (2017). Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. *Renewable Energy*, 106, 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.033>
- Sifakis, N., Konidakis, S., & Tsoutsos, T. (2021). Hybrid renewable energy system optimum design and smart dispatch for nearly Zero Energy Ports. *Journal of Cleaner Production*, 310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127397>
- Toledano, A., Alegría, I., & Labidi, J. (2013). Biorefining of olive tree (*Olea europea*) pruning. *Biomass and Bioenergy*, 59, 503–511. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.10.019>
- Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E., López-Cortés, I., & Salazar-Hernández, D. M. (2011). Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean olive groves. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 3208–3217. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.042>
- Vieira, F. S., Balestieri, J. A. P., & Matelli, J. A. (2021). Applications of compressed air energy storage in cogeneration systems. *Energy*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118904>
- Wu, Y., Xia, T., Wang, Y., Zhang, H., Feng, X., Song, X., & Shibasaki, R. (2022). A synchronization methodology for 3D offshore wind farm layout optimization with multi-type wind turbines and obstacle-avoiding cable network. *Renewable Energy*, 185, 302–320. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.057>

- Zhang, S., Du, B., Ge, M., & Zuo, Y. (2022). Study on the operation of small rooftop wind turbines and its effect on the wind environment in blocks. *Renewable Energy*, 183, 708–718. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.059>
- Zorounidis K. (2022). *Ανάλυση Επενδυτικών Αποφάσεων*.
- Ασημακόπουλος, Δ., & Αραμπατζής, Γ. (2020). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ΔΥΝΑΜΙΚΟ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ*. Εκδόσεις σοφία.
- Ζερβός, Α. (2008). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*.
- Μαρνέλλος, Γ. :, Τμήμα, & Μηχανικών, Μ. (n.d.). *Ειδικά Κεφάλαια Παραγωγής Ενέργειας Ενότητα 4(β) : Αεριοποίηση Βιομάζας*.
- ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4685. (n.d.).
- ΡΑΕ. (2022). *ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΤΗΣ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗΣ ΑΡΧΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΡΑΕ) ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΛΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ) ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*.
- ΣΗΘΕΙΑ. (n.d.). *Κανονισμός Βεβαιώσεων Παραγωγού Ηλεκτρι-κής Ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και Βεβαιώ-σεων Παραγωγού Ηλεκτρικής Ενέργειας Ειδικών Έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Ο ΥΠΟΥΡΓΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*.
- ΦΕΚ-B-6250\_2021-YA-123726. (n.d.).
- ΦΕΚ-B-6287\_2021-YA-121503-2η-τροποποίηση-YA-ενεργειακού-συμψηφισμού. (n.d.).
- ΦΕΚ-B-6351\_2021-YA-121501-ΦΒ-στεγών. (n.d.).