



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ
ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΤΗΛΟΥ**

Διπλωματική Εργασία

Πέτρος Μούσιας

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Σεπτέμβριος, 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

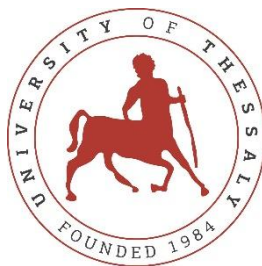
**ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ
ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΤΗΛΟΥ**

Διπλωματική Εργασία

Πέτρος Μούσιας

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Σεπτέμβριος, 2025



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**TECHNO-ECONOMIC STUDY OF A HYBRID RENEWABLE ENERGY
SYSTEM FOR THE REDUCTION OF CONVENTIONAL FUELS ON THE
ISLAND OF TILOS**

Diploma Thesis

Petros Mousias

Supervisor: Dimitrios Bargiotas

September, 2025

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

Δημήτριος Μπαργιώτας

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Ελευθέριος Κόντης

Επίκουρος καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Αλέξανδρος Χροναίος

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ
ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

ΠΕΤΡΟΣ ΜΟΥΣΙΑΣ

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

PETROS MOUSIAS

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Δημήτριο Μπαργιώτα και τους καθηγητές της επιτροπής εξέτασης, τους κυρίους Ελευθέριο Κόντη και Αλέξανδρο Χροναίο που αρχικά μου έδωσαν την δυνατότητα να αναλάβω την συγκεκριμένη εργασία και στην συνέχεια για την πολύτιμη βοήθεια τους. Φυσικά, να ευχαριστήσω τους γονείς μου που ήταν πάντα δίπλα μου σε όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου σπουδών, μου συμπαραστέκονταν και με ενθάρρυναν να συνεχίσω και τέλος, τους φίλους και τους συμφοιτητές μου που στηρίζαμε ο ένας τον άλλο σε όλες τις δυσκολίες και περάσαμε μαζί αξέχαστες στιγμές όλα αυτά τα χρόνια.

**ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ
ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΤΗΛΟΥ**

Πέτρος Μούσιας

Περίληψη

Σε μια εποχή που η μετάβαση σε κοινωνίες ενεργειακά αυτόνομες είναι αναγκαία, η Τήλος, ένα μικρό νησί των Δωδεκανήσων, έχει δείξει το “δρόμο” και από το 2017 έχει γίνει το πρώτο “πράσινο” νησί στη Μεσόγειο, υιοθετώντας το πρώτο υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη. Η παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους των κρατών για τα επόμενα χρόνια, καθώς η εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα όπως το πετρέλαιο ή ο λιγνίτης οδηγεί σε υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και αυξημένες εκπομπές ρύπων που βλάπτουν το περιβάλλον. Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η τεchnοοικονομική ανάλυση ενός βέλτιστου υβριδικού συστήματος στο νησί της Τήλου, το οποίο θα περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) και εφεδρικές γεννήτριες με σκοπό τη μείωση χρήσης συμβατικών καυσίμων και την εξασφάλιση αξιόπιστης και οικονομικά βιώσιμης ηλεκτροπαραγωγής. Η βελτιστοποίηση και η προσομοίωση του συστήματος γίνεται στο λογισμικό Homer Pro, στο οποίο λαμβάνονται υπόψη οι τεχνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες και υπολογίζεται η απόδοση του συστήματος σε διαφορετικά ενεργειακά σενάρια με το βέλτιστο σενάριο να είναι αυτό με το μικρότερο καθαρό παρόν κόστος (NPC). Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι ένα υβριδικό σύστημα σαν το υφιστάμενο της Τήλου, μπορεί να βελτιστοποιηθεί με επιπλέον προσθήκη τεχνολογιών ΑΠΕ (Α/Γ, φωτοβολταϊκό πάρκο) και με εισαγωγή μεγαλύτερου συστήματος αποθήκευσης.

Συγκεκριμένα, χωρίς μεγάλη αρχική επένδυση και με σχετικά γρήγορη απόσβεση δημιουργήθηκε ένα νέο υβριδικό σύστημα, που σε βάθος 20αετίας που γίνεται και η μελέτη μας είναι οικονομικότερο από το υπάρχον. Το βέλτιστο υβριδικό σύστημα μειώνει την χρήση πετρελαίου σχεδόν κατά 76%, άρα και τις εκπομπές άνθρακα, συμβάλλοντας έτσι σε ένα πιο καθαρό περιβάλλον και αυξάνει την ενεργειακή αυτονομία του νησιού στο 94,6%. Τέλος, γίνεται κατανοητό ότι η ενεργειακή μετάβαση και ανεξαρτησία των νησιών και άλλων απομονωμένων περιοχών όπως η Τήλος, είναι απαραίτητη για ένα πιο βιώσιμο και οικονομικά καλύτερο ενεργειακό μέλλον.

Λέξεις-κλειδιά:

Ενεργειακή αυτονομία, Τήλος, υβριδικό σύστημα, ΑΠΕ, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μπαταρίες, συμβατικά καύσιμα, Homer Pro, τεχνοοικονομική μελέτη, σενάρια, NPC βελτιστοποίηση, προσομοίωση, αποτελέσματα.

TECHNO-ECONOMIC STUDY OF A HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM FOR THE REDUCTION OF CONVENTIONAL FUELS ON THE ISLAND OF TILOS

Petros Mousias

Abstract

In an era where the transition to energy-autonomous communities is essential, Tilos, a small island in the Dodecanese, has shown the "way" since 2017 and it has become the first "green" island in the Mediterranean, adopting the first hybrid renewable energy system in Europe. The global energy transition is one of the main goals of the countries in the future, as dependence on conventional fuels such as oil leads to high electricity production costs and increased carbon emissions that harm the environment. The aim of this thesis is the techno-economic analysis of an optimized hybrid energy system, which will include photovoltaic panels, wind turbines, energy storage systems (batteries) and backup generators, with the goal of reducing the use of conventional fuels while ensuring a reliable and economically viable electricity supply. The optimization and simulation of the system are conducted using the Homer Pro software, which takes into account the techno-economic and environmental conditions and calculates the system's performance under different energy scenarios. The best scenario is the one with the lowest NPC. Results of the study show that a hybrid system like the existing one in Tilos can be optimized with additional integration of renewable energy technologies (wind turbine, photovoltaic park) and the introduction of a larger storage system. Specifically, without requiring a large initial investment and a relatively quick payback period, a new hybrid system was developed which, over a 20-year horizon considered in our study, proves to be more cost-effective than the existing one. The optimal hybrid system reduces oil

consumption by almost 76%, and therefore carbon emissions as well, thus contributing to a cleaner environment, while also increasing the island's energy autonomy to 94,6%. Finally, it becomes clear that the energy transition and independence of islands and other isolated areas, such as Tilos, are essential for a more sustainable and economically better energy future.

Keywords:

Energy autonomy, Tilos, hybrid system, renewable energy sources, photovoltaic panels, wind turbines, batteries, conventional fuels, Homer Pro, techno-economic study, scenarios, NPC, optimization, simulation, results.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	xi
Περίληψη.....	xiii
Abstract	xv
Πίνακας περιεχομένων.....	xvii
Κατάλογος εικόνων	xxi
Κατάλογος σχημάτων.....	xxiii
Κατάλογος πινάκων	xxvii
Συντομογραφίες.....	xxix
Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	1
1.2 Οργάνωση του τόμου.....	2
Κεφάλαιο 2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ	3
2.1 Ορισμός και μορφές	3
2.2 Ιστορική αναδρομή	4
2.3 Ενέργεια στην Ευρώπη και στην Ελλάδα σήμερα και ο στόχος για το μέλλον.....	6
2.3.1 Ενέργεια στην Ευρώπη	6
2.3.2 Ενέργεια στην Ελλάδα	10
2.3.3 Ενέργεια στα Ελληνικά Νησιά	16
2.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	20
2.4.1 Ορισμός και Μορφές	20
2.4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΑΠΕ	24
2.5 Υβριδικά συστήματα	26
Κεφάλαιο 3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ Η/Ε.....	29
3.1 Φωτοβολταϊκά	29
3.1.1 Εισαγωγή.....	29

3.1.2 Τεχνολογίες και Λειτουργία Φωτοβολταϊκών	30
3.2 Ανεμογεννητριες.....	37
3.2.1 Εισαγωγή.....	37
3.2.2 Λειτουργία και τεχνολογίες ανεμογεννητριών.....	39
3.3 Μεθοδοι αποθήκευσης Η/Ε	50
3.3.1 Εισαγωγή.....	50
3.3.2 Τεχνολογίες και λειτουργία.....	50
3.4 Ηλεκτρονικά ισχυος.....	54
3.4.1 Εισαγωγή.....	54
3.4.2 Τεχνολογίες και λειτουργία	54
Κεφάλαιο 4 ΤΗΛΟΣ.....	57
4.1 Γενικά.....	57
4.2 Ενέργεια στο νησί.....	59
4.2.1 Ζήτηση ενέργειας στην Τήλο.....	59
4.2.2 Το υπάρχον υβριδικό σύστημα της Τήλου (S4S TILOS PROJECT).....	59
Κεφάλαιο 5 ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	63
5.1 Παρουσίαση λογισμικού Homer Pro.....	63
5.2 Εισαγωγή δεδομένων στο Homer Pro.....	64
5.2.1 Ηλεκτρικό φορτίο Τήλου.....	64
5.2.2 Κλιματικά δεδομένα Τήλου.....	66
5.2.3 Δεδομένα ανεμογεννήτριας.....	69
5.2.4 Δεδομένα φωτοβολταϊκών.....	72
5.2.5 Δεδομένα μετατροπών.....	78
5.2.6 Δεδομένα συστήματος αποθήκευσης.....	82
5.2.7 Δεδομένα συμβατικών μονάδων.....	86
5.2.8 Οικονομικά και περιβαλλοντικά δεδομένα.....	88
5.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσωμοίωσης	89
5.4 Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα	93
5.4.1 Ανάλυση προτεινόμενου συστήματος.....	93
5.4.2 Αξιολόγηση προτεινόμενου συστήματος.....	107
Κεφάλαιο 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	108
Βιβλιογραφία.....	110

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Ανεμόμυλος.....	5
Εικόνα 2.2: Νερόμυλος.....	5
Εικόνα 2.3: Ποσοστό συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης από ΑΠΕ ανά χώρα 2023.....	9
Εικόνα 2.4: Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας.....	20
Εικόνα 2.5: Ανεμογεννήτριες.....	22
Εικόνα 2.6: Υδραυλική ενέργεια.....	23
Εικόνα 2.7: Βιομάζα.....	23
Εικόνα 2.8: Τουρμπίνες.....	24
Εικόνα 2.9: Ανεμογεννήτρια και συσσωρευτές ΥΒΣ Τήλου	27
Εικόνα 3.1: Φωτοβολταϊκό σύστημα.....	31
Εικόνα 3.2: Φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	34
Εικόνα 3.3: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (Πολυκρυσταλικό).....	35
Εικόνα 3.4: Σύνολο αιολικών πάρκων στην Ελλάδα.....	38
Εικόνα 3.5: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανά περιοχή στην Ελλάδα.....	38
Εικόνα 3.6: Αιολικό πάρκο Κύθνου.....	40
Εικόνα 3.7: Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας.....	42
Εικόνα 3.8: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου και κάθετου άξονα.....	43
Εικόνα 3.9: Α/Γ οριζόντιου άξονα.....	44
Εικόνα 3.10: Α/Γ κάθετου άξονα.....	44
Εικόνα 3.11: Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.....	46
Εικόνα 4.1: Τήλος.....	58
Εικόνα 4.2: Λιβάδια.....	58
Εικόνα 4.3: Τοποθεσία κάθε στοιχείου του TILOS PROJECT.....	62
Εικόνα 4.4: S4S Project Tilos (ανεμογεννήτρια).....	62
Εικόνα 4.5: S4S Project Tilos (Φωτοβολταϊκά).....	62
Εικόνα 5.1: Φυλλάδιο κατασκευαστή ανεμογεννητριών.....	70
Εικόνα 5.2: Φυλλάδιο κατασκευαστή φωτοβολταϊκού πλαισίου JAP6K-60-270/4BB.....	74
Εικόνα 5.3: Φυλλάδιο κατασκευαστή φωτοβολταϊκού πλαισίου JAM72S30-540/MR.....	75

Εικόνα 5.4: Κύρια χαρακτηριστικά μετατροπέα Indrivetec SOLO S.....	78
Εικόνα 5.5: Φυλλάδιο κατασκευαστή Fronius symo.....	80
Εικόνα 5.6: Φυλλάδιο κατασκευαστή Fronius Tauro.....	81
Εικόνα 5.7: Φυλλάδιο κατασκευαστή & κύρια χαρακτηριστικά FZSoNick ST523.....	84
Εικόνα 5.8: Φυλλάδιο κατασκευαστή συσσωρευτή Turtle series ESS.....	84
Εικόνα 5.9: Φυλλάδιο κατασκευαστή CAT 3512B.....	87
Εικόνα 5.10: Σύνοψη οικονομικών στοιχείων του συστήματος.....	94

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά πηγή διαχρονικά.....	6
Σχήμα 2.2: Πηγές παραγωγής ενέργειας.....	8
Σχήμα 2.3: Κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ ανά χώρα το 2023 και ο στόχος για το 2030.9	
Σχήμα 2.4: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή.....	11
Σχήμα 2.5: Παραγωγή από ΑΠΕ και Ελληνικός στόχος για το 2030.....	12
Σχήμα 2.6: Εγκατεστημένη παραγωγική ισχύς ανά πηγή ενέργειας σε (GW).....	12
Σχήμα 2.7: Εθνικό Σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα για το 2030	16
Σχήμα 2.8: Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής.....	18
Σχήμα 2.9: Ηλεκτροπαραγωγή στα ΜΔΝ (2021-2023).....	19
Σχήμα 2.10: Ηλεκτρική ενέργεια.....	21
Σχήμα 3.1: Φάσμα Ακτινοβολίας.....	30
Σχήμα 3.2: Διάγραμμα συντελεστή ώσης-ταχύτητα του ανέμου.....	48
Σχήμα 3.3: Διάγραμμα συντελεστή ισχύος-λόγο ταχυτήτων λ.....	48
Σχήμα 3.4: Καμπύλη ισχύος.....	49
Σχήμα 3.5: Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	51
Σχήμα 4.1: Φορτίο Τήλου ανά 10 λεπτά (2015-2019).....	61
Σχήμα 4.2: Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (2015-2019).....	61
Σχήμα 5.1: Ετήσιο προφίλ ζήτησης Τήλου.....	65
Σχήμα 5.2: ωριαίο φορτίο Τήλου.....	65
Σχήμα 5.3: Μηνιαίο προφίλ ζήτησης Τήλου.....	66
Σχήμα 5.4: Ημερήσιο προφίλ Τήλου.....	66
Σχήμα 5.5: Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία και καθαρότητα ουρανού της Τήλου.....	67
Σχήμα 5.6: Μέση μηνιαία θερμοκρασία Τήλου.....	68
Σχήμα 5.7: Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου της Τήλου.....	68
Σχήμα 5.8: Σχηματική παρουσίαση νέου υβριδικού συστήματος Τήλου.....	93
Σχήμα 5.9: Συνολικό κόστος κάθε στοιχείου του συστήματος.....	95
Σχήμα 5.10: Συνολικό κόστος ανά κατηγορία κόστους.....	95
Σχήμα 5.11: Συνολικό ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου του συστήματος.....	96

Σχήμα 5.12: Συνολικό ετήσιο κόστος ανά κατηγορία κόστους.....	96
Σχήμα 5.13: ροή κόστους ανά κατηγορία κόστους.....	97
Σχήμα 5.14: ροή κόστους για κάθε στοιχείο του συστήματος.....	97
Σχήμα 5.15: Μηνιαία παραγωγή Η/Ε για κάθε στοιχείο του συστήματος.....	98
Σχήμα 5.16: Στιγμιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ διαιρεμένη με τη στιγμιαία ζήτηση ενέργειας για όλο το έτος.....	99
Σχήμα 5.17: Στιγμιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ διαιρεμένη με τη συνολική στιγμιαία παραγωγή ενέργειας για όλο το έτος.....	99
Σχήμα 5.18: Διαφορά αριθμού 1 με την στιγμιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μονάδες, διαιρεμένη από τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργεια για όλο το έτος.....	100
Σχήμα 5.19: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος για κάθε μέρα του έτους της υπάρχουσας ανεμογεννήτριας.....	101
Σχήμα 5.20: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος για κάθε μέρα του έτους της νέας ανεμογεννήτριας.....	101
Σχήμα 5.21: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος για κάθε μέρα του έτους του JAP6K-60-270/4BB.....	102
Σχήμα 5.22: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος για κάθε μέρα του έτους του JAM72S30-540/MR.....	103
Σχήμα 5.23: Ποσοστό φόρτισης του αποθηκευτικού συστήματος για κάθε μέρα του έτους.....	104
Σχήμα 5.24: Μέγιστο, μέγιστο μέσο, μέσο, ελάχιστο μέσο και ελάχιστο ημερήσιο ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας για κάθε μήνα του έτους.....	104
Σχήμα 5.25: Ισχύς εξόδου αντιστροφεία (inverter) για κάθε μέρα του έτους.....	105
Σχήμα 5.26: Ισχύς εξόδου ανορθωτή (rectifier) για κάθε μέρα του έτους.....	105
Σχήμα 5.27: Παραγόμενη ισχύς εφεδρικής γεννήτριας CAT3512B.....	106
Σχήμα 5.28: Μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου ανά ώρα.....	106
Σχήμα 5.29: Κατανάλωση πετρελαίου ανά ώρα για κάθε μέρα του έτους.....	106
Σχήμα 5.30: Μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου ανά ώρα.....	107

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1: Σύνοψη εθνικών στόχων ΕΣΕΚ.....	14
Πίνακας 2.2: Εθνικό Σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα για το 2030	15
Πίνακας 2.3: Λίστα ηλεκτρικών συστημάτων στα ΜΔΝ.....	18
Πίνακας 2.4: Καινοτόμα πράσινα έργα.....	19
Πίνακας 3.1: Βέλτιστες κλίσεις φωτοβολταϊκών στοιχείων ανά διάφορα γεωγραφικά πλάτη στην Ελλάδα, ανά περίοδο χρήσης.....	36
Πίνακας 5.1: Στοιχεία ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας Τήλου.....	65
Πίνακας 5.2: Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία και καθαρότητα ουρανού της Τήλου...67	
Πίνακας 5.3: Μέση Μηνιαία θερμοκρασία της Τήλου.....	68
Πίνακας 5.4: Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου της Τήλου.....	69
Πίνακας 5.5: Εισαγωγή ανεμογεννήτριας του υφιστάμενου συστήματος της Τήλου.....	71
Πίνακας 5.6: Εισαγωγή καινούργιας ανεμογεννήτριας.....	71
Πίνακας 5.7: Εισαγωγή καμπύλη ισχύος ανεμογεννητριών.....	72
Πίνακας 5.8: Εισαγωγή φωτοβολταϊκού πάρκου 160KW.....	76
Πίνακας 5.9: Εισαγωγή φωτοβολταϊκού πάρκου 600KW.....	77
Πίνακας 5.10: Εισαγωγή converter Indrivetec SOLO S (DC->AC).....	79
Πίνακας 5.11: Εισαγωγή συσσωρευτή FZSoNick ST523.....	85
Πίνακας 5.12: Εισαγωγή συσσωρευτή Turtle series ESS.....	85
Πίνακας 5.13: Εισαγωγή γεννήτριας CAT 3512B.....	88
Πίνακας 5.14: Εισαγωγή οικονομικών και περιβαλλοντικών δεδομένων.....	89
Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	92
Πίνακας 5.16: Συνολικό κόστος κάθε στοιχείου του συστήματος ανά κατηγορία κόστους.....	95
Πίνακας 5.17: Συνολικό ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου του συστήματος ανά κατηγορία κόστους.....	96
Πίνακας 5.18: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κάθε στοιχείου του συστήματος.....	98
Πίνακας 5.19: Ποσοστά παραγωγής ενέργειας.....	99
Πίνακας 5.20: Λειτουργία υπάρχουσας ανεμογεννήτριας.....	100

Πίνακας 5.21: Λειτουργία καινούργιας ανεμογεννήτριας.....	101
Πίνακας 5.22: Λειτουργία φωτοβολταϊκών JAP6K-60-270/4BB.....	102
Πίνακας 5.23: Λειτουργία φωτοβολταϊκών JAM72S30-540/MR.....	102
Πίνακας 5.24: Λειτουργία μπαταρίας Turtle Series ESS.....	103
Πίνακας 5.25: Λειτουργία μετατροπέα Indrivetec Solo S.....	104
Πίνακας 5.26: Λειτουργία εφεδρικής γεννήτριας CAT3512B.....	105
Πίνακας 5.27: Στοιχεία κατανάλωσης πετρελαίου.....	106

Συντομογραφίες

A/Γ: Ανεμογεννήτρια	1
AC: εναλλασσόμενο ρεύμα.....	31
ΑΔΕ: Αρχή Διατήρησης Ενέργειας	3
ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	1
DC: συνεχές ρεύμα.....	31
ΔΕΔΔΗΕ: Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	17
ΔΕΗ: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού	10
Ε.Ε: Ευρωπαϊκή Ένωση	2
ΕΣΕΚ: Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα	12
LCOE: Levelized Cost Of Energy/Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας.....	1
ΜΔΝ: Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά	16
NPC: Net Present Cost/Καθαρό παρόν κόστος	1
ΥΒΣ: Υβριδικός Σταθμός	26
ΦΒ: Φωτοβολταϊκά	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη και η ανάλυση του υβριδικού ενεργειακού συστήματος της Τήλου, με σκοπό την αξιολόγηση της υφιστάμενης λειτουργίας του και την διερεύνηση πιθανών βελτιώσεων μέσω της ένταξης στοιχείων όπως φωτοβολταϊκά (ΦΒ), ανεμογεννήτριες (Α/Γ) και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Το πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει η εργασία σχετίζεται με την υψηλή χρήση συμβατικών καυσίμων των μη διασυνδεδεμένων νησιών, με συνέπεια το αυξημένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η διπλωματική σκοπεύει να αποδείξει μέσω προσομοιώσεων στο λογισμικό Homer pro, ότι η προσθήκη ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) και αποθήκευσης, μειώνει τα συμβατικά καύσιμα, αποτελώντας μια οικονομικά, τεχνικά και οικολογικά βιώσιμη λύση.

Συγκεκριμένα, η εργασία εστιάζει:

- ✧ Στην ανάλυση του φορτίου και ενεργειακών των αναγκών της Τήλου
- ✧ Στην μελέτη απόδοσης του υφιστάμενου συστήματος
- ✧ Στη δημιουργία σεναρίων με διαφορετικούς συνδυασμούς ΑΠΕ και αποθήκευσης, ώστε να βελτιστοποιηθεί το κόστος και η αξιοπιστία του συστήματος
- ✧ Στη σύγκριση αποτελεσμάτων με το σημερινό ενεργειακό μοντέλο του νησιού ως προς το κόστος NPC (Net Present Cost/Καθαρό παρόν κόστος), LCOE (Levelized Cost Of Energy/Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας), τη διείσδυση ΑΠΕ και την κατανάλωση καυσίμου

Με αυτόν τον τρόπο, η εργασία αποσκοπεί να καταδείξει τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την προσθήκη ΑΠΕ και αποθήκευσης, ενισχύοντας την ενεργειακή αυτονομία του νησιού και συμβάλλοντας στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Η διπλωματική εργασία οργανώνεται ως εξής:

- ✧ Στο κεφάλαιο 2, αναλύεται η έννοια της ενέργειας και η αξιοποίησή της από την αρχαιότητα ως σήμερα. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, η διπλωματική εστιάζει στις ενεργειακές συνθήκες που επικρατούν στην Ευρώπη, στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στα Ελληνικά νησιά και τους στόχους της Ε.Ε. (Ευρωπαϊκής Ένωσης) στον τομέα της ενέργειας. Ακόμη, βασική έννοια που αναλύεται σε αυτό το κεφάλαιο είναι οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας και τελευταία τα υβριδικά συστήματα.
- ✧ Στο κεφάλαιο 3, αναλύεται η βασική δομή και λειτουργία των στοιχείων του υβριδικού συστήματος δηλαδή οι τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, συστήματα αποθήκευσης, ηλεκτρονικά ισχύος)
- ✧ Στο κεφάλαιο 4, γενικά στοιχεία του νησιού της Τήλου αναγράφονται και στη συνέχεια του κεφαλαίου η διπλωματική αναλύει την ενεργειακή κατάσταση του νησιού ως προς τη ζήτηση της ενέργειας και ως προς το υφιστάμενο υβριδικό σύστημα του νησιού.
- ✧ Στο κεφάλαιο 5, εκτελείται το βασικό κομμάτι της διπλωματικής το οποίο είναι η τεχνοοικονομική μελέτη στο λογισμικό Homer Pro. Αρχικά, εισάγονται στο λογισμικό δεδομένα για το φορτίο, το κλίμα και τα βασικά στοιχεία που θα στελεχώσουν το νέο βέλτιστο υβριδικό σύστημα και οικονομικά και περιβαλλοντικά δεδομένα. Μετά γίνεται η προσομοίωση και αναλύονται τα αποτελέσματα της που περιγράφουν πολλά σενάρια με διαφορετικές διαμορφώσεις των στοιχείων του συστήματος. Έπειτα, επιλέγεται το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα, με βάση το χαμηλό καθαρό κόστος, την χαμηλή κατανάλωση καυσίμου και την υψηλή διείσδυση ΑΠΕ, το οποίο και αναλύεται ως προς κάθε στοιχείο που το αποτελεί. Τελικώς, συγκρίνεται το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα με το υφιστάμενο της Τήλου, ώστε να αξιολογηθεί η νέα επένδυση.
- ✧ Στο κεφάλαιο 6, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της διπλωματικής και τα συμπεράσματα που προκύπτουν, επιβεβαιώνοντας την συνεισφορά της και προτείνοντας ιδέες μελλοντικές κατευθύνσεις επέκτασης της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 Ορισμός και μορφές

Ενέργεια ορίζεται ως το ποσό του έργου που μπορεί να παράγει ένα σώμα ή σύστημα και ως κύρια μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το τζάουλ (J). Ισχύει ότι: $J = N \cdot m$ δηλαδή 1 τζάουλ=1 Νιούτον * 1 Μέτρο [1].

Σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο της ΑΔΕ (Αρχή Διατήρησης Ενέργειας), η ενέργεια ούτε παράγεται ούτε καταστρέφεται παρά μόνο αλλάζει μορφή [2], είτε λόγω φυσικών παραγόντων είτε λόγω ανθρώπινης παρέμβασης. Οι διάφορες μορφές που παίρνει η ενέργεια είναι οι εξής [3]:

- I. Κινητική ενέργεια: Η ενέργεια που έχει ένα σώμα όταν κινείται και παράγει έργο.
- II. Δυναμική ενέργεια: Η ενέργεια που έχει ένα σώμα λόγω θέσης και η ικανότητα του να παράγει έργο όταν βρίσκεται σε ένα πεδίο δυνάμεων.
- III. Πυρηνική ενέργεια ή Ατομική ενέργεια: Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την σχάση των πυρήνων των ατόμων.
- IV. Θερμική ενέργεια: Η ενέργεια που παράγεται κατά την κίνηση ή σύγκρουση των σωματιδίων στο εσωτερικό των σωμάτων, η οποία μεταφέρεται από το σώμα με την μεγαλύτερη θερμοκρασία σε αυτό με την μικρότερη.
- V. Ηλεκτρική ενέργεια: Οφείλεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων, λόγω διαφοράς δυναμικού ή τάσης στα άκρα ενός αγωγού.
- VI. Χημική ενέργεια: Είναι το σύνολο της δυναμικής ενέργειας που αξιοποιείται για την δημιουργία μορίων χημικών ουσιών από διάφορα άτομα λόγω αλληλεπιδράσεων ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων.

Τέλος, η ενέργεια κατατάσσεται ανάλογα με τις πηγές που χρησιμοποιούμε για να την αποκτήσουμε σε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ), που προέρχεται από φυσικούς πόρους που είναι σε αφθονία στη φύση και θα αναλύσουμε στο υποκεφάλαιο 2.4, και σε μη ανανεώσιμη ή αλλιώς συμβατική που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα τα οποία διακρίνονται σε στερεά, υγρά και αέρια.

2.2 Ιστορική αναδρομή

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο είδαμε πώς ορίζουμε την ενέργεια και τις διάφορες μορφές της, ποια είναι η σημασία της όμως στην ζωή μας ανά τα χρόνια; Από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα η ενέργεια συνοδεύει τον άνθρωπο βοηθώντας τον στην εξέλιξη του και στην βελτίωση της ποιότητας ζωής του. Από τις πρώτες χρήσεις της, ήταν η φωτιά που ο άνθρωπος την χρησιμοποιούσε για θέρμανση, φωτισμό και μαγείρεμα, η αιολική ενέργεια που χρησιμοποιούνταν για την κίνηση των πλοίων και την άλεση των δημητριακών και η ενέργεια των ποταμών για την άρδευση και για την άλεση των σπόρων [1].

Πιο μετά, στον Μεσαίωνα, η χρήση της ενέργειας παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα και η κύρια αξιοποίηση της γινόταν μέσω των νερόμυλων και των ανεμόμυλων για την παραγωγή αλευριού και την άντληση νερού (Εικόνες 2.1 και 2.2).

Τον 17ο αιώνα ο άνθρωπος ανακαλύπτει τον άνθρακα και τον αξιοποιεί ώστε να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες. Τεράστια αλλαγή στην χρήση της ενέργειας, επέφερε η ανακάλυψη της ατμομηχανής κατά την βιομηχανική επανάσταση τον 18ο με 19ο αιώνα με την εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), που οδήγησαν σε πολλά τεχνολογικά επιτεύγματα .

Τον 20ο αιώνα, η ηλεκτρική ενέργεια αποτελούσε την κύρια μορφή ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του ανθρώπου, οι οποίες είχαν αυξηθεί κατακόρυφα . Αυτό οδήγησε στην υπέρμετρη χρήση ορυκτών καυσίμων κάτι το οποίο δημιούργησε σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή και η ατμοσφαιρική ρύπανση στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Έτσι, φτάνουμε στις μέρες μας, τον 21ο αιώνα, όπου έχουμε κάνει στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακή ενέργεια και η αιολική ενέργεια που είναι φιλικές προς το περιβάλλον και ανεξάντλητες σε αντίθεση με τα συμβατικά καύσιμα που τα αποθέματα τους μειώνονται δραματικά (Σχήμα 2.1).



Εικόνα 2.1: Ανεμόμυλος [4]



Εικόνα 2.2: Νερόμυλος [4]

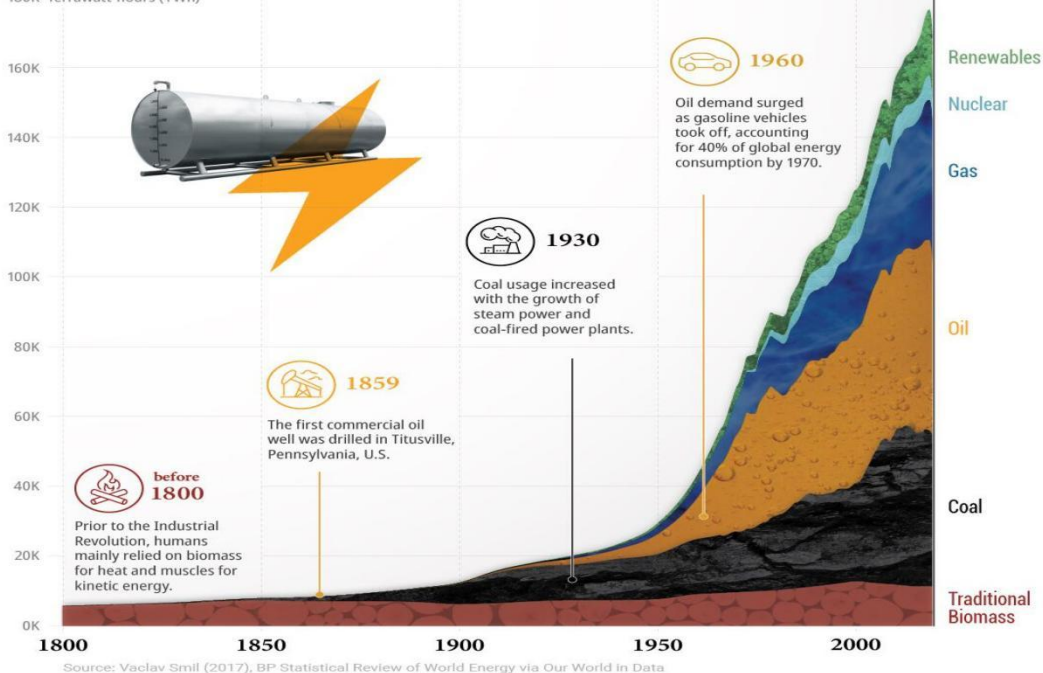
THE HISTORY OF Energy Transitions

The economic and technological advances over the last 200 years have transformed how we produce and consume energy.

Here's how the global energy mix has evolved since 1800.

Global Primary Energy Consumption by Source 1800-2020

180K Terrawatt-hours (TWh)



Σχήμα 2.1: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά πηγή διαχρονικά [5]

2.3 Ενέργεια στην Ευρώπη και στην Ελλάδα σήμερα και ο στόχος για το μέλλον

2.3.1 Ενέργεια στην Ευρώπη

Μετά από έναν αιώνα υπερβολικής χρήσης συμβατικών καυσίμων, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, που οδήγησε σε περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα, γεωπολιτικές συγκρούσεις μεταξύ των κρατών, στη μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, και σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή που απειλεί ολόκληρο τον πλανήτη, οι Διεθνείς οργανισμοί και φορείς ενώθηκαν, λαμβάνοντας σοβαρές αποφάσεις. Πιο συγκεκριμένα, υπογράφηκαν συμφωνίες μεταξύ

των κρατών όπως το <<Πρωτόκολλο του Κιότο>> το 2005 και η <<Συνθήκη της Λισαβόνας>> 2007 για να αντιμετωπιστεί η κλιματική αλλαγή που στόχευαν στην μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%, αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από ΑΠΕ κατά 20% και στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%, σε σύγκριση με το 1990 που θα έπρεπε να γίνουν πραγματικότητα μέχρι το 2030 [6][7].

Αυτοί οι στόχοι ανανεώθηκαν από την Ε.Ε η οποία, με την <<Πράσινη συμφωνία>> το 2019, ανέβασε τον πήχη και έβαλε πιο ψηλούς στόχους στα 27 κράτη μέλη της. Συγκεκριμένα η συμφωνία στοχεύει στα εξής [8]:

- ✧ Μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2050.
- ✧ Με το σχέδιο fit for 55 στη μείωση κατά 55% των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.
- ✧ Με το σχέδιο REPowerEU στην αύξηση του ποσοστού της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στο 42.5% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 και στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης στο 11.7%.

Για να επιτευχθούν οι στόχοι της Πράσινης συμφωνίας έχουν τεθεί προτάσεις που αφορούν την μείωση των εκπομπών σε ευρύ φάσμα των τομέων [8]:

- ✧ Επενδύσεις σε καθαρές μεταφορές: Μείωση των εκπομπών αερίων των αυτοκινήτων κατά 55% μέχρι το 2030 και μηδενικές εκπομπές μέχρι το 2035 στα καινούργια αυτοκίνητα και 50% μείωση στα ημιφορτηγά μέχρι το 2035.
- ✧ Μείωση εκπομπών άνθρακα με τιμολόγηση άνθρακα και ανώτατο ετήσιο όριο εκπομπής ώστε τα κράτη μέλη να παράγουν έσοδα που θα μπορούν να επενδύσουν στην πράσινη ενέργεια.
- ✧ Μετάβαση σε καθαρότερα καύσιμα στη θάλασσα.
- ✧ Αναθεώρηση των δικαιωμάτων εκπομπών στις αερομεταφορές.
- ✧ Στροφή στις ΑΠΕ και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Έτσι τον 21ο αιώνα έπειτα από συνεχή αγώνα για ανεξαρτητοποίηση από τα ορυκτά καύσιμα, η χρήση των ΑΠΕ είναι πλέον βασικός στόχος όλων των κρατών της Ευρώπης, και έπειτα από πρόσφατα στατιστικά αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ενέργειας, ακολουθούμενες από τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια (Εικόνα 2.3).

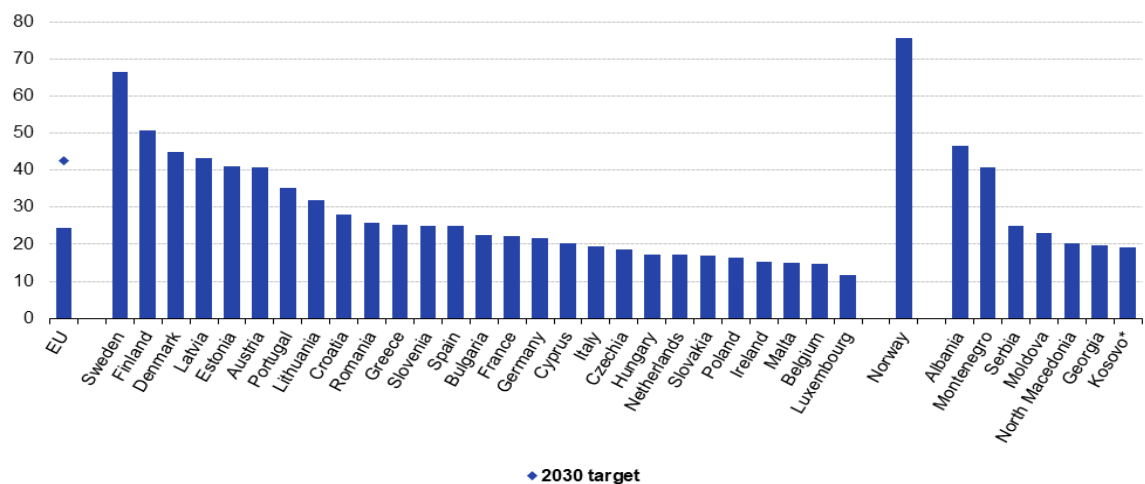
Αναλυτικότερα, το 2023 η Ε.Ε. παράγαγε 2.572TWh (τεραβατώρες) ηλεκτρικής ενέργειας. Το 45.4% της ενέργειας αυτής παρήχθη από ανανεώσιμες πηγές, (18,5% αιολική ενέργεια, 13,5% υδροηλεκτρική, 9,1% ηλιακή, 4,1% βιομάζα, 0,2% γεωθερμική), το 31,7% από ορυκτά καύσιμα (Αέριο 17%, άνθρακας 11,7%, πετρέλαιο 1,4%, λοιπά 1,6%) και το 22,8% από πυρηνική ενέργεια (Σχήμα 2.2)[9].

Στη συνέχεια, η κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ έχει τριπλασιαστεί σε σύγκριση με το 2004 (Εικόνα 2.4) και αναμένεται να αυξηθεί ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της Ε.Ε μέσω της πράσινης συμφωνίας μέχρι το 2030 (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.2: Πηγές παραγωγής ενέργειας [9]

Share of energy from renewable sources, 2023 (%)



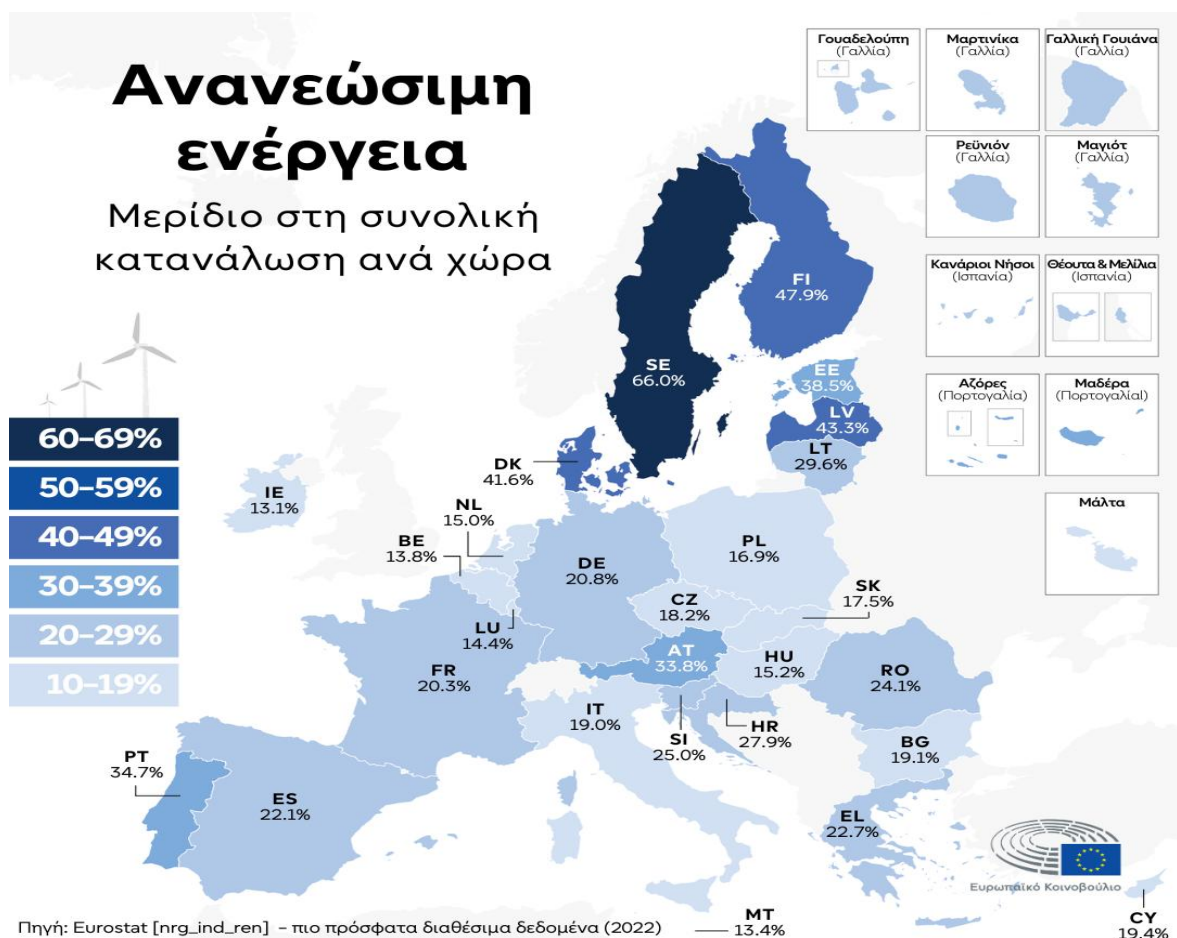
◆ 2030 target

* This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.
Source: Eurostat (online data code: nrg_ind_ren)

eurostat

Σχήμα 2.3: Κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ ανά χώρα το 2023 και ο στόχος για το 2030

[10]



Εικόνα 2.3: Ποσοστό συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης από ΑΠΕ ανά χώρα 2023 [8]

2.3.2 Ενέργεια στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα άρχισαν να εμφανίζονται εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ισχύος το 1889 στην Αθήνα από την γενική εταιρεία εργοληψιών κατασκευάζοντας την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος [11]. Μέχρι και την ίδρυση της ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού) το 1950, 400 περίπου επιχειρήσεις εξυπηρετούσαν σχεδόν ισάριθμες πόλεις και κωμοπόλεις, με μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής να προερχόταν από λιγνίτη, μετά από υδροηλεκτρικά εργοστάσια και τέλος από το πετρέλαιο και το απόσταγμα του.

Η παραγωγή ενέργειας αυξανόταν με ταχείς ρυθμούς, φτάνοντας σε αύξηση 420% μεταξύ της δεκαετίας (1956-66) [11]. Η κύρια πηγή παραγωγής ενέργειας, μέχρι και τα τέλη του 20αιώνα, στη χώρα μας αλλά και παγκοσμίως, ήταν τα ορυκτά καύσιμα, ωστόσο, αυτό έχει αλλάξει προς το καλύτερο και η στροφή σε βιώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον ήταν και είναι αναγκαία. Πέρα όμως, από τους περιβαλλοντικούς λόγους, οι ΑΠΕ, όπως θα δούμε και στο υποκεφάλαιο 2.4, αποτελούν την ιδανική λύση για το μέλλον μιας χώρας, λόγω του κόστους παραγωγής τους που είναι χαμηλό αλλά και γιατί δεν απαιτούν πρωτογενή υλικά για να λειτουργήσουν.

Η Ελλάδα έχει κάνει πολλά θετικά βήματα προς αυτήν την ενεργειακή μετάβαση, επωφελούμενη από την γεωγραφική θέση της και το κλίμα της και πλέον από το 2023 πάνω από το 50% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έρχεται από ΑΠΕ, μειώνοντας έτσι, την εξάρτησή της από τον λιγνίτη και φυσικό αέριο. Το ποσοστό αυτό είναι διπλάσιο σε σύγκριση με το 2013 που τότε το 75% της παραγόμενης ενέργειας ερχόταν από ορυκτά καύσιμα. Στόχος της Ελλάδας είναι να φτάσει αυτό το ποσοστό στο 80% το 2030.

Πιο συγκεκριμένα, η ετήσια παραγωγή ενέργειας από το 2018 μέχρι το 2023, έχει σημαντική αύξηση και συμμετοχή των ΑΠΕ και όπως και μείωση του λιγνίτη (Σχήμα 2.4) [12]:

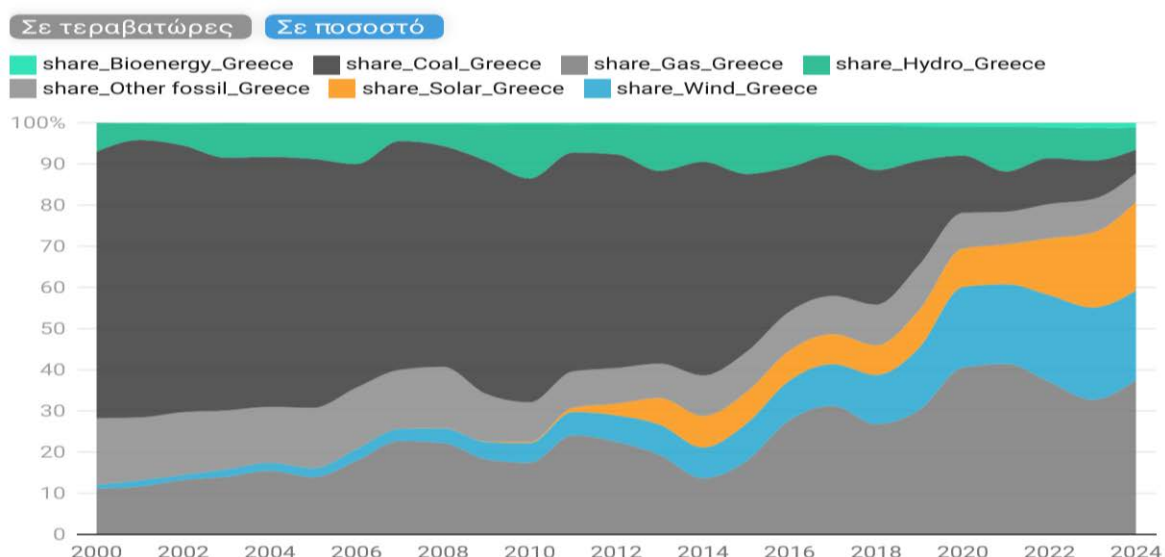
- ✧ Ηλιακή ενέργεια: 19% της συνολικής παραγωγής, 9,39 τεραβατώρες από 3,79 το 2018.
- ✧ Αιολική ενέργεια: 22% της συνολικής παραγωγής, 10,91 τεραβατώρες από 6,3 το 2018.
- ✧ Υδροηλεκτρική ενέργεια: 7,8% της συνολικής παραγωγής, 3,87 τεραβατώρες.

- ✧ Λιγνίτης: 9,6% της συνολικής παραγωγής, 4,7 τεραβατώρες από 17,19 το 2018.
- ✧ Φυσικό αέριο: 31,6% της συνολικής παραγωγής, 15,6 τεραβατώρες από 14,09 το 2018.

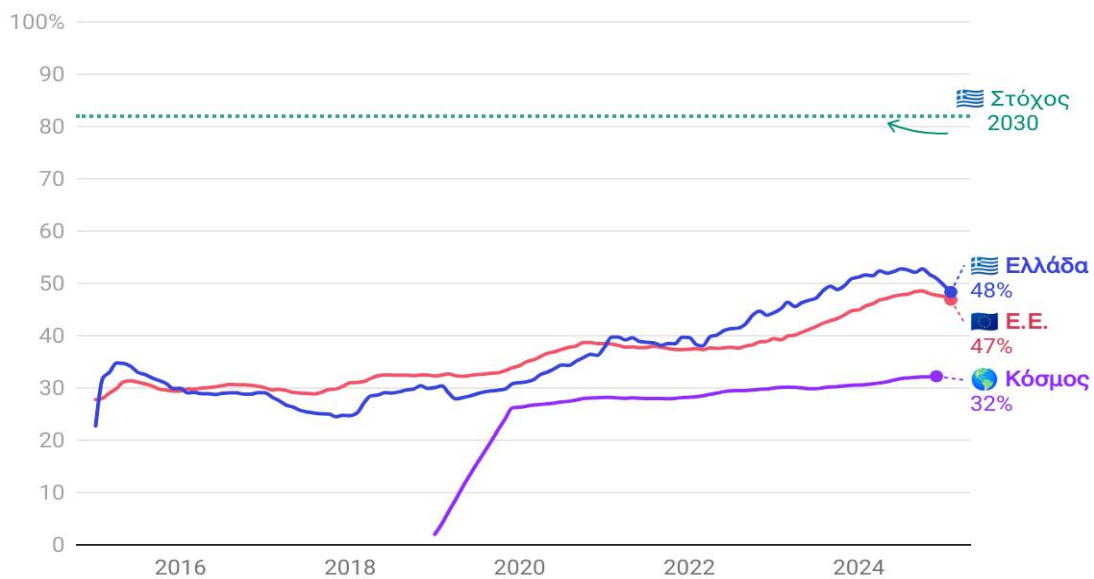
Η χώρα μας παρουσιάζει έναν από τους ταχύτερους ρυθμούς ανάπτυξης των ΑΠΕ στην Ε.Ε. (Σχήμα 2.5). Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει αυξήσει την παραγωγική ισχύ κατά 2,5 φορές από το 2008, με τη χώρα να διαθέτει πλέον τη δυνατότητα παραγωγής 7GW ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια (Σχήμα 2.6). Αναλυτικότερα, το 2024 κατείχε την 3η θέση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά 21,5%, πίσω μόνο από Λουξεμβούργο και Ουγγαρία και πολύ πάνω από τον μέσο όρο της ΕΕ 12%.

Παράλληλα, η Ελλάδα βρίσκεται σε υψηλή θέση στην παραγωγή ηλεκτρισμού από ανεμογεννήτριες καθώς παράγει το 22% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια, παράγοντας 5,2GW και αύξηση 80% σε σχέση με το 2018. Με αυτόν τον τρόπο η παραγωγή ενέργειας από λιγνίτη μειώθηκε 35% τα τελευταία 5 χρόνια [12].

Ωστόσο, καταλαμβάνουμε 4η θέση στην παραγωγή ενέργειας από φυσικό αέριο με ποσοστό 37,5% , πίσω από την Μάλτα, την Ιρλανδία και την Ιταλία και εξαιτίας αυτής της εξάρτησης, οι τιμές του ρεύματος είναι πολύ υψηλές [12].

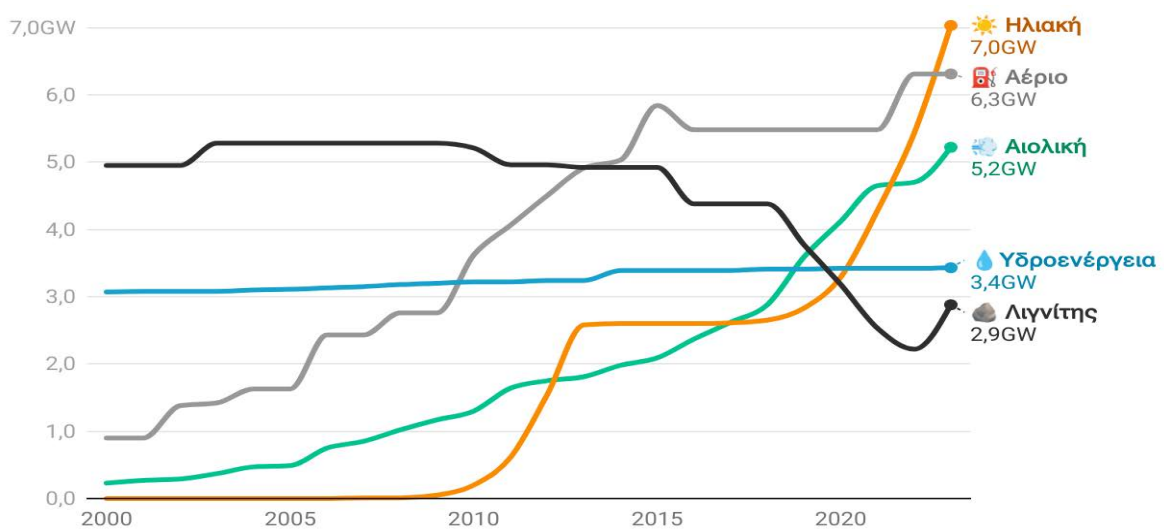


Σχήμα 2.4: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή [12]



Γράφημα: GreeceInFigures.com • Πηγή: Ember Climate • Δημιουργήθηκε με το Datawrapper

Σχήμα 2.5: Παραγωγή από ΑΠΕ και Ελληνικός στόχος για το 2030 [12]



Γράφημα: GreeceInFigures.com • Πηγή: Ember Climate • Δημιουργήθηκε με το Datawrapper

Σχήμα 2.6: Εγκατεστημένη παραγωγική ισχύς ανά πηγή ενέργειας σε (GW) [12]

Συνεπώς, η Ελλάδα με το ΕΣΕΚ (Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα) στοχεύει σε μετασχηματισμό του ενεργειακού τομέα, ακολουθώντας τις επιδιώξεις της ΕΕ, ώστε να οδηγηθούμε σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 προς όφελος της κοινωνίας και του περιβάλλοντος. Η Γενική στρατηγική της Ευρώπης, που είναι συνδεδεμένο και το ΕΣΕΚ, για την ενέργεια και το κλίμα προωθεί [13]:

- ✧ Ασφάλεια Ενεργειακού Εφοδιασμού: Ασφάλεια στον ενεργειακό εφοδιασμό από τις υπάρχουσες και τις νέες πηγές τροφοδοσίας από την Ανατολική Μεσόγειο και την Κεντρική Ασία, επηρεάζοντας θετικά την Ελλάδα που θεωρείται η ενεργειακή πύλη της Ευρώπης.
- ✧ Βιώσιμη αγορά ενέργειας: προσβλέπει στην ανάπτυξη ανταγωνιστικών και οικονομικά βιώσιμων αγορών ενέργειας μέσω νέων ενεργειακών τεχνολογιών στην αγορά, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας των χωρών και της χώρα μας.
- ✧ Χαμηλή ένταση άνθρακα στην οικονομία: Σημαντική αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στον τομέα διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα, παράλληλα μείωση της χρήσης του λιγνίτη και τελικά εξαλείφοντάς τον, βοηθώντας με συνεχή χρηματοδότηση τις περιοχές που έχουν υψηλή εξάρτηση από αυτόν όπως η Ελλάδα.
- ✧ Νέο χωρικό σχεδιασμό: Λόγω συνεχής αστικοποίησης τα τελευταία χρόνια, στοχεύει σε ριζική αναδόμηση του τρόπου λειτουργίας των πόλεων ώστε να υπάρξει βελτίωση του ενεργειακού και κλιματικού αποτυπώματος.
- ✧ Βιοκλιματικό, πολεοδομικό και αστικό σχεδιασμό: Εναρμόνιση των όγκων των κτιρίων, των δρόμων, του δημοσίου χώρου και των λοιπών χώρων των αστικών περιοχών με το τοπικό κλίμα με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής.
- ✧ Ενεργειακή απόδοση: Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης σε όλους τους τομείς της κατανάλωσης και πιο συγκεκριμένα:
 1. Των κτιρίων, που αποτελούν το 40% της κατανάλωσης ενέργειας, με ανακαίνιση και εκσυγχρονισμό τους.
 2. Της κινητικότητας στα αστικά στρώματα προωθώντας μετακινήσεις φιλικές προς το περιβάλλον όπως η χρήση ποδηλάτου ή το περπάτημα με σκοπό την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, του θορύβου, της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των τροχαίων.
 3. Των μεταφορών, μέσω διείσδυσης μέσων μεταφοράς που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια.
- ✧ Την Έρευνα και την καινοτομία: Τα ερευνητικά ιδρύματα καλούνται να δημιουργήσουν διεθνείς συνεργασίες με θεσμούς και κράτη, αφήνοντας πίσω την αποκλειστική συμμετοχή σε επιχορηγούμενα προγράμματα.

Η Ελληνική κυβέρνηση θέλει να χρησιμοποιήσει το ΕΣΕΚ ως το εργαλείο διαμόρφωσης ενός πλάνου για την Ενέργεια και το Κλίμα, δεσμευόμενη στην ΕΕ και θέτοντας ενδιάμεσους ποσοτικούς στόχους μέχρι το 2030, με τελικό στόχο μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία το 2050.

Αναδιαμορφώνοντας το αρχικό σχέδιο ΕΣΕΚ του 2018 η Ελληνική κυβέρνηση το 2023 περνάει σε μια νέα πολιτική για την Ενέργεια και το Κλίμα υλοποιώντας κοινωνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά αποδοτικότερα μέτρα που θα συντελέσουν επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων (Σχήμα 2.7). Κάποιοι από του αυτούς είναι η μεγαλύτερη εισχώρηση ΑΠΕ στην εγχώρια ηλεκτροπαραγωγή, η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης κυρίως στον κτιριακό τομέα, η απολιγνητοποίηση και μέχρι το 2029 η ενεργειακή απομόνωση των νησιών μας και αν δεν είναι εύκολη η άμεση διασύνδεσή τους με το ηπειρωτικό σύστημα, στόχος είναι να λειτουργούν με αυτόνομα υβριδικά συστήματα όπως θα μελετήσουμε στη συνέχεια. Στον Πίνακα 2.1 βλέπουμε συνοπτικά τις ποσότητες του τελικού σχεδίου ΕΣΕΚ σε σχέση με το αρχικό όσο και με τους αντίστοιχο της ΕΕ και στον Πίνακα 2.2 το τελικό σχέδιο ΕΣΕΚ του ενεργειακού συστήματος.

Πίνακας 2.1: Σύνοψη εθνικών στόχων ΕΣΕΚ [13]

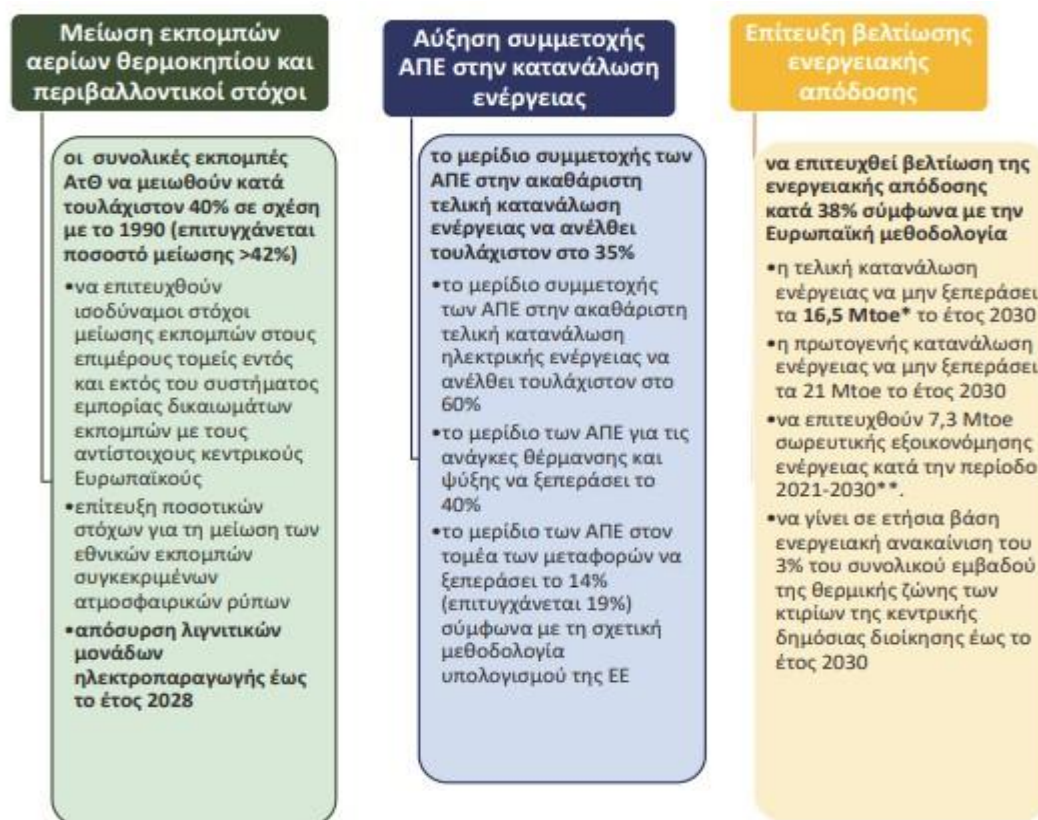
Έτος στόχου: 2030	Τελικό ΕΣΕΚ	Αρχικό σχέδιο ΕΣΕΚ	νέοι Στόχοι ΕΣΕΚ σε σχέση με στόχους Ευρωπαϊκής Ένωσης
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	≥35%	31%	Αυξημένος βαθμός φιλοδοξίας σε σχέση με Ευρωπαϊκό κεντρικό στόχο 32% ΕΕ
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας	≈61-64%	56%	
Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	≈16,1-16,5 Mtoe (≥38% σε σχέση με προβλέψεις 2007)	18,1 Mtoe (32%) (αναφερόταν σε 17,3 Mtoe χωρίς θερμότητα περιβάλλοντος)	Αυξημένος βαθμός φιλοδοξίας σε σχέση με Ευρωπαϊκό κεντρικό στόχο 32.5% και επίτευξη στόχου βάσει νέου δείκτη ΕΕ για μείωση κατανάλωσης σε σχέση με το έτος 2017
Μερίδιο Λιγνίτη στην Ηλεκτροπαραγωγή	0%	16,5%	
Μείωση ΑτΘ	≥42% vs σε σχέση με 1990, ≥56% σε σχέση με 2005	33% σε σχέση με 1990, 49% σε σχέση με 2005	Σε ταύτιση με κεντρικούς Ευρωπαϊκούς στόχους και υπεραπόδοση σε σχέση με εθνικές δεσμεύσεις στους τομείς εκτός ΣΕΔΕ

Πίνακας 2.2: Εθνικό Σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα για το 2030 [13]

Συγκριτικός πίνακας	Αρχικό ΕΣΕΚ	Τελικό ΕΣΕΚ
Βασικοί δείκτες		
Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (MtCO ₂ eq)	71	60,6
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας [%]	31%	35%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Θέρμανση και Ψύξη [%]	32%	43%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρικής ενέργειας [%]	56%	61%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Μεταφορές [%]	20%	19%
Παραγωγικότητα Ενέργειας [εκατ. € '10/ktoe]	9,98	11,03
Κατανάλωση Ενέργειας		
Ακαθάριστη Εγχώρια Κατανάλωση	23,02	22,19
Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας [Mtoe]	22,26	20,55
Τελική κατανάλωση ενέργειας [Mtoe]	18,04	17,38
Τελική κατανάλωση ενέργειας (χωρίς θερμότητα περιβάλλοντος) [Mtoe]	17,32	16,51
Τομέας ηλεκτροπαραγωγής		
Εγκατεστημένη Ισχύς [GW]		
Λιγνίτης	2,70	0,00
Φ. Αέριο	5,40	6,91
Αιολικά	6,60	7,05
Φ/Β	6,80	7,66
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή	17,70	19,03
Ακαθάριστη Ηλεκτροπαραγωγή [TWh]	57,37	57,93
Καθαρή Ηλεκτροπαραγωγή [TWh]	55,56	57,22
Λιγνίτης	9,03	0,00
Πετρελαϊκά	1,54	0,83 ⁵
Φ. Αέριο	10,26	18,30
Βιοενέργεια	1,74	1,58
Υ/Η	6,27	6,60
Αιολικά	15,51	17,21

Αφορά σχεδόν αποκλειστικά ηλεκτροπαραγωγή του ενεργειακού τομέα και συγκεκριμένα σε διυλιστήρια

Φ/Β	10,34	11,82
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	0,26	0,26
Γεωθερμία	0,63	0,63
Καθαρή Ηλεκτροπαραγωγή από Ορυκτά καύσιμα [TWh]	20,80	19,13
Καθαρές εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας [TWh]	4,16	4,58
Συνολική διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας [TWh] ⁶	59,72	61,80
Τελική Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [TWh]	54,32	56,4
Κτιριακός τομέας		
Συνολικός αριθμός ανακαίνισης κατοικιών έως το έτος 2030	400.000	600.000



*χωρίς να συνυπολογιστεί η συνεισφορά της θερμότητας περιβάλλοντος

**Ο στόχος έχει υπολογιστεί βάσει των απολογιστικών στοιχείων τελικής κατανάλωσης ενέργειας των ετών 2016 – 2017 και των προσωρινών για το έτος 2018

Σχήμα 2.7: Εθνικό Σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα για το 2030 [13]

2.3.3 Ενέργεια στα Ελληνικά Νησιά

Η Ελλάδα έχει 6000 νησιά, νησίδες και βραχονησίδες. Από αυτά τα νησιά, κατοικούνται τα 227 και μόνο τα 79 από αυτά έχουν πληθυσμό πάνω από 100 κατοίκους [1]. Πως όμως, παράγεται η ενέργεια σε όλα αυτά τα νησιά ;

Τα νησιά που βρίσκονται κοντά στην ηπειρωτική χώρα τροφοδοτούνται με ενέργεια από το ηπειρωτικό δίκτυο διανομής ενέργειας ενώ το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας των υπόλοιπων μη διασυνδεδεμένων νησιών (ΜΔΝ), δεν συνδέεται με το δίκτυο μεταφοράς ή διανομής της ηπειρωτικής χώρας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας στα ΜΔΝ παράγεται από μηχανές diesel που είναι επιβλαβής προς το περιβάλλον και έχουν μεγάλο κόστος λειτουργίας, κάτι το οποίο αρχίζει να αλλάζει

δραστικά εφόσον υπάρχουν ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες για ενσωμάτωση ΑΠΕ και υβριδικών συστημάτων που είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Υπεύθυνος για την διαχείριση των ηλεκτρικών συστημάτων των ΜΔΝ είναι η ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής Ηλεκτρικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) ακολουθώντας τον <<κώδικα διαχείρισης ηλεκτρικών συστημάτων Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών>>. Η ΔΕΔΔΗΕ διαχειρίζεται την παραγωγή ενέργειας, προγραμματίζει την ανάπτυξη παραγωγής, λειτουργεί και εκκαθαρίζει την αγορά και διεκπεραιώνει τις συναλλαγές με την Αγορά ΜΔΝ [14].

Ο τρόπος ηλεκτροδότησης των ΜΔΝ στη χώρα μας άλλαξε σημαντικά το Μάρτιο του 2018, σε σχέση με την προηγούμενη δεκαετία, με την Α φάση διασύνδεση των Κυκλάδων (Σύρος, Μύκονος, Πάρος, Νάξος) με το ηπειρωτικό σύστημα και με την Β και Γ φάση διασύνδεσης των Κυκλάδων που διασφαλίστηκε περισσότερο η αξιοπιστία και σταθερότητα ηλεκτροδότησης τους [15].

Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας των ΜΔΝ αποτελείται από 29 αυτόνομα συστήματα (Πίνακας 2.3) [16]:

- ✧ 19 μικρά αυτόνομα συστήματα με αιχμή ζήτησης έως 10MW.
- ✧ 8 μεσαίου μεγέθους αυτόνομα συστήματα με αιχμή ζήτησης από 10MW μέχρι 100 MW.
- ✧ 2 μεγάλα αυτόνομα συστήματα (Κρήτη και Ρόδος) με αιχμή ζήτησης άνω των 100 MW.

Παρόλο που υπάρχουν πολύ καλές προοπτικές στα ΜΔΝ για εισχώρηση των ΑΠΕ με τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και το πολύ καλό αιολικό δυναμικό επικρατούν και ορισμένες σοβαρές προκλήσεις:

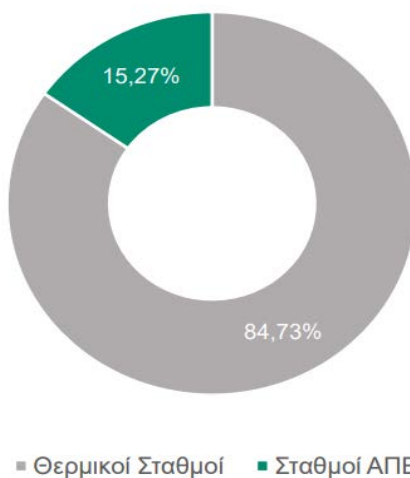
- ✧ Γερασμένο παραγωγικό δυναμικό και προκαθορισμένη σύνθεση και μέγεθος μονάδων παραγωγής.
- ✧ Εποχικό φορτίο με μεγάλη διακύμανση ελάχιστου φορτίου και φορτίου αιχμής.
- ✧ Τεχνικές και συμβατικές ιδιαιτερότητες.
- ✧ Συνεχώς μεταβαλλόμενο θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο.

Σήμερα, η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής στα ΜΔΝ έρχεται από 30 θερμικούς σταθμούς (933MW), 691 σταθμούς ΑΠΕ (162,7MW), εκ των οποίων 53 αιολικοί σταθμοί (108,6MW), 641 ΦΒ σταθμοί (51,46MW) και 2 υβριδικούς σταθμούς (2,95MW) και από

αυτοπαραγωγούς (5,84MW) εκ των οποίων 959 ΦΒ στέγης (4,67MW) και 106 ΦΒ net metering (1,17MW) (Σχήματα 2.8 και 2.9).

Πίνακας 2.3: Λίστα ηλεκτρικών συστημάτων στα ΜΔΝ [16]

Ηλεκτρικό Σύστημα ΜΔΝ	Νησί	Ηλεκτρικό Σύστημα ΜΔΝ	Νησί
ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	ΛΕΣΒΟΣ	ΛΕΣΒΟΣ
ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	ΜΕΓΑΛΟΝΗΣΙ	ΜΕΓΑΛΟΝΗΣΙ
ΑΜΟΡΓΟΣ	ΑΜΟΡΓΟΣ	ΛΗΜΝΟΣ	ΛΗΜΝΟΣ
ΑΝΑΦΗ	ΑΝΑΦΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	ΜΗΛΟΣ	ΜΗΛΟΣ
ΑΡΚΙΟΙ	ΑΡΚΙΟΙ	ΚΙΜΩΛΟΣ	ΚΙΜΩΛΟΣ
	ΜΑΡΑΘΙ	ΟΘΩΝΟΙ	ΟΘΩΝΟΙ
ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	ΠΑΤΜΟΣ	ΠΑΤΜΟΣ
ΓΑΥΔΟΣ	ΓΑΥΔΟΣ	ΡΟΔΟΣ	ΡΟΔΟΣ
ΔΟΝΟΥΣΑ	ΔΟΝΟΥΣΑ		ΧΑΛΚΗ
ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ	ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ	ΣΑΜΟΣ	ΣΑΜΟΣ
	ΘΗΡΑ		ΦΟΥΡΝΟΙ
ΘΗΡΑ	ΘΗΡΑΣΙΑ	ΣΕΡΙΦΟΣ	ΣΕΡΙΦΟΣ
ΙΚΑΡΙΑ	ΙΚΑΡΙΑ	ΣΙΦΝΟΣ	ΣΙΦΝΟΣ
ΚΑΡΠΑΘΟΣ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ
	ΚΑΣΟΣ	ΣΥΜΗ	ΣΥΜΗ
ΚΡΗΤΗ	ΚΡΗΤΗ		ΧΙΟΣ
ΚΥΘΝΟΣ	ΚΥΘΝΟΣ	ΧΙΟΣ	ΟΙΝΟΥΣΣΕΣ
			ΨΑΡΑ
			ΚΩΣ
			ΨΕΡΙΜΟΣ
			ΓΥΑΛΙ
			ΚΑΛΥΜΝΟΣ
		ΚΩΣ - ΚΑΛΥΜΝΟΣ	ΛΕΡΟΣ
			ΛΕΙΨΟΙ
			ΤΕΛΕΝΔΟΣ
			ΝΙΣΥΡΟΣ
			ΤΗΛΟΣ

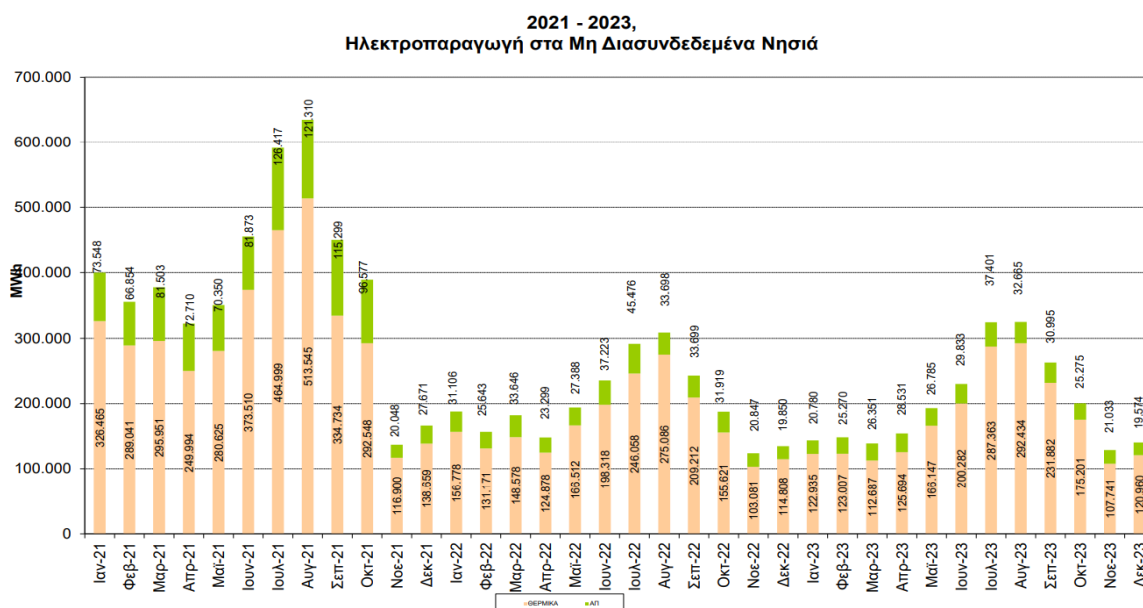


Σχήμα 2.8: Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής [14]

Η πράσινη μετάβαση λοιπόν, όπως θα δούμε και στην συνέχεια έπειτα από την τεχνοοικονομική μελέτη στο κεφάλαιο 5 με την χρήση υβριδικών σταθμών με ΑΠΕ και αποθήκευση είναι η καταλληλότερη για τα ΜΔΝ και σε οικονομικό και σε οικολογικό επίπεδο και βασικός στόχος για το ΕΣΕΚ για όσα νησιά δεν διασυνδεθούν μέχρι το 2030 με το ηπειρωτικό δίκτυο. Τέτοια καινοτόμα έργα είναι ο ΥΒΣ της Τήλου και λειτουργεί από το 2017 που θα μελετήσουμε στη συνέχεια, ο ΥΒΣ του Άγιου Ευστρατίου για αποθήκευση ενέργειας και τηλεθέρμανση που είναι υπό κατασκευή, το ειδικό πιλοτικό έργο Αстуπάλαιας που λειτουργεί πάνω από το 85%, το μικροδίκτυο της Κύθνου και το πιλοτικό έργο της Χάλκης που λειτουργεί στο 100% κάνοντας το νησί ενεργειακά αυτόνομο (Πίνακας 2.4).

Πίνακας 2.4: Καινοτόμα πράσινα έργα [14]

Ικαρία	Τήλος	Κύθνος	Άγιος Ευστράτιος	Αстуπάλαια	Χάλκη
Υβριδικός σταθμός Μικρό υδροηλεκτρικό & Αποθήκευση - Αιολικό	Υβριδικός σταθμός Φ/Β-Αιολικό Μπαταρίες	Μικροδίκτυο Φ/Β - μπαταρία (Diesel/backup)	Υβριδικός σταθμός Wind - PV – Battery District Heating Plant Δεξαμενές ζεστού νερού Δίκτυο τηλεθέρμανσης	Ηλεκτροκίνηση Φ/Β Σημεία φόρτισης Έξυπνη κινητικότητα	Ενεργειακή Κοινότητα Φ/Β Net-metering
Λειτουργεί	Λειτουργεί	Υπό κατασκ.	Υπό κατασκευή	Διαγωνισμός: Σε εξέλιξη	Λειτουργεί
30%	75%	100%	>85%	>85%	100%



Σχήμα 2.9: Ηλεκτροπαραγωγή στα ΜΔΝ (2021-2023) [17]

2.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

2.4.1 Ορισμός και μορφές

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή ήπιες μορφές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια ονομάζουμε τις μορφές ενέργειας που παράγονται από φυσικές διαδικασίες όπως ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία ή το νερό (Εικόνα 2.4) και αναπληρώνονται με φυσικό τρόπο με το πέρασμα του χρόνου. Ο όρος ανανεώσιμες αναφέρεται περισσότερο στο γεγονός ότι είναι εναλλακτικές μορφές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας όπως το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο [1]. Επιπρόσθετα, αναφέρονται ως ήπιες για 2 λόγους:

- ✧ Πρώτον, η εκμετάλλευσή τους δεν απαιτεί κάποια παρέμβαση στη ροή της φύσης, όπως οι μέχρι τώρα πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο που χρειάζεται εξόρυξη, άντληση και καύση.
- ✧ Και δεύτερον, είναι πράσινες ενέργειες δηλαδή φιλικές προς το περιβάλλον καθώς δεν αποβάλλουν διοξείδιο του άνθρακα και άλλες τοξικές προς το περιβάλλον ουσίες.

Ηλιακή ενέργεια	Αιολική ενέργεια	Θαλάσσια ενέργεια	Υδροηλεκτρική ενέργεια	Γεωθερμική ενέργεια	Βιοενέργεια
					
Πηγή: Ήλιος	Πηγή: Άνεμος	Πηγή: Κύματα, παλίρροιες	Πηγή: Ύδατα	Πηγή: Γη	Πηγή: Βιομάζα, απόβλητα
Τεχνολογίες: Φωτοβολταϊκά, ηλιακή θερμική ενέργεια	Τεχνολογίες: Ανεμογεννήτριες	Τεχνολογίες: Φράγματα, παλιρροϊκά φράγματα	Τεχνολογίες: Υδροηλεκτρικοί σταθμοί	Τεχνολογίες: Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και αντλίες θερμότητας	Τεχνολογίες: Καύση βιομάζας, μονάδες παραγωγής βιοαερίου, βιοκαύσιμα
Εφαρμογές: Ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη	Εφαρμογές: Ηλεκτρική ενέργεια	Εφαρμογές: Ηλεκτρική ενέργεια	Εφαρμογές: Ηλεκτρική ενέργεια	Εφαρμογές: Ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη	Εφαρμογές: Ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη, Μεταφορές

Εικόνα 2.4: Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας [18]

Πιο συγκεκριμένα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται, με τις οδηγίες του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, οι εξής:

- ✧ **Ηλιακή Ενέργεια:** Είναι το σύνολο των μορφών ενέργειάς που προέρχονται από τον ήλιο, άρα είναι και πρακτικά ανεξάντλητες, όπως το φως, η θερμότητα και η ηλιακή ακτινοβολία. Ανάλογα με ποιόν τρόπο αξιοποιούμε την ηλιακή ενέργεια την χωρίζουμε σε παθητικό ηλιακό σύστημα, σε ενεργητικό ηλιακό σύστημα και σε φωτοβολταϊκό ηλιακό σύστημα (Σχήμα 2.10). Τα παθητικά και ενεργητικά συστήματα χρησιμοποιούν την θερμότητα μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Σχήμα 2.10: Ηλεκτρική ενέργεια [1]

- ✧ **Αιολική ενέργεια:** Ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από την μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι ανέμους. Είναι ήπια, φιλική προς το περιβάλλον ενέργεια και ουσιαστικά ανεξάντλητη σε βαθμό που αν αξιοποιούνταν όλο το αιολικό δυναμικό της γης, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ένα χρόνο θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανθρώπινες ανάγκες για εκείνο το διάστημα [3]. Η Αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στην αρχαιότητα με τα πανιά των πρώτων ιστιοφόρων, μετά με τους ανεμόμυλους και πλέον με τις ανεμογεννήτριες (Εικόνα 2.5).



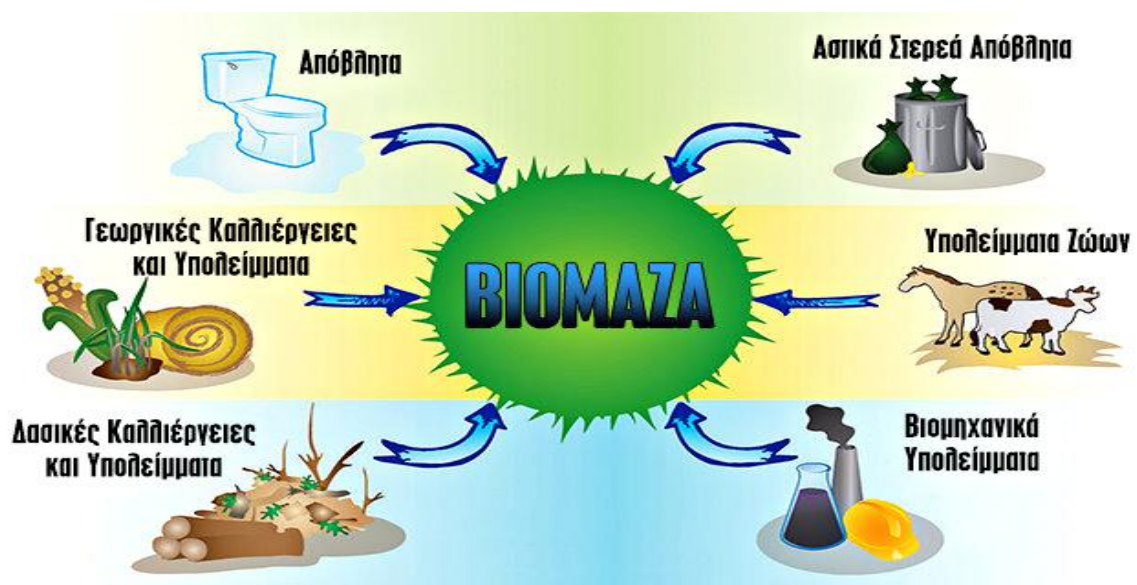
Εικόνα 2.5: Ανεμογεννήτριες [3]

- ✧ Υδροηλεκτρική ενέργεια: Είναι η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του κινούμενου νερού, όταν αυτό ρέει από υψηλό υψόμετρο σε χαμηλό και η δυναμική ενέργεια σε κινητική με κύριο σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (Εικόνα 2.6). Η υδροηλεκτρική ενέργεια παλιότερα αξιοποιούνταν με τους νερόμυλους κυρίως για άρδευση και λειτουργία κάποιων μηχανικών συσκευών και πλέον με τα υδροηλεκτρικά έργα (υδροταμιευτήρας, φράγμα, υδροστρόβιλος, κλειστός αγωγός πτώσεως, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) για παραγωγή ενέργειας. Η ενέργεια που παράγεται χωρίζεται σε υδροηλεκτρική ενέργεια μεγάλης και μικρής κλίμακας. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες μεγάλης κλίμακας απαιτούν την κατασκευή φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα ενώ τα μικρής κλίμακας κατασκευάζονται κοντά στα ποτάμια και σε κανάλια με αποτέλεσμα να δημιουργούν μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον [3]. Συνεπώς, η ύπαρξη περιοχών με πλούσιες πηγές και υδατοπτώσεις είναι απαραίτητες για να αξιοποιήσουμε την υδροηλεκτρική ενέργεια. Η υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα καλύπτει το 10% των ενεργειακών αναγκών.



Εικόνα 2.6: Υδραυλική ενέργεια [3]

- ✧ Βιομάζα: Είναι οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (ξύλο, προϊόντα δάσους, απόβλητα βιομηχανικών τροφών, κτηνοτροφικά υπολείμματα ή υπολείμματα καλλιεργειών) και χρησιμοποιείται ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας (Εικόνα 2.7). Τέτοια υλικά μπορεί να είναι στερεά, υγρά ή αέρια όπως τα πέλλετ ξύλου και το βιοντίζελ. Η ενέργεια της βιομάζας είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια αφού η ηλιακή ενέργεια που έχουν τα φυτά λόγω του ηλίου μετασχηματίζεται σε βιομάζα από αυτά μέσω της φωτοσύνθεσης.



Εικόνα 2.7: Βιομάζα [19]

- ✧ Ενέργεια από την θάλασσα: Χωρίζεται σε 3 είδη ενέργειας, την ενέργεια από τις παλίρροιες, την ενέργεια από τα κύματα και την ενέργεια από τους ωκεανούς. Η ενέργεια από τις παλίρροιες, ξεκίνησε να αξιοποιείται πολλά χρόνια πριν με την χρήση των νερόμυλων. Εκμεταλλεύεται την βαρύτητα της σελήνης και του ηλίου που ανυψώνει την στάθμη του νερού και όσο το νερό ανεβαίνει αποθηκεύεται και όταν κατεβαίνει περνάει από μια τουρμπίνα παράγοντας ηλεκτρισμό (Εικόνα 2.8) [1]. Τα πιο κατάλληλα μέρη για τέτοιες κατασκευές είναι οι στενές εκβολές των ποταμών, που τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας παγιδεύονται σε φράγματα και όταν ελευθερωθούν κινούν τον υδροστρόβιλο. Η ενέργεια από τα κύματα εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας περιστρέφοντας την τουρμπίνα (Εικόνα 2.8), παράγοντας ηλεκτρισμό και τέλος, η ενέργεια από τους ωκεανούς, εκμεταλλεύεται την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού που πρέπει να είναι τουλάχιστον $3,5^{\circ}\text{C}$, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων.



Εικόνα 2.8: Τουρμπίνες [3]

- ✧ Ωσμωτική ενέργεια: Είναι η ενέργεια που απελευθερώνεται με την ανάμειξη γλυκού και θαλασσινού νερού, που είναι αποτέλεσμα της αλλαγής εντροπίας από την διαφορά αλατότητας μεταξύ του νερού του ποταμού και της θάλασσας. Οι μέθοδοι για να μετατρέψουμε την ενέργεια αυτή σε ηλεκτρισμό είναι η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση και παρατεταμένη πίεση ώσμωση.

2.4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΑΠΕ

Η μετάβαση στις ΑΠΕ για ένα πιο βιώσιμο μέλλον πλέον αποτελεί αναγκαία και κατάλληλη λύση για κάθε κράτος αφού παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Τα βασικά πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα εξής [20]:

- ✧ Προστατεύουν το περιβάλλον: Οι ΑΠΕ, είναι πράσινες ενέργειες, φιλικές προς το περιβάλλον και δεν συμβάλλουν στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου ή άλλων ρύπων βοηθώντας έτσι και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.
- ✧ Αυξάνουν την ενεργειακή ασφάλεια: Η χρήση των ΑΠΕ ανεξαρτητοποιεί τα κράτη από τα συμβατικά καύσιμα, μειώνοντας τις εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου με αποτέλεσμα, η χώρα να είναι λιγότερη ευάλωτα σε διακυμάνσεις της τιμής των καυσίμων και σε πολιτικές αναταράξεις.
- ✧ Ανάπτυξη τοπικών περιοχών και νέων θέσεων εργασίας: Οι εγκαταστάσεις των ΑΠΕ, πολλές φορές δημιουργούνται σε απομακρυσμένες περιοχές, συμβάλλουν έτσι στην οικονομική ανάπτυξη αυτών των τόπων δημιουργώντας και νέες θέσεις εργασίας αφού απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για την συντήρηση και για την εγκατάστασή τους.
- ✧ Μακροπρόθεσμο κόστος: Μετά την αρχική επένδυση, έχουν μικρά λειτουργικά έξοδα.
- ✧ Είναι ανεξάντλητες: Οι ΑΠΕ βασίζονται σε ανεξάντλητες πηγές όπως ο ήλιος, ο άνεμος και το νερό.

Ωστόσο, παρά τα σημαντικά τους οφέλη οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και κάποια προβλήματα και τεχνικές προκλήσεις που πρέπει να προσέξουμε. Τα βασικά τους μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- ✧ Υψηλό κόστος κατασκευής και εγκατάστασης: Το κόστος της αρχικής επένδυσης για την κατασκευή των έργων όπως τα αιολικά ή φωτοβολταϊκά πάρκα είναι αρκετά υψηλό.
- ✧ Ασταθής παραγωγή: Οι ΑΠΕ εξαρτώνται από φυσικά φαινόμενα όπως η ηλιοφάνεια ή ο άνεμος, τα οποία δεν είναι πάντα διαθέσιμα με αποτέλεσμα η παραγωγή ενέργειας να είναι σχετικά απρόβλεπτη.
- ✧ Χρησιμοποίηση μεγάλων εκτάσεων γης: Οι εγκαταστάσεις των ΑΠΕ απαιτούν μεγάλο χώρο, οδηγώντας σε συγκρούσεις για την αξιοποίηση της γης.

- ✧ Χαμηλή ενεργειακή αποδοτικότητα: Οι ΑΠΕ έχουν χαμηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ειδικά για παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας.
- ✧ Χαμηλός συντελεστής απόδοσης: Λειτουργούν σε χαμηλότερο ποσοστό του μέγιστου δυνατού.

2.5 Υβριδικά συστήματα

Υβριδικό σύστημα (ΥΒΣ), ονομάζουμε ένα δυναμικό σύστημα που συνδυάζει πάνω από έναν τρόπο παραγωγής ενέργειας για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες [1]. Τα πιο συνηθισμένα υβριδικά συστήματα αποτελούνται από φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και μπαταρίες ή ακόμα ένα πιθανό σενάριο φωτοβολταϊκά, μπαταρίες και συμβατικές πηγές Diesel όπως η τροφοδοσία από το τοπικό δίκτυο και οι ηλεκτρογεννήτριες πετρελαίου (Εικόνα 2.9).

Γενικά, τα υβριδικά συστήματα ΑΠΕ, έχουν χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη αξιοπιστία σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά ή τις ανεμογεννήτριες. Αυτό γίνεται γιατί χρησιμοποιούν τις διάφορες μορφές ενέργειας είτε να λειτουργούν ταυτόχρονα έτσι ώστε να μην εξαρτώνται από τις μεταβολές του τοπικού δικτύου ή του περιβάλλοντος (ήλιος, άνεμος), είτε να εναλλάσσονται.

Τα υβριδικά συστήματα είναι πλέον μια πολύ ελκυστική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών και χρησιμοποιούνται πλέον σε πλήθος τομέων όπως στον οικιακό, επαγγελματικό ή ακόμα και σε νοσοκομεία, αεροδρόμια και σε στρατιωτικές μονάδες. Ο πιο βασικός συνδυασμός υβριδικού συστήματος ΑΠΕ είναι φωτοβολταϊκά με ανεμογεννήτριες με τα φωτοβολταϊκά να είναι πιο ισχυρά στα μικρά φορτία και τις ανεμογεννήτριες να αναλαμβάνουν τα μεγάλα φορτία. Για οικιακή χρήση εφαρμόζονται υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών θερμικής ισχύος PV-T, χρησιμοποιούν συλλέκτες για να αποθηκεύσουν σε ένα σώμα την ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν τα φωτοβολταϊκά και την περιττή τους ενέργεια για να καλύψουν όλους τους τύπους ενεργειακών αναγκών σε ένα κτίριο. Για πιο απαιτητικές ανάγκες ενέργεια χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα με φωτοβολταϊκών, ανεμογεννήτριες και ηλεκτρογεννήτριες πετρελαίου. Η ηλεκτρογεννήτρια βοηθάει σε έκτακτες ανάγκες το

φωτοβολταϊκό σύστημα και ενισχύει το σύστημα ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες προσδίδοντας έτσι αξιόπιστη λειτουργία στο σύστημα όλο τον χρόνο.

Ωστόσο, με βάση την ελληνική νομοθεσία για να θεωρείται ένα σύστημα υβριδικό υπάρχουν κάποιες βασικές προϋποθέσεις:

- ✧ Το σύστημα να χρησιμοποιεί μια τουλάχιστον ανανεώσιμη μορφή ενέργειας.
- ✧ Σε ετήσια βάση η συνολική ενέργεια που θα απορροφάται από το δίκτυο δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 30% της ενέργειας που απαιτείται για την φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού. Απορροφούμενη ενέργεια θεωρείται η ενέργεια που εισέρχεται στον σταθμό μείον την ενέργεια από ΑΠΕ που αποδίδεται στο δίκτυο. Στα ΜΔΝ ο υπολογισμός αυτός γίνεται σε ωριαία βάση.
- ✧ Η ποσότητα της συμβατικής ενέργειας δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας ετησίως, που παράγεται από τις ηλιακές μονάδες.
- ✧ Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς από ΑΠΕ δεν πρέπει να ξεπεράσει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης, με περιθώριο έως 20%.



Εικόνα 2.9: Ανεμογεννήτρια και συσσωρευτές ΥΒΣ Τήλου [11]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ Η/Ε

3.1 Φωτοβολταϊκά

3.1.1 Εισαγωγή

Βασικός παράγοντας για την λειτουργία των φωτοβολταϊκών είναι η ηλιακή ενέργεια ή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία εκπέμπεται από τον ήλιο, λόγω πυρηνικών αντιδράσεων στον πυρήνα του και χωρίζεται σε 3 κατηγορίες ακτινοβολίας: υπεριώδη ακτινοβολία, με μήκος κύματος ($\lambda < 400\text{nm}$), ορατή ακτινοβολία ($400 < \lambda < 700\text{nm}$) και υπέρυθρη ακτινοβολία ($\lambda > 700\text{nm}$) (Σχήμα 3.1) [1]. Σύμφωνα με την κβαντομηχανική η ακτινοβολία απορροφάται ή εκπέμπεται ως σωματίδια που ονομάζονται φωτόνια τα οποία έχουν διακριτές τιμές ενέργειας σε κβάντα. Η ενέργεια του φωτονίου γράφεται: $E = h \times u = h \times c \div \lambda$. Όπου h η σταθερά του Planck, c η ταχύτητα του φωτός, και u και λ είναι αντίστοιχα η συχνότητα και το μήκος κύματος.

Από την συνολική ενέργεια που εκπέμπει ο ήλιος, η γη λαμβάνει ένα πολύ μικρό ποσοστό το οποίο αποτελείται από 2 συνιστώσες, την άμεση (G_a) και την διάχυτη ακτινοβολία (G_d). Η άμεση ακτινοβολία είναι η προσπίπτουσα στην επιφάνεια της γης ακτινοβολία ενώ η διάχυτη είναι η ακτινοβολία που είναι διασκορπισμένη στον περιβάλλοντα χώρο. Η συνολική ακτινοβολία που θα φτάσει στα διάφορα σημεία της επιφάνειας της γης και είναι διαθέσιμη για την λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται από [7]:

- ✧ την υγρασία και τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα αφού όταν εισέλθει η ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα της γης μέρος της απορροφάται από αιωρούμενα σωματίδια όπως το οξυγόνο ή το διοξείδιο του άνθρακα.
- ✧ την ημερομηνία του έτους (τους χειμερινούς μήνες, η παρουσία σύννεφων δυσκολεύει τις ακτίνες του ηλίου να φτάσουν την επιφάνεια της γης).
- ✧ και την γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων του ήλιου.

Η Ελλάδα δέχεται πολύ μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας και αυτό καθιστά ιδανική την λύση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω.



Σχήμα 3.1: Φάσμα Ακτινοβολίας [21]

3.1.2 Τεχνολογίες και Λειτουργία Φωτοβολταϊκών

Τα ΦΒ ανήκουν στην κατηγορία των ΑΠΕ και θεωρούνται πλέον η πιο βιώσιμη και αξιόπιστη πηγή ενέργειας αφού συνδυάζει:

- ✧ χαμηλό κόστος λειτουργίας.
- ✧ είναι ανεξάντλητη και διαθέσιμη σε αφθονία.
- ✧ προσφέρει σταθερές και αυξανόμενες αποδόσεις σε σύγκριση με άλλες λύσεις και άλλες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας.
- ✧ δεν προκαλεί ρύπανση κατά την λειτουργία της και συμβάλει στην μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη.
- ✧ είναι ανθεκτική, απλή στον σχεδιασμό, απαιτεί ελάχιστη συντήρηση και έχει τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα μεταξύ των υπόλοιπων ΑΠΕ.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική χρησιμοποιώντας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Έντμοντ Μπεκερέλ και ουσιαστικά είναι η απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του φωτοβολταϊκού στοιχείου και την απόδραση των ατόμων αυτών από τις βασικές θέσεις τους με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος [1].

Γενικά τα φωτοβολταϊκά συστήματα ή αλλιώς φωτοβολταϊκές συστοιχίες παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη διάταξη. Αρχικά, πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία ή κυψέλες ενώνονται κατάλληλα σε ομάδες μεταξύ τους συγκροτώντας τα φωτοβολταϊκά

πλαίσια ή γεννήτριες και αυτά με την σειρά τους συνδέονται ηλεκτρολογικά (σε σειρά, παράλληλα, μεικτά) δημιουργώντας τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες ή συστήματα (Εικόνα 3.1). Πολλές φωτοβολταϊκές συστοιχίες όταν ενωθούν μεταξύ τους δημιουργούν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Επίσης, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από μετατροπείς DC (Συνεχές ρεύμα) σε DC, DC σε AC (Εναλλασσόμενο ρεύμα), ελεγκτή φόρτισης (DC) και (AC), μετρητή ισχύος, διακόπτη και μια ή περισσότερες μπαταρίες ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος.



Εικόνα 3.1: Φωτοβολταϊκό σύστημα [6]

Πρώτον, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς που ενώνονται μεταξύ τους με σκοπό να δημιουργήσουν ηλεκτρικό κύκλωμα. Πιο συγκεκριμένα όταν ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο φωτίζεται από ηλιακό φως, η ενέργεια των φωτονίων του προσπίπτοντος φωτός μετατρέπεται σε άμεσο ρεύμα (DC) μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Αυτό γίνεται λόγω του μηχανισμού επαφής p-n, μεταξύ 2 στρωμάτων ημιαγωγικών υλικών, του φωτοβολταϊκού στοιχείου, που είναι 2 διαφορετικοί ημιαγωγοί πρόσμιξης, ο ένας τύπου p και ο άλλος τύπου n (Εικόνα 3.2). Το προσπίπτον φως προκαλεί τον σχηματισμό ζευγών ηλεκτρονίων-οπών στον ημιαγωγό και παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονοτήτων (ηλεκτρόνια στην

περιοχή τύπου p και οπές στην περιοχή τύπου n) στη ζώνη απογύμνωσης με αποτέλεσμα την δημιουργία φωτογενούς ρεύματος [21].

Περίπου το 90% των φωτοβολταϊκών στοιχείων δημιουργούνται κυρίως από ανόργανα υλικά και κυρίως το πυρίτιο και αυτό γιατί είναι σε αφθονία στη φύση, είναι φιλικό προς το περιβάλλον και ανταπεξέρχεται καλά σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Δύο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών, το κρυσταλλικό και το άμορφο πυρίτιο. Το κρυσταλλικό χωρίζεται σε μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Το μονοκρυσταλλικό (sc-Si) πυρίτιο έχει πάχος 0,3 mm, η απόδοσή τους στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15-19% και στο εργαστήριο φτάνει μέχρι και 24,7%. Πλεονέκτημά του είναι ότι έχει την μεγαλύτερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα και την καλύτερη σχέση απόδοσης ανά επιφάνεια ή <<ενεργειακής πυκνότητας>>, ωστόσο έχει το μεγαλύτερο κόστος κατασκευής [22]. Βασικότερες μέθοδοι παραγωγής είναι η CZ (Czochralski) και η FZ(float zone) και βασίζονται στην κατασκευή ράβδου πυριτίου [22]. Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (mc-Si), έχει πάχος 0,3mm, με απόδοση 11-16% στο εμπόριο ενώ στο εργαστήριο φτάνει μέχρι και 20%. Το κόστος παραγωγής αλλά και πώλησης είναι μικρότερο σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά. Βασικότερες μέθοδοι παρασκευής είναι η απευθείας στερεοποίηση (DS), η χύτευση και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση (EMC). Από την άλλη το άμορφο πυρίτιο ή thin-film silicon (A-Si), έχει αισθητά χαμηλότερη απόδοση και από τα μονοκρυσταλλικά και από τα πολυκρυσταλλικά που κυμαίνεται 6-8% (απόδοση πλαισίου) και φτάνει μέχρι 14% στο εργαστήριο. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων από ημιαγωγό με πάχος 0,0001mm, πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους όπως γυαλί με πάχος 1-3mm και είναι φτηνότερο από τα κρυσταλλικά ΦΒ λόγω της μικρότερης ποσότητας του ημιαγωγού που χρησιμοποιείται (π.χ. πυρίτιο). Πλεονέκτημά του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ είναι ότι έχει μεγαλύτερη απόδοση σε συνθήκες διάχυτης ακτινοβολίας δηλαδή συννεφιά και ότι δεν επηρεάζεται από υψηλές θερμοκρασίες [23].

Η ισχύς του των φωτοβολταϊκών μονάδων πυριτίου κυμαίνεται συνήθως από 40 έως 60 W και η τάση λειτουργίας του συστήματος πρέπει να ταιριάζει με την τάση του συστήματος αποθήκευσης. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποιες παράμετροι που ορίζονται από το κατασκευαστή του συστήματος για να ορίσουμε την μέγιστη ισχύ (Wattpeak) του συστήματος και οι οποίες είναι:

✧ Ακτινοβολία: 1kW/m^2 .

- ✧ Φασματική κατανομή: AM 1,5.
- ✧ Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου 25°C.

Μπορεί οι πιο διαδεδομένες εμπορικές εφαρμογές ΦΒ να βασίζονται σε ανόργανα ηλιακά κελιά, όπως το πυρίτιο, λόγω υψηλότερης απόδοσης, ωστόσο υπάρχουν και άλλοι μέθοδοι [24]:

- ✧ Οργανικά κελιά (OPVs): Είναι ελαφριά και χαμηλού κόστους αλλά υστερούν σε απόδοση σε σχέση με τα ανόργανα.
- ✧ Υβριδικά κελιά: Είναι συνδυασμός οργανικών και ανόργανων για καλύτερη απόδοση. Έχουν μειονεκτήματα όπως το μικρό μέγεθος διάχυσης εξιτονίων και περιορισμένη διαχωριστική και μεταφορική ικανότητα φορτίου.
- ✧ Ηλιακά κελιά με χρωστικές (DSCs): Αποτελούνται από ηλεκτρόδια, χρωστική ουσία και ηλεκτρολύτες. Έχουν χαμηλό κόστος, ευκαμψία, διαφάνεια και καλύτερη απόδοση στο διάχυτο φως. Ωστόσο έχουν χαμηλή απόδοση γύρω στο 10%, τοξικές και ακριβές βαφές και προβλήματα σταθερότητας.
- ✧ Ηλιακά κελιά Περοβσκήτη (PSCs): Έχουν υψηλή τάση ανοικτού κυκλώματος και υψηλή απόδοση πάνω από 22%, ωστόσο έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Αναμένεται να ξεπεράσουν τα ανόργανα υλικά.
- ✧ Ενισχυμένα Σύνθετα με νανοσωλήνες άνθρακα (CNTs): Χρησιμοποιούνται για ενίσχυση φυσικού καουτσούκ.

Πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες, εγκαθιπλισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο συγκροτούν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο (Εικόνα 3.3). Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο μπορεί να συνδεθεί με ένα άλλο με 3 τρόπους:

- ✧ Σε σειρά: Όταν θέλουμε να πετύχουμε μεγαλύτερη τάση από την τάση του κάθε πλαισίου ξεχωριστά. Ο θετικός πόλος του ενός πλαισίου ενώνεται με τον αρνητικό του άλλου ενώ τα πλαίσια θα πρέπει να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος. Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι το άθροισμα των πλαισίων: $V_{oc} = V_{oc1} + V_{oc2} + \dots + V_{ocn}$ και η τάση μέγιστη ισχύος θα είναι: $V_m = V_{m1} + V_{m2} + \dots + V_{mn}$.
- ✧ Παράλληλα: Όταν θέλουμε να πετύχουμε μεγαλύτερο ρεύμα από το ρεύμα του ενός πλαισίου ξεχωριστά. Ο θετικός πόλος του ενός πλαισίου συνδέεται με τον θετικό του άλλου και ο αρνητικός του ενός με τον αρνητικό του άλλου μέχρι να συνδεθούν όλα

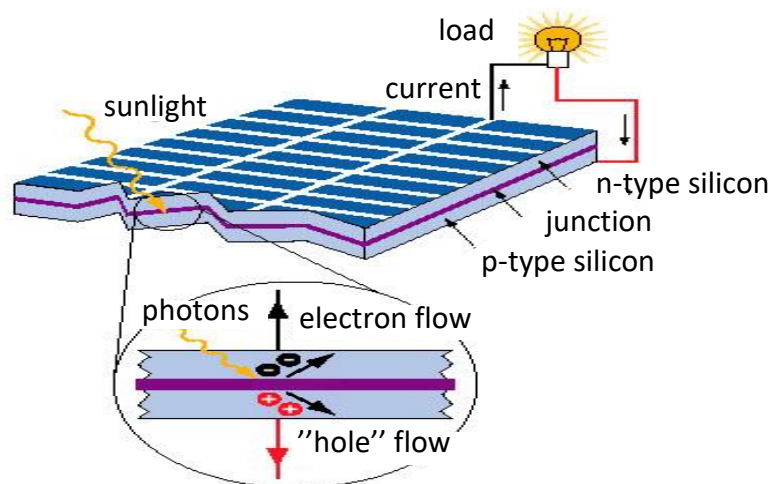
δημιουργώντας μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαϊσίων. Για να μπορέσουν να συνδεθούν 2 ή περισσότερα πλαίσια θα πρέπει να έχουν ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος. Το συνολικό ρεύμα συστοιχίας είναι το άθροισμα των ρευμάτων του κάθε πλαϊσίου: $I_{sc} = I_{sc1} + I_{sc2} + \dots I_{scn}$, ενώ το ρεύμα μέγιστης ισχύος είναι:

$$I_m = I_{m1} + I_{m2} + \dots I_{mn}.$$

- ✧ Μεικτά: Όταν θέλουμε να πετύχουμε μεγαλύτερη τάση και μεγαλύτερο ρεύμα σε βαθμό που δεν μπορούμε να πάρουμε από κάθε φωτοβολταϊκό ξεχωριστά. Είναι συνδυασμός σύνδεσης σε σειρά και παράλληλα, άρα ισχύει ότι είπαμε παραπάνω.

Πολλά φωτοβολταϊκά πλαίσια όταν ενωθούν θα δημιουργήσουν μια φωτοβολταϊκή συστοιχία ή σύστημα. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι συνεχούς ρεύματος αλλά με την αύξηση του βαθμού απόδοσης δημιουργήθηκαν αναστροφείς (inverters) που μετατρέπουν την έξοδο συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη δίνοντας την δυνατότητα στα φωτοβολταϊκά συστήματα να τροφοδοτούν μια σύγχρονη εγκατάσταση που απαιτεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Η ισχύς του των φωτοβολταϊκών μονάδων πυριτίου κυμαίνεται συνήθως από 40 έως 60 W και η τάση λειτουργίας του συστήματος πρέπει να ταιριάζει με την τάση του συστήματος αποθήκευσης. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποιες παράμετροι που ορίζονται από το κατασκευαστή του συστήματος για να ορίσουμε την μέγιστη ισχύ (Wattpeak) του συστήματος και οι οποίες είναι:

- ✧ Ακτινοβολία: $1\text{kW}/\text{m}^2$.
- ✧ Φασματική κατανομή: AM 1,5.
- ✧ Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου 25°C .



Εικόνα 3.2: Φωτοβολταϊκό στοιχείο



Εικόνα 3.3: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (Πολυκρυσταλλικό)

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- ✧ Αυτόνομο σύστημα (off-grid): Είναι συνήθως εγκατεστημένο μόνιμα κάπου και μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για ηλεκτρισμό εξοχικών κατοικιών, σκαφών, θερμοκηπίων, τροχόσπιτων και αν γίνουν σωστοί υπολογισμοί όσο αναφορά την αποθήκευση ενέργειας μπορεί να καλύψει τις ανάγκες και μόνιμης κατοικίας ανεξαρτητοποιώντας την από το βασικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.
- ✧ Διασυνδεδεμένο σύστημα (on-grid): Λειτουργεί για ισχύ πάνω από 10 kwp, είναι συνδεδεμένο στο βασικό δίκτυο και δεν απαιτεί συσσωρευτή αποθήκευσης. Ο ιδιοκτήτης του συστήματος είναι αυτοπαραγωγός και μπορεί να καταναλώνει όση ενέργεια χρειάζεται και να πουλάει την υπόλοιπη έναντι προσυμφωνημένης τιμής στο βασικό δίκτυο.
- ✧ Διασυνδεδεμένο σύστημα (ex ολοκλήρου): Κατασκευάζεται για ισχύ πάνω από 50kwp με σκοπό να διοχετεύει όλη την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο
- ✧ Υβριδικό αυτόνομο σύστημα: Το σύστημα αυτό συνδυάζει πάνω από 2 πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΦΒ, ανεμογεννήτριες) και μπορεί να χρησιμοποιεί και συσσωρευτές αποθήκευσης για αδιάλειπτη λειτουργία των εγκαταστάσεων που τροφοδοτεί. Είναι μια βιώσιμη λύση για περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες στο βασικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.
- ✧ Υβριδικό διασυνδεδεμένο σύστημα: Κατασκευάζονται για μεγάλη ισχύ και συνδυάζουν 2 ή και περισσότερες πηγές ενέργειας έχοντας ως τελευταία λύση αυτή της ντιζελογεννήτριας και των συσσωρευτών αποθήκευσης.

Βαθμός απόδοσης του συστήματος εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου ο οποίος εκφράζεται ως το ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο, δηλαδή το πηλίκο της μέγιστη ηλεκτρικής ισχύς του στοιχείου προς την προσπίπτουσα φωτεινή ισχύ: $\chi = \frac{ImVm}{Pm}$.

Τέλος, σημαντικό στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι οι παράμετροι θέσης εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Οι βασικοί παράμετροι θέσης εγκατάστασης φωτοβολταϊκών είναι (Πίνακας 3.1) [30]:

- ✧ Προσανατολισμός ως προς τον Νότο: Ο νότιος προσανατολισμός (αζιμούθιο γ), θα πρέπει η γωνία γ να είναι, $\gamma=180^\circ$ με απόκλιση $\pm 5^\circ$. Για ανατολικό, $\gamma=90^\circ$. Για δυτικό $\gamma=270^\circ$.
- ✧ Η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο: θα πρέπει να είναι 0° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και 90° ως προς το κάθετο.
- ✧ Ο συντελεστής σκίασης: Ο διορθωτικός συντελεστής για την μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω σκίασης από τον περιβάλλοντα χώρο στην επιφάνεια των ΦΒ.

Πίνακας 3.1: Βέλτιστες κλίσεις φωτοβολταϊκών στοιχείων ανά διάφορα γεωγραφικά πλάτη στην Ελλάδα, ανά περίοδο χρήσης [24]

Γεωγραφικό πλάτος περιοχής (φ) σε ($^\circ$)	Θερινή περίοδος	Ετήσια περίοδος	Χειμερινή περίοδος
$\varphi = 35,0^\circ$	7	25	44
$\varphi = 36,0^\circ$	8	26	45
$\varphi = 37,0^\circ$	9	27	46
$\varphi = 38,0^\circ$	10	28	47
$\varphi = 39,0^\circ$	11	29	48
$\varphi = 40,0^\circ$	12	30	49
$\varphi = 41,0^\circ$	13	31	50

3.2 Ανεμογεννήτριες

3.2.1 Εισαγωγή

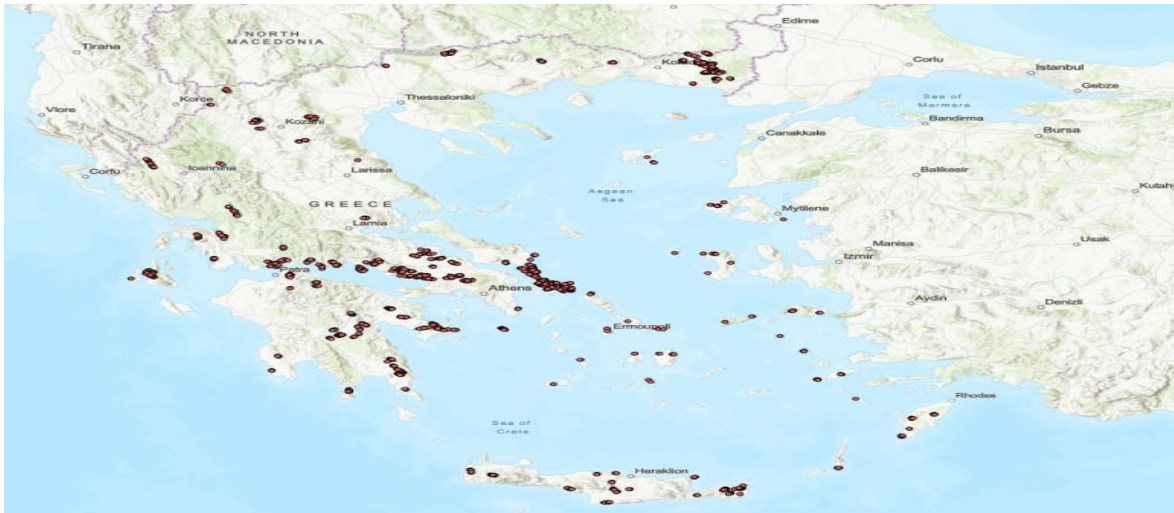
Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές που αξιοποιούν τον άνεμο, μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, και μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του σε περιστροφική-μηχανική και μετά σε ηλεκτρισμό. Άνεμος είναι οποιαδήποτε αισθητή οριζόντια κίνηση του αέρα, ενώ αντίθετα οποιαδήποτε κατακόρυφη κίνηση του αέρα ονομάζεται ρεύμα. Ο άνεμος είναι μια μορφή ηλιακής ενέργειας και προκαλείται από συνδυασμό τριών παραγόντων [25]:

- ✧ Ο ήλιος θερμαίνει ανομοιόμορφα την ατμόσφαιρα.
- ✧ Ανωμαλίες στην επιφάνεια της γης.
- ✧ Η περιστροφή της γης.

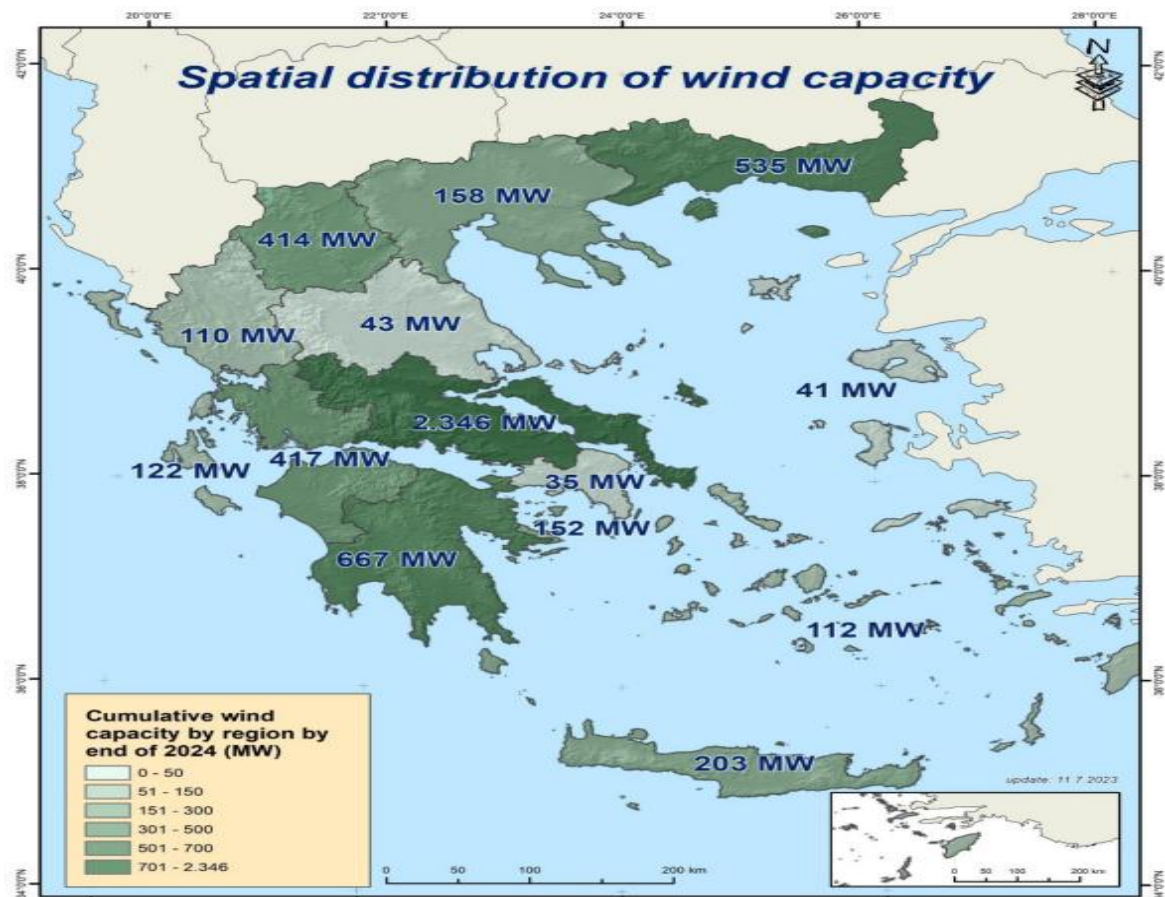
Ως αποτέλεσμα οι άνεμοι επηρεάζονται και τροποποιούνται έντονα από το τοπικό έδαφος, τα υδάτινα σώματά, τα καιρικά πρότυπα και άλλους παρόμοιους παράγοντες. Ο τρόπος δημιουργίας του ανέμου είναι όταν μια μάζα αέρα θερμαίνεται, γίνεται πιο ελαφριά και πιο αραιή από τις υπόλοιπες μάζες γύρω της και τείνει να ανέβει ψηλότερα από εκείνες ενώ αντίθετα όταν μια μάζα αέρα ψύχεται γίνεται πιο πυκνή και βαριά και τείνει να κατέβει προς τα κάτω, <<σπρώχνοντας>> τις άλλες πιο θερμές μάζες αέρα για να πάρει την θέση τους [1]. Βασικά στοιχεία του ανέμου αποτελούν η διεύθυνση και η ένταση ή ισχύς του τα οποία μπορούν να προσδιοριστούν με ανεμομετρικά όργανα όπως οι ανεμοδείκτες ή τα ανεμόμετρα. Η διεύθυνση του ανέμου είναι το σημείο του ορίζοντα από όπου πνέει ο άνεμος και εκφράζεται σε μοίρες ενώ η ένταση του ανέμου εκφράζεται είτε με την ταχύτητα που κινείται σε m/s, είτε με την πίεση που ασκεί σε άλλα σώματα είτε εκφράζεται στην κλίμακα μποφόρ που είναι και ο πιο εμπορικός τρόπος μέτρησης των ανέμων.

Η αιολική ενέργεια, όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 2, χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο από την αρχαιότητα με την κίνηση των πλοίων, αργότερα με τους ανεμόμυλους, για να περάσουμε στη δημιουργία της πρώτης ανεμογεννήτριας το 1891 στη Δανία από τον μετεωρολόγο Poul La cour. Η χώρα μας, έχει υψηλό αιολικό δυναμικό και σε συνδυασμό με την συμβολή της ΕΕ που προωθεί τις ΑΠΕ, έχει δημιουργηθεί ένα μεγάλο πλήθος αιολικών πάρκων (Εικόνα 3.4) και σύγχρονων ανεμογεννητριών τελευταίας τεχνολογίας. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ) στην Ελληνική επικράτεια υπολογίζονται 2720

ανεμογεννήτριες με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 4451 MW (Εικόνα 3.5) και εκτιμάται ότι η εκμεταλλεύσιμη αιολική ενέργεια στην Ελλάδα καλύπτει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας [26], συμβάλλοντας έτσι σε μια βιώσιμη ανάπτυξη, σε εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων και στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.



Εικόνα 3.4: Σύνολο αιολικών πάρκων στην Ελλάδα



Εικόνα 3.5: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανά περιοχή στην Ελλάδα [27]

3.2.2 Λειτουργία και τεχνολογίες ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές που χρησιμοποιούν ρεύματα αέρα και τα μετατρέπουν σε ένα πολύτιμο πόρο, την ηλεκτρική ενέργεια. Η θέση που θα τοποθετηθεί μια ανεμογεννήτρια εξαρτάται από διάφορους παραμέτρους (τοπογραφικούς, γεωλογικούς, περιβαλλοντικούς) και λαμβάνονται μετρήσεις όπως η ταχύτητα του ανέμου, η διεύθυνση, στροβιλισμοί κλπ. για να βρεθεί η καλύτερη θέση. Σημαντικός παράγοντας είναι η διασύνδεση ή όχι της ανεμογεννήτριας με το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, αφού αν διασυνδεθεί θα πρέπει να έχει την συχνότητα του κεντρικού δικτύου δηλαδή 50 Hz για Ελλάδα και γενικά για Ευρώπη και 60 Hz για Αμερική.

Η τάση που παράγει μια ανεμογεννήτρια όταν διασυνδεθεί λοιπόν στο κεντρικό δίκτυο φτάνει τα 20000Volts και ανυψώνεται κι άλλο στους ηλεκτρικούς υποσταθμούς της ΔΕΗ φτάνοντας τα 150.000 ή ακόμα και τα 400.000 Volts και στο τέλος υποβιβάζεται από τους μετασχηματιστές ενός υποσταθμού στα 400 Volts για να φτάσει στους καταναλωτές οικιακής χρήσης [28]. Η ταχύτητα του ανέμου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 15χλμ/ώρα για να μπορέσει η γεννήτρια να παράγει ηλεκτρισμό και αυξάνεται ανάλογα με το ύψος που θα τοποθετηθεί η ανεμογεννήτρια . Μόλις η γεννήτρια περιστρέφει, παράγει ηλεκτρισμό με εναλλασσόμενη τάση από 400 έως 1000 Volts. Όσο αναφορά την ισχύ της ανεμογεννήτριας, οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η ταχύτητα και πυκνότητα του ανέμου και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκροτήματος. Η ισχύς των Α/Γ εμπορικής χρήσης κυμαίνονται από 50-100KW έως και πολλά MW, ενώ οι μικρές που χρησιμοποιούνται για σπίτια ή για κεραίες τηλεπικοινωνιών ή άλλων αυτόνομων εγκαταστάσεις φτάνουν μέχρι τα 100KW [28]. Μικρές ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται και σε αυτόνομα υβριδικά συστήματα μαζί με φωτοβολταϊκά και εφεδρικές γεννήτριες σε πιο απομονωμένες τοποθεσίες όπως σε νησιά. Στις αρχές του 1980 διαπιστώθηκε η εγκατάσταση πολλών τέτοιων ανεμογεννητριών σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, δηλαδή η δημιουργία αιολικών πάρκων, παρουσιάζει πολλά τεχνικά και οικονομικά οφέλη σε σχέση με την λειτουργία αυτών των γεννητριών μεμονωμένα. Το πρώτο αιολικό πάρκο της Ευρώπης δημιουργήθηκε το 1982 στη νήσο Κύθνο με ισχύ 100KW και κάλυπτε το 25% των αναγκών του νησιού (Εικόνα 3.6).

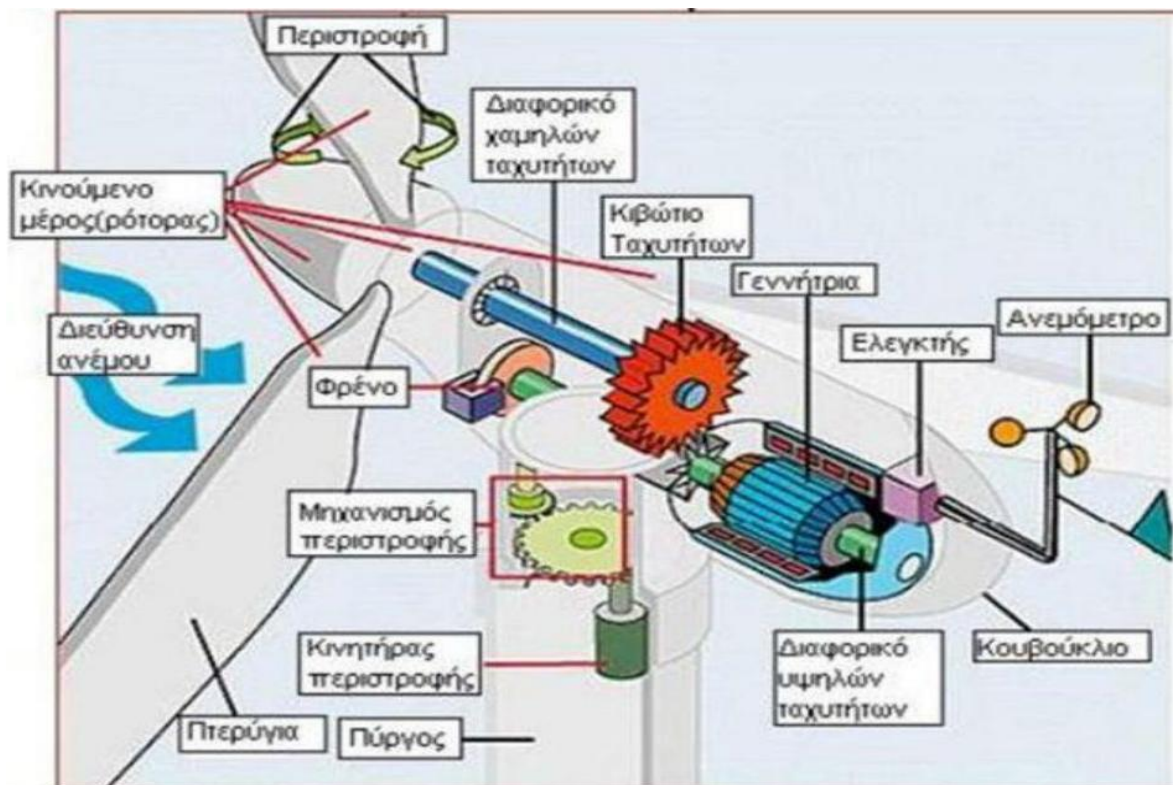


Εικόνα 3.6: Αιολικό πάρκο Κύθνου

Πριν αναλύσουμε τον τρόπο που λειτουργεί μια ανεμογεννήτρια, θα δούμε τα κύρια μέρη της και την χρήση τους. Αυτά είναι τα εξής (Εικόνα 3.7) [26]:

- ✧ Κουβούκλιο: Πρόκειται για το περίβλημα της ανεμογεννήτριας το οποίο περιέχει όλα τα εξαρτήματα της όπως το κιβώτιο ταχυτήτων και την γεννήτρια.
- ✧ Πτερύγια: Βρίσκονται στην κορυφή της τουρμπίνας. Το μέσο μήκος είναι 52 μέτρα. Ο άνεμος προκαλεί μείωση της πίεσης του αέρα στη μια πλευρά του πτερυγίου και η διαφορά από την άλλη πλευρά δημιουργεί τόσο άνωση όσο και οπισθέλκουσα. Όταν η άνωση είναι μεγαλύτερη από την οπισθέλκουσα ο ρότορας θα περιστρέφει.
- ✧ Κεφαλή: Η κεφαλή του ρότορα συνδέεται με το διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων.
- ✧ Διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων: Συνδέει τον ρότορα με το κιβώτιο ταχυτήτων και μέσω σωλήνων προς το υδραυλικό σύστημα βοηθάει ώστε να λειτουργήσει το αεροδυναμικό φρένο.
- ✧ Κιβώτιο ταχυτήτων: Έχει διαφορικό χαμηλών στροφών αριστερά και διαφορικό υψηλών στροφών δεξιά το οποίο έχει 50 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα στροφών.
- ✧ Διαφορικό υψηλών ταχυτήτων: Περιστρέφεται με 1500 στροφές το λεπτό και είναι εξοπλισμένο με δισκόφρενο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης δηλαδή σε περίπτωση βλάβης του αεροδυναμικού φρένου ή επισκευής της ανεμογεννήτριας.

- ✧ Ηλεκτρική γεννήτρια: Μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και μπορεί να είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη.
- ✧ Μηχανισμός περιστροφής: Χρησιμοποιεί ηλεκτρικές μηχανές για να στρέφει το κουβούκλιο απέναντι στον άνεμο και ελέγχεται από ηλεκτρονικό ελεγκτή ο οποίος αντιλαμβάνεται την διεύθυνση του ανέμου μέσω του ανεμοδείκτη.
- ✧ Ηλεκτρονικός ελεγκτής: Ελέγχει τον μηχανισμό περιστροφής και περιέχει υπολογιστή για να βλέπει την κατάσταση της ανεμογεννήτριας ώστε σε περίπτωση βλάβης να σταματά την ανεμογεννήτρια και να επικοινωνεί μέσω τηλεφωνικής σύνδεσης με τον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας.
- ✧ Ανεμόμετρο και ανεμοδείκτης: Μετρούν την ένταση και την διεύθυνση του ανέμου. Όταν η ταχύτητα του ανέμου περάσει ένα συγκεκριμένο ελάχιστο όριο τότε το ανεμόμετρο στέλνει ηλεκτρικά σήματα στον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας για να ξεκινήσει να λειτουργεί ενώ όταν η ταχύτητα του ανέμου περάσει ένα μέγιστο όριο τότε ο υπολογιστής σταματά την λειτουργία της αυτόματα.
- ✧ Πύργος: Εκεί στηρίζεται όλη η κατασκευή της ανεμογεννήτριας. Είναι συνήθως κατασκευασμένος από χάλυβα ή και ξύλο και συναρμολογείται επιτόπου. Όσο πιο μεγάλο ύψος έχει τόσο μεγαλύτερη και η ταχύτητα του ανέμου. Συνήθως κυμαίνεται από 50-80 μέτρα. Περιέχει καλώδια τροφοδοσίας που συνδέουν την άτρακτο με τον μετασχηματιστή στο έδαφος.
- ✧ Άτρακτος: Βρίσκεται στην κορυφή του πύργου και μπορεί να περιστρέφει 360° γύρω από άξονά της. Στεγάζει τα βασικά μηχανικά στοιχεία: το κιβώτιο ταχυτήτων και την γεννήτρια.
- ✧ Πλήμνη: Είναι η μύτη που δείχνει προς τα εμπρός στο κέντρο. Τα πτερύγια είναι πάνω σε αυτή και συνδέεται με τα μηχανικά μέρη της ατράκτου.
- ✧ Μονάδα ψύξης: Περιέχει έναν ηλεκτρικό ανεμιστήρα για να ψύχει την γεννήτρια και μια μονάδα ψύξης με λάδι για να ψύχεται το λάδι στο κιβώτιο ταχυτήτων.
- ✧ Υδραυλικό σύστημα: Επαναφέρει τα υδραυλικά φρένα της ανεμογεννήτριας.
- ✧ Θεμέλια: Είναι ένα μεγάλο βαρύ δομικό μπλοκ από σκυρόδεμα στο έδαφος που στηρίζει ολόκληρη την τουρμπίνα και τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτή.



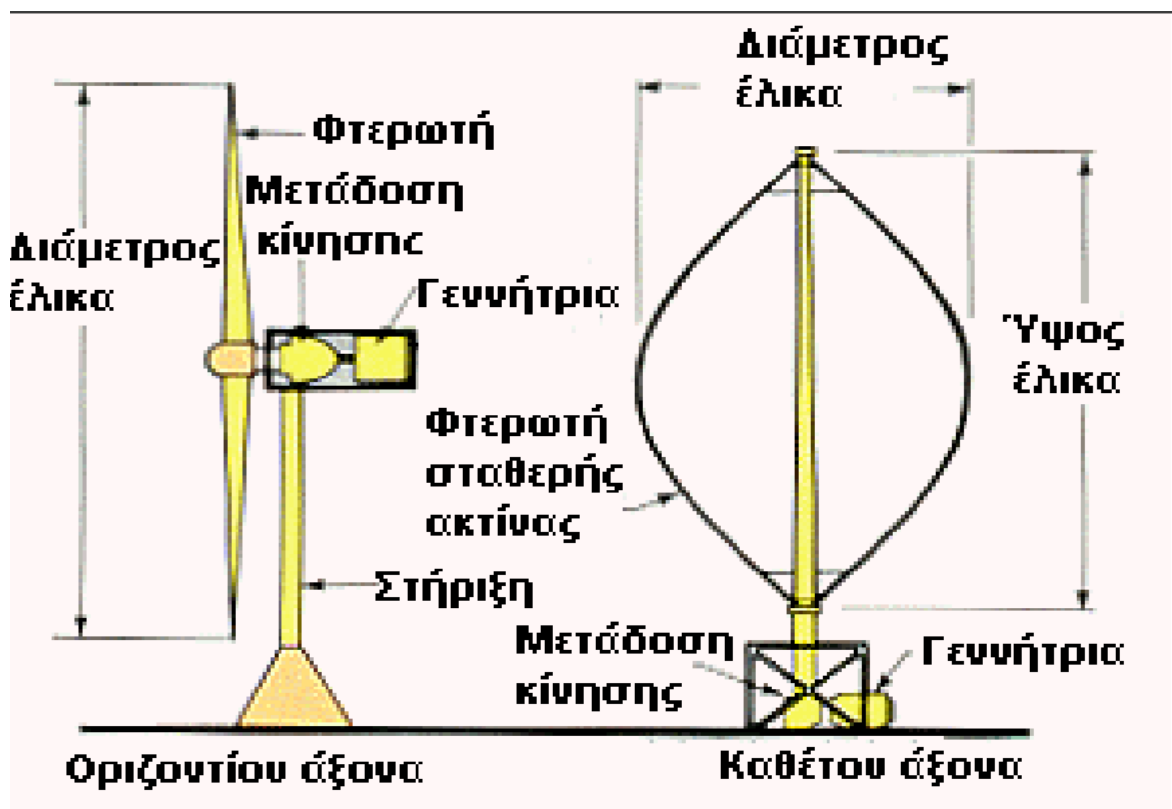
Εικόνα 3.7: Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας [26]

Πώς λειτουργούν όλα αυτά όμως για να λειτουργήσει σωστά μια ανεμογεννήτρια; Αρχικά, ο ρότορας τίθεται σε λειτουργία από την κινητική ενέργεια του ανέμου που προκαλεί την περιστροφή του. Η περιστροφική του κίνηση μεταφέρεται σε έναν εισερχόμενο άξονα, ο οποίος με την σειρά του ενεργοποιεί μια ηλεκτρική γεννήτρια. Μέσω ενός μηχανισμού προσανατολισμού (σύστημα εκτροπής), η άτρακτος της ανεμογεννήτριας προσαρμόζεται ώστε να ευθυγραμμίζεται με την κατεύθυνση του ανέμου. Η ανεμογεννήτρια ξεκινάει να λειτουργεί όταν η ένταση του ανέμου υπερβαίνει τα 10 χιλιόμετρα την ώρα, ενώ διακόπτει τη λειτουργία της για λόγους ασφαλείας όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά τα 90 χιλιόμετρα την ώρα. Η κινητική ενέργεια του αέρα μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από τον ρότορα. Στη συνέχεια, ένα κιβώτιο ταχυτήτων αυξάνει την χαμηλή ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων (που κυμαίνεται μεταξύ 18 και 25 στροφών το λεπτό) σε πολύ υψηλότερη (έως και 1800 στροφές το λεπτό) ώστε να μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά η γεννήτρια. Η γεννήτρια μετατρέπει αυτή την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Ένας μετασχηματιστής αναλαμβάνει να προσαρμόσει τα χαρακτηριστικά του ρεύματος και να το μεταφέρει στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Στην άτρακτο υπάρχουν επίσης συστήματα ελέγχου που

παρακολουθούν διαρκώς την απόδοση και την λειτουργία της ανεμογεννήτριας, διασφαλίζοντας την βέλτιστη παραγωγή καθαρής, ανανεώσιμης ενέργειας στα πλαίσια ενός αιολικού πάρκου.

Σύμφωνα με το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας) υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες που χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες βάση του άξονα περιστροφής των πτερυγίων (δρομέας) σε σχέση με την ροή του ανέμου (Εικόνα 3.8) [28]:

- ✧ Οριζώντιου άξονα (HAWT): Είναι ο πιο συνηθισμένος και αποδοτικός τύπος ανεμογεννήτριας (Εικόνα 3.9). Συνήθως έχουν 3 πτερύγια και λειτουργούν προς τα εμπρός (head on), δηλαδή τα πτερύγια του δρομέα είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους (upwind). Υπάρχει ένας οδηγός αλλαγής κατεύθυνσης (Yaw drive), που χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι ο ρότορας θα είναι στραμμένος προς τον άνεμο όταν αυτός θα αλλάζει κατεύθυνση.
- ✧ Κατακόρυφου άξονα (VAWT): Ο άξονας παραμένει σταθερός και κάθετος στην επιφάνεια του εδάφους (cross wind). (Εικόνα 3.10) Τα VAWT είναι πανκατευθητικά και δεν χρειάζεται να είναι ρυθμισμένα να είναι στραμμένα προς τον άνεμο.



Εικόνα 3.8: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου και κάθετου άξονα [26]



Εικόνα 3.9: Α/Γ οριζόντιου άξονα



Εικόνα 3.10: Α/Γ κάθετου άξονα

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα οριζόντιου και κάθετου άξονα παρουσιάζονται παρακάτω [26]:

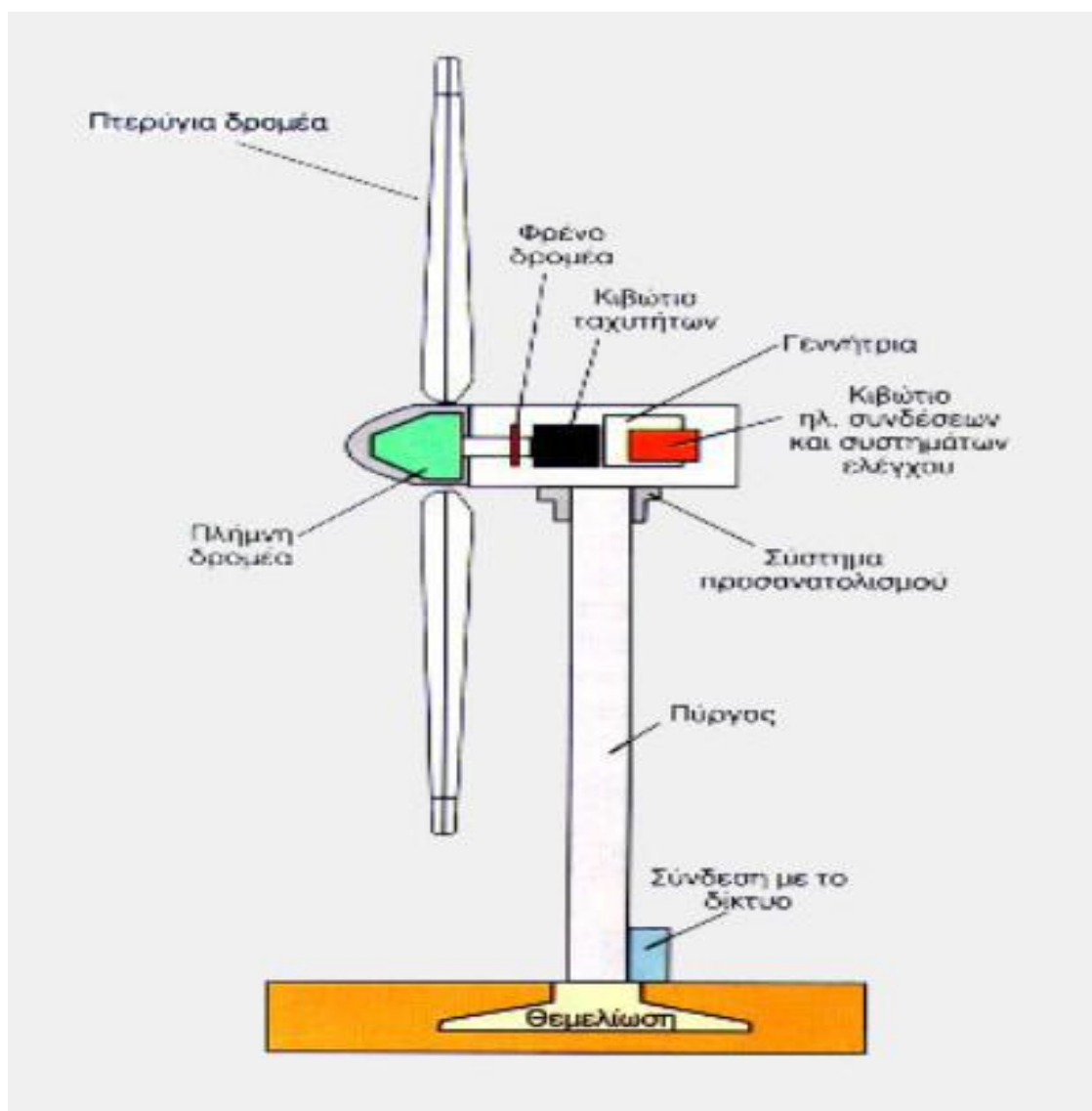
- Πλεονεκτήματα οριζόντιου άξονα:
 - ✧ Λόγω του ύψους της ανεμογεννήτριας εκμεταλλεύονται ανέμους μεγαλύτερης ταχύτητας.
 - ✧ Εύκολη συναρμολόγηση.
 - ✧ Υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή.

- ✧ Μεγαλύτερη αποδοτικότητα και καλύτερη απόδοση σε σχέση με του κατακόρυφου άξονα.
- Μειονεκτήματα οριζόντιου άξονα:
 - ✧ Υψηλός θόρυβος.
 - ✧ Υψηλός κόστος κατασκευής και μεταφοράς.
 - ✧ Απαιτεί μηχανισμό περιστροφής των πτερυγίων στη διεύθυνση του ανέμου.
- Πλεονεκτήματα κατακόρυφου άξονα:
 - ✧ Δεν απαιτεί μηχανισμό περιστροφής, άρα η Α/Γ είναι αποδοτική σε περιοχές μεταβλητού ανέμου λόγω της περιστροφής 360°.
 - ✧ Εύκολη συντήρηση.
 - ✧ Πιο αθόρυβη σε σύγκριση με του οριζόντιου άξονα.
- Μειονεκτήματα κάθετου άξονα:
 - ✧ Παραγωγή λιγότερης ενέργειας κατά μέσο όρο σε ένα έτος σε σύγκριση με του οριζόντιου άξονα.
 - ✧ Χαμηλή ταχύτητα περιστροφής ρότορα.
 - ✧ Μεγάλη φθορά των πτερυγίων λόγω της περιστροφής των 360°.
 - ✧ Δυσκολία μοντελοποίησης του ανέμου κατά τον σχεδιασμό.
 - ✧ Δυσκολία ανάλυσης και σχεδιασμού του ρότορα κατά τον σχεδιασμό.
 - ✧ Το κόστος εγκατάστασής τους κυμαίνεται κοντά στα 40.000€ και απαιτεί αποσυναρμολόγηση στη συντήρηση.

Στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα ίσως και λόγω των πιο ουσιαστικών πλεονεκτημάτων τους όπως η απόδοση. Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα είναι τα εξής (Εικόνα 3.11) [29] [30]:

- ✧ Το δρομέα, που αποτελείται από 2 ή 3 πτερύγια που είναι προσδεμένα πάνω σε μια πλήμνη και μπορούν να είναι σταθερά ή να περιστρέφονται γύρω από τον διαμήκη άξονά τους.
- ✧ Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, που αποτελείται από τον κύριο άξονα που περιστρέφεται από 30-60 στροφές ανά λεπτό, τα έδρανά του και κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών που προσαρμόζει την ταχύτητα πολλαπλασιασμού του δρομέα ανάλογα με αυτή της ηλεκτρογεννήτριας.
- ✧ Το σύστημα πέδησης που είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο.

- ✧ Την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή ασύγχρονη, με 4-6 πόλους που συνδέονται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου.
- ✧ Το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει τον δρομέα να περιστρέφεται ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου.
- ✧ Τον πύργο, που είναι σωληνωτός ή δικτυωτός και εκεί στηρίζεται όλη η παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση.
- ✧ Τον ηλεκτρικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, βρίσκονται στη βάση του πύργου και φροντίζουν για την σωστή λειτουργία της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 3.11: Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα [29]

Άλλο ένα βασικό πεδίο που πρέπει να αναλύσουμε όσο αναφορά τις ανεμογεννήτριες είναι οι επιδόσεις τους, η ισχύς και η ενέργεια που παράγει μια ανεμογεννήτρια και επίσης θα δούμε τι είναι ο συντελεστής χρησιμοποίησης, ο συντελεστής ώσης, ο λόγος λ και ο συντελεστής ισχύος.

Πρώτον, ο συντελεστής χρησιμοποίησης (C_F) δείχνει την αποτελεσματικότητα που λειτουργεί μια ανεμογεννήτρια και την βιωσιμότητα μιας ενεργειακής επένδυσης, δηλαδή πόσο καλά έχει ενσωματωθεί στο συγκεκριμένο αιολικό δυναμικό και στις ιδιομορφίες της περιοχής. Συνήθως κυμαίνεται από 0.25 έως 0.4 και ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που παρήγαγε η Α/Γ σε χρονικό διάστημα Δt , συνήθως ένα χρόνο, προς το ποσό της ενέργειας που θα παρήγαγε αν λειτουργούσε στην ονομαστική της ισχύ [31] όπως βλέπουμε και παρακάτω:

$$C_F = \frac{E}{P * \Delta t}$$

Όπου E η ενέργεια που παρήγαγε η ανεμογεννήτρια σε χρόνο Δt και P η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας.

Σημαντικό τεχνικό χαρακτηριστικό των ανεμογεννητριών αποτελεί ο συντελεστής ώσης (C_t). Δείχνει κατά πόσο η μεταβολή της ορμής του ανέμου πριν και μετά τον δρομέα γίνεται ωφέλιμη δύναμη για την παραγωγή ισχύος. Ορίζεται από την σχέση:

$$C_t = \frac{F}{1/2 * \rho * \pi * R^2 V^2}$$

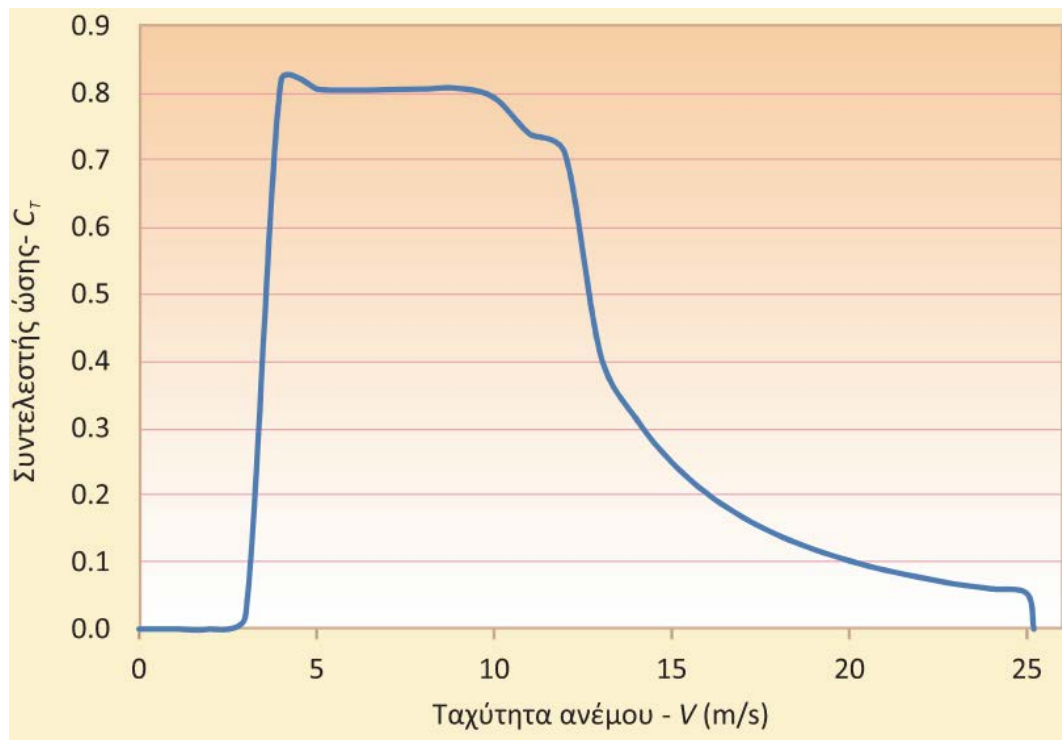
Όπου F , η δύναμη ώσης της μηχανής για κάθε ταχύτητα. Στο Σχήμα 3.2 το διάγραμμα συντελεστή ώσης σε σχέση με την ταχύτητα.

Άλλη μια βασική σχέση που πρέπει να μιλήσουμε καθώς αναλύουμε τις επιδόσεις μιας γεννήτριας είναι ο λόγος λ . Ο λόγος λ ορίζεται ως το πηλίκο της γραμμικής ταχύτητας στο άκρο του πτερυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου:

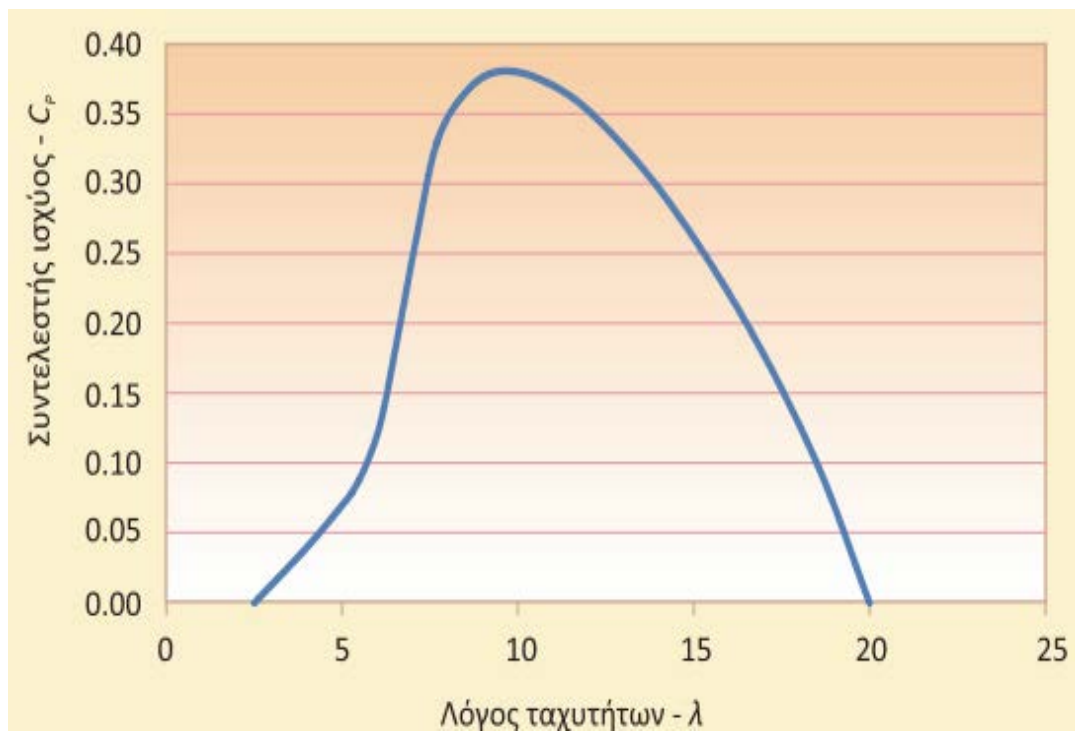
$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

Αυτός ο λόγος λ αποτελεί βασικό παράγοντα της λειτουργίας των ανεμογεννητριών, αφού δείχνει την απόδοση μετατροπής της ενέργειας αλλά και το επίπεδο του θορύβου της. Με τον λόγο λ έχει άμεση σχέση ο συντελεστής ισχύος της ανεμογεννήτριας που εκφράζει τον πηλίκο της ενέργειας που δεσμεύει η Α/Γ προς την ενέργεια του ανέμου και εξαρτάται από την αεροδυναμική των πτερυγίων. Ο συντελεστής ισχύος δίνεται ως

συνάρτηση του λ και της γωνίας βήματος (β) για τις ανεμογεννήτριες με ρύθμιση βήματος. Όταν δεν υπάρχει βήμα δίνεται ως $\lambda(C_p(\lambda))$ όπως βλέπουμε στο Σχήμα 3.3.



. Σχήμα 3.2: Διάγραμμα συντελεστή ώσης-ταχύτητα του ανέμου [31]



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα συντελεστή ισχύος-λόγο ταχυτήτων λ [31]

Η ισχύς που δίνει μια Α/Γ δίνεται από τον τύπο:

$$P = \eta * \frac{1}{2} * C_p(\lambda, \beta) * \rho * A * V^3$$

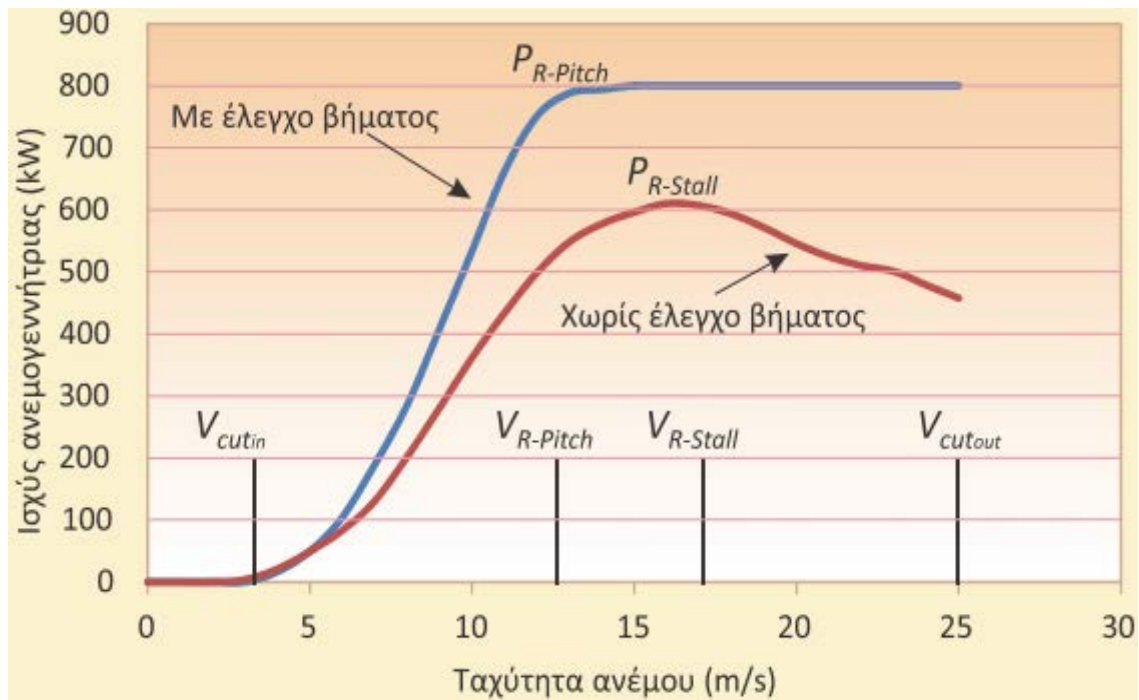
Όπου η ένας συνολικός βαθμός απόδοσης των μερών της μηχανής που συμπεριλαμβάνει απώλειες στο κιβώτιο ταχυτήτων, στις εδράσεις και στη γεννήτρια. Την γραφική παράσταση παραγόμενης ισχύος (καμπύλη ισχύος) την βλέπουμε στο Σχήμα 3.4 με μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος (PR) 800KW με έλεγχο βήματος (Pitch control) και για μια 600KW χωρίς βήμα (Stall control) συναρτήσεως ταχύτητας ανέμου. Επίσης στο Σχήμα 3.4 βλέπουμε την ταχύτητα έναρξης της ανεμογεννήτριας (V_{cutin}), την ταχύτητα διακοπής (V_{cutout}) και την μέγιστη ταχύτητα της (V_R).

Τέλος, από τα παραπάνω προκύπτει ότι η παραγόμενη ενέργεια δίνεται από τον τύπο:

$$E_{turb} = \delta\tau * \int_0^{\infty} f(V) * P(V) * dV = \delta\tau * \int_{V_{cutin}}^{V_{cutout}} f(V) * P(V) * dV$$

ή όταν δεν είναι διαθέσιμη η ακριβής μαθηματική έκφραση της καμπύλης ισχύος τότε θα έχουμε:

$$E_{turb} = \delta\tau * \sum_i(fv_i) * P_i$$



Σχήμα 3.4: Καμπύλη ισχύος [31]

3.3 Μέθοδοι αποθήκευσης Η/Ε

3.3.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας βασίζονται στην αποθήκευση διαφορετικών μορφών ενέργειας, που προήλθαν από ηλεκτρική ενέργεια, για μια χρονική περίοδο και αργότερα στην μετατροπή τους ξανά σε ηλεκτρική ακολουθώντας την αντίστοιχη ζήτηση [32]. Σήμερα, βασιζόμαστε κυρίως σε αποθήκευση ενέργειας μέσω ορυκτών καυσίμων (π.χ. βενζίνη, φυσικό αέριο, πετρέλαιο) που προέρχονται από βιομάζα. Η αποθήκευση ενέργειας μέσω κατάλληλων αναπτυγμένων τεχνολογιών τον 21ο αιώνα, αποτελεί κύρια πρόκληση των κρατών για πολλούς λόγους [33]:

- ✧ Πρώτον, η συνεχώς αναπτυσσόμενη αξιοποίηση των ΑΠΕ αποτελεί βασικό στοιχείο της ευρωπαϊκής ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, με στόχο την ενεργειακή ουδετερότητα. Έτσι η αυξανόμενη εισαγωγή των ΑΠΕ οδηγεί και σε αύξηση της ανάγκης για αποθήκευση, ώστε να υπάρχει εξισορρόπηση μεταξύ προσφοράς και ζήτησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.
- ✧ Για τις εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η αποθήκευση βοηθά στον να διατηρείται σταθερή η παραγωγή και να καλύπτονται οι ώρες υψηλής ζήτησης (αιχμής) αξιοποιώντας την ενέργεια που περίσσεψε σε ώρες χαμηλής κατανάλωσης. Έτσι, μειώνεται το λειτουργικό κόστος και βελτιώνεται η ποιότητα του ρεύματος (σταθερή τάση, ένταση, συχνότητα).
- ✧ Θα ενισχυθεί η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, ιδιαίτερα μέσα στις πόλεις προσφέροντας σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.
- ✧ Μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των καταναλωτών σε περιπτώσεις διακοπής ρεύματος και να μειώσει την κατανάλωση σε ώρες αιχμής όταν το ρεύμα είναι ακριβότερο.

3.3.2 Τεχνολογίες και λειτουργία

Υπάρχουν πολλά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας ωστόσο η κατάλληλη μέθοδος αποθήκευσης σε κάθε περίπτωση εξαρτάται τους εξής παράγοντες:

- ✧ Από την ποσότητα ενέργειας που πρέπει να αποθηκευτεί (ενεργειακή πυκνότητα του υλικού).

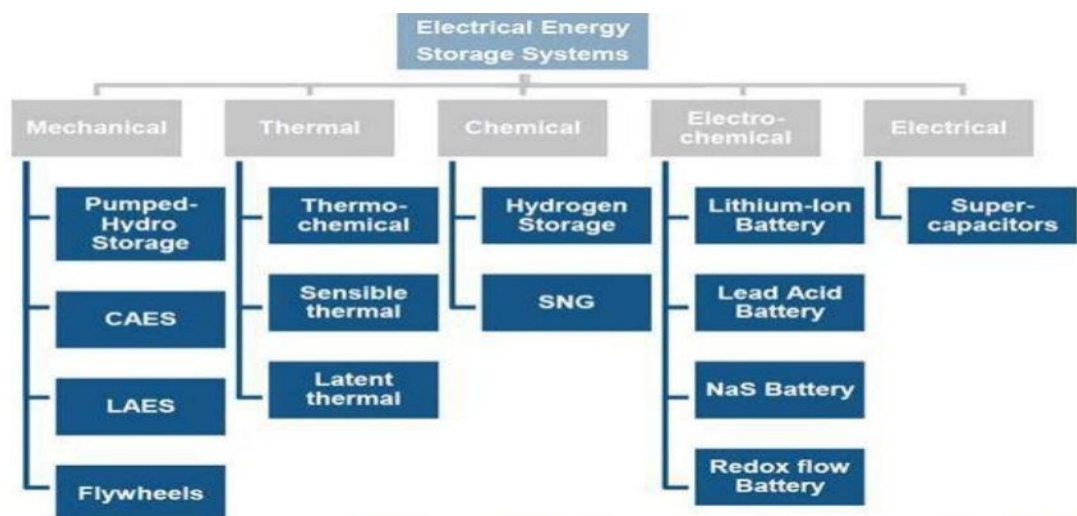
- ✧ Την διάρκεια αποθήκευσης.
- ✧ Την μορφή της ενέργειας.
- ✧ την απόδοση ανάκτησής της.

Επίσης, στα συστήματα αποθήκευσης προκύπτουν δύο μορφές απωλειών ενέργειας:

- ✧ Πρώτον, κατά τις διεργασίες μετατροπής της ενέργειας.
- ✧ Και δεύτερον, λόγω αυτοεκφόρτισης.

Επιπρόσθετα, βασικός παράγοντας αποτελεί η χρονική κλίμακα της ενεργειακής αποθήκευσης, δηλαδή αν είναι βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη. Στην βραχυπρόθεσμη αποθήκευση χρησιμοποιούνται διατάξεις όπως οι σφόνδυλοι και οι υπερπυκνωτές, που θα αναλύσουμε παρακάτω, όπου η παραγωγή βρίσκεται κοντά στη θέση ζήτησης για να ανταποκρίνεται στα αιτήματα, βελτιώνοντας την ποιότητα ισχύος στα ηλεκτρικά δίκτυα σε περίπτωση βυθίσεων ή διακυμάνσεων μερικών δευτερολέπτων ή λίγων λεπτών. Από την άλλη, στην μακροπρόθεσμη αποθήκευση χρησιμοποιούνται διατάξεις όπως η αντλησιοταμίευση, οι μπαταρίες κ.α. και πρόκειται για μεγάλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που αποθηκεύουν και παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε χρονικές περιόδους ωρών ή και ημερών βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο στην σωστή αξιοποίηση της πλεονάζουσας ενέργειας, στη ρύθμιση της συχνότητας και στη διαχείριση της συμφόρησης στο δίκτυο.

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με πολλών ειδών τεχνολογίες όπως είναι η αποθήκευση σε μορφή ηλεκτρικής, μηχανικής, ηλεκτροχημικής, χημικής, θερμικής ενέργειας. Κάθε τεχνολογία από αυτές παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με βάση την χωρητικότητα, την ισχύ, την απόδοση και το κόστος (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας [34]

Αρχικά, τα ηλεκτρικά μέσα αποθήκευσης είναι οι υπερπυκνωτές και τα υπεραγωγίμα μαγνητικά συστήματα (SMES). Οι υπερπυκνωτές αποτελούν μια ενίσχυση των συμβατικών πυκνωτών, αποθηκεύουν ενέργεια σε μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου, ξεχωρίζουν για την γρήγορη απόκρισή τους και για την μεγάλη διάρκεια ζωής γύρω στους 10.000 κύκλους. Ωστόσο, παρουσιάζουν μειονεκτήματα όπως ο υψηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης και η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα. Από την άλλη, τα SMES χρησιμοποιούν υπεραγωγίμα πηνία για την αποθήκευση ενέργειας σε μορφή μαγνητικού πεδίου με μηδενικές απώλειες και ρυθμίζουν την συχνότητα και ποιότητα ισχύος. Προσφέρουν υψηλή απόδοση, γρήγορη απόκριση και μεγάλη διάρκεια ζωής, περίπου 100.000 κύκλους, ενώ το κύριο αρνητικό στοιχείο τους είναι η δύσκολη κατασκευή τους.

Στη συνέχεια έχουμε τα μηχανικά μέσα αποθήκευσης όπως είναι οι σφόνδυλοι, τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα (CAES) και η αντλησιοταμίευση. Οι σφόνδυλοι είναι βασισμένοι σε ένα περιστρεφόμενο συμπαγή δίσκο, στερεωμένο σε άξονα. Η αποθήκευση γίνεται μέσω επιτάχυνσης του σφονδύλου, ο οποίος περιστρέφεται με 20.000 έως 50.000 στροφές ανά λεπτό. Η εκμετάλλευση της ενέργειας γίνεται μέσω της ροπής του περιστρεφόμενου σώματος. Το σύστημα παρουσιάζει υψηλό βαθμό απόδοσης έως και 90%, αν και υφίσταται απώλειες αυτοεκφόρτισης (10-25)% ανά ώρα. Προσφέρει εξαιρετικά γρήγορη απόκριση, μεγάλη ενεργειακή αποδοτικότητα, πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Τα CAES χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια για συμπίεση αέρα ο οποίος αποθηκεύεται σε υψηλή πίεση σε φυσικά μέσα όπως σπήλαια ή ορυχεία και σε τεχνικά μέσα όπως χαλύβδινες δεξαμενές και στη συνέχεια θερμαίνεται και απελευθερώνεται κινώντας ατμοστρόβιλους ή αεριοστρόβιλους. Η αντλησιοταμίευση αποτελεί το 94% σε μέσα αποθήκευσης ενέργειας με συνολική ισχύ τα 200GW και αποτελείται από 2 ταμιευτήρες με υψομετρική διαφορά και από έναν αντιστρέψιμο υδροστρόβιλο που λειτουργεί ως αντλία για να ανυψώσει το νερό στη πάνω δεξαμενή και ως στρόβιλος παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας όταν απελευθερώνει το νερό προς τα κάτω.

Επιπλέον, ένα ακόμα μέσο αποθήκευσης ενέργειας το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε και στο υβριδικό σύστημα της εργασίας είναι τα ηλεκτροχημικά μέσα όπως είναι οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες). Αποτελούν τον πιο γνωστό τρόπο αποθήκευσης, και έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως το ότι έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών, είναι

αθόρυβοι, δεν μολύνουν το περιβάλλον, ωστόσο έχουν μεγάλο κόστος και χρειάζονται συντήρηση και αντικατάσταση περίπου μετά τα 10 χρόνια. Μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική στη φόρτιση, και την χημική σε ηλεκτρική στην εκφόρτιση. Η χημική ενέργεια αποθηκεύεται σε 2 ηλεκτρόδια, ένα ανόδου και ένα καθόδου, που μεταφέρουν μεταξύ τους ιόντα δημιουργώντας ηλεκτρική τάση ανάμεσα τους. Ανάλογα με τον τύπο των ηλεκτροδίων κατασκευής τους υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι συσσωρευτών:

- ✧ Μπαταρίες μολυβδου-οξέος (Lead-acid).
- ✧ Νικελίου καδμίου (NiCd).
- ✧ Θειούχου νατρίου (NaS).
- ✧ Ιόντων λιθίου (Li ion).
- ✧ Λιθίου πολυμερούς (Li-polymer).
- ✧ Συσσωρευτών ροής (Flow batteries).

Βασικά μεγέθη των συσσωρευτών αποτελούν η ηλεκτρεγερτική δύναμη (Emf) που είναι η μέγιστη τάση, συνήθως 12V στα άκρα του συσσωρευτή, η ονομαστική χωρητικότητα που είναι το μέγιστο φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει ο συσσωρευτής, η απόδοση, δηλαδή το πηλίκο του φορτίου κατά την εκφόρτιση προς το φορτίο κατά τη φόρτιση, η κατάσταση φόρτισης (ποσοστό φόρτισης μια δεδομένη χρονική στιγμή), το χρονικό περιθώριο εκφόρτισης και τέλος ο χρόνος ζωής του συσσωρευτή που εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας [35].

Ακόμη, άλλη ένα μέσο αποθήκευσης αλλά σε μορφή χημικής ενέργειας είναι το πράσινο υδρογόνο το οποίο βρίσκεται σε αφθονία. Παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης από ΑΠΕ και χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με απόδοση περίπου (50-60)% και ως καύσιμο σε καθαρή μορφή. Το υδρογόνο όταν είναι σε μικρές ποσότητες (10 MWh) αποθηκεύεται σε πεπιεσμένα δοχεία ή νανοσωλήνες, όταν βρίσκεται σε μεσαίες ποσότητες σε δεξαμενές ενώ σε μεγάλες (100 GWh) χρησιμοποιούνται υπόγειες στοές.

Τέλος, η αποθήκευση ενέργειας με θερμικά μέσα (TES) βασίζεται στην αποθήκευση θερμότητας για μεταγενέστερη χρήση και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εξομάλυνση της ζήτησης της ενέργειας και την βελτίωση της απόδοσης ενεργειακών συστημάτων. Οι κυριότεροι τύποι αποθήκευσης θερμότητας είναι η αποθήκευση αισθητής θερμότητας, η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας και η θερμοχημική αποθήκευση.

3.4 Ηλεκτρονικά ισχύος

3.4.1 Εισαγωγή

Τα ηλεκτρονικά ισχύος αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο για την επιτυχή ενσωμάτωση των ΑΠΕ, στα σύγχρονα ηλεκτρικά δίκτυα. Αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των συστημάτων ΑΠΕ καθώς είναι το ενδιάμεσο τμήμα ανάμεσα στα συστήματα παραγωγής (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες) και τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας [1].

Τα ηλεκτρονικά ισχύος είναι ηλεκτρονικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας, μεταβάλλοντας χαρακτηριστικά του ρεύματος όπως η τάση, η ένταση και η συχνότητα ώστε να αξιοποιηθεί αποδοτικά η ενέργεια σε όλα τα στάδια ενός ηλεκτρικού συστήματος από την παραγωγή μέχρι και την κατανάλωση. Για παράδειγμα, τα φωτοβολταϊκά παράγουν συνεχές ρεύμα (DC), το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο (AC) μέσω αντιστροφών, ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί από το δίκτυο και τους καταναλωτές.

3.4.2 Τεχνολογίες και λειτουργία

Βασικός ρόλος των ηλεκτρονικών ισχύος λοιπόν είναι να μετατρέπουν την τάση και την ένταση του ρεύματος ώστε να εξασφαλίζουν την παροχή ενέργειας με κατάλληλη ποσότητα και ποιότητα ανάλογα με τις απαιτήσεις της κατανάλωσης. Οι μετατροπές που πραγματοποιούν τα ηλεκτρονικά ισχύος είναι οι εξής:

- ✧ Μετατροπή συνεχούς σε συνεχές, διαφορετικής τάσης και έντασης (Μετατροπείς DC-DC).
- ✧ Μετατροπή εναλλασσόμενου σε συνεχές (Μετατροπείς AC-DC ή ανορθωτικές διατάξεις).
- ✧ Μετατροπή εναλλασσόμενου σε εναλλασσόμενο διαφορετικού πλάτους (Ρυθμιστές AC-AC ή μετασχηματιστές).
- ✧ Μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο (Μετατροπείς DC-AC ή αντιστροφείς).

Ο μετατροπέας DC-DC μετασχηματίζει το συνεχές ρεύμα σε συνεχές διαφορετικού πλάτους και λειτουργεί με βάση τους νόμους που διέπουν την λειτουργία των ημιαγωγών. Λειτουργεί με 3 διαφορετικούς τρόπους εξαρτώμενος από τον διακόπτη που περιέχει:

- ✧ Ως μετατροπέας υποβιβασμού συνεχούς τάσης ($V_{out} = D * V_{in}$).
- ✧ Ως μετατροπέας ανύψωσης συνεχούς τάσης ($V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D}$).
- ✧ Ως μετατροπέας ανύψωσης υποβιβασμού τάσης ανάλογα με το βαθμό χρησιμοποίησης D (όπου D , ο βαθμός χρησιμοποίησης ή αλλιώς ο κύκλος λειτουργίας του διακόπτη), ($V_{out} = \frac{D}{1-D} V_{in}$).

Οι ανορθώσεις είναι διατάξεις που μετασχηματίζουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Όταν ανορθώνουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε όλη την διάρκεια της περιόδου λέγονται ανορθωτές πλήρους κύματος, ενώ όταν το ανορθώσουν κατά μισή περίοδο λέγονται μισού κύματος. Ανάλογα με τους ημιαγωγούς που χρησιμοποιούμε σαν διακόπτες, οι ανορθωτές διακρίνονται σε μη ελεγχόμενους, αν χρησιμοποιούμε διόδους ισχύος και σε ελεγχόμενους αν χρησιμοποιούμε θυρίστορες.

Οι ρυθμιστές τάσης ή αλλιώς μετασχηματιστές είναι μετατροπείς που ελέγχουν την τάση, το ρεύμα και τη μέση ισχύ από μια πηγή AC σε ένα φορτίο. Λειτουργεί με την χρήση θυρίστορες (SCR/ηλεκτρονικών διακοπών), οι οποίοι συνδέουν και αποσυνδέουν την πηγή από το φορτίο τροποποιώντας την κυματομορφή. Τα θυρίστορες τοποθετούνται αντιπαράλληλα για να επιτρέπουν το ρεύμα και στις δύο ημιπεριόδους. Όταν αγωγεί κάποιο SCR, η τάση του φορτίου και της πηγής έχουν ίδια τιμή, ενώ η ενεργός τιμή του ρεύματος σε κάθε SCR είναι ίση με αυτή του φορτίου διαιρεμένη με $\sqrt{2}$.

Τέλος, οι αντιστροφείς (inverters) μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο και έχουν δυνατότητα ρύθμισης πλάτους και συχνότητας. Υπάρχουν δύο κατηγορίες αντιστροφέων:

- ✧ Τετραγωνικού παλμού: λειτουργεί με συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας, η οποία αποτελείται από τέσσερις ελεγχόμενους διακόπτες σε σύνδεση γέφυρας και τέσσερις διόδους συνδεδεμένες στα άκρα των διακοπών. Παράγεται τετραγωνική κυματομορφή.
- ✧ Ημιτονοειδούς διαμόρφωσης εύρους παλμού (SPWM): Παράγεται σαν αποτέλεσμα σύγκρισης ανάμεσα σε μια ημιτονοειδή και μια τριγωνική κυματομορφή. Αποτελείται από μια γεννήτρια 50HZ, μια γεννήτρια τριγωνικής κυματομορφής πολύ μεγάλης συχνότητας, έναν αναλογικό αντιστροφέα και δύο συγκριτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΗΛΟΣ

4.1 Γενικά

Η Τήλος είναι ένα μικρό και γραφικό νησί στο αρχιπέλαγος των Δωδεκανήσων και βρίσκεται ανάμεσα στην Ρόδο και στην Κω. Είναι το 7ο σε σειρά έκτασης (61.487 τ.χλμ.) νησί των Δωδεκανήσων και σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2021, έχει 746 μόνιμους κατοίκους. Το σχήμα του νησιού είναι ακανόνιστο (Εικόνα 4.1) και το τοπίο περιλαμβάνει κυρίως ψηλά βουνά, εύφορες παραθαλάσσιες πεδιάδες, βραχώδη εδάφη και όμορφες παραλίες. Στο νησί υπάρχουν 4 μεγάλοι οικισμοί [1]:

- ✧ Το Μεγάλο χωριό με 237 κατοίκους που αποτελεί την πρωτεύουσα του νησιού και ξεχωρίζει για την λιτή νησιωτική αρχιτεκτονική της, με πετρόκτιστα σπίτια και στενά σοκάκια.
- ✧ Τα Λιβάδια με 419 κατοίκους, βρίσκεται στην νοτιοανατολική ακτή και από εκεί είναι ορατά και τα βουνά της Τουρκίας αλλά και το γειτονικό νησί της Σύμης. Είναι το μεγαλύτερο χωριό και λιμάνι της Τήλου (Εικόνα 4.2).
- ✧ Ο Άγιος Αντώνιος με 76 κατοίκους. Πρόκειται για παραθαλάσσιο χωριό που οι κάτοικοι ασχολούνται με την αλιεία και τον τουρισμό.
- ✧ Η Έριστος με 14 κατοίκους, που είναι και η πιο γνωστή παραλία του νησιού.

Σε ότι έχει να κάνει με την ιστορία του νησιού, η Τήλος έχει μακρά ιστορική διαδρομή από την Νεολιθική εποχή με απολιθώματα Νάνων ελεφάντων τα οποία ανακαλύφθηκαν το 1970 στο σπήλαιο Χαρκάδιο, στην περιοχή της Μισαρίας. Πρόκειται νεκροταφείο ελεφάντων νάνων οι οποίοι βρέθηκαν στο νησί μετά την καταβύθιση της Αιγίδος. Εμφανίστηκαν στο νησί πριν 45000 χρόνια, εξαφανίστηκαν πριν από περίπου 4000 χρόνια και αποτελούν τους τελευταίους ελέφαντες της Ευρώπης. Κατά την αρχαιότητα η Τήλος υπήρξε ανεξάρτητη πόλη κράτος και μέλος της Ά Αθηναϊκής συμμαχίας και άκμασε στην κλασική περίοδο, όπου έζησε στον νησί η διάσημη λυρική ποιήτρια Ήρινα. Ακολούθησαν περίοδοι Μακεδονικής, Ρωμαϊκής και Βυζαντινής κυριαρχίας, ενώ τον 14ο αιώνα πέρασε στους ιππότες του Αγίου Ιωάννη και το 1522 στους Οθωμανούς. Μετά την Ιταλική κατοχή (1912-1943) και την Γερμανική περίοδο του Β παγκοσμίου πολέμου, η

Τήλος ενώθηκε με την Ελλάδα το 1948. Σήμερα όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 4.2, η Τήλος ξεχωρίζει ως πρότυπο βιώσιμης ανάπτυξης, με καινοτόμο ενεργειακό σύστημα.



Εικόνα 4.1: Τήλος



Εικόνα 4.2: Λιβιάδια

4.2 Ενέργεια στο νησί

4.2.1 Ζήτηση ενέργειας στην Τήλο

Η Τήλος στον τομέα της ενέργειας έχει ανατρέψει τα δεδομένα καθώς έχει γίνει το πρώτο “πράσινο” νησί στην Μεσόγειο. Αυτό σημαίνει ότι η Τήλος καλύπτει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό από τις ανάγκες της για ενέργεια, σχεδόν όλο τον χρόνο αποκλειστικά από ΑΠΕ. Σύμφωνα με τελευταίες μελέτες του 2019, τον χειμώνα η ενέργεια που παράγεται είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που καταναλώνεται και για αυτό η Τήλος εξάγει ενέργεια μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου στα γειτονικά νησιά Κω και Νίσυρο ενώ το καλοκαίρι η ενεργειακή αυτεπάρκεια του νησιού πέφτει στο 75% λόγω τουρισμού και το ίδιο καλώδιο εισάγει την απαραίτητη ενέργεια για να καλυφτούν οι απαραίτητες ανάγκες.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί της Τήλου, σύμφωνα με τα δεδομένα που προέρχονται από σύστημα παρακολούθησης φορτίου υψηλής ανάλυσης, με χρονικό βήμα 10 λεπτά και είναι εγκατεστημένο στο νησί από το 2016 (Σχήμα 4.1) [36][37], ανέρχονταν στις 3.035GWh ετησίως για τα έτη 2015 έως 2019, φορτίο το οποίο αυξήθηκε στις 3.696GWh για το έτος 2024 σύμφωνα με μετρήσεις του ΔΕΔΔΗΕ. Η μέση ωριαία ζήτηση αυτών των ετών (2015-19) είναι 370KW ενώ η μέγιστη καταγεγραμμένη ζήτηση φτάνει τα 850KW κατά την θερινή περίοδο λόγω τουριστικής αιχμής και μεγάλης χρήσης των κλιματιστικών μονάδων (Σχήμα 4.2). Το ποσοστό κάλυψης της ετήσιας ζήτησης από ΑΠΕ κυμαίνεται από (85-95)% αναλόγως μετρολογικών συνθηκών και μοντέλου προσομοίωσης [38].

4.2.2 Το υπάρχον υβριδικό σύστημα της Τήλου (S4S TILOS PROJECT)

Για να κάνει ένα τέτοιο τεράστιο βήμα το νησί στον τομέα της ενέργειας, δημιουργήθηκε το S4S Tilos Project, ένα πρωτοποριακό έργο που χρηματοδοτήθηκε με 11 εκατομμύρια ευρώ από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Horizon 2020 και 2,74 εκατομμύρια συμπληρωματική τροφοδότηση και το οποίο στέφτηκε με μεγάλη επιτυχία. Περιλαμβάνει έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος παράγει ηλεκτρική ενέργεια από ένα πάρκο συσσωρευτών αιολικής και ηλιακής ενέργειας και την αποθηκεύει σε μπαταρίες, μεγιστοποιώντας την παραγωγή ενέργειας με βιώσιμο τρόπο,

χαμηλό κόστος, εξασφαλίζοντας αυτονομία και σταθερότητα χωρίς να επιβαρύνεται το περιβάλλον.

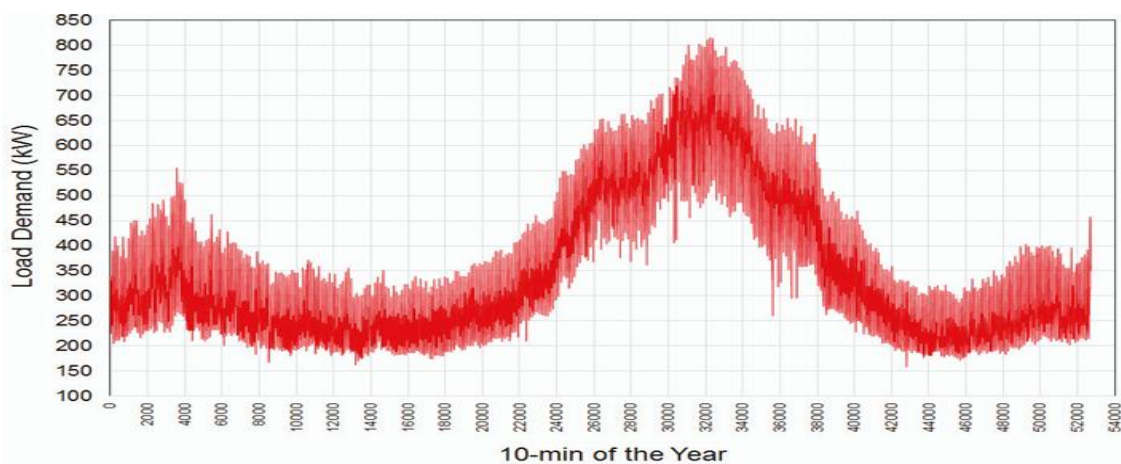
Συγκεκριμένα, το υβριδικό σύστημα που εγκαταστάθηκε στη Τήλο από την Ελληνική εταιρεία Eunice περιλαμβάνει (Εικόνα 4.3) [37][39]:

- ✧ Μια αιολική μονάδα 800KW (Enercon E-53) που εγκαταστάθηκε στην περιοχή Πάτσι βορειοδυτικά του νησιού (Εικόνα 4.4), με θεωρητική ετήσια απόδοση περίπου (1.9-2.1) GWh/(27.5-30)%, στην πράξη όμως 20%.
- ✧ Πολυκρυσταλικά φωτοβολταϊκά της JA Solar που εγκαταστάθηκαν κεντρικά του νησιού ανάμεσα από τις περιοχές Λιβάδια και Μεγάλο χωριό (Εικόνα 4.5) (592 panels των 270W το καθένα, δηλαδή 160KWp) με θεωρητική απόδοση περίπου (250-270)MWh/(18-19)% στην πράξη όμως 12%, συνδυασμένα με 8*20KW inverter fronius.
- ✧ Αποθήκευση (BESS) 800 KW/2.88MWh με τεχνολογία NaNiCl₂ (FZSonick ST523) με Indrivetec SOLO S μετατροπείς συνολικής ισχύος 900KW, εγκαταστημένη στην περιοχή Πάτσι μαζί με την Α/Γ.
- ✧ Γεννήτρια: Εφεδρική γεννήτρια ντίζελ 1,4MW της εταιρίας Caterpillar που είναι εγκατεστημένη στη περιοχή Μεγάλο χωριό. Η τιμή του ηλεκτρισμού που παράγεται αποκλειστικά από συμβατικές μονάδες DIESEL ως εφεδρεία, φτάνει περίπου τα 0.39€/KWh [38].

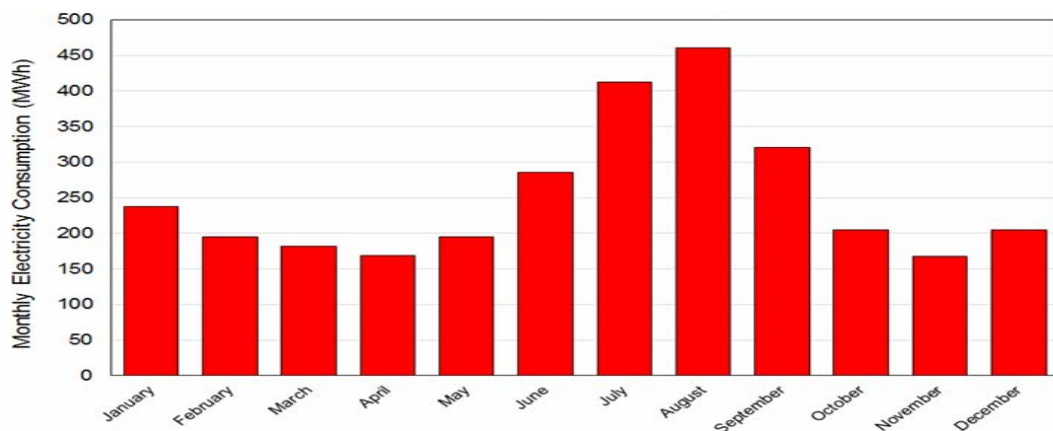
Πέραν της εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης το έργο Tilos περιλάμβανε επίσης την εφαρμογή συστημάτων έξυπνης μέτρησης (smart metering) σε κατοικίες και αντλιοστάσια ύδρευσης, καθώς και την εισαγωγή μηχανισμών διαχείρισης ζήτησης (DSM-Demand Side Management). Οι έξυπνοι μετρητές επέτρεψαν τη συνεχή παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, ενώ το DSM αξιοποίησε αυτές τις πληροφορίες ώστε να βελτιστοποιεί τη λειτουργία φορτίων μεταφέροντας καταναλώσεις από ώρες αιχμής σε ώρες υψηλής διαθεσιμότητας ΑΠΕ. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτέλεσαν τα αντλιοστάσια νερού που η λειτουργία προγραμματίζεται όταν υπάρχει πλεόνασμα αιολικής ή ηλιακής παραγωγής.

Τέλος, μέρος του έργου S4S TILOS είναι και το Tilos info Kiosk όπως και το Local Energy Management System (LEMS). Το info kiosk ήταν μέρος της δράσης “social acceptance & dissemination” του έργου TILOS και ουσιαστικά είναι ένα διαδραστικό κιόσκι πληροφόρησης, το οποίο ενημερώνει κατοίκους, επισκέπτες και φορείς για

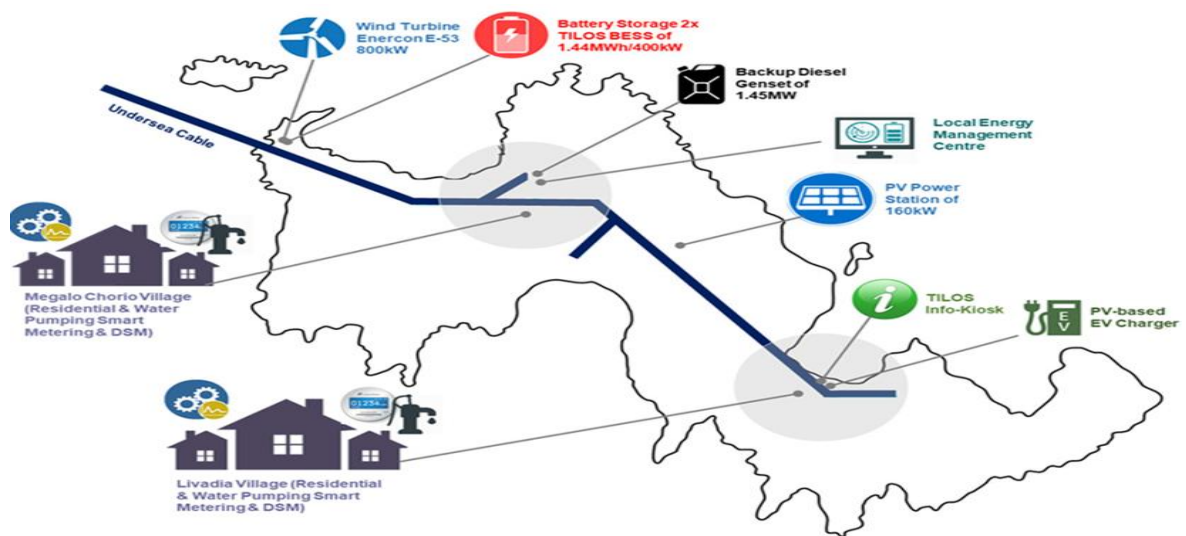
ζωντανά δεδομένα για την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας του υβριδικού συστήματος, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο διαφάνεια στο έργο, πληροφορίες για το πώς το νησί καλύπτει τις ανάγκες του από ΑΠΕ και στατιστικά για την μείωση καυσίμων και CO₂, προωθώντας την ενεργειακή συνείδηση και εκπαίδευση. Από την άλλη, το LEMS είναι η καρδιά του συστήματος και χωρίς αυτό δεν θα μπορούσε να το υβριδικό σύστημα να δουλέψει αυτόνομα σε ένα νησί χωρίς διασύνδεση. Πρόκειται για ένα λογισμικό και ένα υλικοτεχνικό σύστημα ελέγχου που συντονίζει την παραγωγή ΑΠΕ, την φόρτιση εκφόρτιση των μπαταριών, τη λειτουργία της εφεδρικής γεννήτριας και τη ζήτηση μέσω DSM, διασφαλίζοντας σταθερότητα και ενεργειακή αυτονομία στο μικροδίκτυο της Τήλου.



Σχήμα 4.1: Φορτίο Τήλου ανά 10 λεπτά (2015-2019) [37]



Σχήμα 4.2: Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (2015-2019) [36][37]



Εικόνα 4.3: Τοποθεσία κάθε στοιχείου του TILOS PROJECT [37]



Εικόνα 4.4: S4S Project Tilos (ανεμογεννήτρια) [39]



Εικόνα 4.5: S4S Project Tilos (Φωτοβολταϊκά) [39]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1 Παρουσίαση λογισμικού Homer Pro

Το λογισμικό μικροδικτύου Homer Pro [40] αποτελεί την σύγχρονη, εξελιγμένη έκδοση του Homer (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) που αναπτύχθηκε από το NREL (Εθνικό Εργαστήριο ΑΠΕ) στις ΗΠΑ. Είναι ένα από τα πιο ολοκληρωμένα και αξιόπιστα εργαλεία για την μοντελοποίηση και αξιολόγηση υβριδικών συστημάτων ενέργειας παγκοσμίως, υποστηρίζοντας τον σχεδιασμό βιώσιμων ενεργειακών λύσεων ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Αναπτύχθηκε από την εταιρία Homer Energy θυγατρική της UL βοηθώντας στο σχεδιασμό συστημάτων ΑΠΕ με πρακτικές γνώσεις και έξυπνες δυνατότητες σχεδιασμού μικροδικτύου. Συνδυάζει μηχανικές προσομοιώσεις και οικονομική ανάλυση, έτσι τα μικροδύκτια μπορούν να προσαρμοστούν σε συγκεκριμένες ανάγκες.

Σε σύγκριση με την αρχική έκδοση Homer, το Homer Pro ενσωματώνει προηγμένες λειτουργίες και περισσότερες τεχνολογίες, ενώ βασίζεται στις ίδιες θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας [41]:

- ✧ Προσομοίωση: Προσομοίωση λειτουργίας υβριδικών μικροδικτύων σε διάστημα ενός ολόκληρου έτους με χρονικό βήμα από 1 λεπτό έως 1 ώρα, καταγράφοντας λεπτομερή αποτελέσματα απόδοσης του συστήματος και αξιολόγηση όλων των πιθανών διαμορφώσεων του εξοπλισμού που εξετάζει ο χρήστης.
- ✧ Βελτιστοποίηση: Ολοκληρωμένη βελτιστοποίηση με βάση το καθαρό παρόν κόστος (NPC) και άλλων οικονομικών δεικτών, παρουσιάζοντας να πιο συμφέροντα ενεργειακά σενάρια και επιτρέπει την επιλογή των πιο αποδοτικών διαμορφώσεων
- ✧ Ανάλυση ευαισθησίας: Παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να δοκιμάσει την επίδραση των μεταβολών κρίσιμων παραμέτρων (η τιμή του καυσίμου, το επιτόκιο, η ζήτηση, η ακτινοβολία) και να κατανοήσει πώς αυτές επιδρούν στην απόδοση του συστήματος. Έτσι ο χρήστης θα μπορεί να προσδιορίσει τις πιο ανθεκτικές και οικονομικά αποδοτικές διαμορφώσεις συστήματος.

5.2 Εισαγωγή δεδομένων στο Homer Pro

5.2.1 Ηλεκτρικό φορτίο Τήλου

Πρώτη μεταβλητή εισόδου στο λογισμικό Homer Pro είναι το ηλεκτρικό φορτίο της Τήλου. Τα δεδομένα για το φορτίο της Τήλου παρασχέθηκαν από την υπεύθυνο του Τομέα Στρατηγικής Διακυβέρνησης & Δεδομένων, Μαρία-Μαρκέλλα Τσαπραΐλη την οποία και ευχαριστώ πολύ. Το συνολικό ετήσιο φορτίο αυξήθηκε σε σχέση με τα έτη 2015-2019 και από 3,035GWh έφτασε το 2024 περίπου τις 3,700GWh. Οι ενεργές παροχές του νησιού είναι σε αριθμό 779 από τις οποίες 531 είναι οικιακές, 179 εμπορικές, 33 δημόσιες, 23 αγροτικές, 10 κοινοτικά Φ.Ο.Π και 3 δημόσιοι οργανισμοί.

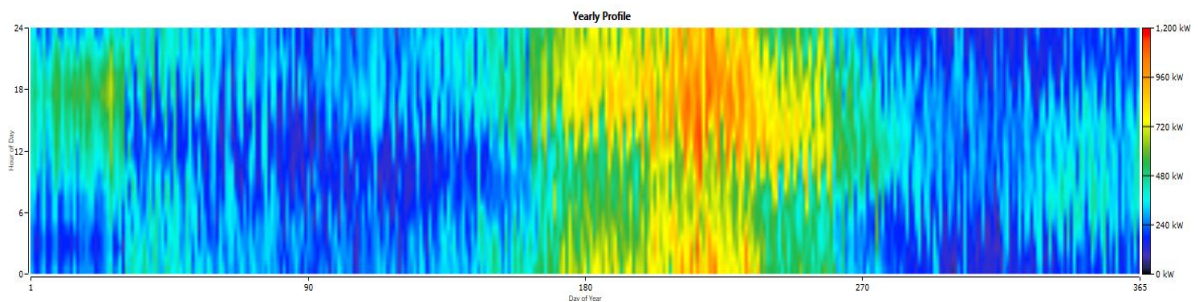
Στη συνέχεια εισήχθη στο Homer Pro φορτίο με βήμα 60 λεπτά. Το φορτίο αρχικά αντλήθηκε από το Σχήμα 4.2 της μελέτης "Supporting the Clean Electrification for Remote Islands: The Case of the Greek Tilos Island" [37], μέσω την εφαρμογής ανάλυσης διαγραμμάτων Webplotdigitizer. Στη συνέχεια, οι ανά ώρα τιμές του φορτίου που αντλήθηκαν και αφορούν το μέσο φορτίο της Τήλου ανά 10 λεπτά για τα έτη 2015-19, αυξήθηκαν κατά ένα μικρό ποσοστό η κάθε μια, ώστε να καλύπτουν το συνολικό φορτίο του 2024, που αυξήθηκε σε σχέση με το συνολικό μέσο συνολικό φορτίο των ετών 2015-19 κατά περίπου 670.000KWh. Συνεπώς, το φορτίο που εισήχθη στο Homer Pro, κρατάει το ωριαίο μοτίβο ζήτησης του νησιού και την συνολική ζήτηση ενέργειας του έτους 2024.

Μετά την εισαγωγή του φορτίου προέκυψε ότι η μέση ημερήσια ζήτηση καθ' όλη την διάρκεια του έτους είναι 422,21KW και 10.133,05KWh, ενώ το μέγιστο φορτίο παρουσιάστηκε στις 10 Αυγούστου και έφτασε τα 1.195,6KW. Ο συντελεστής φορτίου (Load factor) που υπολογίζεται διαιρώντας την μέση ζήτηση με την μέγιστη, υπολογίστηκε 0,35 (Πίνακας 5.1). Το φορτίο, όπως βλέπουμε και στα Σχήματα 5.1 και 5.2, αυξάνεται το καλοκαίρι λόγω τουριστών που πενταπλασιάζουν τον πληθυσμό του νησιού εκείνη την περίοδο, με μεγαλύτερη ζήτηση να εμφανίζεται τον Αύγουστο (Σχήμα 5.3). Τέλος, ώρες αιχμής είναι οι απογευματινές (Σχήμα 5.4).

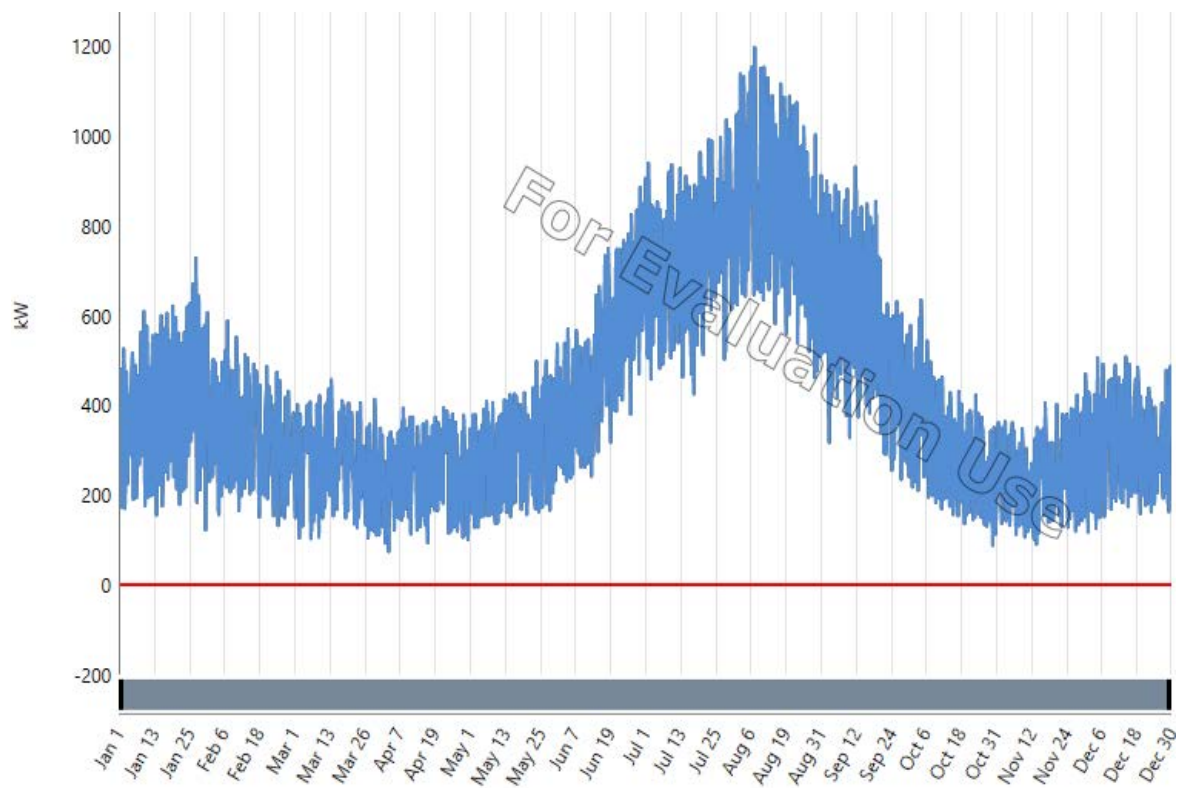
Πίνακας 5.1: Στοιχεία ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας Τήλου

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	10,133.1	10,133.1
Average(kW)	422.21	422.21
Peak (kW)	1,195.6	1,195.6
Load factor	.35	.35

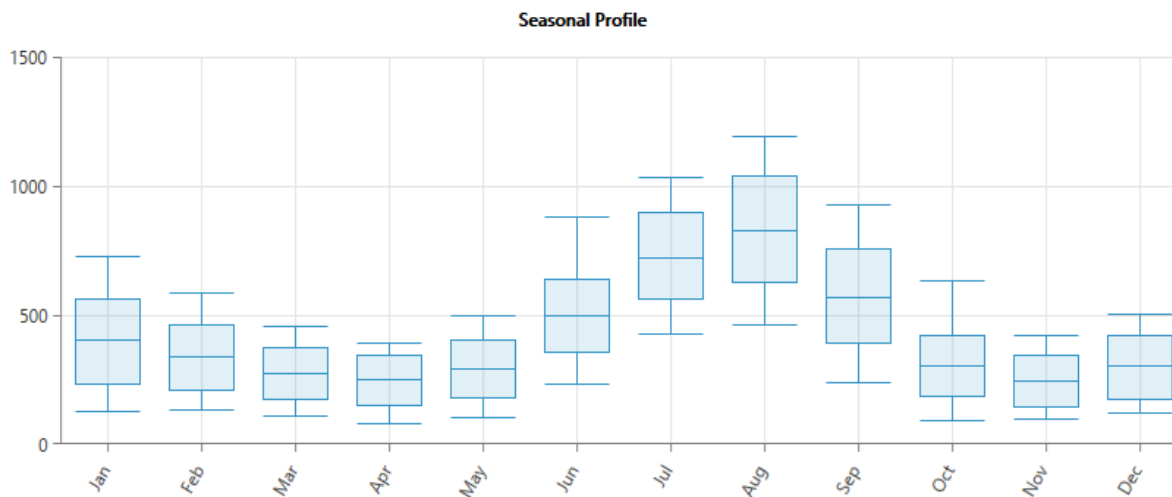
Load Type: ☒ AC ☐ DC



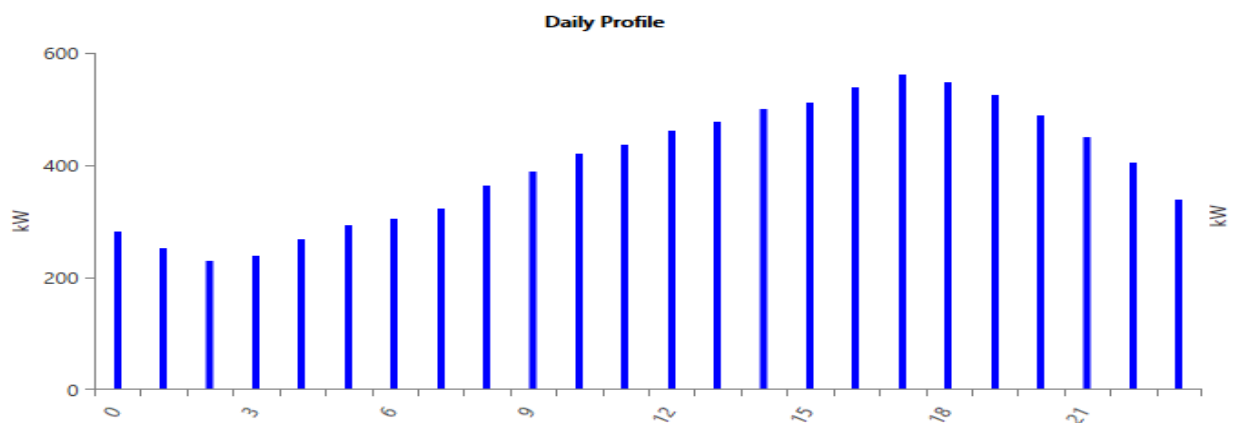
Σχήμα 5.1: Ετήσιο προφίλ ζήτησης Τήλου



Σχήμα 5.2: ωριαίο φορτίο Τήλου



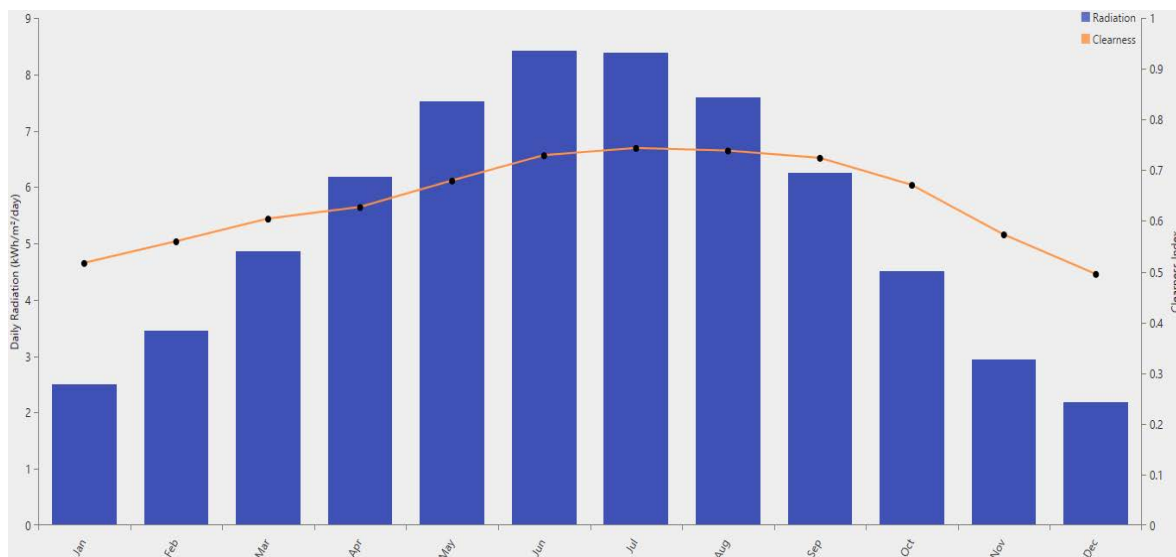
Σχήμα 5.3: Μηνιαίο προφίλ ζήτησης Τήλου



Σχήμα 5.4: Ημερήσιο προφίλ Τήλου

5.2.2 Κλιματικά δεδομένα Τήλου

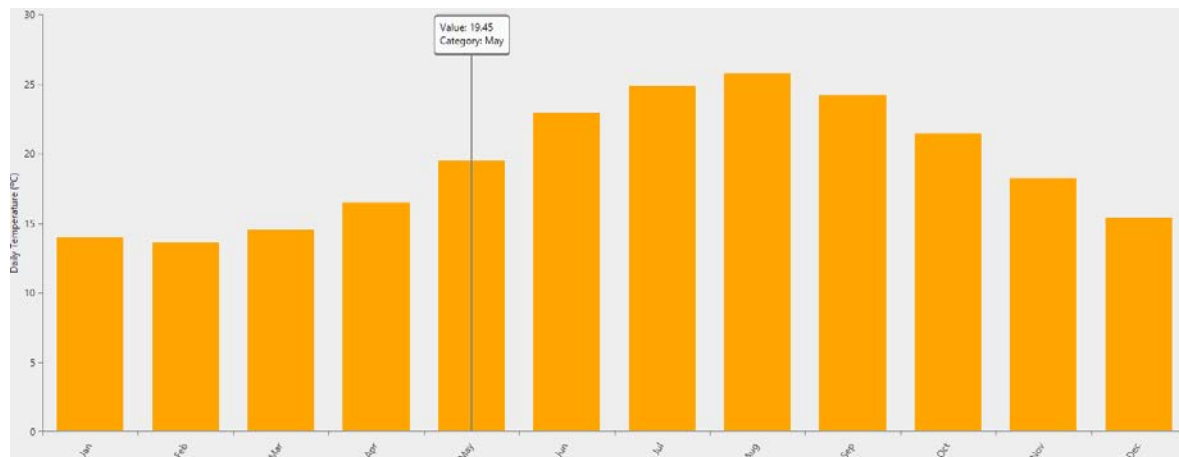
Στη συνέχεια, βασικό της μελέτης είναι η εισαγωγή στον χάρτη του Homer Pro των συντεταγμένων της Τήλου με σκοπό την άντληση των κλιματικών δεδομένων που είναι ίδια για όλη την επιφάνεια του νησιού. Το Homer Pro παίρνει αυτά τα δεδομένα από την βάση δεδομένων της Nasa τα οποία προκύπτουν από μελέτες έως και 30 έτη στο νησί. Οι μελέτες αυτές μας αποδίδουν δεδομένα που αφορούν την μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία και την καθαρότητα του ουρανού καθώς και την μηνιαία ταχύτητα του ανέμου και της θερμοκρασίας (Σχήματα 5.5, 5.6 και 5.7) (Πίνακες 5.2, 5.3 και 5.4) .



Σχήμα 5.5: Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία και καθαρότητα ουρανού της Τήλου

Πίνακας 5.2: Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία και καθαρότητα ουρανού της Τήλου

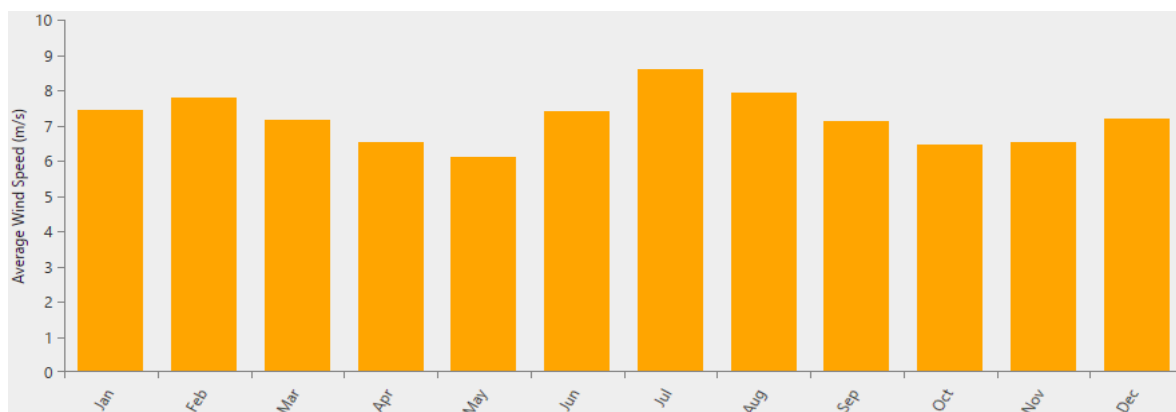
Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
Jan	0.516	2.500
Feb	0.559	3.460
Mar	0.603	4.860
Apr	0.626	6.180
May	0.678	7.520
Jun	0.728	8.420
Jul	0.743	8.390
Aug	0.738	7.590
Sep	0.723	6.260
Oct	0.670	4.510
Nov	0.572	2.940
Dec	0.494	2.190



Σχήμα 5.6: Μέση μηνιαία θερμοκρασία Τήλου

Πίνακας 5.3: Μέση Μηνιαία θερμοκρασία της Τήλου

Month	Daily Temperature (°C)	
Jan	13.950	
Feb	13.570	
Mar	14.520	
Apr	16.480	
May	19.450	
Jun	22.920	
Jul	24.840	
Aug	25.760	
Sep	24.200	
Oct	21.420	
Nov	18.190	
Dec	15.370	



Σχήμα 5.7: Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου της Τήλου

Πίνακας 5.4: Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου της Τήλου

Month	Average (m/s)
Jan	7.440
Feb	7.790
Mar	7.170
Apr	6.520
May	6.110
Jun	7.400
Jul	8.610
Aug	7.940
Sep	7.110
Oct	6.440
Nov	6.540
Dec	7.200

5.2.3 Δεδομένα ανεμογεννήτριας

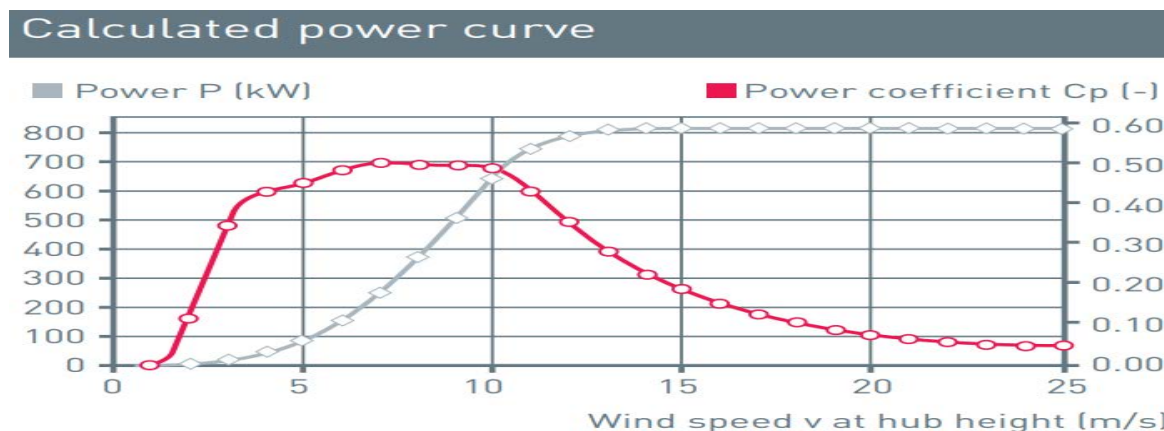
Η ανεμογεννήτρια που επιλέχθηκε για το υβριδικό σύστημα είναι η υπάρχουσα του υφιστάμενου συστήματος της Τήλου με μοντέλο της εταιρίας Enercon E-53 ισχύος 800 KW (Εικόνα 5.1) [37]. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει αποδείξει υψηλή αξιοπιστία σε νησιωτικές συνθήκες μεσαίου αιολικού δυναμικού όπως η Τήλος και κάνει οικονομικότερο το νέο μας σύστημα αφού δεν θα χρειαστεί να δαπανήσουμε χρήματα από το κεφάλαιό μας (Πίνακας 5.5).

Για την επιπλέον ενίσχυση του αιολικού τμήματος, θα εγκαταστήσουμε άλλη μια ανεμογεννήτρια τύπου Enercon E-53 αφού η ομοιομορφία στον εξοπλισμό μειώνει τα κόστη συντήρησης και αυξάνει την ευελιξία στην τεχνική διαχείριση. Επιπρόσθετα, η προσθήκη νέας Α/Γ στο σύστημα επιτρέπει καλύτερη κάλυψη φορτίου κατά την διάρκεια της νύχτας και σε περιόδους μειωμένης ηλιοφάνειας, αυξάνοντας τον συντελεστή διεύδυσης ΑΠΕ.

Η Α/Γ E-53 έχει ύψος πλήμνης 73m, κόστος αγοράς 900.000 ευρώ στο οποίο περιλαμβάνεται η κατασκευή, η μεταφορά και η εγκατάστασή της. Το κόστος αντικατάστασης κυμαίνεται στο 80-90% της αγοραστικής αξίας αφού κατά την αντικατάσταση της πλέον δεν υπάρχει ανάγκη αγοράς ενός πλήρους συστήματος (καλώδια, υποδομές, μελέτες) και αναμένεται και πτώση τιμών τεχνολογίας, άρα η τιμή

υπολογίζεται στα 765.000 ευρώ [42]. Τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας ανέρχονται 30.000 ευρώ/ανά έτος και η ζωή του συγκεκριμένου μοντέλου φτάνει μέχρι και τα 25 χρόνια (Πίνακας 5.6). Η νέα Α/Γ θα εγκατασταθεί στην ίδια τοποθεσία με την παλιά Α/Γ του υφιστάμενου συστήματος της Τήλου, βορειοδυτικά του νησιού στην περιοχή Πάτσι, καθώς πρόκειται για ένα σημείο με ιδανικό υψόμετρο και καλές ανεμολογικές συνθήκες. Η καμπύλη ισχύος των δύο ανεμογεννητριών φαίνεται στον Πίνακα 5.7.

Technical specifications E-53		Wind (m/s)	Power P (kW)	Power-coefficient Cp (-)
Rated power:	800 kW			
Rotor diameter:	52.9 m	1	0.0	0.00
Hub height in meter:	60 / 73	2	2.0	0.19
Wind zone (DIBT):	WZ II exp	3	14.0	0.39
Wind class (IEC):	IEC/NVNI Class S [V _{ref} = 7.5 m/s, V _{test} = 57 m/s]	4	38.0	0.44
WEC concept:	Gearless, variable speed Single blade adjustment	5	77.0	0.46
Rotor		6	141.0	0.48
Type:	Upwind rotor with active pitch control	7	228.0	0.49
Rotational direction:	Clockwise	8	336.0	0.49
No. of blades:	3	9	480.0	0.49
Swept area:	2,198 m ²	10	645.0	0.48
Blade material:	GRP (epoxy resin); Built-in lightning protection	11	744.0	0.42
Rotational speed:	Variable, 11 - 29.5 rpm	12	780.0	0.34
Pitch control:	ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply	13	810.0	0.27
		14	810.0	0.22
Drive train with generator		15	810.0	0.18
Hub:	Rigid	16	810.0	0.15
Main bearing:	Twin tapered roller bearing	17	810.0	0.12
Generator:	ENERCON direct-drive annular generator	18	810.0	0.10
Grid feed:	ENERCON inverter	19	810.0	0.09
Brake systems:	- 3 independent pitch control systems with emergency power supply	20	810.0	0.08
	- Rotor brake	21	810.0	0.06
	- Rotor lock	22	810.0	0.06
Yaw system:	Active via yaw gear, load-dependent damping	23	810.0	0.05
Cut-out wind speed:	28 - 34 m/s (with ENERCON storm control*)	24	810.0	0.04
Remote monitoring:	ENERCON SCADA	25	810.0	0.04



Εικόνα 5.1: Φυλλάδιο κατασκευαστή ανεμογεννητριών [43]

Πίνακας 5.5: Εισαγωγή ανεμογεννήτριας του υφιστάμενου συστήματος της Τήλου

WIND TURBINE



Name:
Abbreviation:

Properties

Name: **Enercon E-53 [800kW]**
Abbreviation: **E-53**
Rated Capacity (kW): **800.00**
Manufacturer: **Enercon**

Costs

Quantity	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)	
1	€0.0	€0.0	€30,000.00	
Click here to add new item				

Multiplier:

Lifetime (years):
Hub Height (m):

Πίνακας 5.6: Εισαγωγή καινούργιας ανεμογεννήτριας

WIND TURBINE



Name:
Abbreviation:

Properties

Name: **Enercon E-53_New [800kW]**
Abbreviation: **E-53-1**
Rated Capacity (kW): **800.00**
Manufacturer: **Enercon**

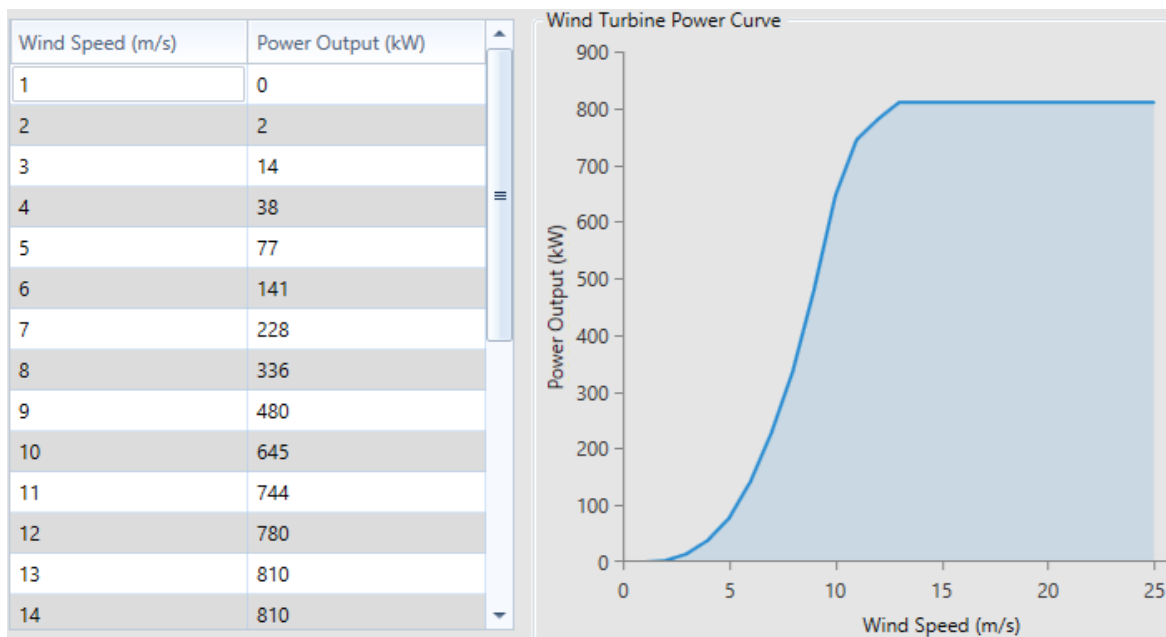
Costs

Quantity	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)	
1	€900,000.00	€765,000.00	€30,000.00	
Click here to add new item				

Multiplier:

Lifetime (years):
Hub Height (m):

Πίνακας 5.7: Εισαγωγή καμπύλη ισχύος ανεμογεννητριών



5.2.4 Δεδομένα φωτοβολταϊκών

Το επόμενο στοιχείο του υβριδικού συστήματος που εισήχθη στο Homer Pro είναι τα φωτοβολταϊκά. Αρχικά, το πρώτο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα μας, είναι αυτό του υπάρχοντος συστήματος της Τήλου και πρόκειται για φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου JAP6K-60-270/4BB της JA Solar ισχύος 270W (Εικόνα 5.2), το οποίο συνδυάζεται με μετατροπείς Fronius Symo 20KW [37]. Διατηρώντας το ίδιο φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 160 KW (592πάνελ*270W) και 8 μετατροπείς των 20KW (έναν μετατροπέα ανά 20KW φωτοβολταϊκών (74 πάνελ)) εισήχθη στο Homer Pro μηδενικό κόστος αγοράς και αντικατάστασης, μειώνοντας το αρχικό ποσό επένδυσης. Το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πάρκου εκτιμάται σύμφωνα με την μελέτη Model of Operation-and-Maintenance Costs for Photovoltaic Systems του NREL περίπου τα 15€/KW/έτος, περίπου 10-20€/KW/έτος για μικρά πάρκα 100-200KW και σε αυτό το ποσό συμπεριλαμβάνεται και η συντήρηση και η λειτουργία των inverters [44]. Η απόδοση του συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού πλαισίου φτάνει τα 16,51% αλλά στην συνολική απόδοση θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η απόδοση inverter που είναι 98%. Συνεπώς, στο Homer Pro εισήχθη για την απόδοση η τιμή 16,2% ($16,51 \cdot 0,98$). Λόγω ενσωματωμένου inverter τα PV συνδέονται στην AC πλευρά. Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού είναι 45°C, ενώ ο

συντελεστής θερμοκρασίας παραγόμενης ισχύος είναι $-0,41\%/^{\circ}\text{C}$. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται με κλίση $36,4$ όσο το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, η αζιμούθια γωνία είναι 0° και η ανάκλαση του εδάφους είναι 20% . Τέλος, ο συντελεστής απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου που επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες όπως η σκόνη είναι 85% (Πίνακας 5.8).

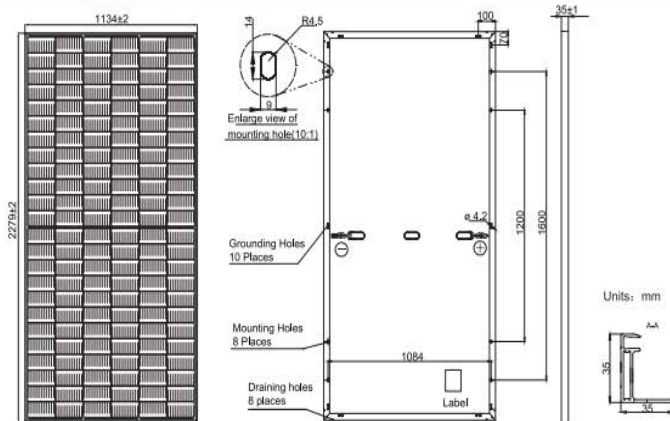
Με σκοπό την ενίσχυση της ηλιακής παραγωγής επιλέχθηκε η εγκατάσταση ενός επιπλέον φωτοβολταϊκού σταθμού 600KW με πάνελ JA Solar JAM72S30-540/MR ισχύος 540W (Εικόνα 5.3) συνδυασμένο με 10 μετατροπείς Fronius Tauro 50-3-D συνολικής ισχύος 500KW στην ίδια τοποθεσία με το υπάρχον φωτοβολταϊκό πάρκο. Το συγκεκριμένο μοντέλο επιλέχθηκε λόγω υψηλής απόδοσης (άνω του 20%), της αξιοπιστίας του κατασκευαστή και της ευρείας εμπορικής διάθεσης. Επίσης η σύζευξη με τους συγκεκριμένους μετατροπείς εξασφαλίζει υψηλή απόδοση μετατροπής (έως $98,5\%$) και ευελιξία στη διασύνδεση με το μικροδίκτυο.

Το Homer Pro ζητά ως είσοδο για το capital cost, raplacement cost και Q&M τα €/KW/έτος. Για το νέο φωτοβολταϊκό πάρκο, υιοθετούμε συνολικό Capital cost= 600 €/KW, το οποίο προκύπτει ως εξής:

- ✧ Πάνελ: Το κόστος του W είναι $0,231\text{€}$, άρα το κόστος του πάνελ 540W θα ισούται με $\sim 125\text{€}$ και το κόστος ανά KW θα είναι 230€ .
- ✧ Inverters: Το κόστος του ενός τεμαχίου inverter κοστίζει 6000€ και παράγει 50kw . Άρα, το KW κοστίζει $6000/50=120\text{€}$.
- ✧ Balance of system (BOS) & εγκατάσταση: Το κόστος για τις βάσεις, τις καλωδιώσεις DC/AC, τους πίνακες και τις μελέτες $\sim 250\text{€/KW}$.

Συνεπώς, συνολικό κόστος/KW= $230+120+250=600$. Όσο αναφορά το κόστος αντικατάστασης για pv και inverters υπολογίζεται περίπου $80-90\%$ του κόστους αγοράς άρα $600*0,85=510\text{€/KW}$ [44]. Τέλος, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας όπως και στο υπάρχον φωτοβολταϊκό πάρκο της Τήλου θα είναι 15€/KW/έτος . Η απόδοση του συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού πλαισίου φτάνει τα $20,89\%$ αλλά στην συνολική απόδοση θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η απόδοση inverter που είναι $98,5\%$. Άρα, στο Homer Pro εισήχθη για την απόδοση η τιμή $20,6\%$ ($20,89*98,5\%$). Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού είναι 45°C , ενώ ο συντελεστής θερμοκρασίας παραγόμενης ισχύος είναι $-0,35\%/^{\circ}\text{C}$. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται με κλίση $36,4$ όσο το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, η αζιμούθια γωνία

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	28,6kg±3%
Dimensions	2279±2mm×1134±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4,10(1000V) QC 4,10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1300mm(+)/1300mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/Pallet, 620pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Maximum Power(P _{max}) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	49,15	49,30	49,45	49,60	49,75	49,90
Maximum Power Voltage(V _{mp}) [V]	41,15	41,31	41,47	41,64	41,80	41,96
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	13,65	13,72	13,79	13,86	13,93	14,00
Maximum Power Current(I _{mp}) [A]	12,76	12,83	12,90	12,97	13,04	13,11
Module Efficiency [%]	20,3	20,5	20,7	20,9	21,1	21,3
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of I _{sc} (α _{Isc})	+0,045%/°C					
Temperature Coefficient of V _{oc} (β _{Voc})	-0,275%/°C					
Temperature Coefficient of P _{max} (γ _{Pmp})	-0,350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1,5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

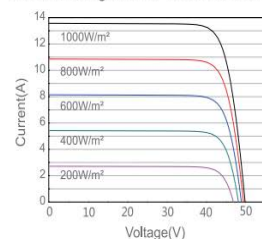
TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Max Power(P _{max}) [W]	397	401	405	408	412	416
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	46,05	46,18	46,31	46,43	46,55	46,68
Max Power Voltage(V _{mp}) [V]	38,36	38,57	38,78	38,99	39,20	39,43
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	10,97	11,01	11,05	11,09	11,13	11,17
Max Power Current(I _{mp}) [A]	10,35	10,39	10,43	10,47	10,51	10,55
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1,5G					

OPERATING CONDITIONS

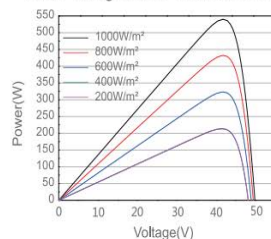
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Maximum Series Fuse Rating	25A
Maximum Static Load, Front*	5400Pa(112lb/ft ²)
Maximum Static Load, Back*	2400Pa(50lb/ft ²)
NOCT	45±2°C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

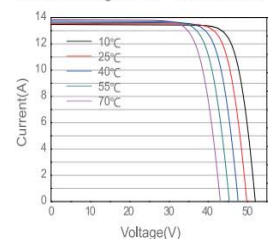
Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Power-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20200928A

Εικόνα 5.3: Φυλάδιο κατασκευαστή φωτοβολταϊκού πλαισίου JAM72S30-540/MR [46]

Πίνακας 5.8: Εισαγωγή φωτοβολταϊκού πάρκου 160KW




Name: JAP6(K)-60-270/4BB

Properties

Name: JAP6(K)-60-270/4BB

Abbreviation: PV

Panel Type: Flat plate

Rated Capacity (kW): 160

Temperature Coefficient: -0.41

Operating Temperature (°C): 45

Efficiency (%): 16.2

Manufacturer: JA Solar

Cost

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	0.00	0.00	15.00

Lifetime

time (years):

25.00

⌵

Site Specific Input

Electrical Bus

Derating Factor (%):

85.00

⌵

☒ AC
☐ DC

Ground Reflectance (%):

20.00

⌵

Tracking System:

No Tracking

⌵

☐ Use default slope

Panel Slope (degrees):

36.40

⌵

☐ Use default azimuth

Panel Azimuth (degrees West of South):

0.00

⌵

Temperature effects on power (%/°C):

-0.410

⌵

Nominal operating cell temperature (°C):

45.00

⌵

Efficiency at standard test conditions (%):

16.20

⌵

Πίνακας 5.9: Εισαγωγή φωτοβολταϊκού πάρκου 600KW

PV



Name: JA Solar JAM72S30-540/M

Properties

Name: JA Solar JAM72S30-540/MR

Abbreviation: PV-1

Panel Type: Flat plate

Rated Capacity (kW): 600

Temperature Coefficient: -0.35

Operating Temperature (°C): 45

Efficiency (%): 20.6

Manufacturer: JA Solar

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	600.00	510.00	15.00

Lifetime

time (years): 25.00

More...

Site Specific Input

Derating Factor (%): 85.00

Electrical Bus

AC DC

Ground Reflectance (%): 20.00

Tracking System: No Tracking

☐ Use default slope

Panel Slope (degrees): 36.40

☐ Use default azimuth

Panel Azimuth (degrees West of South): 0.00

Temperature effects on power (%/°C): -0.350

Nominal operating cell temperature (°C): 45.00

Efficiency at standard test conditions (%): 20.60

5.2.5 Δεδομένα μετατροπών

Για το σύστημα αποθήκευσής μας χρησιμοποιούνται μετατροπείς που υπάρχουν στο υφιστάμενο σύστημα της Τήλου. Πρόκειται για δύο μετατροπείς Indrivetec SOLO S ισχύος 450KW έκαστος (συνολικά 900KW) και χρησιμοποιούνται ως ζεύγη PCS για την ζεύξη DC->AC (Εικόνα 5.4). Ο συγκεκριμένος μετατροπέας έχει ονομαστική απόδοση αντιστροφέα 98,2% και ανορθωτή 97%. και λειτουργεί σε ικανοποιητικό βαθμό μέχρι και για 15 χρόνια. Επιπρόσθετα, ο αντιστροφέας έχει την ίδια χωρητικότητα με τον ανορθωτή (relative capacity=100%).

Το κόστος ανά KW που ζητάει το Homer Pro για τον συγκεκριμένο converter που ανήκει στα power conversion μεγάλης κλίμακας κυμαίνεται από 180-250€/KW σύμφωνα με αναλύσεις κόστους του NREL [47]. Ωστόσο, ο μετατροπέας υπάρχει ήδη εγκατεστημένος στο νησί οπότε το κόστος/KW που εισήχθη στο Homer Pro είναι μηδέν. Από την άλλη, το replacement cost είναι 80-90% του κόστους, οπότε $215 \cdot 0,85 \sim 180 \text{ €/KW}$. Για το ετήσιο λειτουργικό και συντηρησιακό κόστος (Q&M) η διεθνής βιβλιογραφία αναφέρει εύρος 5-10 €/KW/έτος, οπότε επιλέχθηκε ενδιάμεση τιμή 7€/KW/έτος (Πίνακας 5.10).

Παρακάτω παρατίθενται και οι μετατροπείς Fronius Symo (Εικόνα 5.5) και Fronius Tauro 50-3-D (Εικόνα 5.6) που συνδυάστηκαν με τα φωτοβολταϊκά πάρκα του συστήματος όπως αναφέραμε στο υποκεφάλαιο 5.2.4.

Nominal AC Power (PAC)	450 kW	At Power Factor $\cos\phi = 1$
Maximum apparent power	500 kVA	
Power factor $\cos\phi$	± 0.9	
AC Nominal operating voltage (UAC)	300 V	UACmax = 330 V
AC Nominal current (IAC)	875 A	970 APEAK RMS
Grid Frequency	50 Hz	$\pm 10\%$
Harmonic Distortion (% THD IAC)	<3%	
Efficiency	98.2%	Charging and discharging
Control Modes	P/Q—U/f	

Εικόνα 5.4: Κύρια χαρακτηριστικά μετατροπέα Indrivetec SOLO S [37]

Πίνακας 5.10: Εισαγωγή converter Indrivetec SOLO S (DC->AC)



Properties

Name: **Indrivetec SOLO S**

Abbreviation: **Converter**

www.homerenergy.com

Notes:
Indrivetec converter

Capacity Optimization

☐ HOMER Optimizer™

☒ Search Space

Size (kW)

0

900

Costs

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	€0.0	€180.00	€7.00

Inverter Input

Lifetime (years):

Efficiency (%):

☒ Parallel with AC Generator?

Rectifier Input

Relative Capacity (%):

Efficiency (%):



Technical data

17.5 / 20.0 kW

			Symo Advanced			
			17.5-3-M		20.0-3-M	
Input data	Number of MPP trackers		2		2	
			MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2
	Max. input current ($I_{dc\ max}$)	A	33.0	27.0	33.0	27.0
	Max. usable input current ($I_{dc\ max\ MPPT\ 1+2}$)	A	51.0		51.0	
			MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2
	Max. array short circuit current $MPPT1/MPPT2\ (I_{sc\ pv})^2$	A	68	55.7	68	55.7
	DC input voltage range ($U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$)	V	200–1000		200–1000	
	Feed-in start-up input voltage ($U_{dc\ start}$)	V	200		200	
	Usable MPP voltage range	V	200–800		200–800	
	MPP Voltage range (at rated power) ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	V	370–800		420–800	
Output data			MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2
	Number of DC connections		3	3	3	3
	Max. PV generator output ($P_{dc\ max}$)	W _{peak}	26,300		30,000	
	AC nominal output ($P_{ac,r}$)	W	17,500		20,000	
	Max. output power / rated apparent power	VA	17,500		20,000	
			380 V _{ac}	400 V _{ac}	380 V _{ac}	400 V _{ac}
	AC output current ($I_{ac\ nom}$)	A	26.5	25.3	30.3	28.9
	Grid connection (voltage range)		3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)			
	Frequency (frequency range)	Hz	50 / 60 (45 - 65)			
	Total harmonic distortion	%	< 1.5			
	Power factor ($\cos \phi_{ac,r}$)		0–1 ind. / cap.			

General data	Dimensions (height x width x depth)	mm	725 x 510 x 225			
	Weight (inverter/with packaging)	kg	41.96/44.96		41.96/44.96	
	Protection class		IP 66		IP 66	
	Safety class		1		1	
			DC	AC	DC	AC
	Overvoltage category (DC/AC)*		2	3	2	3
	Night consumption	W	<1		<1	
	Inverter concept		Transformerless			
	Cooling		Active Cooling technology			
	Installation		Indoor and outdoor installation			
	Ambient temperature range	°C	-25 - +60		-25 - +60	
	Permissible humidity	%	0–100		0–100	
			unrestricted / restricted voltage range			
	Max. altitude above sea level	m	2,000/3,400		2,000/3,400	
	DC connection technology	mm²	6x DC+ and 6x DC screw terminals 2.5 - 16 mm²			
	AC connection technology	mm²	5-pin AC screw terminals 2.5 - 16mm2			
Certificates and compliance with standards		IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, VDE 0126-1-1/A1, VDE AR-N 4105, G98/1, G99/1, AS/NZS 4777.2, UNE 206007-1, CEI 0-21, CEI 0-16, NRS 097-2-1, TOR Erzeuger Typ A, VDE AR-N 4110, EN 50549-1/-2, IEC 61683, IEC60068, IEC 63027:2023				
Country of manufacture		Austria				

			Symo Advanced	
			17.5-3-M	20.0-3-M
Efficiency	Max. efficiency	%	97.9	97.9
	Europ. efficiency (η _{EU})	%	97.6	97.6
	MPP adaptation efficiency	%	> 99.9	> 99.9

Εικόνα 5.5: Φυλλάδιο κατασκευαστή Fronius symo [48]

Fronius Tauro



Technical Data

Input Data

Number of MPP trackers	3
Max. input current ($I_{dc\ max_inverter}$)	134 A
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)	200 V
Max. PV generator power ($P_{dc\ max}$)	75 kW _{peak}
MPP voltage range ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	400 - 870 V ⁹⁾
Max. input current PV1 ($I_{dc\ max, PV1}$)	36 A
Max. input current PV2 ($I_{dc\ max, PV2}$)	36 A

Output Data

AC nominal output ($P_{ac,r}$)	50 kW
Max. output power ($P_{ac\ max}$)	50 kVA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	75.8A at 220Vac, 72.5A at 230Vac
Grid connection ($U_{ac,r}$)	3~ NPE 380/220, 3~ NPE 400/230 V
AC voltage range ($U_{min} - U_{max}$)	180 - 270 V
Frequency (f_r)	50/60 Hz
Frequency range ($f_{min} - f_{max}$)	45 - 65 Hz
Power factor ($\cos \varphi_{ac,r}$)	1 ind./cap.
Max. DC fuse size rating	20 A

General Data

Standards	400 - 870 V ⁹⁾
Length	1109 mm
Width	1109 mm
Height	755 mm
Depth	346,2 mm
Weight	92 kg
Weight incl. packaging	111 kg
Protection class	IP65
Protection class	1
Overvoltage category (DC / AC) ¹⁾	2 / 3
Night-time consumption	15 W

Efficiency

Max. efficiency (PV - grid)	98,5 %
European efficiency (η_{EU})	97,8 / 98,3 / 97,9 / 97,7 (400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)
η at 5% $P_{ac,r}$ ³⁾	94,90 / 96,52 / 92,87 / 91,80 (400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)
η at 10% $P_{ac,r}$ ³⁾	97,33 / 97,91 / 96,54 / 95,68 ((400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)
η at 20% $P_{ac,r}$ ³⁾	98,04 / 98,45 / 97,90 / 97,63 (400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)
η at 25% $P_{ac,r}$ ³⁾	97,86 / 98,44 / 98,07 / 97,88 (400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)
η at 30% $P_{ac,r}$ ³⁾	97,92 / 98,51 / 98,14 / 98,05 (400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)
η at 50% $P_{ac,r}$ ³⁾	97,99 / 98,48 / 98,24 / 98,17 (400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)
η at 75% $P_{ac,r}$ ³⁾	97,86 / 98,35 / 98,17 / 98,10 (400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)
η at 100% $P_{ac,r}$ ³⁾	97,63 / 98,16 / 98,04 / 97,99 (400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)

Εικόνα 5.6: Φυλλάδιο κατασκευαστή Fronius Tauro [49]

5.2.6 Δεδομένα συστήματος αποθήκευσης

Το σύστημα αποθήκευσης του έργου βασίζεται στις δύο συστοιχίες μπαταριών 1,44 MW, συνολική χωρητικότητα δηλαδή 2,88MWh του υφιστάμενου συστήματος της Τήλου με τεχνολογία NaNiCl₂ (FZSonick ST523) (Εικόνα 5.7) με Indrivetec SOLO S μετατροπείς συνολικής ισχύος 900KW [37].

Το κόστος αγοράς του είναι μηδενικό αφού προϋπάρχει στο υφιστάμενο σύστημα της Τήλου, ενώ το κόστος αντικατάστασης κυμαίνεται στο 80-90% της αγοραστικής αξίας του και σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage 2025 του NREL το κόστος τέτοιων συστημάτων κατά την περίοδο εγκατάστασης του έργου κυμαινόταν 400-600€/KWh [47]. Υιοθετώντας μέση τιμή 500€/KWh το κόστος εγκατάστασης ήταν 1,44 εκατομμύρια ευρώ, άρα το κόστος αντικατάστασης θα είναι $0,85 \cdot 1.440.000 \sim 1.220.000\text{€}$. Για τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης, η βιβλιογραφία δίνει 5-20€/KW/έτος, με μέση τιμή τα 12€/KW/έτος, έτσι η τιμή των Q&M που εισήχθη είναι 34,500€/έτος.

Επίσης εισάγονται στο Homer Pro και τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία του συσσωρευτή. Ο χρόνος ζωής του είναι 15 έτη και η συνολική ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εισαχθεί και να εξαχθεί στο διάστημα αυτό είναι 10.000.000KWh. Η ονομαστική τάση του συσσωρευτή είναι 600V και ο μετατροπέας του συστήματος επίσης δέχεται 600V DC τάση, οπότε string size=1 (δεν προσθέτουμε σε σειρά άλλα επιπλέον strings). Το αρχικό ποσό φόρτισης του συσσωρευτή είναι 80% και το ελάχιστο 20%, το μέγιστο ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης είναι 167A και 500A αντίστοιχα, η ονομαστική χωρητικότητα είναι 933Ah ή 560kWh και η αποδοτικότητα κάθε κύκλου είναι 90%. Τέλος, δίνουμε τιμές KW στο Search space 0,5,6 ώστε το Homer Pro να επιλέξει αν δεν θα βάλει καθόλου την τεχνολογία (τιμή 0), αν θα βάλει λίγο μικρότερο (τιμή 5) ή το πλήρες μέγεθος. του υπάρχον συστήματος της Τήλου που αποτελείται από 6 καμπίνες των 480KWh $\sim 2,88\text{MWh}$ (Πίνακας 5.11).

Στο αποθηκευτικό σύστημά μας προστέθηκε ένα σύστημα αποθήκευσης τύπου Turtle series ESS της WINCLE, ονομαστικής χωρητικότητας 3,9MWh και ισχύος 1,9MW (Εικόνα 5.8). Το συγκεκριμένο μοντέλο βασίζεται σε τεχνολογία LFP (LiFePO₄), με πλεονέκτημα υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, μεγάλη διάρκεια ζωής, υψηλή αποδοτικότητα κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης έως 93%. Το Turtle series ESS, αποτελεί πλήρες Battery energy storage system (BESS), το οποίο περιλαμβάνει μπαταρίες, Battery management system

(BMS), συστήματα ασφάλειας και υδρόψυξης, καθώς και τη δυνατότητα διασύνδεσης είτε σε AC, είτε σε DC διατάξεις.

Σύμφωνα με πρόσφατες αγοραίες τιμές και μελέτες (NREL) το κόστος για έργα τέτοιας κλίμακας είναι 350-450€/KWh [47]. Κρατώντας μέση τιμή 400€/KWh, άρα για χωρητικότητα 3,900KWh το κόστος ανέρχεται στα 1,56 εκατομμύρια ευρώ και το κόστος αντικατάστασης ισούται με το 80-90% του CAPEX, άρα $0,85 \cdot 1.560.000 \approx 1.300.000\text{€}$. Επίσης, όσο αναφορά το Q&M, η βιβλιογραφία για μεγάλης κλίμακας συστήματα λιθίου το τοποθετεί σε εύρος 7-15€/KW/έτος. Έτσι, για το Turtle ESS με ισχύ 2MW εισήχθη η ενδιάμεση τιμή 10€/KW/έτος.

Τα υπόλοιπα στοιχεία που εισήχθησαν στο Homer Pro για τον συσσωρευτή Turtle series ESS ήταν ο χρόνος ζωής του που είναι 20 χρόνια και σε αυτό το διάστημα ορίστηκε η τιμή της ενέργειας που εισάγεται και εξάγεται σε εκείνο το διάστημα είναι οι 25,000 KWh. Η Ονομαστική τάση για DC διασύνδεση έχει τιμή 1500V και η τιμή του string size ισούται με 1 αφού ο συσσωρευτής λειτουργεί αυτόνομα με την ονομαστική του τάση. Το αρχικό ποσό φόρτισης είναι 100%, ενώ το ελάχιστο 10%, το μέγιστο ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης είναι 167A και 500A αντίστοιχα, η ονομαστική χωρητικότητα είναι 2,6E+3Ah και 3,9E+3KWh και η αποδοτικότητα του κύκλου είναι 93%. Τέλος, δίνουμε τιμές KW στο Search space 0,1,2 ώστε το Homer Pro να επιλέξει αν δεν θα βάλει καθόλου την τεχνολογία (τιμή 0), αν θα βάλει μια μονάδα 3,9MWh (τιμή 1) ή δύο μονάδες 7,8MWh (τιμή 2). Εδώ δεν υπάρχει λόγος να βάλουμε περισσότερες από 2 μονάδες αφού η κάθε μονάδα είναι πολύ μεγάλη (Πίνακας 5.12).

ST523

FZSoNick
+ -

GREEN & SAFE SALT BATTERY

FZSoNick Batteries

Sodium Metal Chloride batteries are the latest generation of the secondary batteries developed specifically to the constraints of the energy storage applications. They use metal-based cathode and molten Sodium anode to provide exceptionally safe and reliable power that is enclosed in the industrial-grade steel case and equipped with integrated Battery Monitoring. Stable chemical reaction, zero maintenance and insensitivity to temperature and storage aging makes them one of the best choices for Community, Industry and Large-Scale installations. Suitable for on-grid and off-grid systems, as well as for microgrids.



. Main characteristics of installed BESS.

Nominal Energy Capacity	1.4 MWh-100% DOD @C/10
Nominal energy (nom. voltage-capacity)	1.44 MWh
Nominal current capacity	2432 Ah (100% DOD)
Constant power discharge	400 kW for 3 h
Standard charge/discharge	8 h/3 h
Max heating power	64 kW
Heater av. consumption@ floating	10 kW
Max charge current	960 A
Max discharge current	1920 A
Max charge power for controlled charge	216 kW
No. of FIAMM gateway	1

Εικόνα 5.7: φυλλάδιο κατασκευαστή & κύρια χαρακτηριστικά FZSoNick ST523 [37] [50]

Wincle Products

Turtle Series — Container ESS

Product Highlights

• **Reduced cost**

- ⊗ Integrated energy storage system, easily on the installation, operation and maintenance;
- ⊗ Large module design, stronger than traditional energy sources Solution 50%

• **Increased efficiency**

- ⊗ Based on the 1500V platform design, the DC side efficiency can reach 93%
- ⊗ As high as C4H the anti-corrosion level of the outer box, service life over 15 years.

• **Safe**

- ⊗ Multiple balancing measures to ensure consistent battery life cycle;
- ⊗ Integrated gas and water fire extinguishing device to ensure system safety under extreme circumstances.

• **Smart**

- ⊗ Multi-dimensional battery status analysis enables rapid analysis and location of system faults;
- ⊗ Unattended cloud real-time monitoring.

Specification	Turtle 3.44	Turtle 3.85	Turtle 5
Battery Type	LFP		
Rated Capacity	3.44MWh	3.85MWh	5MWh
Rated Power	1.725MW	2MW	2.5MW
Rated Voltage	1228.8V		
Voltage Range	1075.2V ~ 1382.4V		
Soc Estimation Accuracy	≤5%		
Self-Discharge Rate Month	≤3%		
IP Protection Level	IP54		
Weight (Kg)	33,000	37,000	40,000
Cooling type	Liquid Cooling		
Noise	<65 dB (1m away from the System)		
Communication Interface	Wired : LAN, CAN, RS485		
Communication Protocol	Modbus Tcp		

Εικόνα 5.8: Φυλλάδιο κατασκευαστή συσσωρευτή Turtle series ESS [51]

Πίνακας 5.11: Εισαγωγή συσσωρευτή FZSoNick ST523

STORAGE

Name: FZSoNick ST523

Properties

Kinetic Battery Model
Nominal Voltage (V): 600
Nominal Capacity (kWh): 1.44E+03
Maximum Capacity (Ah): 2.4E+03
Capacity Ratio: 0.403
Rate Constant (1/hr): 0.827
Roundtrip efficiency (%): 90
Maximum Charge Current (A): 960
Maximum Discharge Current (A): 1.92E+03

Sizing

☐ HOMER Optimizer™
☒ Search Space

strings
0
2

Cost

Quantity	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	0.00	1,220,000.00	34,500.00

Lifetime

time (years): 15.00 (-) (+)
throughput (kWh): 10,000,000. (-) (+)

More...

Site Specific Input

String Size: 1 Voltage: 600.00 V

Initial State of Charge (%): 80.00 (-) (+)

Minimum State of Charge (%): 20.00 (-) (+)

Πίνακας 5.12: Εισαγωγή συσσωρευτή Turtle series ESS

STORAGE

Name: Turtle Series ESS

Properties

Idealized Battery Model
Nominal Voltage (V): 1.5E+03
Nominal Capacity (kWh): 3.9E+03
Nominal Capacity (Ah): 2.6E+03
Roundtrip efficiency (%): 93
Maximum Charge Current (A): 167
Maximum Discharge Current (A): 500

Sizing

☐ HOMER Optimizer™
☒ Search Space

strings
0
1
2

Cost

Quantity	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	1,560,000.00	1,300,000.00	19,000.00

Lifetime

time (years): 20.00 (-) (+)
throughput (kWh): 25,000,000. (-) (+)

More...

Site Specific Input

String Size: Voltage: 1500 V

Initial State of Charge (%): 

Minimum State of Charge (%): 

5.2.7 Δεδομένα συμβατικών μονάδων

Η ντιζελογεννήτρια που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημά μας είναι η υπάρχουσα στο νησί της Τήλου, η οποία είναι τύπου Caterpillar 3512B ισχύος 1,4MW (Εικόνα 5.9) [37]. Η συγκεκριμένη γεννήτρια χρησιμοποιείται ως μονάδα αιχμής και εφεδρείας για την κάλυψη του φορτίου σε περιόδους χαμηλής διαθεσιμότητας ΑΠΕ. Το αρχικό κόστος ανά KW τέτοιων μονάδων diesel genset κυμαίνεται 300-400€/KW. Στο Homer Pro ως υφιστάμενο στοιχείο το κόστος αγοράς της συμβατικής μονάδας το θεωρείται 0 και το κόστος αντικατάστασης ίσο με 80-90% της αγοραστικής αξίας ανά KW, άρα $0,85 \cdot 350 \sim 300 \text{ €/KW}$. Το Q&M για μονάδες ντίζελ ορίζεται συνήθως 0,015-0,020€/KWh και για αυτό επιλέχθηκε η τιμή 0,017€/KWh. Η μέση τιμή του καυσίμου για το 2024 ήταν 1,69€/L, το κατώφλι ισχύος (Minimum load ratio) είναι 25% δηλαδή γεννήτρια δεν μπορεί να λειτουργήσει κάτω από το $25\% \cdot 1,4 \text{ MW} = 350 \text{ KW}$ και CHP(Συμπααραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας)=0, αφού στη μελέτη μας η γεννήτρια χρησιμοποιείται μόνο για ηλεκτροπαραγωγή. Η ζωή της γεννήτριας φτάνει τα 50,000 ώρες λειτουργίας (Πίνακας 5.13).

Cat® 3512B Diesel Generator Sets



Image shown may not reflect actual configuration

Bore – mm (in)	170 (6.69)
Stroke – mm (in)	190 (7.48)
Displacement – L (in³)	51.8 (3161)
Compression Ratio	14.0:1
Aspiration	TA
Fuel System	EUI
Governor Type	ADEM™ A3

Standby 60 Hz kW (kVA)	Mission Critical 60 Hz kW (kVA)	Prime 60 Hz kW (kVA)	Emissions Performance
1400 (1750)	1400 (1750)	1275 (1593)	Optimized for Low Fuel Consumption or Low Emissions

Package Performance

Low Fuel Consumption (30°C SCAC)

Performance	Standby		Mission Critical		Prime	
Frequency	60 Hz		60 Hz		60 Hz	
Gen set power rating with fan	1400 ekW		1400 ekW		1275 ekW	
Gen set power rating with fan @ 0.8 power factor	1750 kVA		1750 kVA		1593 kVA	
Emissions	Low Fuel		Low Fuel		Low Fuel	
Performance number	EM2668-00		EM2671-00		DM8185-03	
Fuel Consumption						
100% load with fan – L/hr (gal/hr)	364.0	(96.2)	364.0	(96.2)	331.0	(87.4)
75% load with fan – L/hr (gal/hr)	271.6	(71.7)	271.6	(71.7)	246.9	(65.2)
50% load with fan – L/hr (gal/hr)	186.2	(49.2)	186.2	(49.2)	172.7	(45.6)
25% load with fan – L/hr (gal/hr)	114.6	(30.3)	114.6	(30.3)	108.0	(28.5)

Cooling System						
Radiator air flow restriction (system) – kPa (in. water)	0.12	(0.48)	0.12	(0.48)	0.12	(0.48)
Radiator air flow – m ³ /min (cfm)	1611	(56891)	1611	(56891)	1611	(56891)
Engine coolant capacity – L (gal)	156.8	(41.4)	156.8	(41.4)	156.8	(41.4)
Radiator coolant capacity – L (gal)	146.0	(38.6)	146.0	(38.6)	146.0	(38.6)
Total coolant capacity – L (gal)	305.8	(80.0)	305.8	(80.0)	305.8	(80.0)
Inlet Air						
Combustion air inlet flow rate – m ³ /min (cfm)	127.9	(4516.3)	127.9	(4516.3)	120.2	(4244.3)
Exhaust System						
Exhaust stack gas temperature – °C (°F)	429.3	(804.7)	429.3	(804.7)	416.2	(781.2)
Exhaust gas flow rate – m ³ /min (cfm)	315.9	(11154.9)	315.9	(11154.9)	291.3	(10285.9)
Exhaust system backpressure (maximum allowable) – kPa (in. water)	6.7	(27.0)	6.7	(27.0)	6.7	(27.0)
Heat Rejection						
Heat rejection to jacket water – kW (Btu/min)	571	(32473)	571	(32473)	532	(30254)
Heat rejection to exhaust (total) – kW (Btu/min)	1345	(76492)	1345	(76492)	1217	(69208)
Heat rejection to aftercooler – kW (Btu/min)	435	(24739)	435	(24739)	376	(21383)
Heat rejection to atmosphere from engine – kW (Btu/min)	124	(7052)	124	(7052)	116	(6596)
Heat rejection from alternator – kW (Btu/min)	72	(4100)	72	(4100)	64	(3657)
Emissions* (Nominal)						
NOx mg/Nm ³ (g/hp-h)	2965.2	(6.32)	2965.2	(6.32)	2732.4	(5.81)
CO mg/Nm ³ (g/hp-h)	598.3	(1.27)	598.3	(1.27)	700.8	(1.49)
HC mg/Nm ³ (g/hp-h)	199.7	(0.43)	199.7	(0.43)	128.8	(0.27)
PM mg/Nm ³ (g/hp-h)	64.7	(0.14)	64.7	(0.14)	63.3	(0.13)
Emissions* (Potential Site Variation)						
NOx mg/Nm ³ (g/hp-h)	3558.3	(7.58)	3558.3	(7.58)	3278.9	(6.97)
CO mg/Nm ³ (g/hp-h)	1076.9	(2.29)	1076.9	(2.29)	1261.4	(2.68)
HC mg/Nm ³ (g/hp-h)	265.6	(0.57)	265.6	(0.57)	171.3	(0.36)
PM mg/Nm ³ (g/hp-h)	90.6	(0.19)	90.6	(0.19)	88.6	(0.19)

Εικόνα 5.9: Φυλλάδιο κατασκευαστή CAT 3512B [52]

Πίνακας 5.13: Εισαγωγή γεννήτριας CAT 3512B

GENERATOR


Name: Cat 3512B

Properties

Name: Cat 3512B

Generator is auto-sizing

Fuel: Diesel
Fuel curve intercept: 21.9 L/hr
Fuel curve slope: 0.236 L/hr/kW

Emissions

CO (g/L fuel): 16.5
Unburned HC (g/L fuel): 0.72
Particulates (g/L fuel): 0.1
Fuel Sulfur to PM (%): 2.2
NOx (g/L fuel): 15.5

Generator Cost

In €/kW of capacity.

Initial Capital (€): 0.00
Replacement (€): 300.00
O&M (€/op. hour): 0.017
Fuel Price (€/L): 1.69

Site Specific

Minimum Load Ratio (%): 25.00
CHP Heat Recovery Ratio (%): 0.00
Lifetime (Hours): 50,000.00
Minimum Runtime (Minutes): 0.00
Initial Hours: 0.00

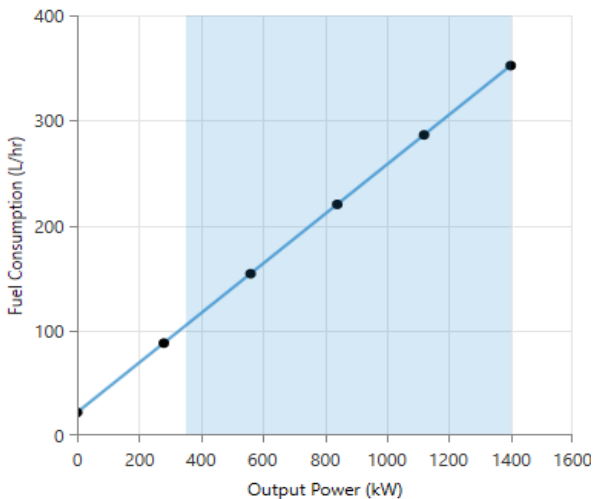
Reference generator capacity: 1400
Intercept Coefficient (L/hr/kW rated): 0.0156
Slope (L/hr/kW output): 0.2360

Chart Type: ☒ Fuel Flow ☐ Efficiency

Fuel Curve Table

Output (kW)	Consumption (L/hr)
0	21.856895873108333333333380000
280	87.93006660481565040650412400
560	154.00323733652296747967486800
840	220.07640806823028455284561200
1120	286.14957879993760162601635600
1400	352.22274953164491869918710000

Click here to add new item



The chart shows a linear relationship between Output Power (kW) on the x-axis and Fuel Consumption (L/hr) on the y-axis. The x-axis ranges from 0 to 1600 kW, and the y-axis ranges from 0 to 400 L/hr. A blue line with data points starts at approximately (0, 22) and ends at (1400, 352). A shaded blue region highlights the area under the line from 400 kW to 1400 kW.

5.2.8 Οικονομικά και περιβαλλοντικά δεδομένα

Για να ολοκληρωθεί η εισαγωγή όλων των δεδομένων χρειάστηκε να συμπληρώσουμε ακόμα κάποιες μεταβλητές. Πρώτον, το διάστημα της έρευνας που για την Τήλο αφορά 20 έτη, δεύτερον τον πληθωρισμό (inflation rate) και τον προεξοφλητικό επιτόκιο (discount rate), όπου ο πληθωρισμός στην Ελλάδα το 2024 είχε τιμή $\sim 2,7\%$ (Πίνακας 5.14) [53] και το προεξοφλητικό επιτόκιο για έργα σαν τις Τήλου έχει ρεαλιστικές τιμές μεταξύ 7-10%, διαλέγοντας έτσι 8,5% (nom.discount rate) ως ενδιάμεση τιμή [54]. Στη συνέχεια το Homer Pro υπολογίζει το αληθινό επιτόκιο από τον τύπο: $r_{\text{real}} = \frac{1+r_{\text{nom}}}{1+\pi} - 1$, όπου r_{real} το αληθινό επιτόκιο, όπου r_{nom} το nominal discount

rate και όπου π ο πληθωρισμός. Συνεπώς, $r_{\text{real}} = 5,65$. Ως νόμισμα επιλέξαμε το ευρώ και εφόσον έχουμε εισάγει τα κόστη ξεχωριστά για κάθε στοιχείο του συστήματος δεν προσθέτουμε κάτι στα fixed κόστη. Επίσης, εισήχθη ποινή 10€/KWh (capacity shortage) για το κόστος μη εξυπηρετούμενης ενέργειας (unmet load) ώστε να μην υπάρχουν διακοπές και υπερδιαστασιολόγηση κατά την βελτιστοποίηση. Τέλος, δεν υπάρχει κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπής ρυπογόνων ουσιών στο υφιστάμενο σύστημα της Τήλου, άρα ούτε και στο καινούργιο.

Πίνακας 5.14: Εισαγωγή οικονομικών και περιβαλλοντικών δεδομένων

ECONOMICS


Nominal discount rate (%): 

Expected inflation rate (%): 

Project lifetime (years): 

System fixed capital cost (€): 

System fixed O&M cost (€/yr): 

Capacity shortage penalty (€/kWh): 

Currency: Euro (€) 

Real discount rate (%): 5.65

EMISSIONS


Emissions Penalties

Carbon dioxide (€/t): 

Carbon monoxide (€/t): 

Unburned hydrocarbons (€/t): 

Particulate matter (€/t): 

Sulfur dioxide (€/t): 

Nitrogen oxides (€/t): 

5.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Στην συνέχεια, εφόσον έχουμε εισάγει όλα τα δεδομένα του υβριδικού συστήματος το Homer Pro, κάνοντας simulate, προχωράει στη προσομοίωση του υβριδικού συστήματος (Σχήμα 5.8) παρουσιάζοντας όλους τους πιθανούς συνδυασμούς με τα στοιχεία που έχουμε εισάγει και τους ταξινομεί ξεκινώντας από το πιο οικονομικό σύστημα με το μικρότερο καθαρό κόστος (NPC) (Πίνακας 5.15) [55]. Το NPC περιλαμβάνει για όλη την 20αετία της μελέτης το συνολικό κόστος εγκατάστασης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (Q&M), το κόστος πετρελαίου που θα αγοραστεί

μέσα σε αυτά τα χρόνια και το κόστος αντικατάστασης αν χρειαστεί κάποιο στοιχείο του συστήματος [56].

Μετά την προσομοίωση το Homer Pro παρουσίασε 8 διαφορετικά σενάρια εκ των οποίων το τελευταίο στη λίστα, άρα και λιγότερο οικονομικό, να είναι το υπάρχον σύστημα της Τήλου (Πίνακας 5.15). Τα 8 σενάρια είναι τα εξής:

- ✧ Σενάριο 1: Το πρώτο υβριδικό σύστημα στη λίστα του Homer Pro με το χαμηλότερο NPC(5,13M), αποτελείται από δύο φωτοβολταϊκά πάρκα 160KW και 600KW αντίστοιχα, δύο ανεμογεννήτριες 800KW, μια μπαταρία 3,9MW, ένας μετατροπέας 900KW και μια εφεδρική γεννήτρια 1400KW. Εδώ το Homer Pro, με την προσθήκη επιπλέον φωτοβολταϊκού πάρκου, της ανεμογεννήτριας και της καινούργιας μπαταρίας, στο υπάρχον σύστημα της Τήλου, κρατάει την γεννήτρια ντίζελ για αιχμές και εφεδρεία και προωθεί τις ΑΠΕ και την μπαταρία ώστε να πετύχει υψηλή διείσδυση ($Ren-Frac=94,6\%$) και πολύ χαμηλό LCOE(0.117€/KWh) καταναλώνοντας μόνο 56,909L/year, αλλά έχοντας υψηλό κόστος επένδυσης (CAPEX=2,82M).
- ✧ Σενάριο 2: Το σύστημα σε αυτήν την περίπτωση αποτελείται από δύο φωτοβολταϊκά πάρκα 160KW και 600KW αντίστοιχα, δύο ανεμογεννήτριες 800KW, δύο συστοιχίες μπαταριών συνολικής χωρητικότητας 2,88MW, έναν μετατροπέα 900KW και μια εφεδρική γεννήτρια 1400KW. Το Homer Pro εδώ με την προσθήκη δεύτερου φωτοβολταϊκού πάρκου και ανεμογεννήτριας στο υπάρχον σύστημα της Τήλου στοχεύει στην μείωση καυσίμου(78,486L/year) και στο υψηλό $Ren-Frac(92,6\%)$, με μεσαίο CAPEX(1,26M), αφού δεν αγοράζεται νέα μπαταρία και χρησιμοποιείται η υπάρχουσα. Αυτή η λύση δίνει μεγάλη ενεργειακή αυτονομία, με καλό NPC(5,18M) και γρήγορη απόσβεση 5,1 χρόνια.
- ✧ Σενάριο 3: Αυτό το σύστημα με NPC=5,37M, αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό πάρκο 160KW, δύο ανεμογεννήτριες 800KW, μια μπαταρία 3,9MW, ένας μετατροπέας 900KW και μια εφεδρική γεννήτρια 1400KW. Εδώ δεν προσθέτουμε δεύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο παρά μόνο μια Α/Γ και νέα μπαταρία ως προς το υπάρχον σύστημα της Τήλου, δοκιμάζεται δηλαδή μεγαλύτερη αποθήκευση σε συνδυασμό με ενίσχυση αιολικού δυναμικού με στόχο ασφάλεια κάλυψης και πιο σφιχτή εφεδρεία άλλα αυτό το σενάριο έχει σχετικά υψηλό CAPEX(2,46M) και μικρότερο ποσοστό ΑΠΕ(91,7%) από τα σενάρια 1&2.

- ✧ Σενάριο 4: Το σύστημα αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό πάρκο 160KW, δύο ανεμογεννήτριες 800KW, δύο συστοιχίες μπαταριών συνολικής χωρητικότητας 2,88MW, ένας μετατροπέας 900KW και μια εφεδρική γεννήτρια 1400KW. Το Homer Pro μειώνει το CAPEX(900,000M) αφού δεν αγοράζεται επιπλέον φωτοβολταϊκό πάρκο και μπαταρία και δίνει μεγαλύτερο ρόλο στο generator για να καλύπτει τις αιχμές. Έτσι, έχουμε εξαιρετικά χαμηλή αρχική δαπάνη και γρήγορη απόσβεση(4,6 years) αλλά με υψηλή κατανάλωση καυσίμου (109,865L/year) και χαμηλότερο Ren-Frac(89,6%) από τα προηγούμενα συστήματα.
- ✧ Σενάριο 5: Στο συγκεκριμένο σύστημα με NPC=5,45M υπάρχουν δύο φωτοβολταϊκά πάρκα 160KW και 600KW αντίστοιχα, μια ανεμογεννήτρια 800KW, μια μπαταρία 3,9MW, έναν μετατροπέα 900KW και μια εφεδρική γεννήτρια 1400KW. Σε αυτό το σενάριο με μια Α/Γ, θυσιάζεται μέρος της πράσινη διάστασης (REN-FRAC=88%), αυξάνοντας την εξάρτηση από τον diesel generator (126,898L/year) με στόχο ενεργειακή σταθερότητα και μειωμένα ρίσκα, όμως το αυξημένο καύσιμο σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια ανεβάζει το NPC και LCOE(0,127€/KWh).
- ✧ Σενάριο 6: Στο σενάριο αυτό έχουμε σύστημα με δύο φωτοβολταϊκά πάρκα 160KW και 600KW αντίστοιχα, μια ανεμογεννήτρια 800KW, δύο συστοιχίες μπαταριών συνολικής χωρητικότητας 2,88MW, έναν μετατροπέα 900KW και μια εφεδρική γεννήτρια 1400KW. Διατηρώντας το υπάρχον σύστημα αποθήκευσης και χωρίς προσθήκη νέας ανεμογεννήτριας ελαχιστοποιείται το CAPEX(360,000M) και δίνεται μεγαλύτερη βάση στο generator ώστε να εξασφαλίζει την αιχμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα γρήγορη απόσβεση(payback=2,5years) αλλά με υψηλή κατανάλωση καυσίμου(150,918L/year) και χαμηλότερο REN-FRAC(85,7%) από τα προηγούμενα σενάρια.
- ✧ Σενάριο 7: Σε αυτό το σενάριο με NPC=6,85M, το σύστημα αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό πάρκο 160KW, μια ανεμογεννήτρια 800KW, μια μπαταρία 3,9MW, ένας μετατροπέας 900KW και μια εφεδρική γεννήτρια 1400kw. Εδώ χωρίς επένδυση σε PV και Α/Γ, εξετάζεται συντηρητικό σενάριο με χαμηλό Capex(1,56M), βασισμένο κυρίως σε συμβατικά καύσιμα (209,058L/year) που επιβαρύνει οικονομικά και περιβαλλοντικά.

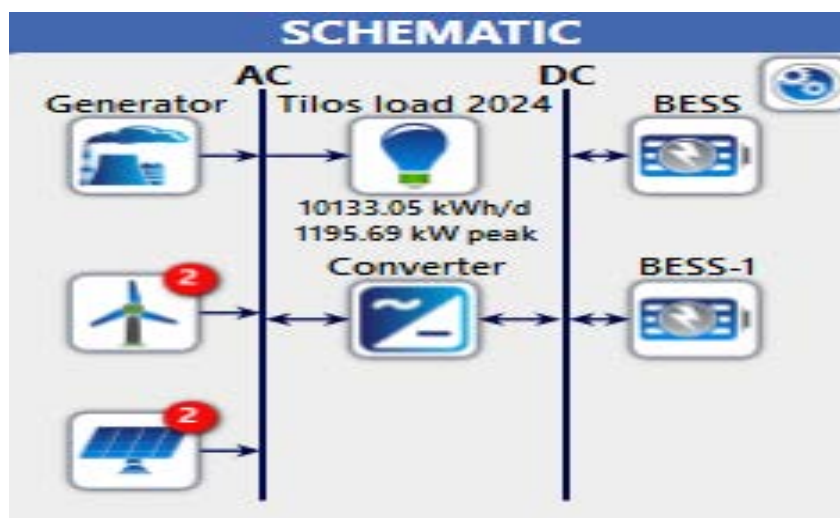
- ✧ Σενάριο 8: Τελευταίο στη λίστα του Homer Pro έρχεται το υπάρχον σύστημα της Τήλου (CAPEX=0) με το υψηλότερο NPC(6,92M) και την πιο χαμηλή διείσδυση ΑΠΕ(78,1%).

Συνοπτικά, από τα διαφορετικά σενάρια προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη επένδυση σε ΑΠΕ και αποθήκευση τόσο μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ(%), μικρότερο NPC αλλά λίγο μεγαλύτερο Capex και χρόνος απόσβεσης. Επιπρόσθετα, η επένδυση στη νέα μπαταρία αυξάνει το Capex αλλά παράλληλα αυξάνει και την διείσδυση ΑΠΕ(%) και μειώνει τα καύσιμα. Παράλληλα, η επιλογή επένδυσης σε επιπλέον ανεμογεννήτρια αντί για επιπλέον φωτοβολταϊκό κοστίζει περισσότερο αλλά αποτελεί καλύτερη επιλογή με μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ και μειωμένα καύσιμα. Το σενάριο 8 με το υπάρχον σύστημα της Τήλου ουσιαστικά χρησιμοποιείται ως base system στο Homer Pro και είναι κάτω όριο απόδοσης για να φανεί καθαρά πόσο αυξάνεται το NPC(6,92M) και το καύσιμο(231,231L/year) σε μια περίοδο 20 ετών όταν δεν επενδύουμε επιπλέον σε ΑΠΕ ή storage, δικαιολογώντας έτσι τα πιο πράσινα σενάρια.

Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα προσομοίωσης

Architecture																									
								PV-1 (kW)		PV (kW)		E-53		E-53-1		Generator (kW)		BESS-1 (#)		BESS (#)		Converter (kW)		Dispatch	
								600		160		1		1		1,400		1				900		LF	
								600		160		1		1		1,400				2		900		LF	
										160		1		1		1,400		1				900		LF	
										160		1		1		1,400				2		900		LF	
								600		160		1				1,400		1				900		LF	
								600		160		1				1,400				2		900		LF	
										160		1				1,400		1				900		LF	
										160		1				1,400				2		900		LF	

Cost				System		Project Economics	
NPC (€)	LCOE (€/kWh)	Operating cost (€/yr)	CAPEX (€)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	IRR (%)	Simple Payback (yr)
€5.13M	€0.117	€195,562	€2.82M	94.6	56,909	12	8.3
€5.18M	€0.119	€332,053	€1.26M	92.6	78,642	19	5.1
€5.37M	€0.123	€246,770	€2.46M	91.7	87,560	12	8.5
€5.44M	€0.125	€384,683	€900,000	89.6	109,865	22	4.6
€5.45M	€0.125	€298,943	€1.92M	88.0	126,898	13	8.1
€5.56M	€0.127	€440,269	€360,000	85.7	150,918	39	2.5
€6.85M	€0.157	€448,418	€1.56M	80.1	209,058	6.2	14
€6.92M	€0.159	€586,564	€0.00	78.1	231,231		



Σχήμα 5.8: Σχηματική παρουσίαση νέου υβριδικού συστήματος Τήλου

5.4 Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα

5.4.1 Ανάλυση προτεινόμενου συστήματος

Μετά την ανάλυση των σεναρίων της προσομοίωσης επιλέγουμε το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Κάθε ένα από τα επτά πρώτα σενάρια με διαφορετικές διαμορφώσεις των στοιχείων του συστήματος, αναβαθμίζουν το 8ο σενάριο με το υπάρχον σύστημα της Τήλου και σε οικονομικό κομμάτι (NPC/LCOE/operatingcost) και σε περιβαλλοντικό(Ren-frac/total fuel) κάνοντας απόσβεση μέσα στα 20 χρόνια της μελέτης. Συνεπώς, η επένδυση σε οποιαδήποτε από τα πρώτα επτά συστήματα θα ήταν κερδοφόρα και περιβαλλοντικά σωστή επιλογή στο βάθος των 20 ετών της μελέτης.

Από αυτά τα σενάρια ξεχώρισαν τα δύο πρώτα με το χαμηλότερο NPC, με την μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ και τη μικρότερη κατανάλωση καυσίμου ετησίως. Τελικώς, το σενάριο 1 με το πιο χαμηλό NPC(5,13M) επιλέγεται ως το προτεινόμενο αφού πετυχαίνει τον στόχο της μελέτης σε μέγιστο βαθμό, δηλαδή μειώνει τα συμβατικά καύσιμα στο ελάχιστο (56.909L/year), με προσθήκη ΑΠΕ και αποθήκευση μεγιστοποιώντας την διείσδυση ΑΠΕ(94,6%). Χρησιμοποιείται η μέθοδος “load-following” όπου οι γεννήτρια ντίζελ, παράγει μόνο την απαραίτητη ισχύ για την εξυπηρέτηση του φορτίου. Έτσι, όταν υπάρχει πλεόνασμα ισχύος από ΑΠΕ, αυτή χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των συσσωρευτών [57].

Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα του σεναρίου 1, αποτελείται από:

- ✧ 2 ανεμογεννήτριες Enercon E-53, 800KW η κάθε μια.
- ✧ 2 φωτοβολταϊκά πάρκα, το ένα 160KW με φωτοβολταϊκά πλαίσια JAP6K-60-270/4BB της JA Solar ισχύος 270W, και το άλλο 600KW με φωτοβολταϊκά πλαίσια JA Solar JAM72S30-540/MR ισχύος.
- ✧ Σύστημα αποθήκευσης Turtle Series ESS ισχύος 3,9MW.
- ✧ Μετατροπείς συστήματος αποθήκευσης Indrivetec Solo S συνολικής ισχύος 900KW, 8 μετατροπείς Fronius Symo 20KW του φωτοβολταϊκού πάρκου 160KW και 10 μετατροπείς Fronius Tauro 50-3-D 50KW του φωτοβολταϊκού πάρκου 600 KW.
- ✧ Συμβατική μονάδα CAT3512B ισχύος 1,4MW.

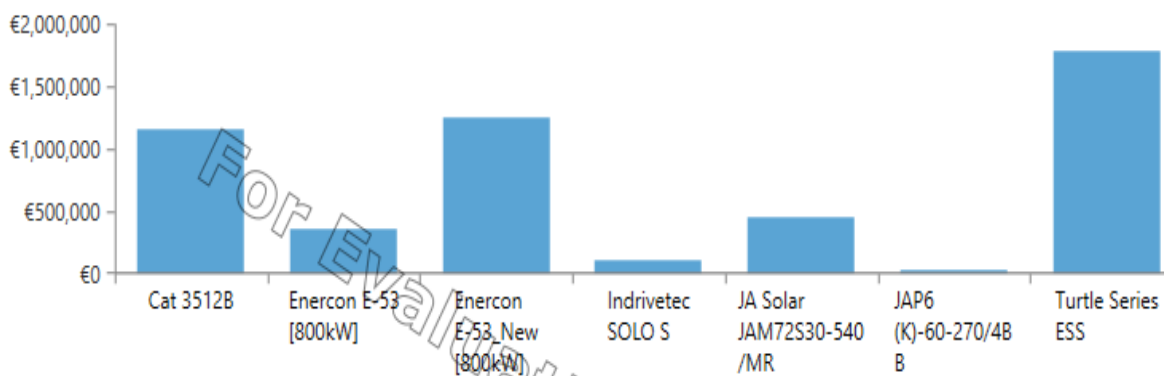
Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα έχει συνολικό καθαρό κόστος 5,128,700.00 ευρώ, ετήσιο κόστος λειτουργίας 195.561,8 ευρώ, Levelized cost of energy 0,1175 ευρώ/KWh (Εικόνα 5.10).

Total NPC:	€5,128,700.00
Levelized COE:	€0.1175
Operating Cost:	€195,561.80

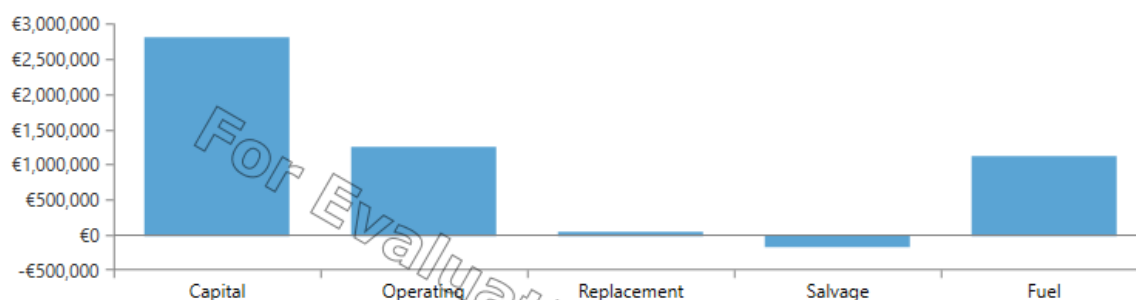
Εικόνα 5.10: Σύνοψη οικονομικών στοιχείων του συστήματος

Στο Σχήμα 5.9, βλέπουμε το συνολικό καθαρό κόστος κάθε στοιχείου του συστήματος για όλη την 20αετία με το μεγαλύτερο κόστος στο σύστημα αυτό του αποθηκευτικού συστήματος Turtle Series ESS που είχε το μεγαλύτερο κόστος αγοράς. Στον Πίνακα 5.16 όπως και στο Σχήμα 5.10 αναγράφονται τα συνολικά κόστη κάθε στοιχείου του

συστήματος ανά κατηγορία, δηλαδή αρχικό κόστος, κόστος αντικατάστασης αν υπάρχει, κόστος λειτουργίας και συντήρησης, κόστος καυσίμου και μη αποσβεσμένο κόστος με μεγαλύτερο κόστος να αποτελεί αυτό του αρχικού κεφαλαίου που δαπανήθηκε.



Σχήμα 5.9: Συνολικό κόστος κάθε στοιχείου του συστήματος



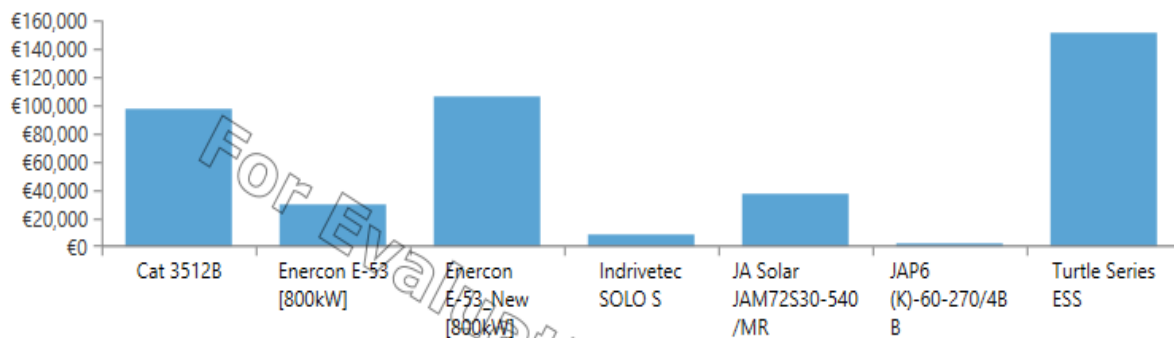
Σχήμα 5.10: Συνολικό κόστος ανά κατηγορία κόστους

Πίνακας 5.16: Συνολικό κόστος κάθε στοιχείου του συστήματος ανά κατηγορία κόστους

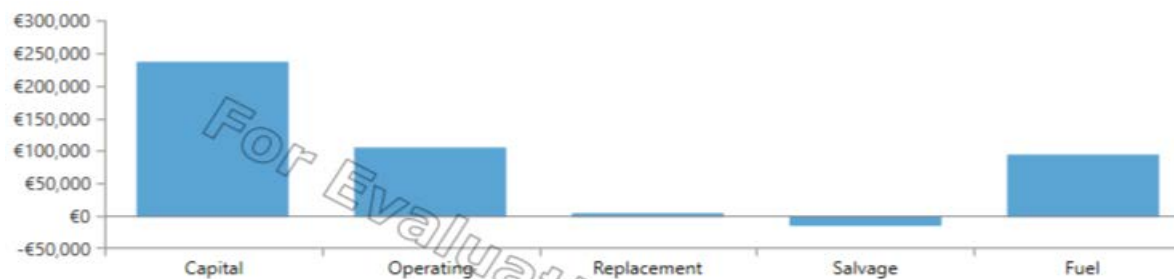
Component	Capital (€)	Replacement (€)	Operating (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
▷ Cat 3512B	€0.00	€0.00	€130,932.17	€1,135,396.50	-€113,887.05	€1,152,441.63
▷ Enercon E-53 [800kW]	€0.00	€0.00	€354,164.28	€0.00	€0.00	€354,164.28
▷ Enercon E-53_New [800kW]	€900,000.00	€0.00	€354,164.28	€0.00	€0.00	€1,254,164.28
▷ Indrivetec SOLO S	€0.00	€71,060.06	€74,374.50	€0.00	-€35,994.64	€109,439.92
▷ JA Solar JAM72S30-540/MR	€360,000.00	€0.00	€106,249.28	€0.00	-€20,396.96	€445,852.32
▷ JAP6(K)-60-270/4BB	€0.00	€0.00	€28,333.14	€0.00	€0.00	€28,333.14
▷ Turtle Series ESS	€1,560,000.00	€0.00	€224,304.05	€0.00	€0.00	€1,784,304.05
System	€2,820,000.00	€71,060.06	€1,272,521.71	€1,135,396.50	-€170,278.66	€5,128,699.62

Στα Σχήματα 5.11 και 5.12 όπως και στον Πίνακα 5.17 βλέπουμε τα ετήσια συνολικά κόστη και τα ετήσια συνολικά κόστη ανά κατηγορία. Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο κόστος μετά του συσσωρευτή είναι της νέας ανεμογεννήτριας E-53_New, καθώς έχει τα

μεγαλύτερα λειτουργικά κόστη και στη συνέχεια της εφεδρικής γεννήτριας CAT3512B λόγω της μεγάλου κόστους καυσίμου.



Σχήμα 5.11: Συνολικό ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου του συστήματος



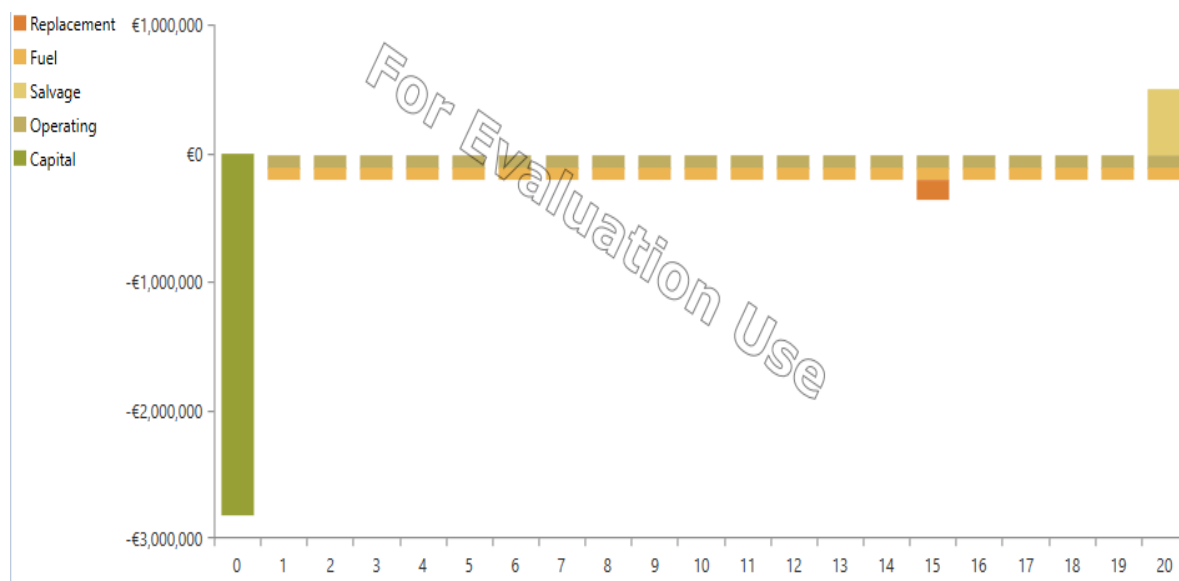
Σχήμα 5.12: Συνολικό ετήσιο κόστος ανά κατηγορία κόστους

Πίνακας 5.17: Συνολικό ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου του συστήματος ανά κατηγορία κόστους

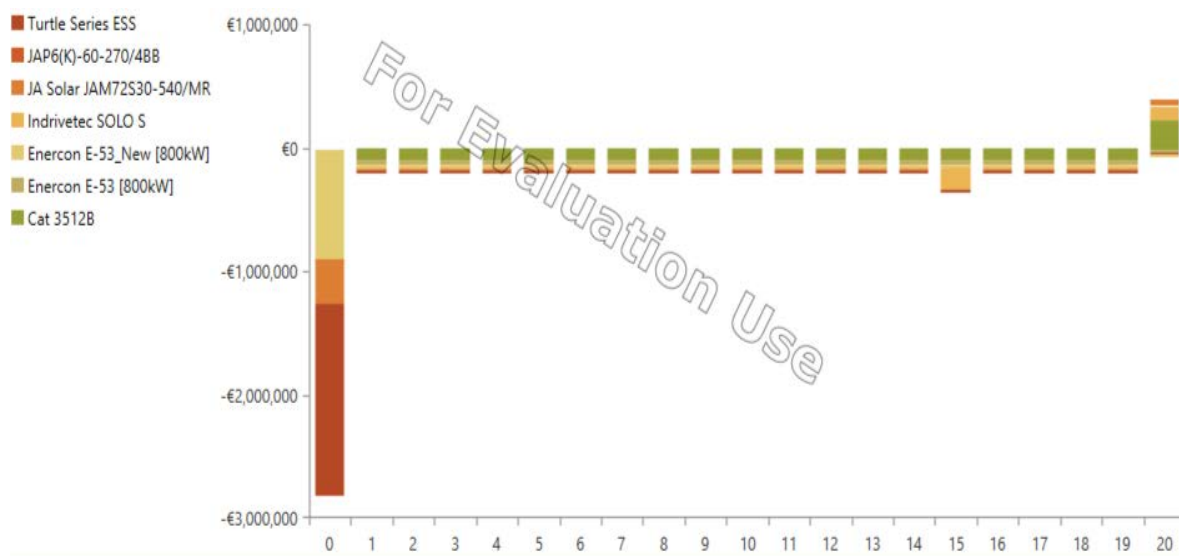
Component	Capital (€)	Replacement (€)	Operating (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
▷ Cat 3512B	€0.00	€0.00	€11,090.80	€96,175.41	-€9,646.97	€97,619.24
▷ Enercon E-53 [800kW]	€0.00	€0.00	€30,000.00	€0.00	€0.00	€30,000.00
▷ Enercon E-53_New [800kW]	€76,235.81	€0.00	€30,000.00	€0.00	€0.00	€106,235.81
▷ Indrivetec SOLO S	€0.00	€6,019.25	€6,300.00	€0.00	-€3,048.98	€9,270.27
▷ JA Solar JAM72S30-540/MR	€30,494.32	€0.00	€9,000.00	€0.00	-€1,727.75	€37,766.57
▷ JAP6(K)-60-270/4BB	€0.00	€0.00	€2,400.00	€0.00	€0.00	€2,400.00
▷ Turtle Series ESS	€132,142.07	€0.00	€19,000.00	€0.00	€0.00	€151,142.07
System	€238,872.20	€6,019.25	€107,790.80	€96,175.41	-€14,423.70	€434,433.95

Στα Σχήματα 5.13 και 5.14 απεικονίζεται η ροή κόστους ανά στοιχείο του συστήματος και η ροή κόστους ανά κατηγορία κόστους καθ' όλη την διάρκεια της εικοσαετίας. Στην αρχή της περιόδου το μεγαλύτερο μέρος του κόστους προέρχεται από την αρχική επένδυση (capital cost) για τις νέες μονάδες αποθήκευσης τύπου Turtle Series ESS, τα

φωτοβολταϊκά πάνελ JA Solar, την A/Γ E-53 και τους μετατροπείς Fronius Tauro. Στα επόμενα έτη το κόστος περιορίζεται κυρίως σε δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης (Q&M), οι οποίες παραμένουν σχετικά σταθερές και αφορούν την συντήρηση των συστημάτων και στα 15 έτη εμφανίζονται τα κόστη αντικατάστασης των μετατροπέων fronius και των μπαταριών Turtle Series ESS. Τέλος, μετά τα 20 χρόνια της μελέτης παρατηρείται θετική αύξηση του salvage value, πρόκειται για την υπολειμματική αξία εξοπλισμού που περισσεύει μετά το πέρας της μελέτης, δηλαδή ο χρόνος ζωής των στοιχείων του συστήματος που απομένει.



Σχήμα 5.13: ροή κόστους ανά κατηγορία κόστους

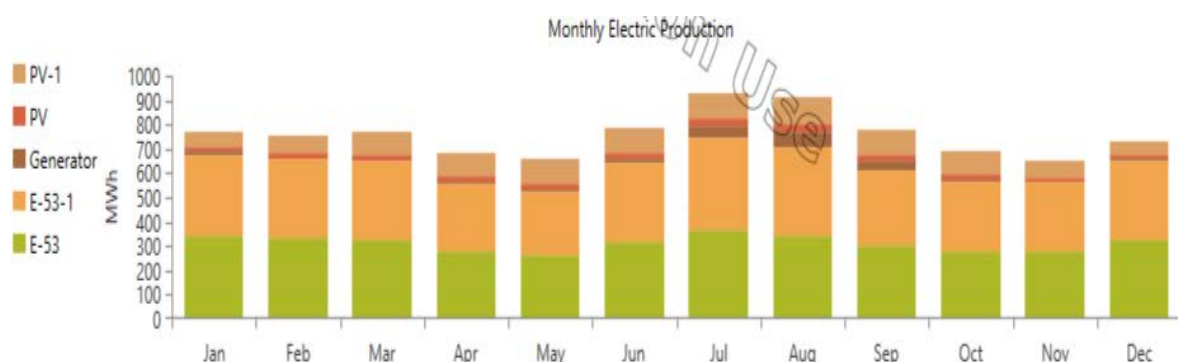


Σχήμα 5.14: ροή κόστους για κάθε στοιχείο του συστήματος

Όσο αναφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στον Πίνακα 5.18 φαίνεται η παραγωγή ενέργειας κάθε στοιχείου του συστήματος και στο Σχήμα 5.15 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όλων των στοιχείων του συστήματος για κάθε μήνα του έτους. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι η κύρια παραγωγή ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το σχήμα αποδεικνύει τη συμπληρωματικότητα ηλιακής και αιολικής παραγωγής στο νησί. Οι ανεμογεννήτριες παρέχουν τη συντριπτική πλειονότητα της ενέργειας, περίπου 83%, ενώ τα δύο φωτοβολταϊκά πάρκα καλύπτουν περίπου το 15% και ένα πολύ μικρό ποσοστό είναι της γεννήτριας CAT3512B.

Πίνακας 5.18: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κάθε στοιχείου του συστήματος

Production	kWh/yr	%
JA Solar JAM72S30-540/MR	1,072,018	11.8
JAP6(K)-60-270/4BB	282,200	3.11
Cat 3512B	198,000	2.18
Enercon E-53 [800kW]	3,735,352	41.1
Enercon E-53_New [800kW]	3,791,843	41.8
Total	9,079,413	100



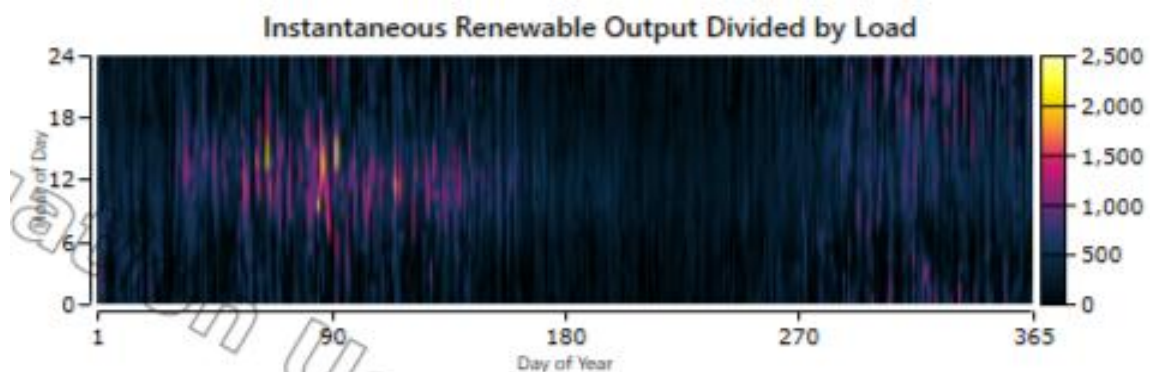
Σχήμα 5.15: Μηνιαία παραγωγή Η/Ε για κάθε στοιχείο του συστήματος

Στα Σχήματα 5.16, 5.17 και 5.18 και στον Πίνακα 5.19, τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι το υβριδικό σύστημα της Τήλου έχει την δυνατότητα να καλύψει το φορτίο σχεδόν αποκλειστικά από ΑΠΕ. Στον Πίνακα 5.19 βλέπουμε ότι το σύστημα παράγει σχεδόν 2,4 φορές περισσότερη ενέργεια από τις ανάγκες φορτίου, επίσης το 97,8% της παραγόμενης ενέργειας προέρχεται από ΑΠΕ, ενώ το 94,6% του φορτίου καλύπτεται από ΑΠΕ και το υπόλοιπο 5,4% απαιτεί θερμική συνεισφορά. Στο Σχήμα 5.16 φαίνεται σε ωριαία βάση μέσα στο έτος πόσο καλύπτεται το φορτίο από ΑΠΕ, με τα ροζ/κόκκινα

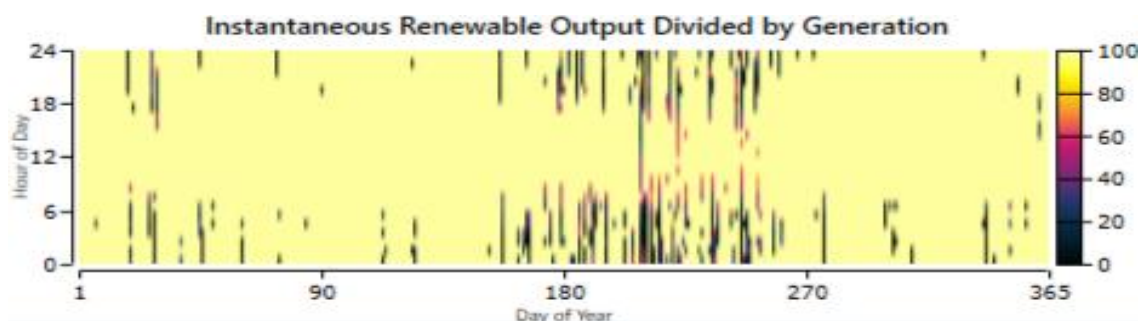
χρώματα να δείχνουν τις χρονικές στιγμές με υπερπαραγωγή ΑΠΕ, που ξεπερνάει το 100% της ζήτησης και οι σκούρες ζώνες δείχνουν τις ώρες που δεν καλύπτεται πλήρως και χρειάζεται είτε μπαταρία, είτε ντίζελ. Στο Σχήμα 5.17 βλέπουμε το ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στη συνολική παραγωγή, η κίτρινη περιοχή αντικατοπτρίζει το 97,8% του Πίνακα 5.18, ενώ οι μικρές μαύρες/σκούρες γραμμές είναι οι στιγμές που ενεργοποιείται η γεννήτρια. Στο Σχήμα 5.18, οι κίτρινες περιοχές σημαίνουν σχεδόν όλο το φορτίο καλύπτεται από ΑΠΕ, ενώ οι κόκκινες/πορτοκαλί γραμμές αντιπροσωπεύουν περιόδους που απαιτείται στήριξη από γεννήτρια κυρίως τα βράδια.

Πίνακας 5.19: Ποσοστά παραγωγής ενέργειας

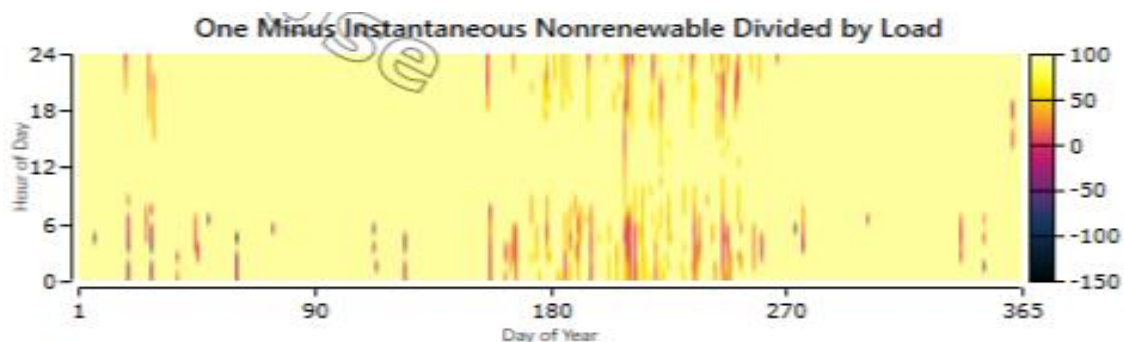
Energy-based metrics	Value	Units
Total renewable production divided by load	240	%
Total renewable production divided by generation	97.8	%
One minus total nonrenewable production divided by load	94.6	%



Σχήμα 5.16: Στιγμιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ διαιρεμένη με τη στιγμιαία ζήτηση ενέργειας για όλο το έτος



Σχήμα 5.17: Στιγμιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ διαιρεμένη με τη συνολική στιγμιαία παραγωγή ενέργειας για όλο το έτος

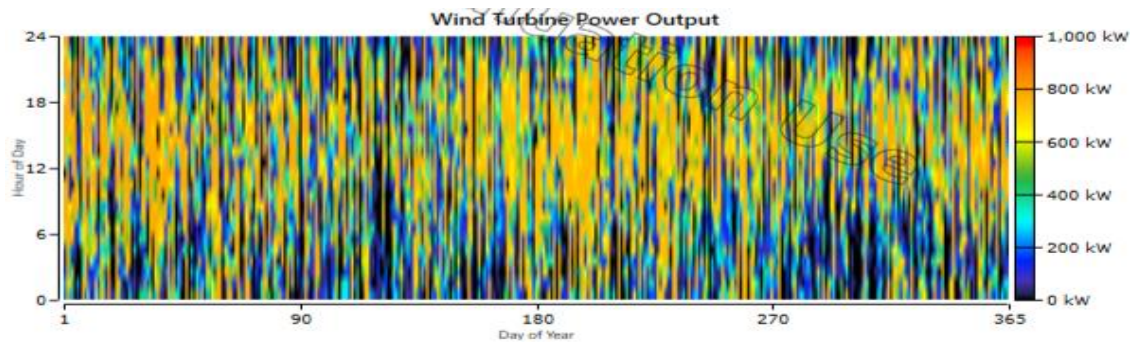


Σχήμα 5.18: Διαφορά αριθμού 1 με την στιγμιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μονάδες, διαιρεμένη από τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για όλο το έτος

Στη συνέχεια οι Πίνακες 5.20 και 5.21 παρουσιάζουν αποτελέσματα για την λειτουργία των ανεμογεννήτριας E-53 του υπάρχοντος συστήματος και της καινούργιας E-53, τα οποία αποδεικνύουν η ένταξη της νέας ανεμογεννήτριας αυξάνει την συνολική παραγωγή αιολικής ενέργειας, βελτιώνει την διείσδυση ΑΠΕ και μειώνει το κόστος ηλεκτροπαραγωγής. Στα Σχήματα 5.19 και 5.20 βλέπουμε την ενέργεια που παράγεται κάθε μέρα του έτους 2024 με μέση ημερήσια παραγωγή τα 426KW και 433KW, για υπάρχουσα και καινούργια ανεμογεννήτρια αντίστοιχα και συνολική παραγωγή 3,735,352KWh το έτος για την υπάρχουσα, ενώ 3,791,843KWh το έτος για την νέα. Και οι δύο ανεμογεννήτριες δούλεψαν 8641 μέρες από τις 8760 του έτους, επιβεβαιώνοντας την σωστή τοποθεσία εγκατάστασής τους. Τέλος, επιβεβαιώνεται ότι η παραγωγή είναι σύμφωνη με την μηνιαία ταχύτητα ανέμου στο νησί του Σχήματος 5.7.

Πίνακας 5.20: Λειτουργία υπάρχουσας ανεμογεννήτριας

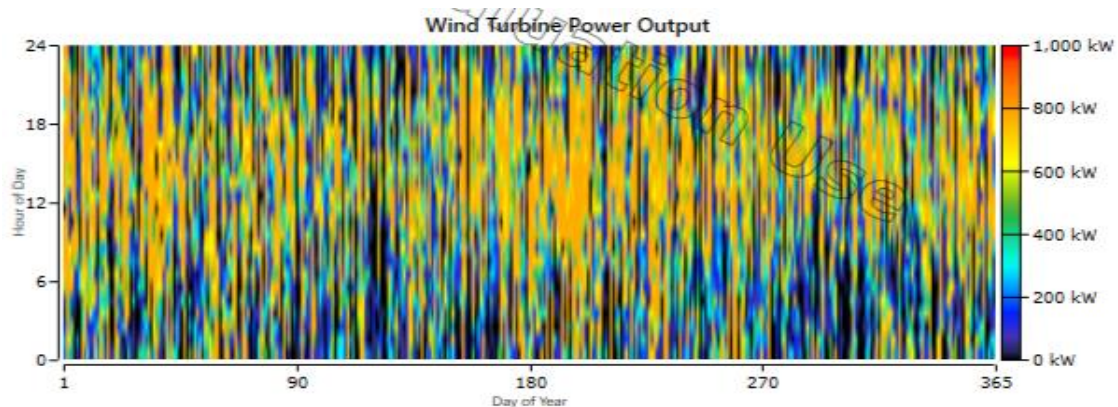
Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	800	kW	Minimum Output	0	kW
Mean Output	426	kW	Maximum Output	810	kW
Capacity Factor	53.3	%	Wind Penetration	101	%
Total Production	3,735,352	kWh/yr	Hours of Operation	8,641	hrs/yr
			Levelized Cost	0.00803	€/kWh



Σχήμα 5.19: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος για κάθε μέρα του έτους της υπάρχουσας ανεμογεννήτριας

Πίνακας 5.21: Λειτουργία καινούργιας ανεμογεννήτριας

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	800	kW	Minimum Output	0	kW
Mean Output	433	kW	Maximum Output	810	kW
Capacity Factor	54.1	%	Wind Penetration	103	%
Total Production	3,791,843	kWh/yr	Hours of Operation	8,641	hrs/yr
			Levelized Cost	0.0280	€/kWh



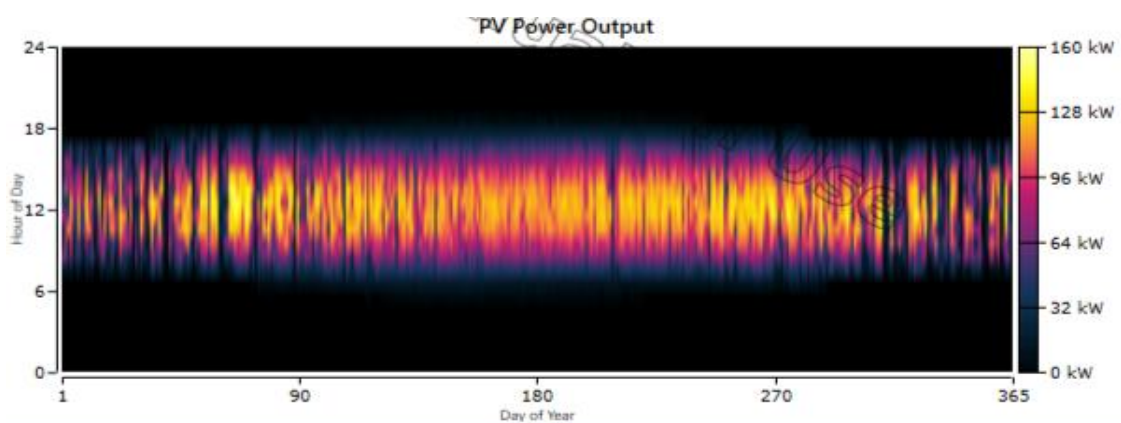
Σχήμα 5.20: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος για κάθε μέρα του έτους της νέας ανεμογεννήτριας

Όσο αναφορά τους Πίνακες 5.22 και 5.23 παρουσιάζουν τους βασικούς συντελεστές απόδοσης των φωτοβολταϊκών πάρκων. Το πάρκο 160KW έχει μέση ισχύ 32,2KW και συνολική ετήσια παραγωγή 282,200KWh. Από την άλλη, το φωτοβολταϊκό πάρκο των 600KW με μέση ισχύ 122KW και συνολική ετήσια παραγωγή 1,072,018 KWh αποτελεί ισχυρό πυλώνα για αύξηση ΑΠΕ, βελτιώνοντας τη συνολική PV penetration του μικροδικτύου. Από τα Σχήματα 5.21 και 5.22 βλέπουμε ότι το φωτοβολταϊκό λειτουργεί με ξεκάθαρη περιοδικότητα σημαντικό για την ενεργειακή ασφάλεια του νησιού, δεν υπάρχει υπερφόρτιση και η παραγωγή είναι σύμφωνη με την ηλιακή ακτινοβολία του

Σχήματος 5.5 κάτι το οποίο και περιμέναμε, αφού η παραγόμενη ισχύς του PV είναι ανάλογη της ηλιακής ακτινοβολίας στην τοποθεσία εγκατάστασης.

Πίνακας 5.22: Λειτουργία φωτοβολταϊκών JAP6K-60-270/4BB

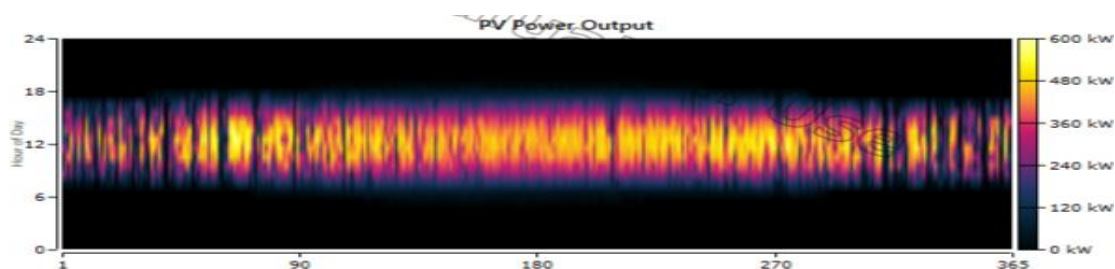
Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Rated Capacity	160	kW	Minimum Output	0	kW
Mean Output	32.2	kW	Maximum Output	153	kW
Mean Output	773	kWh/d	PV Penetration	7.63	%
Capacity Factor	20.1	%	Hours of Operation	4,385	hrs/yr
Total Production	282,200	kWh/yr	Levelized Cost	0.00851	€/kWh
			Clipped production	0	kWh



Σχήμα 5.21: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος για κάθε μέρα του έτους του JAP6K-60-270/4BB

Πίνακας 5.23: Λειτουργία φωτοβολταϊκών JAM72S30-540/MR

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Rated Capacity	600	kW	Minimum Output	0	kW
Mean Output	122	kW	Maximum Output	586	kW
Mean Output	2,937	kWh/d	PV Penetration	29.0	%
Capacity Factor	20.4	%	Hours of Operation	4,385	hrs/yr
Total Production	1,072,018	kWh/yr	Levelized Cost	0.0352	€/kWh
			Clipped production	0	kWh

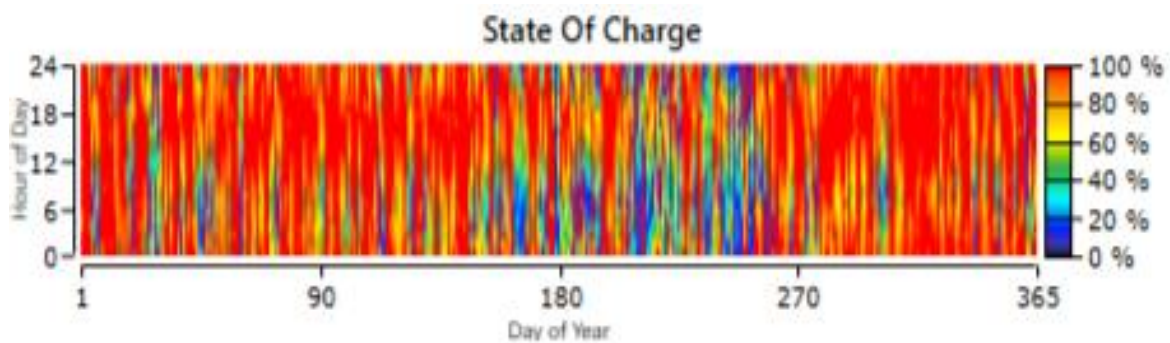


Σχήμα 5.22: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος για κάθε μέρα του έτους του JAM72S30-540/MR

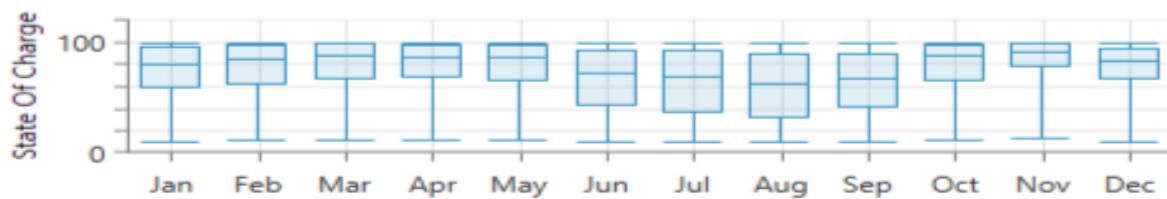
Σε ότι έχει να κάνει με το αποθηκευτικό σύστημα Turtle Series ESS, παρουσιάζει ονομαστική χωρητικότητα 3,510KWh και ετήσιο κύκλο λειτουργίας περίπου 506MWh, με υψηλή απόδοση αφού η εισερχόμενη ενέργεια (524,746KWh) είναι λίγο μεγαλύτερη από την εξερχόμενη ενέργεια (488,633KWh/year). Η μέση αυτονομία της φτάνει τις 8,31 ώρες εξασφαλίζοντας την κάλυψη φορτίων για σημαντικό διάστημα χωρίς την ανάγκη υποστήριξης από συμβατικές μονάδες (Πίνακας 5.24). Το Σχήμα 5.23 με το διάγραμμα φόρτισης δείχνει συνεχή λειτουργία σε μεσαία και υψηλά επίπεδα φόρτισης, με έντονες ημερήσιες και εποχικές διακυμάνσεις, στοιχείο που επιβεβαιώνει τον ρόλο της στην εξομάλυνση της παραγωγής από ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, τις ώρες 12:00-19:00 το ποσοστό φόρτισης είναι αυξημένο, αφού σε εκείνες τις ώρες η ηλιακή ακτινοβολία είναι μέγιστη δυνατή με αποτέλεσμα τα φωτοβολταϊκά να παράγουν περισσότερη ενέργεια από αυτήν που χρειάζεται και να χρησιμοποιούν την πλεονάζουσα για την φόρτιση της μπαταρίας. Επίσης, το καλοκαίρι παρατηρείται μικρότερη φόρτιση της μπαταρίας, αφού η ζήτηση είναι τόσο μεγάλη που όλη η ενέργεια παράγεται από ΑΠΕ χρησιμοποιείται σχεδόν όλη για την κάλυψη του φορτίου (Σχήμα 5.24).

Πίνακας 5.24: Λειτουργία μπαταρίας Turtle Series ESS

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Batteries	1.00	qty.	Autonomy	8.31	hr	Average Energy Cost	0	€/kWh
String Size	1.00	batteries	Storage Wear Cost	0.0539	€/kWh	Energy In	524,746	kWh/yr
Strings in Parallel	1.00	strings	Nominal Capacity	3,900	kWh	Energy Out	488,633	kWh/yr
Bus Voltage	1,500	V	Usable Nominal Capacity	3,510	kWh	Storage Depletion	642	kWh/yr
			Lifetime Throughput	10,133,783	kWh	Losses	36,755	kWh/yr
			Expected Life	20.0	yr	Annual Throughput	506,689	kWh/yr



Σχήμα 5.23: Ποσοστό φόρτισης του αποθηκευτικού συστήματος για κάθε μέρα του έτους

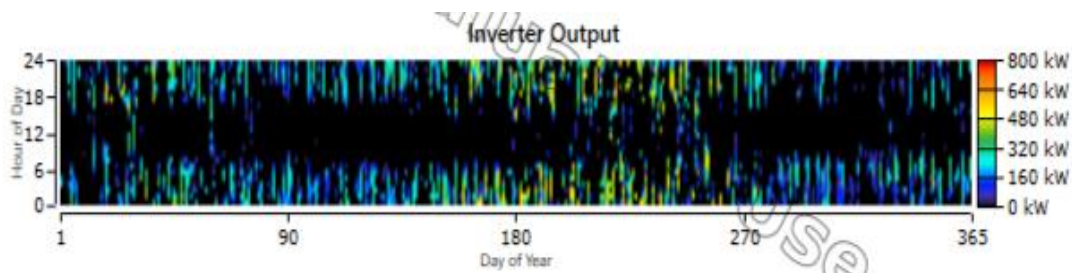


Σχήμα 5.24: Μέγιστο, μέγιστο μέσο, μέσο, ελάχιστο μέσο και ελάχιστο ημερήσιο ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας για κάθε μήνα του έτους

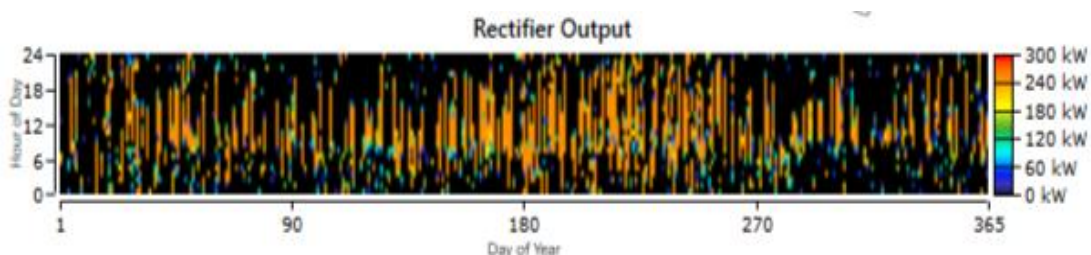
Ο μετατροπέας Indrivetec Solo S ισχύος 900KW παρουσιάζει μέση απόδοση inverter 54,8% και μέση απόδοση rectifier 59,9KW με αντίστοιχους συντελεστές χρησιμοποίησης 6,09% και 6,66%. Η ετήσια ενέργεια που παρέχεται φτάνει τις 479,838KWh/year (inverter) και 524,746KWh/year (rectifier) με μικρές απώλειες περίπου της τάξης 8,8-16,2MWh, κάτι το οποίο δείχνει την αποδοτική λειτουργία του (Πίνακας 5.25). Στα Σχήματα 5.25 και 5.26 φαίνεται ξεκάθαρα ότι ο αντιστροφέας κάνει την αντίστροφο σε σχέση με τον ανορθωτή. Ο αντιστροφέας μετατρέπει το ρεύμα DC σε AC, συμβάλλει στην εκφόρτιση των συσσωρευτών και λειτουργεί τις ώρες με χαμηλή ηλιοφάνεια, ενώ ο ανορθωτής μετατρέπει το ρεύμα AC σε DC, συμβάλλει στην φόρτιση των συσσωρευτών και συνεπώς λειτουργεί τις ώρες με υψηλή ηλιοφάνεια ώστε να βοηθήσει στην αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας της ανεμογεννήτριας και των φωτοβολταϊκών.

Πίνακας 5.25: Λειτουργία μετατροπέα Indrivetec Solo S

Quantity	Inverter	Rectifier	Units	Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	900	900	kW	Hours of Operation	2,131	2,588	hrs/yr
Mean Output	54.8	59.9	kW	Energy Out	479,838	524,746	kWh/yr
Minimum Output	0	0	kW	Energy In	488,633	540,975	kWh/yr
Maximum Output	703	259	kW	Losses	8,795	16,229	kWh/yr
Capacity Factor	6.09	6.66	%				



Σχήμα 5.25: Ισχύς εξόδου αντιστροφέα (inverter) για κάθε μέρα του έτους

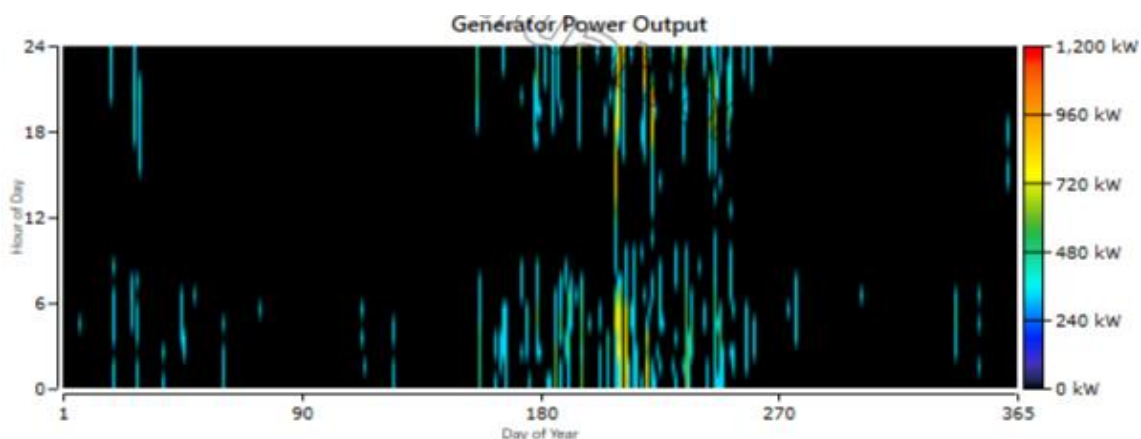


Σχήμα 5.26: Ισχύς εξόδου ανορθωτή (rectifier) για κάθε μέρα του έτους

Η προσομοίωση της γεννήτριας δείχνει ότι λειτουργήσε για 466 ώρες/έτος με μέση ισχύς 425KW, παράγοντας περίπου 198.000KWh/έτος. Η κατανάλωση καυσίμου ανήλθε στα 56,909 L/year, με μέσο όρο 156 L/ημέρα και 6,5 L/ώρα, ενώ η ειδική κατανάλωση ήταν 0,287L/KWh οδηγώντας σε ηλεκτρική απόδοση 35,4% (Πίνακες 5.26 και 5.27). Τα Σχήματα 5.27, 5.28, 5.29 και 5.30 καταδεικνύουν ότι η χρήση της γεννήτριας είναι περιορισμένη και εμφανίζεται κυρίως σε περιόδους υψηλής ζήτησης (καλοκαίρι) ή μειωμένης παραγωγής ΑΠΕ, επιβεβαιώνοντας τον ρόλο ως μονάδα εφεδρείας στο υβριδικό σύστημα.

Πίνακας 5.26: Λειτουργία εφεδρικής γεννήτριας CAT3512B

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Hours of Operation	466	hrs/yr	Electrical Production	198,000	kWh/yr	Fuel Consumption	56,909	L
Number of Starts	126	starts/yr	Mean Electrical Output	425	kW	Specific Fuel Consumption	0.287	L/kWh
Operational Life	107	yr	Minimum Electrical Output	350	kW	Fuel Energy Input	559,980	kWh/yr
Capacity Factor	1.61	%	Maximum Electrical Output	1,042	kW	Mean Electrical Efficiency	35.4	%
Fixed Generation Cost	69.1	€/hr						
Marginal Generation Cost	0.399	€/kWh						



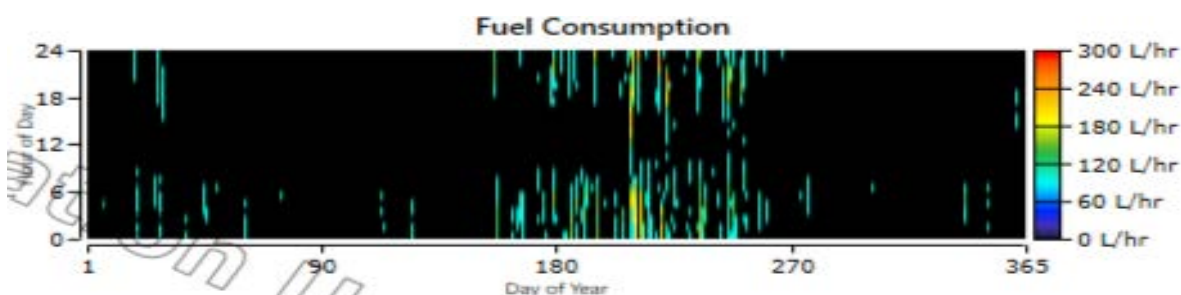
Σχήμα 5.27: Παραγόμενη ισχύς εφεδρικής γεννήτριας CAT3512B

Πίνακας 5.27: Στοιχεία κατανάλωσης πετρελαίου

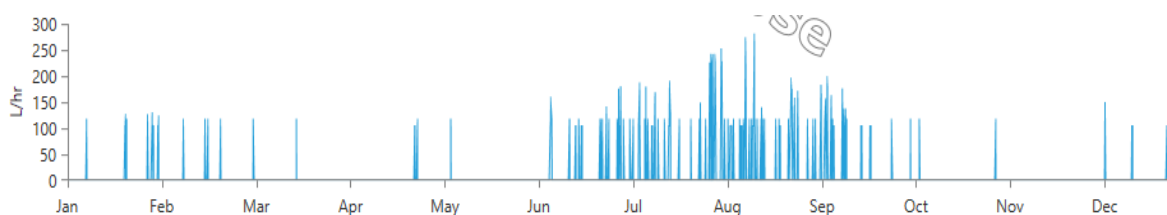
Quantity	Value	Units
Total fuel consumed	56,909	L
Avg fuel per day	156	L/day
Avg fuel per hour	6.50	L/hour



Σχήμα 5.28: Μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου ανά ώρα



Σχήμα 5.29: Κατανάλωση πετρελαίου ανά ώρα για κάθε μέρα του έτους



Σχήμα 5.30: Μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου ανά ώρα

5.4.2 Αξιολόγηση προτεινόμενου συστήματος

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συμπεραίνουμε ότι το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα αποτελεί μια πολύ σωστή επένδυση και σε οικονομικό και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Όπως παρατηρούμε στον Πίνακα 5.15 με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, το base system στο Homer Pro που αντιστοιχεί στο υπάρχον υβριδικό σύστημα της Τήλου, πλέον καλύπτει το 78,1% των ενεργειακών αναγκών του νησιού από ΑΠΕ, ποσοστό αρκετά χαμηλότερο από αυτό στις τελευταίες μελέτες το 2019 που κυμαίνονταν κατά μέσο όρο στο 85-95%. Αυτή η μείωση οφείλεται στην αυξημένη ζήτηση στον νησί τα τελευταία χρόνια η οποία δεν καλύπτεται ικανοποιητικά από το υπάρχον σύστημα.

Από την άλλη, το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα που δημιουργήθηκε στο Homer Pro καλύπτει το 94,6% των αναγκών της Τήλου από ΑΠΕ, ποσοστό αρκετά μεγαλύτερο του υπάρχον της Τήλου καταναλώνοντας περίπου 75% λιγότερα καύσιμα τον χρόνο 56,909L έναντι 231,231L. Επιπρόσθετα, το καθαρό κόστος του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος (5,13M) για τα 20 χρόνια της μελέτης είναι σαφώς μικρότερο του καθαρού κόστους του υπάρχοντος (6,92M) και ακόμα παρουσιάζει αρκετά χαμηλότερο LCOE με 0,117€/KWh σε σύγκριση με του υπάρχοντος που είναι 0,159€/KWh. Τέλος, το νέο υβριδικό σύστημα έχει κόστη λειτουργίας 195,562€/έτος αρκετά λιγότερα των 586,564€/έτος του υπάρχοντος, κάτι το οποίο αποδεικνύει το γεγονός ότι το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα κάνει απόσβεση στα 8,3 χρόνια από την αρχική επένδυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξέτασε το υφιστάμενο υβριδικό ενεργειακό σύστημα της Τήλου, εστιάζοντας στις δυνατότητες βελτίωσής του μέσω της προσθήκης τεχνολογιών ΑΠΕ και αποθήκευσης. Μέσω του λογισμικού Homer Pro πραγματοποιήθηκε προσομοίωση σεναρίων με διαφορετικούς συνδυασμούς φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, προκειμένου να αναδειχθεί η βέλτιστη λύση.

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν, ότι παρόλο που το υπάρχον σύστημα της Τήλου εξασφαλίζει ήδη μεγάλο ποσοστό διείσδυσης ΑΠΕ ίσο με 78,1% και χαμηλή χρήση καυσίμων (231,231L), η επιπλέον ενσωμάτωση μιας νέας ίδιας ανεμογεννήτριας, ενός νέου μεγαλύτερου φωτοβολταϊκού πάρκου και νέου συστήματος αποθήκευσης μεγαλύτερης χωρητικότητας, συμβάλλει περαιτέρω στη μείωση του κόστους καυσίμου και στη συνολική κατανάλωση καυσίμου (56,909L), βελτιώνει την διαχείριση παραγωγής και αυξάνει την ενεργειακή αυτονομία του νησιού σε πολύ υψηλά επίπεδα (94,6%). Συγκριτικά σενάρια έδειξαν χαμηλότερο LCOE (επίπεδο κόστος ενέργειας) και αυξημένο ποσοστό κάλυψης φορτίου από ΑΠΕ, όταν το σύστημα υποστηρίζεται από κατάλληλα μεγέθη μπαταριών.

Από οικονομικής πλευράς, η τεchnοοικονομική μελέτη έδειξε ότι η μείωση εξάρτησης από το πετρέλαιο οδηγεί σε σημαντικά χαμηλότερο λειτουργικό κόστος σε βάθος 20αετίας κάτι το οποίο φαίνεται στα αποτελέσματα της προσομοίωσης που το λειτουργικό κόστος του καινούργιου συστήματος υπολογίστηκε στα 195,562€ ανά έτος, ενώ του υπάρχοντος στα 586,564€ ανά έτος. Επιπρόσθετα, στο οικονομικό επίπεδο της μελέτης πρέπει να τονίσουμε ότι ο στόχος για χαμηλότερο καθαρό παρόν κόστος (NPC) και χαμηλότερο κόστος ανά KWh (LCOE) επιτεύχθηκε, αφού το νέο σύστημα παρουσιάζει NPC=5,13M και LCOE=0,117€/KWh, σε αντίθεση με το παλιό που είχε NPC=6,92M και LCOE=0,159€/KWh. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα καταλαβαίνουμε ξεκάθαρα, ότι το νέο υβριδικό σύστημα είναι οικονομικότερο στο βάθος χρόνου της μελέτης από το υπάρχον σύστημα της Τήλου, μειώνοντας παράλληλα την εξάρτηση από το πετρέλαιο.

Από την άλλη, από περιβαλλοντικής πλευράς, η υψηλή διείσδυση ΑΠΕ και η εμφανώς περιορισμένη χρήση πετρελαίου οδηγεί σε πολύ μειωμένες εκπομπές CO₂, κάτι

το οποίο ικανοποιεί και τους στόχους της Ε.Ε. για μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2050 [58], επιβεβαιώνοντας τον καθοριστικό ρόλο των υβριδικών συστημάτων στη μετάβαση στις καθαρές μορφές ενέργειας.

Συνοψίζοντας, η μελέτη επιβεβαιώνει ότι η Τήλος αποτελεί παράδειγμα επιτυχημένης εφαρμογής υβριδικού συστήματος σε μη διασυνδεδεμένο νησί, συνδυάζοντας υψηλή ενεργειακή αυτάρκεια με οικονομική αποδοτικότητα και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Επιπρόσθετα, η προσθήκη ΑΠΕ (Α/Γ E-53, ΦΒ JA Solar) και αποθήκευσης (Turtle Series) αναβαθμίζει και σε οικονομικό και σε οικολογικό επίπεδο το υπάρχον σύστημα της Τήλου, δημιουργώντας ένα καινούργιο υβριδικό σύστημα πρότυπο για αντίστοιχες εφαρμογές στο Αιγαίο, το οποίο μειώνει τα συμβατικά καύσιμα και το ετήσιο κόστος λειτουργίας και αυξάνει την διείσδυση ΑΠΕ.

Στο μέλλον η περαιτέρω ενίσχυση της αποθήκευσης και η αξιοποίηση νέων τεχνολογιών όπως τα συστήματα υδρογόνου ή προηγμένα συστήματα διαχείρισης φορτίου, θα μπορούσαν να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο τις επιδόσεις του συστήματος ώστε να γίνει το νησί 100% ενεργειακά αυτόνομο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Wikipedia, "Home page", Wikipedia, 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page [Accessed: April 7].
- [2] Α. Πολυζάκης, Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ισχύος. Αθήνα, Αθήνα: POWER HEAT COOL, 2017.
- [3] Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας, "Τα Πάντα για την Ενέργεια", Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας, 2025 [Online]. Available: <https://www.allaboutenergy.gr/> [Accessed: April 8].
- [4] Lifo, "Νερόμυλοι κι ανεμόμυλοι: πού χάθηκαν και τι μπορούν να μας προσφέρουν σήμερα;", Lifo, 2017. [Online]. Available: <https://www.lifo.gr/arxeio/neromyloi-ki-anemomyloi-poy-hathikan-kai-ti-mporoy-n-na-mas-prosferoy-n-simera> [Accessed: April 8].
- [5] Newmoney, "Η ιστορία της ενεργειακής μετάβασης – Από τα χρόνια πριν τη βιομηχανική επανάσταση μέχρι την πράσινη ενέργεια (Γραφήματα)", Newmoney, 2022. [Online]. Available: <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/h-istoria-tis-energiakis-metavasis-apo-ta-chronia-prin-ti-viomichaniki-epanastasi-mechri-tin-prasini-energia-grafimata/> [Accessed: April 9].
- [6] Φ. Μπόζιαρης, "Τεχνικο-οικονομική μελέτη εγκατάστασης υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη νήσο Καστελλόριζο", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, Ελλάδα, 2021.
- [7] Α. Αλεξίου, "Μελέτη ενεργειακής αυτονομίας μη διασυνδεδεμένου νησιού", Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, Ελλάδα, 2022.
- [8] European Parliament, "Renewable energy: setting ambitious targets for Europe." European Parliament, 2017. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20171124STO88813/renewable-energy-setting-ambitious-targets-for-europe> [Accessed: April 17].

- [9] Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, "Πώς παράγεται και πωλείται η ηλεκτρική ενέργεια στην ΕΕ;", Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2025. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/#0> [Accessed: April 18].
- [10] Eurostat, "Figure19-Compare_countries.png", Statistics Explained – Eurostat, 2025. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Special:ListFiles&offset=Figure19-Compare_countries.png&user=Diazfer&sort=img_name [Accessed: April 19].
- [11] Μ. Αποστολίδης, "Τεχνοοικονομική Μελέτη Υβριδικών Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2020.
- [12] Greece in Figures, "Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας & Ενεργειακή Μετάβαση," Greece in Figures, 2024. [Online]. Available: <https://greeceinfigures.com/paragoge-ilektrikis-energeias> [Accessed: April 20].
- [13] Ελληνικό Ινστιτούτο Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία (ΕΛΙΝΥΑΕ), "Κύρωση του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)", ΕΛΙΝΥΑΕ, 2019. [Online]. Available: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/ya-42019-fek-4893b-31122019> [Accessed: April 21].
- [14] Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά", ΔΕΔΔΗΕ, 2022. [Online]. Available: https://clean-energy-islands.ec.europa.eu/system/files/2022-03/7.%20Patsaka_HEDNO%20-%20Clean%20Energy%20EU%20Islands.pdf [Accessed: April 22].
- [15] Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων, Ενέργειας και Υδάτων (ΡΑΑΕΥ), "Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ)", ΡΑΑΕΥ, 2025. [Online]. Available: <https://www.raaey.gr/energeia/ilektrismos/mi-diasynd-nisia/> [Accessed: April 22].
- [16] Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), "Ηλεκτρικά Συστήματα ΜΔΝ", ΔΕΔΔΗΕ, 2025. [Online]. Available: <https://deddie.gr/el/themata-tou-diaxeiristi-mi-diasundedemenwn-nisiwn/agora-mdn/ilektrika-systimata-mdn/> [Accessed: April 23].

- [17] Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), "Μηνιαία δελτία ΑΠΕ και θερμικής παραγωγής στα ΜΔΝ", ΔΕΔΔΗΕ, 2023. [Online]. Available: <https://deddie.gr/el/themata-tou-diaxeiristi-mi-diasundedemenwn-nisiwn/agora-mdn/stoixeia-ekkathariseon-kai-minaion-deltion-mdn/miniaia-deltia-ape-thermikis-paragogis/miniaia-deltia-2023/> [Accessed: April 24].
- [18] Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, "Ειδική έκθεση αριθ. 5/2018: Ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές για βιώσιμη αγροτική ανάπτυξη," Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο. 2018. [Online]. Available: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/renewable-energy-5-2018/el/> . [Accessed: April. 25, 2025]
- [19] Hellenic College – Energy Sources, "Βιομάζα", Hellenic College – Energy Sources, 2025. [Online]. Available: <https://hellenic-college.gr/wp-content/uploads/works/energy-sources/biomaza.htm> [Accessed: April 26, 2025].
- [20] D. Maradin, "Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization," International Journal of Energy Economics and Policy, vol. 11, no. 3, pp. 176–183, 2021. [Online]. Available: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/11027/5802>
- [21] B. Zaidi, "Introductory Chapter: Introduction to Photovoltaic Effect", Researchgate, vol. 1 no. 1, pp. 1-8, 2018. doi: 10.5772/intechopen.74389.
- [22] Π. Καραϊσάς, Φωτοβολταϊκά συστήματα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αθήνα, Αθήνα: ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, 2014.
- [23] M. Dada and P. Popoola, "Recent advances in solar photovoltaic materials and systems for energy storage applications: a review," Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, vol. 12, p.66, 2023. doi: 10.1186/s43088-023-00405-5.
- [24] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α.), Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.–Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 Γ' Έκδοση, Υ.Π.Ε.Κ.Α. [Online]. Available: <https://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-1-Final-%D4%C5%C5-3rd%20edition.pdf> [Accessed: April 28, 2025].
- [25] U.S. Department of Energy – Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE), "How do wind turbines work?", EERE – Wind Energy. [Online]. Available:

- <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work> [Accessed: April 29, 2025].
- [26] Α. Τσέτσου, "Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και εγκατάσταση ανεμογεννητριών για την εμπορική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα, 2021.
- [27] Ελληνικός Σύνδεσμος Αιολικής Ενέργειας (HWEA)/ Eletaen, HWEA Wind Energy Statistics – Greece 2024, HWEA/ Eletaen, 2025. [Online]. Available: <https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2025/01/2025-01-24-2024-HWEA-Statistics-Greece.pdf> [Accessed: April 30, 2025].
- [28] Κ. Δημησιανού, "Ανεμογεννήτρια: Αρχή Λειτουργίας — Τύποι — Κατασκευή", Εργασία Τεχνολογίας, Πρότυπο Πειραματικό Σχολείο, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2015.
- [29] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), "Ανεμόμυλος – Ενέργεια Πολίτης.", ΚΑΠΕ, 2025. [Online]. Available: http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm [Accessed: April 30, 2025].
- [30] T. M. Letcher. Wind Energy Engineering-A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines. Lyngby, Lyngby: M.O.L. Hansen. 2017.
- [31] Δ. Α. Αγγελής, Γ. Αραμπατζής, Δ. Ασημακόπουλος, Α. Καρταλίδης, και Γ. Τσιλιγκιρίδης, "Αιολικές μηχανές", Θεσσαλονίκη, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία, 2015.
- [32] Α. Ευστρατιάδης, Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας – Υβριδικά συστήματα, Εκπαιδευτικό υλικό. Τμήμα Υδραυλικών Έργων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2024.
- [33] Ν. Ανδρίτσος, "Ενέργεια και Περιβάλλον". Εκπαιδευτικό υλικό. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2025.
- [34] Α. Κάγιος, "Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ευφυής Διαχείριση Ανανεώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Χαλκίδα, 2021.
- [35] Σ. Δημακόπουλος, "Βέλτιστος σχεδιασμός και τεχνοοικονομική ανάλυση ενός υβριδικού, αυτόνομου μικροδικτύου", Διπλωματική εργασία, Τμήμα

Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2022.

- [36] G. Stavrakakis, "Alternative Sources of Energy Modeling Automation Optimal Planning and Operation", Researchgate, vol. 15, no. 5, p. 4928, 2022. doi: 10.33.90/books978-3-0365-5712-0
- [37] J. K. Kaldellis, "Supporting the Clean Electrification for Remote Islands: The Case of Greek Tilos Island", MDPI, vol. 14, no. 5, p.1336, 2020. doi: 10.3390/en14051336
- [38] P. Stathopoulos and M. Toudefallah, "Techno-economic optimization of hybrid renewable energy system for islands application", ScienceDirect, vol. 8, p. 100281, 2014. doi:10.1016/j.sftr.2024.100281
- [39] Eunice Energy Group, "Tilos Project – Eunice Energy Group, τεχνική περιγραφή S4S Tilos Hybrid Power System." Eunice group projects. [Online]. Available: <https://eunice-group.com/projects/tilos-project/> [Accessed: March 3, 2025].
- [40] UL Solutions, "HOMER Pro, λογισμικό σχεδιασμού και βελτιστοποίησης μικροδικτύων & υβριδικών συστημάτων ενέργειας." UL Solutions. [Online]. Available: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html> [Accessed: March 5, 2025].
- [41] D. Eljan, "Διερεύνηση εγκατάστασης υβριδικού συστήματος με Α.Π.Ε. στη νήσο Αμοργό", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, 2017.
- [42] D. Bogdanov, C. Breyer, and R. Satymov, "Global-local analysis of cost-optimal onshore wind turbine configurations considering wind classes and hub heights," ScienceDirect, vol. 256, p. 124629, 2022. doi:10.1016/j.energy.2022.124629
- [43] ENERCON GmbH, Product Overview: ENERCON PU, ENERCON, Apr. 2012. [Accessed: Jun. 19, 2025]. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/237029844/ENERCON-PU-en-pdf> [Accessed: March 6, 2025].
- [44] National Renewable Energy Laboratory (NREL), " Model of Operation-and-Maintenance Costs for Photovoltaic Systems", NREL, 2020. [Online]. Available: <https://docs.nrel.gov/docs/fy20osti/74840.pdf> [Accessed: March 6, 2025].

- [45] NATEC, "Datasheet JAP6-60-270-4BB-1", NATEC, 2025 [Online]. Available: <https://natec.com/wp-content/uploads/2017/01/Datasheet-JAP6-60-270-4BB-1.pdf>. [Accessed: Jun. 20, 2025].
- [46] JA Solar, "Datasheet JA Solar – 2021 Catalogue", JA Solar, 2025. [Online]. Available: <https://www.iasolar.com/uploadfile/2021/0706/20210706053524693.pdf>. [Accessed: Jun. 22, 2025].
- [47] National Renewable Energy Laboratory (NREL), "Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage: 2025 Update," NREL, 2025. [Online]. Available: <https://docs.nrel.gov/docs/fy25osti/93281.pdf> [Accessed: Jun. 20, 2025].
- [48] Fronius International GmbH, "Fronius Symo Advanced – Datasheet", Fronius, 2025 [Online]. Available: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0803/0719/2150/files/Fronius_Symo_Advanced_datasheet_EN.pdf. [Accessed: Jun. 23, 2025].
- [49] Fronius International GmbH, "Fronius Tauro 50-3-D – Product Information", Fronius, 2025. [Online]. Available: <https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/products/all-products/inverters/fronius-tauro/tauro-50-3-d>. [Accessed: Jun. 24, 2025].
- [50] FZ SONICK, "ST523 – Data Sheet", FZ SONICK, 2025. [Online]. Available: https://fzsonick.ru/upload/iblock/f97/amkr8ltmw7s3q9q3kftotobztwfw0vpk/ST523_DATA_SHEET_en.pdf. [Accessed: Jun. 24, 2025].
- [51] ENF Solar, "Technical Spec Sheet", ENF Solar, 2024. [Online]. Available: <https://cdn.enfsolar.com/z/pp/2024/6/0ubt47vse99/2.pdf>. [Accessed: Jun. 25, 2025].
- [52] Caterpillar Inc., "Product Specifications – [Document]", Caterpillar, 2025 [Online]. Available: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20230725-2d131-0c537>. [Accessed: Jun. 26, 2025].
- [53] Τράπεζα της Ελλάδος, Inflation Monitor: January 2025 (Inflation Monitor_2025_1), Οικονομική & Ερευνητική Υπηρεσία, Τράπεζα της Ελλάδος, 2025. [Online]. Available: https://www.bankofgreece.gr/Publications/InflationMonitor_2025_1.pdf [Accessed: Jun. 26, 2025].

- [54] National Renewable Energy Laboratory (NREL), "Financial Cases & Methods, Electricity ATB 2024. NREL ATB", 2024. [Online]. Available: https://atb.nrel.gov/electricity/2024/financial_cases_%26_methods [Accessed: Jun. 27, 2025].
- [55] J. L. Bernal-Augustin and R. Dufo-Lopez, "Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems", ScienceDirect, vol. 13, no. 8, pp. 2111–2118, 2009. doi:10.1016/j.rser.2009.01.010
- [56] D. Bargiotas, A. Daskalopulu, M. Ktasivelakis, I. P. Panapakidis, and L. Tsoukalas, "Techno-Economic Analysis of a Stand-Alone Hybrid System: Application in Donoussa Island, Greece", MDPI, vol. 14, no. 7, p. 1868, 2021. doi: 10.3390/en14071868.
- [57] Φ. Ε. Κοκκαλίδης, "Μελέτη μικροδικτύου με τη βοήθεια του εξομοιωτικού προγράμματος HOMER", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2014.
- [58] European Commission, "2030 Climate Targets, EU action > Climate strategies & targets." European Commission-climate action [Online]. Available: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-targets_en [Accessed: Jun. 30, 2025].